ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI

CNR – Dipartimento Patrimonio Culturale
Istituto di Studi sulle Civiltà Italiche e del Mediterraneo Antico

Rivista fondata da MAURO CRISTOFANI e RICCARDO FRANCOVICH

Comitato Scientifico: DANIEL ARROYO-BISHOP, JOHN BOARDMAN, ROBIN B. BOAST, FRANCISCO BURILLO MOZOTA, CHRISTOPHER CARR, MARTIN O.H. CARVER, ANGELO CERIZZA, FRANCESCO D'ANDRIA, IVAN DI STEFANO MANZELLA, FRANÇOIS DJINDJIAN, JAMES E. DORAN, MICHAEL EISNER, JEAN-CLAUDE GARDIN, SALVATORE GARRAFFO, FILIPPO GIUDICE, ANNE-MARIE GUIMIER-SORBETS, IAN HODDER, F. ROY HODSON, DONNA C. KURTZ, ADRIANO MAGGIANI, DANIELE MANACORDA, PAOLA MOSCATI, TITO ORLANDI, CLIVE R. ORTON, FRANCESCO RONCALLI, PAOLO SOMMELLA, ALBERTUS VOORRIPS

Direttore responsabile: PAOLA MOSCATI

Redazione: GIOVANNI AZZENA, LETIZIA CECCARELLI, ANTONIO GOTTARELLI, MARIA PIA GUERMANDI, MARIA CECILIA PARRA, GRAZIA SEMERARO, GIANLUCA TAGLIAMONTE, MARCO VALENTI
Segreteria di Redazione: ALESSANDRA CARAVALE, ALESSANDRA PIERGROSSI

Autorizzazione del presidente del Tribunale di Firenze n. 3894 del 6/11/1989

Indirizzo Redazione: Rivista «Archeologia e Calcolatori», CNR – ISCIMA, Area della Ricerca di Roma 1, Via Salaria Km 29,300, 00016 Monterotondo Stazione (RM)
Tel. +39.06.90672284 – Fax +39.06.90672818
E-mail: paola.moscati@iscima.cnr.it
http://soi.cnr.it/archcalc/

Edizione e distribuzione: EDIZIONI ALL'INSEGNA DEL GIGLIO s.a.s., Via della Fangosa 38, 50032 Borgo San Lorenzo (FI)
Tel. +39.055.8450216 – Fax +39.055.8453188
E-mail: info@edigiglio.it – ordini@edigiglio.it – redazione@edigiglio.it
http://www.edigiglio.it/

Consiglio Nazionale delle Ricerche
Dipartimento Patrimonio Culturale

Actes des 2èmes Journées d'Informatique et Archéologie de Paris – JIAP 2010

(Paris, 11-12 juin 2010)

sous la direction de
François Giligny, Laurent Costa, François Djindjian,
Pablo Ciezar, Bruno Desachy

avec le soutien de la Commission 4
(Méthodes et théorie de l'Archéologie) de l'Union Internationale
des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques (UISPP)

ARCHEOLOGIA E CALCOLATORI
Supplemento 3, 2012

All'Insegna del Giglio

Realizzazione grafica della sovracoperta di Marcello Bellisario
ISSN 1120-6861
ISBN 978-88-7814-541-2
© 2012 – All'Insegna del Giglio s.a.s. – www.edigiglio.it
Stampato a Firenze nell'agosto 2012 – Tipografia Filograf Litografia

SOMMAIRE

F. Djindjian, *Avant-propos* 7

I. Les systèmes d'information archéologiques: état de l'art et applications

A.-V. Szabados, *Du système documentaire du LIMC au portail CLAROS. Interopérabilité et optimisation de l'information archéologique grâce a l'usage de normes* 11

S. Poignant, *Systèmes d'information archéologique: l'exemple de ARCH'IS* 27

A. Bourrouilh, *"Odyssée": représenter l'information au sein d'un système d'information archéologique pour la recherche sur l'habitat rural du Moyen Âge* 39

V. Fromageot-Lanièpce, *Construction et diffusion de bases de données partagées: l'expérience de la base des sépultures d'enfants dans l'antiquité* 51

B. Desachy, *Systèmes d'information archéologique de terrain et fondamentaux de l'enregistrement archéologique: quelques remarques à propos de l'application Stratibase* 61

L. Aubry, S. Ferjani, *Le système d'information du programme "Archéologie du Bassin parisien". Entre SIG et SGBD, vers un applicatif Open Source adapté* 75

E. Ployon, B. Sadier, J.-J. Delannoy, S. Jaillet, J. Monney, E. Boche, J.-M. Geneste, *Le SIG comme outil fédérateur de recherche interdisciplinaire: application à la grotte Chauvet-Pont-d'Arc (Vallon-Pont-d'Arc, Ardèche, France)* 97

V. Buccio, T. Galmiche, N. Robin, *Construction d'un SIG pour l'étude d'un cimetière: l'exemple de Mortefontaine (Aisne)* 113

G. Gattiglia, *GIS applications for the archaeological analysis of a medieval town: Pisa, Italy* 125

E. Hofmann, C. Mani, *De la découverte au SIG: l'exemple de la base terrain du service archéologique de la Ville de Lyon* 141

L. Bernard, *ArkeoGIS, développement d'un webSIG transfrontalier: contraintes et premiers résultats* 153

F. Prodeo, *Utilisation d'un SIG pour l'archivage et l'exploitation des relevés géomorphologiques destinés à l'archéologie* 161

A.-B. Pimpaud, *Une carte archéologique de Thèbes-Ouest: élaboration d'un SIG pour la connaissance du patrimoine thébain* 175

C. Pichard, E. Desjardin, *De l'estimation des erreurs de levée du cadastre à la compréhension de la construction de l'espace urbain de Reims* 185

II. Quels systèmes d'information pour l'archéologie?

Q. Borderie, S. Augry, C. Cammas, *L'enregistrement des données géoarchéologiques en contextes urbains: quel(s) système(s)?* 199

P. Ciezar, *Acquisition et enregistrement de données à grande échelle en archéologie préventive. Observations autour des systèmes d'enregistrement à l'Inrap* 215

A. Koehler, C. Tufféry, *Harmonisation des méthodes et outils pour l'information archéologique à l'Inrap: constats, enjeux et perspectives pour un établissement national* 229

D. Pargny, *SIG: utilisations d'outils grand public et interaction avec les applications professionnelles* 239

A. Chaillou, *L'échange numérique de données d'inventaire entre acteurs de l'archéologie: une réflexion en cours* 247

L. Costa, *La mise en place d'un observatoire des pratiques géomatiques dans les organisations de l'archéologie* 265

F. Djindjian, *L'approche par les processus en archéologie* 279

III. Du plan au volume: applications de la 3D à l'archéologie

F. Fouriaux, *Relevés topographiques et modélisations 3D des parties hautes de la cathédrale Notre-Dame de Chartres* 301

C. Ben Kaddour, *L'utilisation de la restitution en trois dimensions au service archéologique de la Ville de Chartres* 313

A. Lefebvre, T. Galmiche, *Application de la restitution 3D à l'archéologie préventive. Une tuilerie du XVIIe et XVIIIe à Grisolle (Aisne)* 329

E. Robert, D. Vigears, N. Melard, P. Paillet, D. Vialou, Y. Egels, *L'apport de la 3D dans l'art préhistorique: analyse et restitution des images et de leurs supports, exemples croisés des sites de Blanchard (La Garenne) et la Marche* 339

J.-P. Bouyssi, A. Fontaine, E. Robert, D. Vialou, A. Vilhena Vialou, J.-R. Houllier, Y. Egels, *Fressignes, campement solutréen sur ordinateur* 355

E. Pruno, M. Nucciotti, P. Drap, *Un système d'information 3D pour l'archéologie du bâti:* Showback. *Le cas de Montréal (Shawbak, Jordanie)* 371

E. Desjardin, O. Nocent, C. de Runz, *Prise en compte de l'imperfection des connaissances depuis la saisie des données jusqu'à la restitution 3D* 385

J.-Cl. Margueron, J.-O. Gransard-Desmond, *From plan to volume: the need for archaeological analysis in 3D modeling* 397

J.J. Delannoy, S. Jaillet, B. Sadier, *La réalité virtuelle: un outil pour la connaissance et la médiation scientifique. Application à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche, France)* 411

P. Drap, *Archéologie sous-marine: relevé et réalité virtuelle pour l'étude de sites inaccessibles* 427

AVANT-PROPOS

La deuxième édition des JIAP (Journées Informatique et Archéologie de Paris) s'est déroulé les 11 et 12 juin 2010 dans le grand amphithéâtre de l'Institut d'Art et d'Archéologie (centre Michelet) à Paris. Une centaine de personnes a assisté aux débats.

Au cours de ces deux jours, à session unique, 36 communications ont traité un des trois thèmes retenus pour cette édition: Normes et standards de l'archéologie, SIG et Realité virtuelle. En clôture des travaux, une table-ronde consacrée à *Réalité virtuelle: une méthode pour la restitution scientifique 3D* a réuni Pierre Vergnieux (Archéovision, Ausonius), Philippe Fuchs (Ecole nationale des Mines de Paris), Patrick Calet (Ecole centrale des Arts et Manufactures), Pierre Drap (Lsis, Marseille), Jean-François Coulais (Arts et métiers Paris Tech Cluny, équipe Gunzo) et François Djindjian (Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne).

Le programme des communications a vu intervenir des chercheurs venus de l'Inrap, du Ministère de la Culture, du CNRS, des Universités, pour présenter des projets archéologiques, où l'informatique a tenu un rôle majeur. Des politiques à venir ont été présentées (Culture, Inrap, CNRS TGE Adonis). Des applications ont été étudiées et leur généralisation proposée. La motivation du public présent a permis des discussions ouvertes et amicales.

Le colloque des JIAP 2012, qui s'est déroulé les 1 et 2 juin 2012, au moment où ces pages sont imprimés, confirme le succès de cette formule, destinée aux archéologues de langue française et à la promotion de leurs travaux. Par contre, du 23 au 25 avril 2014, toujours à Paris, au centre Michelet, le colloque des JIAP 2014, qui sera couplé au congrès mondial du CAA 2014, permettra cette fois aux archéologues français de se mesurer aux meilleurs chercheurs mondiaux de la spécialité.

Remercions les organisateurs de ce colloque et aussi éditeurs du présent volume des actes : François Giligny (Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne), Laurent Costa (CNRS, UMR 7041 Arscan), Bruno Desachy (Ministère de la Culture), Pablo Ciezar (Inrap) et François Djindjian (Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne), d'avoir voulu organiser et pérenniser une conférence sur une spécialité où les chercheurs français ne sont pas encore suffisamment connus et reconnus sur la scène internationale, hormis quelques rares personnalités historiques.

François Djindjian

I. LES SYSTÈMES D'INFORMATION ARCHÉOLOGIQUES: ÉTAT DE L'ART ET APPLICATIONS

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 11-25

DU SYSTÈME DOCUMENTAIRE DU LIMC AU PORTAIL CLAROS. INTEROPÉRABILITÉ ET OPTIMISATION DE L'INFORMATION ARCHÉOLOGIQUE GRÂCE A L'USAGE DE NORMES

1. Introduction

Les outils documentaires élaborés par l'équipe française du LIMC[1] diffusent au public des informations sur l'iconographie de la mythologie et de la religion gréco-romaines, en particulier à travers un corpus électronique d'objets antiques. Ce gisement d'information, qui associe des bases de données au site web *LIMC-France*[2], a constamment évolué depuis sa création pour répondre aux besoins de nouvelles recherches, prendre en compte les pratiques de l'internaute et intégrer les normes en vigueur. L'adaptation à ces normes, qui insère les données produites par le LIMC dans le web sémantique et les rend "interopérables" avec celles d'autres réalisations consacrées à l'archéologie et à la culture classique, a suivi deux processus différents: la base consacrée à l'iconographie, *LIMCicon*, a été adaptée bien après sa création au CIDOC CRM, modèle de référence pour l'informatisation du patrimoine culturel, tandis que la base textuelle *Callythea* a été élaborée dès le début autour de la norme pour l'édition électronique, la TEI. D'autres conventions, telles celles concernant les images numériques et les données géographiques, élargissent encore les possibilités de mise en relation avec d'autres systèmes d'information.

2. L'information scientifique et le système documentaire du LIMC

Le LIMC, vaste entreprise internationale regroupant plus d'une trentaine de pays, a été créé en 1972 pour étudier les représentations antiques de la mythologie et de la religion gréco-romaines et publier le résultat de ces recherches sous la forme d'un ouvrage en vingt volumes, le *Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae* (*LIMC*)[3], qui rassemble un riche catalogue d'objets et des études iconographiques.

L'équipe française a recherché, étudié et photographié, le plus souvent *in situ*, plusieurs milliers de ces objets antiques à figuration mythologique et

[1] L'équipe *LIMC – Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae* (http://www.mae.u-paris10.fr/arscan/-ArScAn-Lexicon-Iconographicum-.html), créée en 1972 et composante française de la Fondation internationale pour le LIMC (http://www.limcnet.org/), a intégré en 2005 le laboratoire Archéologie et Sciences de l'Antiquité (ArScAn – CNRS UMR7041).

[2] Le site web *LIMC-France* est diffusé au public depuis 2003 (http://www.limc-france.fr). À la fin de l'année 2010, l'URL devient http://www.limc-france.fr.

[3] Vol. I-VIII et *Indices*, Artemis-Verlag, 1981-1999. *LIMC Supplementum 2009*, Patmos Verlag, Artemis & Winckler, 2009.

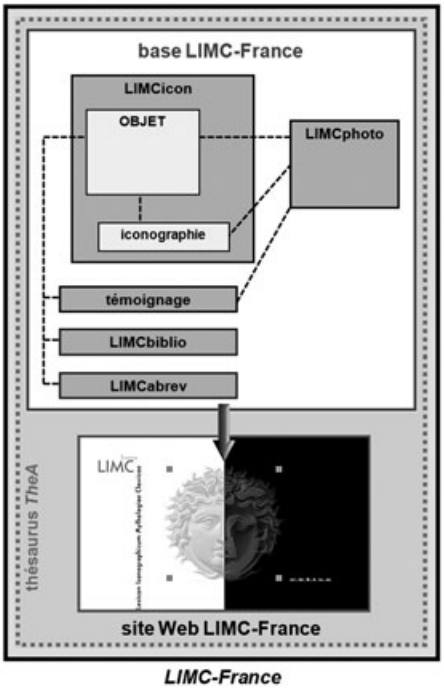


Fig. 1 – Le système d'information numérique *LIMC-France* et ses entités.

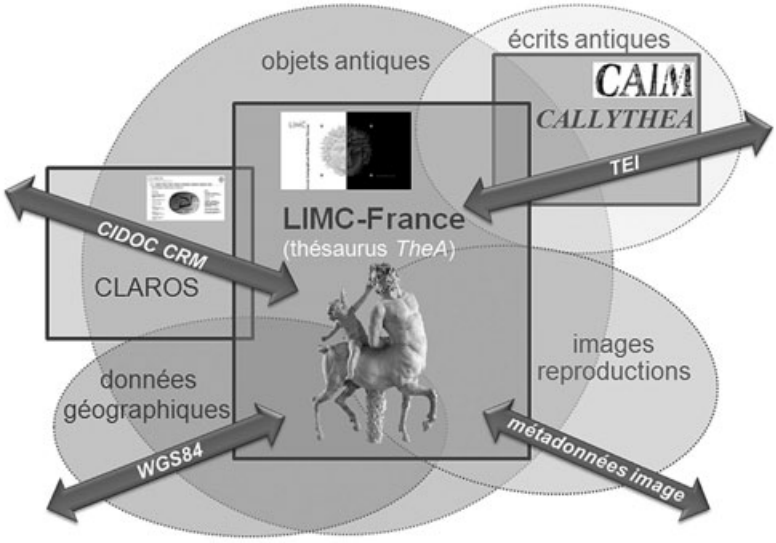


Fig. 2 – Domaines couverts par *LIMC-France* et ses partenaires.

religieuse, produits et conservés en France mais aussi dans de nombreux pays d'Europe, du bassin méditerranéen et du Proche-Orient. Ces documents, de tout type et de toute technique artistique (céramique, sculpture, glyptique, orfèvrerie, numismatique, textile, décor architectural, mosaïque, peinture, etc.), sont datés entre l'époque minoenne et la période paléochrétienne.

Pour gérer cette multitude d'études d'objets et de clichés, qui forme l'essentiel du fonds documentaire de l'équipe, cette dernière a créé dès 1981 une première base de données, *LIMCicon*, qui associe depuis 1998 les informations sur l'objet et sur son décor figuré aux photographies et autres reproductions du document traité.

LIMCicon est aujourd'hui au cœur du système d'information numérique *LIMC-France*[4] (Fig. 1), qui sert non seulement à la conservation et à la gestion des données mais aussi à leur diffusion au plus grand nombre. Il associe au site web *LIMC-France* une base de données relationnelle, du même nom, composée de l'entité sur l'objet antique et l'iconographie *LIMCicon*, de l'entité *LIMCbiblio*, rassemblant des notices bibliographiques sur la mythologie, de la banque d'images *LIMCphoto*, et de *Témoignage*, consacré aux documents d'archives, images ou écrits, et aux sources textuelles antiques qui informent sur le contexte d'usage ou de découverte, ou sur un état passé de l'objet, ou encore sur une œuvre perdue. L'ensemble repose sur le "Thésaurus sur l'Antiquité *TheA*", thésaurus multilingue élaboré depuis 1981 par le LIMC et disponible en neuf langues (allemand, anglais, arabe, espagnol, français, grec, hongrois, italien, russe).

Les études d'objets et d'iconographie réalisées par l'équipe française du LIMC sont ainsi diffusées au public soit grâce à la publication traditionnelle, l'ouvrage LIMC, soit grâce au site web *LIMC-France*[5], soit grâce aux deux, ces sources étant à la fois indépendantes et complémentaires.

Le corpus d'objets antiques *LIMCicon* est également accessible à partir du site d'édition électronique *Callythea* et du portail international sur l'antiquité classique CLAROS, mise en relation favorisée par la prise en compte de normes, de conventions ou de métadonnées de référence (Fig. 2).

3. L'adaptation de *LIMC-France* au CIDOC CRM et le portail CLAROS

Une adaptation de *LIMC-France* au modèle sémantique de référence CIDOC CRM a été réalisée dès 2008 pour faciliter l'"interopérabilité" de ses

[4] La base *LIMC-France* fonctionne avec MySQL, sur un système d'exploitation Debian (GNU/Linux).

[5] *LIMC-France*, constamment enrichi de nouvelles données, rassemble plus de seize mille études d'objets antiques et autant d'images numériques, ainsi qu'environ onze mille notices bibliographiques.

données avec celles des autres gisements d'informations, consacrés à l'antiquité gréco-romaine, interrogeables à partir du portail CLAROS[6].

Ce portail international a été élaboré conjointement par l'équipe française du LIMC, le Beazley Archive[7] et le LGPN[8] d'Oxford, le Deutsches Archäologisches Institut (DAI)[9] et CoDArchLab de l'Institut Archéologique de l'Université de Cologne[10]. Il propose au public des pages d'information thématiques sur l'antiquité classique et des outils innovants, en particulier un moteur de recherche permettant d'interroger simultanément les données produites et diffusées sur les sites web des différents partenaires, par des requêtes posées soit sur les données écrites, soit à partir d'une carte géographique interactive, soit directement sur les images, grâce à une «recherche d'images par le contenu[11]».

Les bases de données des partenaires actuels s'apparentent presque toutes à des corpus de collections d'objets antiques, réunissant des informations écrites et des images numériques, gérés par des systèmes de gestion de base de données interrogeables sur le web, tout comme *LIMC-France*. Si ces "musées virtuels" ont chacun des particularités, liées à des thématiques originales, telle que l'iconographie pour le LIMC, leur structure est néanmoins très semblable. Comme dans la plupart des bases de collection de musée, leur unité documentaire est l'objet culturel, en l'occurrence l'objet antique, par exemple un vase, une statue ou un élément de décor architectural[12].

Pour éviter aux participants, actuels et futurs, du portail CLAROS de modifier la structure de leur système d'information respectif et pour en respecter l'intégrité et la propriété, l'idée d'un entrepôt de données commun a été écartée au profit de celle d'une interrogation simultanée des informations mises en ligne sur les différents sites web. Les interfaces de CLAROS permettent

[6] www.clarosnet.org/index.htm.

[7] www.beazley.ox.ac.uk/index.htm.

[8] *Lexicon of Greek Personal Names*: www.lgpn.ox.ac.uk/.

[9] www.dainst.org/.

[10] *Cologne Digital Archaeology Lab* (http://codarchlab.uni-koeln.de/) développe *Arachne* et *iDAI*: www.arachne.uni-koeln.de/.

[11] L'équipe IBRG – *Image Bioinformatics Research Group* (Oxford) de CLAROS développe un moteur de «recherche d'images par le contenu/*Content Based Image Retrieval* (CBIR)» axé sur la similarité (silhouette et aspect de l'objet, par ex. la typologie des vases, la forme d'une statue). Des expériences similaires ont déjà été réalisées avec succès par le Centre Camille Jullian (CNRS – Aix-en-Provence) et le CEA LIST (Commissariat à l'énergie atomique) sur un corpus de bustes romains traité dans les bases *NEsp* et *RBR* (http://nesp.mmsh.univ-aix.fr/portail_bases.htm), consacrées à la sculpture antique. Cette recherche, qui porte sur la forme, la couleur et la texture, vise notamment à indexer les images et à produire de nouveaux types d'analyse (Terrer D., Moellic P.-A., *Sculptures antiques*, «Archéologia» 473, janvier 2010, 66-71).

[12] Le LGPN rassemble des noms de personnes de l'antiquité et non des objets.

cette requête et affichent des lots de réponses. Chaque réponse, qui correspond à un objet étudié et à laquelle est associé le label de son producteur, redirige l'internaute, par lien hypermédia, vers l'étude complète de l'objet diffusée sur le site web d'origine.

Ce système d'interrogation a été élaboré, pour les données écrites, autour du CIDOC CRM, norme fournissant un modèle sémantique pour une ontologie de l'information relative au patrimoine culturel[13].

Les champs communs aux différentes bases et pertinents pour la requête ont été repérés dans chaque système d'information, ainsi que les concepts importants, qu'ils soient ou non pris en compte par chaque partenaire. Des équivalences ont été établies entre ces notions et celles définies dans le CIDOC CRM.

L'interrogation porte donc sur les métadonnées et les données correspondant au CIDOC CRM, et les données sont restituées dans les pages de réponse selon les notions définies par cette norme. Chaque enregistrement de chaque partenaire est également accompagné des métadonnées recommandées par le Dublin Core. Cette approche est l'un des éléments qui permet aux données des participants de CLAROS de s'insérer dans le web sémantique[14].

Le CIDOC CRM définit des "classes" et des "propriétés", concernant le traitement de l'information sur le patrimoine culturel, qui s'articulent évidemment autour de la notion d'objet[15], mais aussi celle d'événement, chaque étape de la vie d'un objet culturel pouvant ainsi être associée par exemple à des notions de temporalité. Les classes sont des concepts, par exemple un lieu géographique, tandis que les propriétés sont des interactions possibles entre les classes. L'ensemble formalise les différentes actions identifiées dans l'évolution d'un objet culturel et sa gestion, par exemple "modifier un objet", "découvrir un objet sur un lieu donné", "… à une date donnée".

Dans *LIMCicon*, les données sur l'objet, par exemple une urne romaine en marbre conservée au Musée Calvet d'Avignon, inventaire F 107 (Fig. 3)[16], sont réparties en informations portant sur:

– l'objet lui-même: type, matériau, dimensions, inscriptions, lieu de découverte…

[13] CIDOC Conceptual Reference Model (www.cidoc-crm.org/) est une norme internationale depuis 2006: ISO 21127:2006. Le consortium propose aussi des didacticiels et des schémas d'implémentation.

[14] Les données de CLAROS sont encodées en RDF/XML.

[15] L'objet peut être un «objet créé par l'homme» (CIDOC CRM: *E24 Physical Man-Made Thing*) mais aussi, plus largement, une idée. Les classes de même nature sont organisées de façon hiérarchique.

[16] Bibliographie: Gascou J., «MEFRA», 100, 1988, 227-231 n° 21; Gascou J., Guyon J., in Cavalier O. (dir.), *La collection d'inscriptions gallo-grecques et latines du Musée Calvet,* 2005, 272-273 n° 229, pl. 229a-c, pl. coul.

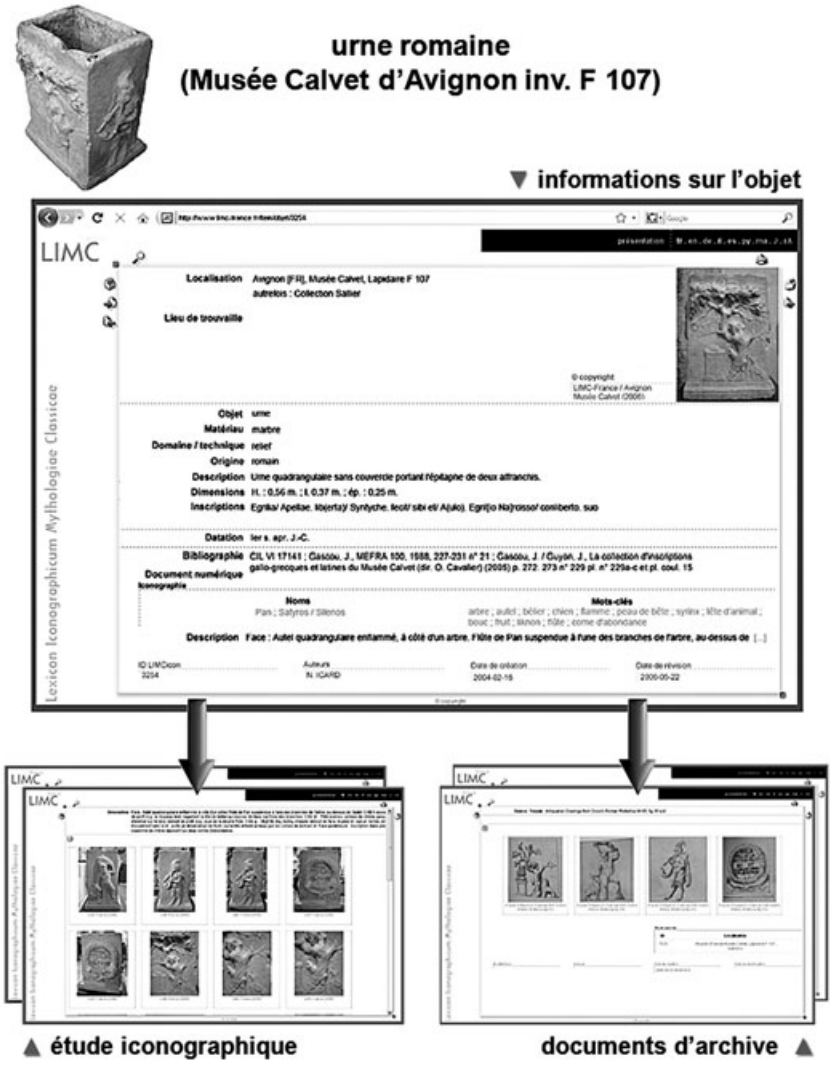


Fig. 3 – Écrans *LIMC-France* consacrés à une urne romaine du Musée Calvet d'Avignon (inv. F 107).

– son ornementation: description iconographique, indexation des scènes…
– son interprétation: iconographie, date de création, origine et attribution à un atelier…
– sa conservation: localisations passée et actuelle, inventaire, état…

– sa documentation: publications traditionnelle et électronique, références au *LIMC*, documents d'archive…

Parmi les notions qui font l'objet d'une équivalence entre le modèle CLAROS et le CIDOC CRM, on peut citer le matériau (CIDOC CRM: *E57 Material*[17]), les dimensions (*E54 Dimension*), l'état (*E3 Condition State*), les localisations actuelle et passée, lieu de découverte compris (*P53 has former or current location/is former or current location of*), les inscriptions (*E34 Inscription*) et les représentations portées par l'objet, la date de création de l'objet, la documentation et les publications consacrées à l'objet ou une page web associée[18] ainsi que les reproductions iconiques[19], ou encore les droits attachés au document (*E30 Right*). Les acteurs de l'information peuvent également être précisés, par exemple le nom du spécialiste ayant proposé l'attribution à un artiste[20].

Selon les besoins, le CIDOC CRM peut-être utilisé partiellement ou, au contraire, être associé à de nouvelles rubriques. Pour le modèle CLAROS, des notions propres à la gestion des objets d'une collection, telles que le prêt pour une exposition, n'ont pas été retenues. En revanche, d'autres, comme le type de l'objet ou la technique artistique ont été ajoutés grâce à des combinaisons de classes et de propriétés permettant de traiter un thésaurus (*E55 Type*).

La prise en compte du CIDOC CRM par le portail CLAROS permet non seulement l'interrogation simultanée par l'internaute de plusieurs grands gisements d'information mais facilite aussi l'intégration de nouveaux partenaires, ceux-ci n'ayant qu'à établir les équivalences entre leurs données et la sélection de notions normalisées qui compose le modèle CLAROS. Le recours à ces métadonnées ouvre également la voie vers de nouveaux échanges avec d'autres initiatives respectant les principes de cette norme, par exemple une base archéologique consacrée à une fouille dans laquelle la structure des données sur les objets retrouvés ou les lieux serait compatible avec le CIDOC CRM.

4. Les données géographiques

Le modèle CLAROS accorde une place importante aux données géographiques, qui sont traitées dans le CIDOC CRM autour de la classe *E53 Place* (Fig. 4), notion à laquelle est associée celle de coordonnées géographiques

[17] Le code des «classes» du CIDOC CRM commence par *E*, celui des «propriétés» par *P*.

[18] <crm:*P67I.is_referred_to_by*> <crm:*E31.Document*>.
<crm: *P70I.is_documented_in* > <crm:*E31.Document*>.

[19] <crm:*P138I.has_representation*> <crm:*E38.Image*>.

[20] <crm:*P14.carried_out_by*> <crm:*E39.Actor*>.

```
<crm:E53.Place>
  <crm:P87.is_identified_by>
    <crm:E48.Place_Name>
      <rdf:value>VULCI</rdf:value>
    </crm:E48.Place_Name>
  </crm:P87.is_identified_by>
  <crm:P89.falls_within>
    <crm:E53.Place>
      <crm:P87.is_identified_by>
        <crm:E48.Place_Name>
          <rdf:value>ETRURIA</rdf:value>
        </crm:E48.Place_Name>
      </crm:P87.is_identified_by>
    </crm:E53.Place>
  </crm:P89.falls_within>
</crm:E53.Place>
```

Fig. 4 – Extrait des données encodées de CLAROS: le lieu *Vulci*, en Étrurie.

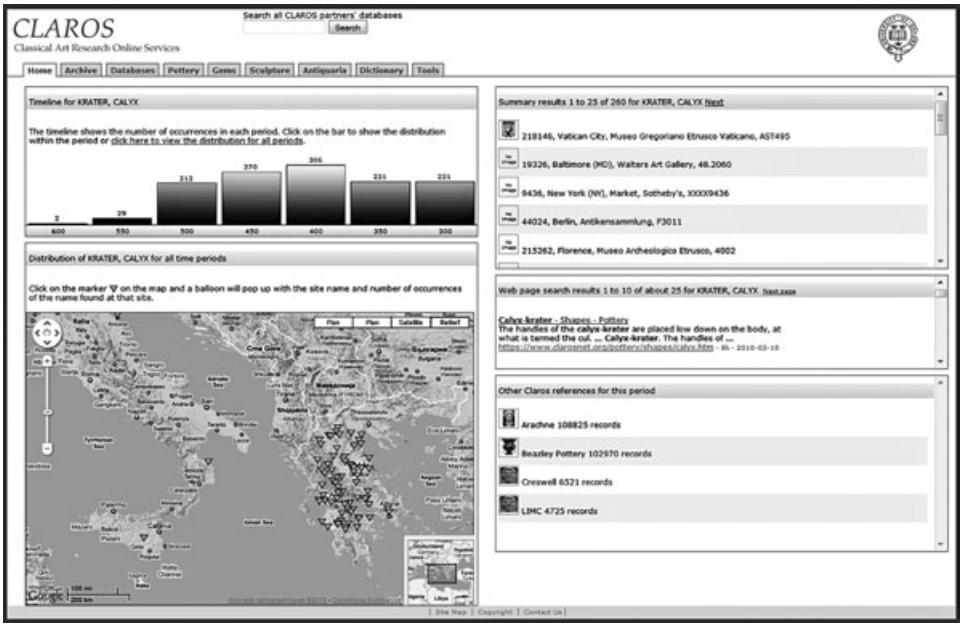


Fig. 5 – Prototype de l'écran CLAROS avec liste des réponses, curseur chronologique, statistiques, carte interactive et liens vers les sites des partenaires.

(*E47 Spatial Coordinates*). Ces dernières sont notamment utilisées pour la recherche et l'affichage des données sur une carte interactive, les réponses pouvant être modulées grâce à un curseur chronologique et être accompagnées de statistiques (Fig. 5). L'écran pourrait ainsi présenter les cratères à figures rouges, datés entre 450 et 400 av. J.-C., sur lesquels Apollon est figuré.

Dans la base *LIMC-France*, les informations géographiques concernent principalement la zone de création de l'objet, le lieu de sa découverte et celui de sa conservation (localisations passées ou actuelle). Ces notions sont associées à l'entité "LIEU" du thésaurus du LIMC, *TheA*, qui rassemble toutes les données géographiques citées dans *LIMC-France*. Celles-ci sont organisées hiérarchiquement du lieu le plus grand (pays) au plus petit (bâtiment ou même pièce d'un bâtiment)[21], qu'il soit actuel ou passé. Le nom de lieu est associé d'une part à ses différentes variantes (versions du passé, graphies diverses)[22], d'autre part à ses coordonnées géographiques (longitude et latitude en WGS84)[23].

Les informations géographiques telles que le lieu de découverte font partie des points de convergence les plus évidents et les plus porteurs entre les bases de données archéologiques. Il paraît donc essentiel de normaliser ces données, par exemple en intégrant les coordonnées selon des principes communs ou encore en les reliant à des thésaurus normalisés, comme *TheA*[24], ou à des systèmes d'information géographique.

L'Internet pourrait ainsi restituer, *via* des portails thématiques et des gisements d'information, des lots d'objets archéologiques provenant de la même zone, que celle-ci soit une région, une fouille ou même une tombe.

5. LIMC-France, Callythea et la TEI

Des extraits de textes antiques sont saisis dans l'entité *Témoignage* de *LIMC-France*. Ils évoquent ou décrivent des œuvres figurées antiques aujourd'hui détruites telles qu'une statue ou une peinture[25]. Les champs qui

[21] Ex: Grèce > Attique > Athènes > Acropole > Parthénon.

[22] Ex: la ville algérienne Annaba, l'antique *Hippo Regius* est également connue sous les noms du passé Bône et Hippone.

[23] La normalisation des données géographiques dans *TheA* est le fruit d'une collaboration entre Anne-Violaine Szabados et Laurent Aubry (CNRS – ArScAn). Ce-dernier a également réalisé l'importation dans ce thésaurus des coordonnées géographiques de plus de sept cents communes françaises (sources IGN).

[24] *TheA*, qui rassemble plus de sept mille lieux, prend également en compte de grands corpus de référence pour lesquels des identifiants numériques sont disponibles, comme le *Getty Thesaurus of Geographic Names*® (www.getty.edu/research/conducting_research/vocabularies/tgn/) et *The Barrington Atlas of the Greek and Roman World*, Princeton (N.J.)-Oxford, Princeton University Press, 2000.

[25] Ex: une statue de Zeus vue au Pirée et évoquée par Pausanias dans la 2e moitié du IIe s. apr. J.-C. (Paus. 1, 1, 3).

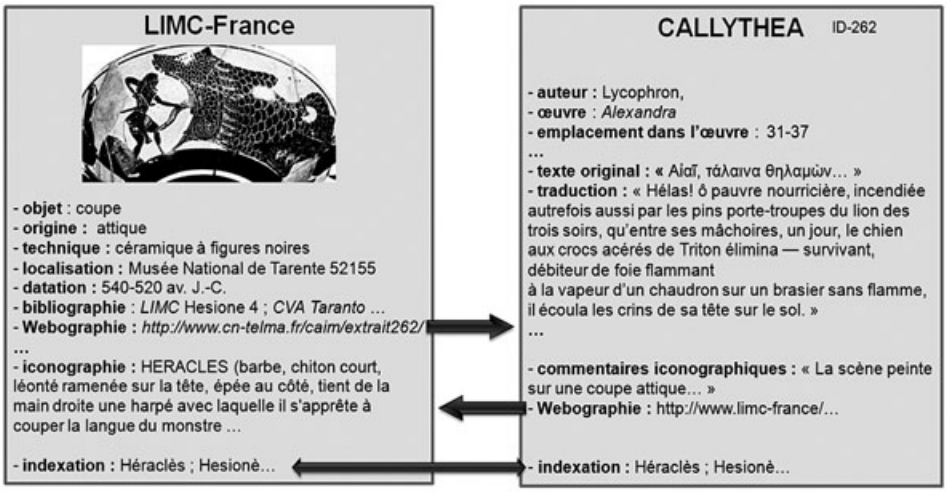


Fig. 6 – Héraclès et le monstre marin: mise en relation entre *LIMC-France* et *Callythea*.

reçoivent la version originale du texte, sa traduction, son commentaire, ainsi que les références concernant l'auteur et le titre, ont été mis en correspondance avec la TEI[26].

À la fin de l'année 2008, l'équipe française du LIMC a été chargée de définir et de créer les outils documentaires nécessaires au programme ANR *CAIM* (*Culture Antiquaire et Invention de la Modernité*)[27], dont un axe de recherche est consacré à la mythologie dans la poésie hellénistique et à la confrontation de ces mythes avec leur représentation sur des objets antiques.

Une édition critique d'extraits de textes hellénistiques, certains rares ou récemment redécouverts, a ainsi été mise en ligne. Ce corpus électronique, *Callythea*[28], élaboré au début de l'année 2010 grâce à un partenariat avec le Centre de ressources numériques Telma[29], propose ces textes dans leur langue d'origine[30], avec une traduction souvent inédite, leurs références, des commentaires, une indexation[31] ainsi qu'une partie consacrée aux représentations

[26] TEI – *Text Encoding Initiative* (www.tei-c.org/).

[27] CAIM (www.anr-caim.fr/) réunit les équipes LIMC et ESPRI de l'UMR 7041 ArScAn et l'antenne de l'UMS 5189 HiSoMA de l'ENS Lyon.

[28] www.cn-telma.fr/callythea/.

[29] Telma – Traitement électronique des manuscrits et des archives (www.cn-telma.fr/) est soutenu par le Tge ADONIS (www.tge-adonis.fr/) et porté par l'Institut de recherche et d'histoire des textes (CNRS – IRHT) et par l'École nationale des chartes (ENC).

[30] Le grec "polytonique" est saisi et restitué grâce à l'utilisation d'Unicode Standard™.

irht **CALLYTHEA : *formulaire de saisie TEI***

Extrait de texte | Gestion des listes | Utilisateurs | Déconnexion

(208/391)

ID

Identifiant automatique 262

Caim

-Pour ajouter un nouvel auteur, sélectionner 'Autre' dans la liste ci-dessous

Auteur

Lycophron

-Pour ajouter une nouvelle oeuvre, sélectionner 'Autre' dans la liste ci-dessous

Oeuvre 1

Alexandra

Emplacement dans l'oeuvre 31-37

Texte (version originale)

Αἰαῖ, τάλαινα θηλαμὼν κεκαυμένη, £
καὶ πρόσθε μὲν πεύκτησιν οὐλαμηφόροις £
τριεσπέρου λέοντος, ὃν ποτε γνάθοις £
Τρίτωνος ἡμάλαψε κάρχαρος κύων. £

Mettre la selection en italique

Traduction

Hélas! ô pauvre nourricière, incendiée autrefois aussi par les pins porte-troupes du lion des trois soirs, qu'entre ses mâchoires, un jour, le chien aux crocs acérés de Triton élimina — survivant, débiteur de foie flammant

Mettre la selection en italique

-Pour ajouter une nouvelle source de traduction, sélectionner 'Autre' dans la liste ci-dessous

Source de la traduction

traduction empruntée à l'édition Chauvin/Cusset

Paraphrase et/ou commentaire sur le texte

L'histoire d'Hésionè se présente comme un leitmotiv parcourant l'Alexandra du début à la fin. L'importance exceptionnelle que Lycophron confère à Hésionè s'explique probablement par la volonté de mettre en valeur la première ruine de Troie, et donc de mettre en

Mettre la selection en italique

-Pour ajouter un personnage, sélectionner 'Autre' dans la liste ci-dessous

Personnage 1

Héraclès

Personnage 2 Supprimer ce personnage

Hésionè

Redacteur Evelyne PRIOUX

Iconographie

Bloc Icono 1

Commentaire

De rares peintures de vases pourraient évoquer le moment où Héraclès pénètre à l'intérieur du monstre pour le combattre. Un cratère étrusque du Musée Archéologique National de l'Ombrie, à Pérouse, du troisième quart du IVe s. av. J.-C., montre le héros, un pied déjà posé sur la mâchoire inférieure du kétos, tirant son épée du fourreau, geste qui évoque le "débiteur de foie" (cf. LIMC, s.v.

Image objet (URL) http://www.mae.u-paris10.fr/limc-france/LIMC-objet.php?code_objet=FR/NI/IT00002

Redacteur Noëlle ICARD

Bloc Icono 2 Supprimer ce bloc

Commentaire

La scène peinte sur une coupe attique du Musée National de Tarente 52155, de 540-520 av. J.-C. (cf. LIMC, s.v. "Hesione" n° 4) pourrait elle aussi être rapprochée de cette version de la légende : Héraclès coiffé de la léonté, une harpé dans la main, s'apprête à couper la langue d'un énorme poisson qui semble sur le point de l'engloutir.

Image objet (URL) http://www.mae.u-paris10.fr/limc-france/LIMC-objet.php?code_objet=FR/NI/IT00001

Redacteur Noëlle ICARD

Ajouter un bloc

Fig. 7 – Extrait de l'interface de saisie des données *Callythea* (ID 262).

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<TEI xmlns="http://www.tei-c.org/ns/1.0">
 <teiHeader>
  <fileDesc>
   <titleStmt>
    <title>Base CAIM : fiche_262</title>
    <respStmt>
     <resp/>
     <persName/>
    </respStmt>
   </titleStmt>
   <editionStmt n="1">
    <edition></edition>
   </editionStmt>
   <publicationStmt>
    <publication>Evelyne PRIOUX</publication>
    <p/>
   </publicationStmt>
   <sourceDesc>
    <msDesc>
     <msIdentifier>
      <idno/>
     </msIdentifier>
     <msContents>
      <msItem>
       <docAuthor n="1">
        <persName>Lycophron</persName>
       </docAuthor>
       <docTitle n="1">
        <titlePart>Alexandra</titlePart>
       </docTitle>
       <locus>31-37</locus>
...
      </msItem>
     </msContents>
     <additional/>
    </msDesc>
   </sourceDesc>
  </fileDesc>
 </teiHeader>
<text>
  <body>
   <div ana="texte">
    <p>Αἰαῖ, τάλαινα θηλαμὼν κεκαυμένη, <lb/>
καὶ πρόσθε μὲν πεύκτησιν οὐλαμηφόροις <lb/>
τριεσπέρου λέοντος, ὃν ποτε γνάθοις <lb/>
Τρίτωνος ἡμάλαψε κάρχαρος κύων. <lb/>
Ἔμπνους δὲ δαιτρὸς ἡπάτων φλοιδούμενος <lb/>
τινθῷ λέβητος ἀφλόγοις ἐπ'ἐσχάραις <lb/>
σμήριγγας ἐστάλαξε κωδείας πέδῳ, <lb/></p>
   </div>
   <div ana="traduction" n="1">
    <note>traduction empruntée à l'édition Chauvin/Cusset</note>
    <p>Hélas! ô pauvre nourricière, incendiée autrefois aussi par les pins
porte-troupes du lion des trois soirs, qu'entre ses mâchoires, un jour, le chien
aux crocs acérés de Triton élimina — survivant, débiteur de foie flammant
à la vapeur d'un chaudron sur un brasier sans flamme,
il écoula les crins de sa tête sur le sol. </p>
...
   </div>
  </body>
 </text>
</TEI>
```

Fig. 8 – Extrait du fichier XML TEI de l'ID 262 de *Callythea*.

figurées des mythes, parfois inhabituels, évoqués par les auteurs antiques. Ces études iconographiques sont directement reliées, grâce à des liens hypertextes, aux objets figurés de *LIMC-France* (Fig. 6).

L'expertise et le savoir-faire de l'équipe de Telma a permis de structurer les données de *Callythea*, dès sa création, selon les principes de la norme pour l'édition électronique TEI[32] et de proposer des formulaires de saisie (Fig. 7) qui génèrent directement les balises XML-TEI (Fig. 8) sans que les contributeurs soient obligés d'apprendre ou de manipuler ces balises.

La TEI peut paraître éloignée de l'archéologie mais si son emploi est justifié pour *Callythea*, édition électronique, il l'est tout autant pour certains de ces extraits de textes qui, inscrits sur des papyrus, sont aussi, de fait, des objets archéologiques. Cette norme est utilisée dans d'autres sources numériques sur l'archéologie et le monde antique, comme le LGPN, dont les données sont encodées en TEI. Plusieurs bases consacrées à l'épigraphie, par exemple celle sur les inscriptions d'Aphrodisias[33], utilisent quant à elles *EpiDoc*, qui fournit un ensemble de recommandations et de schémas pour l'informatisation en TEI XML des documents épigraphiques.

6. Les métadonnées des images

Les images numériques qui illustrent *LIMCicon* proviennent du fonds documentaire, de la photothèque de l'équipe. Si elles ne sont accompagnées sur le site web *LIMC-France* que par leur notice de copyright, bien d'autres informations leurs sont associées, par exemple le sujet reproduit, l'auteur et la date de la prise de vue, les conditions d'utilisation, etc.

Ces informations sont saisies depuis 1998 dans l'entité *LIMCphoto* et, partiellement, sous forme de métadonnées dans le "fichier image" lui-même. Une campagne de mise à jour de ces métadonnées, privilégiant celles des normes IPTC et XMP, a été réalisée en 2009 pour les vingt mille images de la photothèque numérique de l'équipe française du LIMC.

Grâce à leurs métadonnées, en particulier celles sur le sujet reproduit, sur les auteurs et les propriétaires de l'image, sur les conditions d'utilisation et la notice de copyright, les images numériques de l'équipe LIMC peuvent

[31] L'indexation, qui porte entre autres sur les thèmes, les personnages, les lieux, les ethnies et les objets, utilise en partie le thésaurus *TheA*. Elle facilite l'accès à des textes comme *l'Alexandra* de Lycophron dans lequel des métaphores remplacent le nom des personnages ou des lieux.

[32] *Callythea*, encodé en XML – TEI p5, fonctionne sur la plateforme d'édition électronique en XML de Telma (système d'exploitation *Linux*).

[33] Le site (http://insaph.kcl.ac.uk/index.html) est réalisé par le King's College de Londres.

d'une part faire l'objet de requêtes et de tris, d'autre part être envoyées à des partenaires, dans le cadre d'échanges, tout en conservant en permanence des informations légales essentielles.

7. Conclusion

L'information scientifique diffusée en ligne augmente en même temps que les outils informatiques ou documentaires deviennent plus accessibles, que des programmes à l'accès jusqu'alors réservés à leurs propres contributeurs sont mis sur le web. Les producteurs et les gisements d'informations sont de plus en plus nombreux, les projets ont des approches différentes, par conséquent la variété des systèmes informatiques semble s'accroître. Face à ce phénomène, il est probablement réaliste de penser que, dans les années qui viennent, l'interopérabilité des données passera moins par l'adoption de logiciels "communs" pouvant traiter toutes les thématiques d'un domaine, que par le recours à des normes ou à des modèles internationaux et reconnus, portant sur la structuration de l'information ou sur les métadonnées. Grâce à l'application de ce principe, les réalisations de l'équipe française du LIMC et le programme CLAROS s'insèrent aujourd'hui dans le web sémantique, ou le web de données, et bénéficient non seulement d'une meilleure visibilité mais aussi d'un enrichissement mutuel.

Si le paysage de l'information scientifique évolue vers une multitude de sources, un maillage de l'information pourrait se mettre en place grâce à des passerelles telles que les portails thématiques et à l'usage de conventions communes à des domaines connexes.

L'enjeu des normes ne porte toutefois pas uniquement sur l'interopérabilité des données, mais aussi sur leur pérennité. En effet, le devenir des données scientifiques est à prendre en compte au plus tôt dans le processus de création et de gestion de l'information et, là encore, la correspondance entre une information – une notion – et une norme permet d'envisager une conservation pérenne des données au sein d'entrepôts thématiques.

Anne-Violaine Szabados
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Équipe LIMC

BIBLIOGRAPHIE

Louis-Hommani L. 2006, *La bible électronique de l'iconographie antique*, «Journal du CNRS», 193, 33.

Szabados A.-V., Linant de Bellefonds P. 2004, *Site web et bases de données du LIMC*, in N. Lubtchansky (ed.), *Actes de la journée d'études organisée le 10.11.2003 à l'Université François-Rabelais de Tours* (http://www.mae.u-paris10.fr/pagicar/limc2.html) [consulté le 21 Avril 2011].

Szabados A.-V., Linant de Bellefonds P. 2005, *Le site LIMC-France et ses bases de données: iconographie de la mythologie antique*, «Cahiers des thèmes transversaux ArScAn VI», 2004/2005, 92-105 (http://www.mae.u-paris10.fr/Cahiers/FMPro?-db=cahiers.fp5&-format=detailfasc.htm&-lay=cahiers&Theme=Th%e8me%207*&-recid=33171&-find) [consulté le 21 Avril 2011].

Szabados A.-V., Linant de Bellefonds P. 2006, *L'iconographie de la mythologie antique sur le web: le site LIMC-France et ses bases de données*, «Archeologia e Calcolatori», 17, 25-43 (http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF17/02_Linant.pdf) [consulté le 21 Avril 2011].

Szabados A.-V., Linant de Bellefonds P. 2006, *Les nouvelles réalisations du LIMC: bases de données et volume de suppléments*, «Revue Archéologique», 42, 2, 295-298 (http://www.cairn.info/revue-archeologique-2006-2-page-295.htm) [consulté le 21 Avril 2011].

ABSTRACT

The tools developed by the LIMC (databases and web site LIMC-France) give access to Graeco-Roman objects decorated with mythological or religious representations. Created in 1981, this system has constantly evolved in order to fit the needs of new fields of research, standards and practices of the Internet. Thanks to the use of standards (Dublin Core, TEI, CIDOC-CRM, WGS 84, XMP/IPTC) the databases of the LIMC are combined with other archaeological databases on the international web portal CLAROS whose Semantic Web approach and the innovative tools optimize the use of the data by the internaut.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 27-38

SYSTÈMES D'INFORMATION ARCHÉOLOGIQUE: L'EXEMPLE DE ARCH'IS

1. Introduction

Voici plus de quarante ans que l'informatique à fait son apparition dans le petit monde de l'archéologie, principalement, à l'époque, dans cadre de l'archéologie extraterritoriale (Ginouvès 1971). Destiné à l'origine à l'analyse en laboratoire, l'usage de l'ordinateur s'est peu à peu généralisé et surtout diversifié en élargissant le champ d'application à la numérisation des données de fouilles. La conception du logiciel Syslat par Michel Py (Py *et al.* 1991) à la fin des années 1980 illustre cette évolution. Simultanément, les Systèmes d'Information Géographique faisaient leur apparition suscitant un vif intérêt chez les archéologues. La notion de Système d'Information Archéologique s'imposait d'elle même (colloque Informatique et archéologie de Saint-Germain-en-Laye 1991, Daune-Le Brun 1991). Malgré l'engouement général, les solutions logicielles et matérielles[1] ont tardé à voir le jour. Cette lenteur a conduit à entretenir la disparité qualitative des données de fouilles, notamment en raison de l'absence de normalisation des pratiques et de la sémantique, corolaire inéluctable de l'enregistrement informatisé. Il en découle fréquemment des problèmes de cohérence entre les différentes sources d'informations dont la résolution constitue un travail fastidieux et redondant. Ce problème devient flagrant lorsqu'il s'agit de compiler des données dans le cadre d'une recherche thématique (thèse, PCR, ANR, etc.).

À cela, il convient d'ajouter les difficultés de diffusion de l'information au sein d'une même équipe d'étude. En effet, les solutions utilisées sont la plupart du temps locales et tributaires de la compatibilité entre les différentes plateformes et versions des logiciels en usage. Ainsi, la garantie que chaque chercheur dispose simultanément des mêmes données est, à quelques exceptions près, directement liée au degré d'achèvement du travail d'enregistrement et d'harmonisation. Quant au travail cartographique, il nécessite l'intervention quasi systématique d'un géomaticien, alors que nombre de tâches ne requièrent aucune technicité: elles ne sont que la projection sur un plan des résultats d'une requête effectuée sur une base de données. Il en découle que la capacité d'étude permise par les nouvelles technologies de l'information s'en retrouve largement diminuée par l'absence de simplicité, de travail en temps réel et par les habitudes individuelles.

D'où le projet Arch'IS[2].

[1] Il faudra attendre le début des années 1990 pour voir lentement se généraliser l'usage de l'ordinateur en archéologie préventive.

[2] Conception et test: Nadine Mahé (INRAP), Sébastien Poignant (INRAP); développement: Sébastien Poignant.

2. Le concept

Au fil des discussions entre archéologues de tous horizons, il est apparu que "l'habitude de" ou encore le "nous on appelle cela comme ça" avaient un caractère décisif dans l'adoption d'un système d'enregistrement et d'exploitation des données. Ainsi, entre adeptes de Macintosh, de Linux, de Windows et au-delà de FileMaker, d'Acess ou autre, l'entente était difficile d'autant que les évolutions rapides des systèmes d'exploitation et des logiciels déstabilisaient les utilisateurs. Les "j'ai une version ancienne, je ne peux pas lire ton fichier…" ou "comment je récupère mes données dans Excel…" sont également des griefs fréquents au sein d'une communauté peu à l'aise avec le monde numérique.

L'objectif du projet Arch'IS était de supprimer, ou pour le moins minimiser ces difficultés. Dans le principe, l'idée est de séparer ce que voit l'utilisateur de ce qui existe réellement, c'est-à-dire distinguer le contenu (les données) du contenant (les interfaces). Dans cette optique, les technologies du Web 2 (Web dynamique) s'avèrent parfaitement adaptées, grâce à l'utilisation de programmes préprocesseurs capables de formater la présentation et l'information, non seulement entre le Serveur Général de Base de Données et l'utilisateur, mais également avec les différentes applications employées parallèlement.

Pour permettre le travail "en temps réel", l'emploi d'un serveur distant s'impose naturellement. L'application devant être utilisable depuis le terrain jusqu'au formatage du rapport et la production scientifique, il fallait tenir compte de contraintes externes. Les interventions archéologiques ne sont pas toujours menées dans des zones couvertes par un accès inter/intranet, ce qui impose une utilisation "hors connexion". C'est ainsi que le recours à un système AMP (Apache, MySQL, PHP) est une solution idéale grâce à son indépendance vis-à-vis des configurations matérielles. Ainsi, par le biais d'une interface de mise à jour, il est possible d'utiliser Arch'IS sur un ordinateur portable et de mettre à jour les données sur le serveur central *a posteriori*.

Dans l'optique de l'interopérabilité, les langages employés doivent être conforme aux standards du W3C, notamment ceux employant les syntaxes XML (XML, SVG, KML, VRML, X3D, SLA, IDML,…), mais également ceux permettant le transfert de données graphiques et attributaires avec les SIG (MIF/MID). Grâce à la mise en œuvre combinée des plusieurs langage de programmation et de balisage, Arch'IS peut non seulement importer des données issues d'applications tierces mais surtout exporter des données formatées (vers Word, Excel, Illustrator, Photoshop, ArcGIS, MapInfo, InDesign, Scribus, Acrobat, R, etc.).

3. Architecture générale

L'architecture générale est relativement simple, formée de 3 grands composants: le noyau, les interfaces d'entrée et celles de sortie (Figs. 1 et 2).

Le noyau rassemble un ensemble de scripts qui assurent la communication avec le SGBDD, la sécurité, le contrôle et le paramétrage des interfaces. Les interfaces d'entrée regroupent deux types de données que le noyau va utiliser afin de générer les pages html que voit l'utilisateur. Il s'agit des informations dites statiques, c'est-à-dire commune à tous les usagers et celles dites attributaires qui déterminent en fonction du contexte d'utilisation les règles de mise en forme et de contrôle des informations statiques. Enfin, les interfaces de sorties ont une constitution analogue aux précédentes, à la nuance près que le document produit peu aussi bien être une page html qu'un fichier téléchargeable à destination d'un logiciel spécifique.

Cette architecture offre une grande souplesse dans le fonctionnement de l'application, un même objet pouvant revêtir différentes formes selon sa situation. Ceci est rendu possible par l'emploi du langage de programmation PHP qui permet d'écrire des fichiers, temporaires ou définitifs, selon n'importe quelle règle syntaxique. Par exemple, un préprocesseur va écrire et ajuster la présentation d'un formulaire selon des règles de styles (CSS) définie par et pour un utilisateur particulier. L'interface utilisateur permet, selon un procédé identique, d'ajuster la terminologie affectant chaque champ (nom du champ, valeurs de la liste, obligation de réponse, etc.). De même, le lien entre les tables constituant la base de données est directement déterminé par l'utilisateur, ce qui permet de travailler autant à l'échelle de l'US, que de la structure, du fait, de l'UA, du site, d'un secteur, d'une région ou tout autre échelle ou notion. En effet, l'application offre la possibilité d'accueillir un nombre infini de références. Cette orientation utilisateur permet, entre autre, de privilégier la rapidité de réponse de la base de données en construisant l'imbrication des tables en fonction des besoins de l'utilisateur.

4. Sécurité des données

Comme toute application utilisant un système client-serveur, la sécurité des données et des processus est primordiale. Les contrôles s'opèrent à plusieurs niveaux sur le serveur (Fig. 2). Lorsqu'un utilisateur se connecte, l'intégrité des fichiers est vérifiée grâce à leurs empreintes numériques (MD5: Message Digest, fonction de hachage cryptographique). Une fois l'opération réussie, les droits d'accès sont déterminés par authentification, chaque personne n'ayant pas accès à toutes les données ni fonctionnalités. En cour d'utilisation, des mots de passe complémentaires peuvent être requis pour effectuer certaines opérations sensibles, principalement lors de l'utilisation directe du langage SQL. Chaque information transmise à la base de données est "formatée" de manière à éviter les injections SQL ou l'introduction de séquence de code indésirable. Enfin, un certain nombre d'opération de sauvegarde et de maintenance sur la base de données ont été automatisée afin de garantir l'intégrité et l'accès des données.

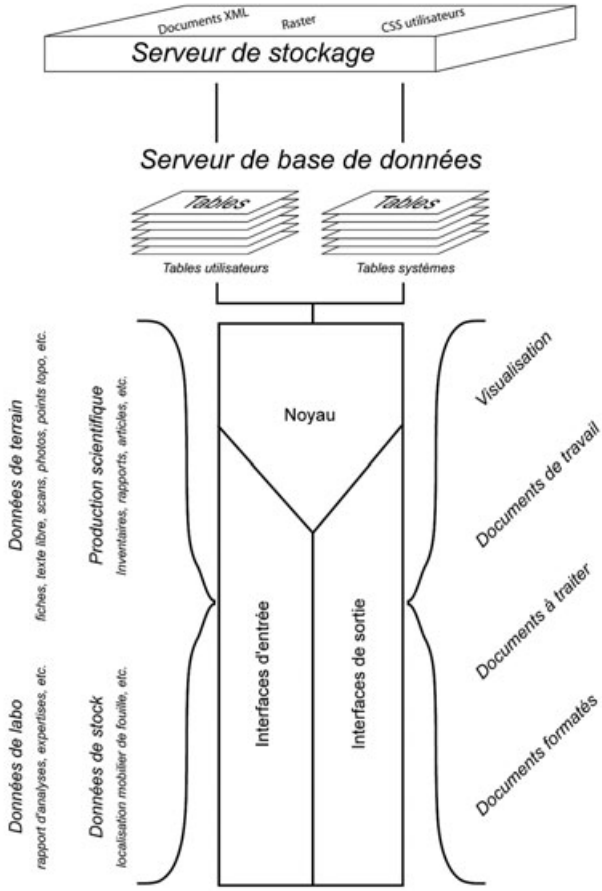


Fig. 1 – Architecture générale du SIA Arch'IS.

5. Acquisition et modification des données

L'insertion de données dans la base de données s'opère, dans la plupart des cas, par des formulaires. Chacun correspond à un type d'information: la structure, le mobilier, la documentation graphique, etc. Dans Arch'IS, on distingue deux types de formulaires: ceux contenant des champs classiques (texte, liste de valeur, case à cocher, etc.) et ceux constitués d'objets graphiques (Fig. 3). Pour les premiers, il s'agit de pages html classiques où les champs sont agencés selon les règles CSS propres à l'utilisateur et les listes de valeur

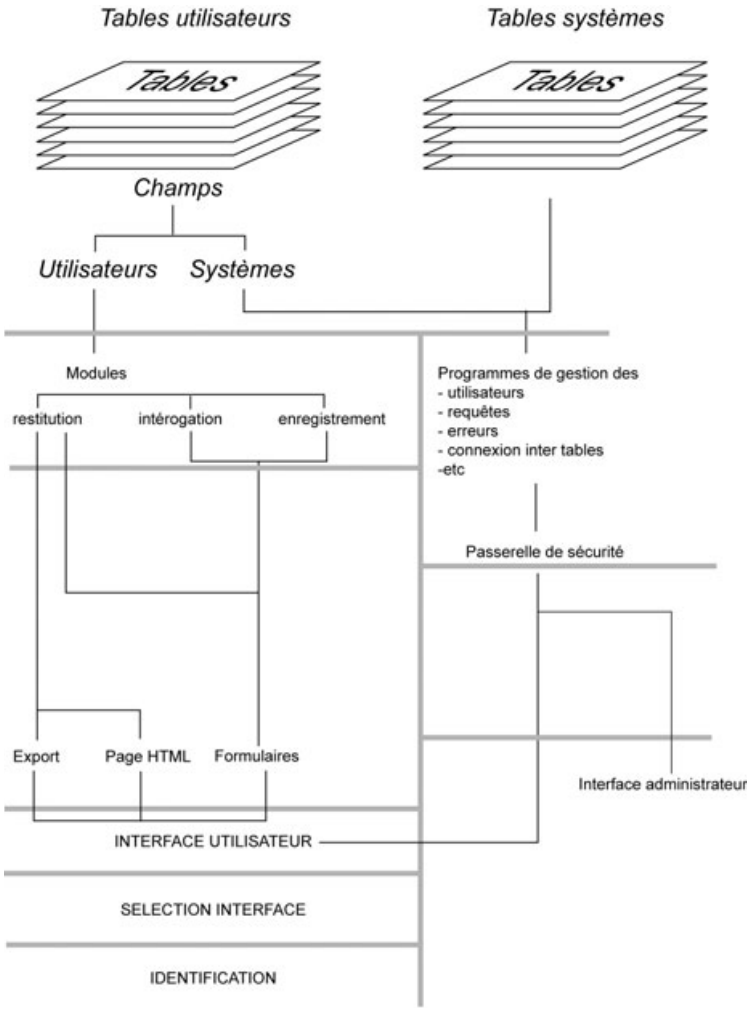


Fig. 2 – Détail de l'architecture générale du SIA Arch'IS.

générées en fonction des occurrences existantes dans la base. Pour les seconds, il est nécessaire de préciser leur nature. Dans certaines circonstances, la prise d'information est réalisée par le biais de schémas commentés. C'est par exemple le cas de certaines fiches anthropologiques sur lesquelles figure un éclaté du squelette humain. Le coloriage des différentes pièces osseuses reflète une information sur la présence et le degré de conservation. Afin d'introduire ces données dans la base, il est nécessaire de les retranscrire dans des champs texte,

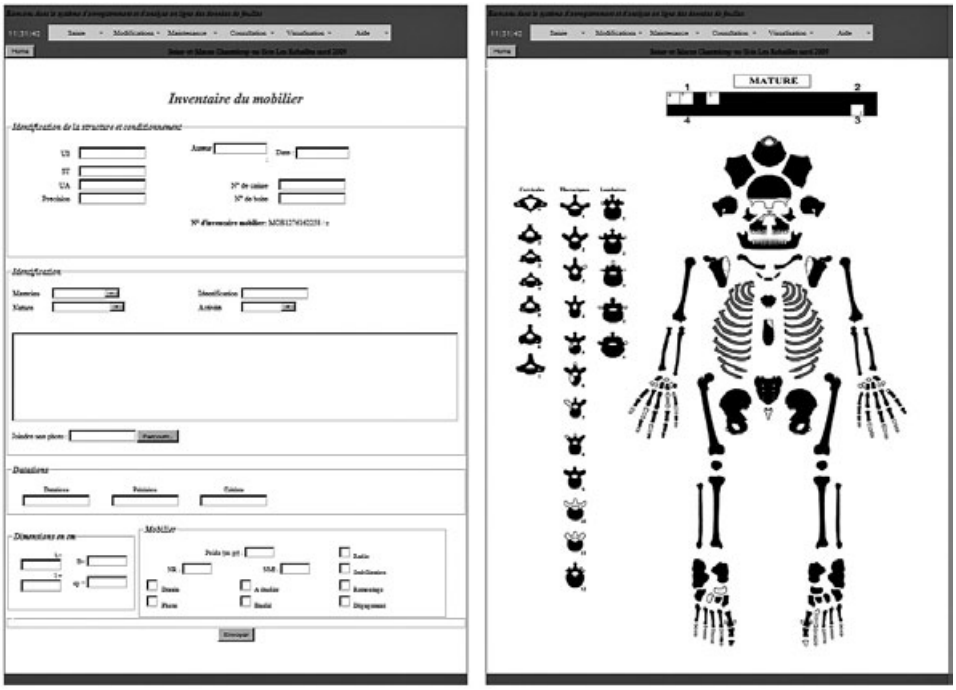


Fig. 3 – Formulaires de saisie ou de modification.

ce qui est parfaitement possible, mais fastidieux. La combinaison au sein d'un DOM (Document Object Model) d'objets graphiques au format SVG (XML décrivant les graphiques vectoriels) et de fonctions en javascript permet de rendre cette étape plus intuitive. En effet, le dessin d'une pièce osseuse peut être modifié par l'utilisateur et devient alors un conteneur d'information, similairement à champ classique. Tous ces formulaires servent également à la modification des enregistrements.

Il arrive parfois que les données à introduire dans la base existent déjà sous une forme numérique, généralement dans une autre base de données ou dans un tableur. Une fonction d'Arch'IS permet de rapatrier ces enregistrements, convertis au préalable au format CSV selon des normes préétablies (ordre des champs, dénomination des en-têtes). Une procédure similaire existe pour récupérer les données attributaires et graphiques provenant des SIG par le truchement du format ouvert de MapInfo, MIF/MID (MIF pour les formes et MID pour les attributs).

La saisie par plusieurs personnes engendre parfois de petites fautes ou divergences d'ordre orthographique ou sémantique. Dans le fonctionnement

d'une base de données, ces erreurs peuvent s'avérer décisives lors d'interrogation, principalement lors de recherches "plein texte". Une interface permet de résoudre ces problèmes grâce à des rapports croisés et des modifications "en chaine". Dans cette même interface, on accède à des utilitaires de vérification de la cohérence entre les différentes tables (recherche de référence invalides, etc.) et d'harmonisation des informations.

6. Exploitation des données

Comme de très nombreux SGBDD, sinon la plupart, la communication avec la base de données MySQL est assurée par un langage informatique spécifique, le SQL. Dans le but de faciliter l'interrogation, Arch'IS dispose de plusieurs interfaces permettant la construction de requête à des degrés de complexité différents. Lorsqu'il s'agit de recherches simples à l'intérieur d'une même table, les formulaires de saisie servent à effectuer la recherche, une dizaine de signes prédéfinis servant d'opérateurs logiques. Pour construire des requêtes plus élaborées, mettant en œuvre plusieurs tables ou impliquant des résultats calculés, un assistant gère la partie syntaxe du langage et permet la jointure de table et l'imbrication de requête sur deux niveaux (Fig. 4). Lors de recherches très complexes, un formulaire permet de soumettre un code SQL écrit indépendamment.

Afin de compléter et faciliter l'accès aux données, des procédures prédéfinies et paramétrables sont disponibles. Elles permettent l'extraction d'un résultat par filtrage et traitement de l'information. Les filtres s'appliquent sur les champs permettant de restreindre les résultats aux seules valeurs désirées. Dans certaines circonstances, le résultat attendu est un calcul comme par exemple une somme de valeur, nombre d'occurrence, etc.

7. Rendu des données et des résultats

Dans Arch'IS, plusieurs mode de rendu existent. Les données peuvent être produites sous la forme de fiches (page html) structurées selon les règles CSS utilisateur. Cette présentation peut également se faire en formulaire ou en tableau (Fig. 5). Dans le cas des résultats de requêtes complexe, seul le mode tableau est disponible, les autres formes n'ayant *a priori* pas de pertinence. Lorsque les données recueillies sont des documents graphiques, la présentation se fait en planches contacts (tableau avec cellules fusionnées).

Parallèlement au rendu texte, Arch'IS dispose d'un processeur graphique qui permet la présentation des résultats sous la forme de cartes ou plans vectoriels géoréférencés (format SVG). La construction de ce document se fait grâce aux données topographiques (X, Y, Z) enregistrées dans la base. Chaque point sert de référence pour la construction automatique du dessin. Ainsi, l'insertion

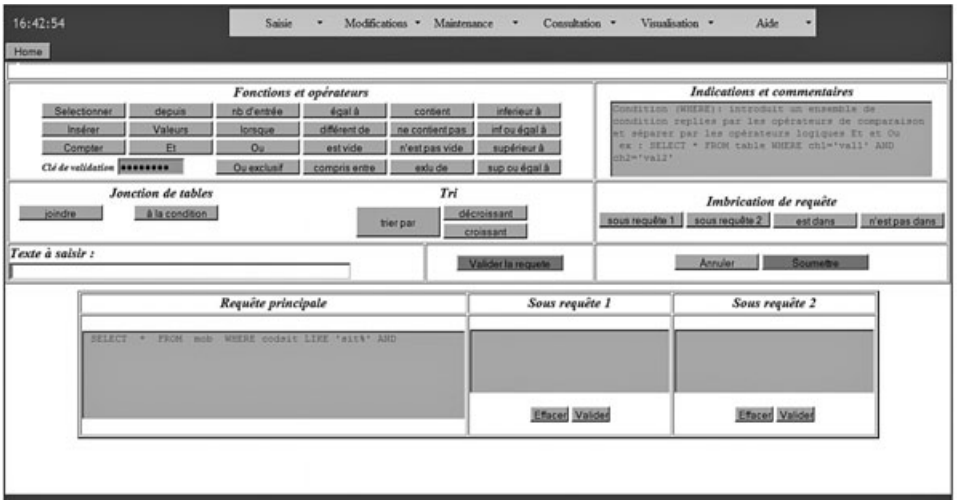


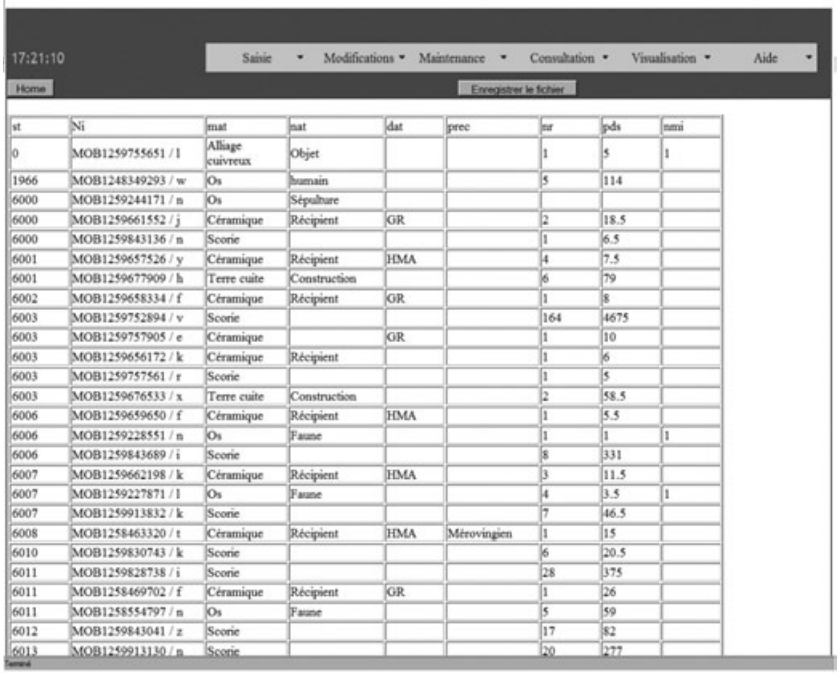
Fig. 4 – Interface de l'assistant requête.

du levé topographique d'un chantier dans la base produit immédiatement un plan vectoriel (Fig. 6). Chaque élément archéologique est identifié dans le code SVG par son appartenance à une référence de site et son numéro d'entité. Ainsi, chaque objet est lié à ses données présentes dans la base. La réciproque est également possible: à partir du résultat d'une requête, il est possible d'afficher la répartition sur le plan. Les cartes sont divisées en calques ou couches qui rassemblent les éléments de même nature. Chaque couche peut être paramétrée: affichage, couleur, transparence. L'application permettant le travail sur plusieurs sites distincts, un formulaire permet de choisir les chantiers et leur niveau de détail. L'import de données matricielles (raster) est également possible.

8. Interopérabilité

L'un des principaux enjeux de l'informatique actuelle reste l'interopérabilité, c'est-à-dire la capacité des logiciels à communiquer entre eux. Le métalangage XML et son instance XML Schema[3] s'impose aujourd'hui comme la meilleure alternative pour assurer cette fonction. Dans Arch'IS, les résultats d'une requête doivent pouvoir être récupérés dans une autre application plus spécifique. Ces résultats peuvent donc être produits sous la forme de fichiers à télécharger, dans un format compatible avec la destination et la nature des informations (Fig. 7). Le problème est que certains de ces formats nécessitent des librairies absentes en

[3] XSD, remplace les DTD (Document Type Definition), défini la structure du document XML.



st	Ni	mat	nat	dat	prec	nr	pds	nmi
0	MOB1259755651 / l	Alliage cuivreux	Objet			1	5	1
1966	MOB1248349293 / w	Os	humain			5	114	
6000	MOB1259244171 / n	Os	Sépulture					
6000	MOB1259661552 / j	Céramique	Récipient	GR		2	18.5	
6000	MOB1259843136 / n	Scorie				1	6.5	
6001	MOB1259657526 / y	Céramique	Récipient	HMA		4	7.5	
6001	MOB1259677909 / h	Terre cuite	Construction			6	79	
6002	MOB1259658334 / f	Céramique	Récipient	GR		1	8	
6003	MOB1259752894 / v	Scorie				164	4675	
6003	MOB1259757905 / e	Céramique		GR		1	10	
6003	MOB1259656172 / k	Céramique	Récipient			1	6	
6003	MOB1259757561 / r	Scorie				1	5	
6003	MOB1259676533 / x	Terre cuite	Construction			2	58.5	
6006	MOB1259659650 / f	Céramique	Récipient	HMA		1	5.5	
6006	MOB1259228551 / n	Os	Faune			1	1	1
6006	MOB1259843689 / i	Scorie				8	331	
6007	MOB1259662198 / k	Céramique	Récipient	HMA		3	11.5	
6007	MOB1259227871 / l	Os	Faune			4	3.5	1
6007	MOB1259913832 / k	Scorie				7	46.5	
6008	MOB1258463320 / t	Céramique	Récipient	HMA	Mérovingien	1	15	
6010	MOB1259830743 / k	Scorie				6	20.5	
6011	MOB1259828738 / i	Scorie				28	375	
6011	MOB1258469702 / f	Céramique	Récipient	GR		1	26	
6011	MOB1258554797 / n	Os	Faune			5	59	
6012	MOB1259843041 / z	Scorie				17	82	
6013	MOB1259913130 / n	Scorie				20	277	

Fig. 5 – Aperçu des rendus de résultats.

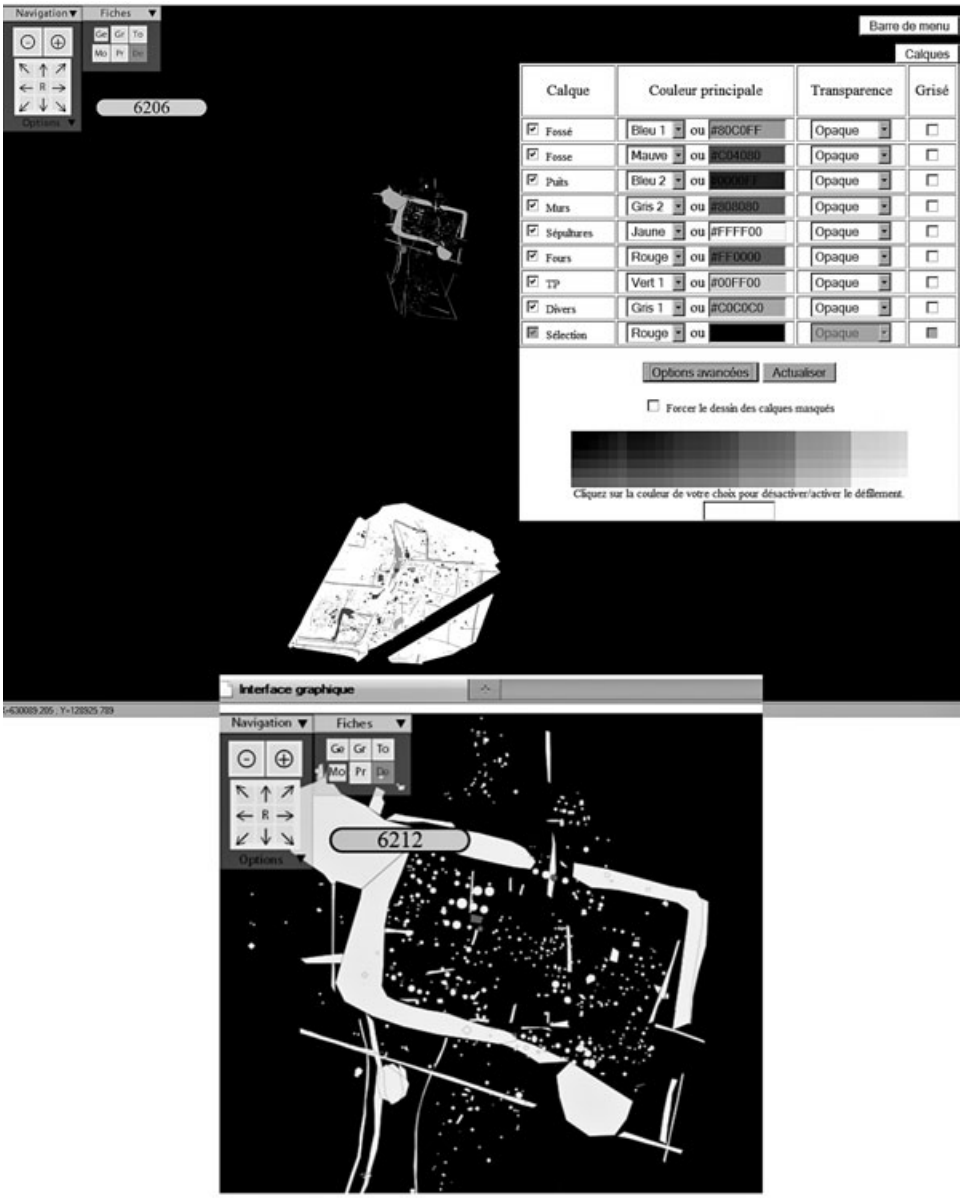


Fig. 6 – Aperçu de l'interface graphique.

Format	Import	Export	type de données	logiciels
.sql	x	x	requêtes SQL	BDD utilisant le SQL
.jpg	x	x	Image raster	
.tiff	x	x	Image raster	
.png	x	x	Image raster	
.csv	x	x	tableau	Open office, Microsoft Office, R, etc
.rtf	x	x	texte mis en forme	Open office, Microsoft Office, R, etc
.svg	x	x	Dessin vectoriel	Illustrator, Inskape
.xml	x	x	données balisées	logiciels gérant le xml strict
.vrml		x	données 3D	Vivacity, etc
.kml		x	données géospatiales	Google Earth, etc
.sla		x	PAO, texte mis en forme	Scribus 1.3.7
.idml		x	PAO, texte mis en forme	In Design v5
.inx		x	PAO, texte mis en forme	InDesign <v5
.mif/.mid	x	x	Données SIG	MapInfo, ArcGis,Grass,etc

Fig. 7 – Formats importés et exportés.

PHP ou indisponibles sur certains serveurs. Cette contrainte limite donc, actuellement, les possibilités aux seuls formats ouverts, généralement dérivé du XML. À titre d'exemple, on citera le SLA (Scribus) ou l'IDML (InDesign), deux formats dédiés aux logiciels de PAO. Des outils développés dans Arch'IS permettent de réaliser des mises en pages automatiques et standardisées, selon des règles de style définis par l'utilisateur. Enfin, grâce à la librairie html2pdf développée par Laurent Minguet, il est possible de convertir en .pdf les documents produits.

9. Conclusion

L'origine du projet était de construire un système d'information archéologique indépendant des configurations matérielles de manière à limiter à multiplicité des logiciels nécessaires au traitement de l'information. La mise en application d'Arch'IS, dans le cadre de 3 chantiers de fouilles menées entre 2007 et 2009[4], à montré son efficacité et permis d'apporter des améliorations au système. Cette expérience dévoile plusieurs intérêts d'Arch'IS. Le premier, qui n'est pas une nouveauté, est de rassembler dans un même environnement l'ensemble de la documentation de fouille, dématérialisé par le stockage numérique. La mise en œuvre d'un système client-serveur permet à tous de disposer de l'information dont il a besoin, sans se soucier de l'actualisation des données ou de la transmission de fichiers. Le système de contrôle d'accès, en fixant à chaque site des attributs de communicabilité, offre la possibilité de travailler sur plusieurs gisements pour lesquels le chercheur dispose des droits d'accès. Le second intérêt réside dans la diversité des rendus de résultat qui

[4] Dirigés par Nadine Mahé, INRAP.

peuvent s'exprimer par du texte, des tableaux, des graphiques ou des plans. Le troisième intérêt, de l'ordre de l'ergonomie, est de permettre la personnalisation des interfaces en fonction de la sensibilité de chacun. Enfin, le souci d'assurer l'interopérabilité avec les autres logiciels utilisés, facilite et optimise le travail d'équipe. En définitive, l'expérience d'Arch'IS met en exergue l'intérêt de l'utilisation combinée de plusieurs langages informatiques, chacun spécialisés et complémentaire des autres.

Sébastien Poignant
Inrap Centre Île-de-France

BIBLIOGRAPHIE

Daune-Le Brun O. 1991, *Colloque Européen Archéologie et Informatique (21-24 November 1991)*, «Paléorient», 17, 2, 178-179.

Ginouvès R. 1971, *Archéographie, archéométrie, archéologie. Pour une informatique de l'archéologie gréco-romaine*, «Revue Archéologique», 93-126.

Py M. *et al.* 1991, S*ystème d'enregistrement, de gestion et d'exploitation de la documentation issue des fouilles de Lattes,* Lattara 4, Lattes, Ed. de l'Association pour la recherche archéologique en Languedoc Oriental.

ABSTRACT

The project that gave rise to the API ARCH'IS was created in 2008. It was motivated by a discussion on optimizing the registration and use of data searches, particularly in the context of complex, diachronic and a huge variety of structures, sometimes split into several excavation sites. While the use of conventional GIS would have seemed the most appropriate, it raised the twin issues of training and the availability of licenses. In addition, it offered no probative solution for work in "real time". ARCH'IS has been developed by archaeologists to meet their own needs and interests of preservation of information. Its architecture is based on a MySQL SGBDD operated through a modular application implementing various individual languages in the world of the Internet. ARCH'IS integrated an engine map with useful features for most archaeologists, without specific training needs. Experimented on several projects of Marne-la-Vallée, the development plan of this API has now been established for many years.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 39-50

"ODYSSÉE": REPRÉSENTER L'INFORMATION AU SEIN D'UN SYSTÈME D'INFORMATION ARCHÉOLOGIQUE POUR LA RECHERCHE SUR L'HABITAT RURAL DU MOYEN ÂGE

1. Introduction

Cet article répond à une double préoccupation au croisement de deux des activités de l'auteur: celle de chercheur, comme doctorant au sein de l'équipe Archéologies Environnementales de l'UMR 7041, ArScAn, et celle d'enseignant-chercheur en archéologie médiévale à l'université de Paris 1 – Panthéon-Sorbonne.

À travers le partage de l'expérience du développement d'Odyssée[1], un système d'information pour la recherche sur l'habitat rural du Moyen Âge, il s'agit de commencer une réflexion sur l'établissement de standards dans la représentation de l'information au sein des systèmes d'information archéologiques.

2. Avant-propos

"Normes et standards", le thème adopté pour les Journées Informatique et Archéologie de Paris en juin 2010 et dont est issu cet article, est révélateur. Il existe aujourd'hui profusion d'outils de conception informatique facilitant la mise en œuvre par tout un chacun d'une base de données accessible *via* Internet. Le paradigme du logiciel libre ajoute à cette facilité technique une gratuité bienvenue pour notre discipline, surtout dans le contexte actuel.

La gestion de l'information est une pratique intrinsèque à l'archéologie. Pour l'illustrer, il n'est besoin que d'évoquer les premiers travaux de Christian Jürgensen Thomsen au Musée National danois dans la première moitié du XIXe siècle (Lundbeck-Culot 2005). Son premier objectif était de mettre de l'ordre dans les collections, ce qui lui permit au passage de proposer un système de classement s'appuyant sur les «trois âges»[2]. Une réflexion méthodologique sur les systèmes d'information archéologiques a été proposée récemment dans un travail de synthèse d'Anne Chaillou (Chaillou 2003).

Facilité, gratuité et nécessité s'associent pour rendre compte d'une tendance de fond dans la pratique actuelle de l'archéologie: le développement de base de données à un niveau individuel ou groupusculaire, par opposition au niveau institutionnel. À un tel point qu'aujourd'hui, à l'université, du moins

[1] O.D.Y.S.S.É.E: **O**util pour la **D**escription, en vue de s**Y**nthè**S**es, des **S**ites arch**É**ologiqu**E**s.
[2] Les âges de la Pierre, du Bronze et du Fer.

à l'université de Paris 1, la conception d'une base de données en archéologie fait partie du *cursus* de Master.

Or, concevoir et faire évoluer un système d'information ne s'improvisent pas. Il s'agit de surcroît d'un métier à part entière (on parle alors d'"urbanistes"). La disponibilité d'outils de conception de bases de données peut alors s'avérer être un leurre pour le chercheur. En effet, il risque de perdre temps et énergie à surmonter des difficultés d'ordre conceptuel ou technique, auxquelles il n'est pas ou peu préparé.

Or, tant pour l'étudiant que pour le chercheur confirmé, l'objectif final est le traitement de l'information archéologique. Partant du constat de la diffusion des outils de base de données, il nous semble donc à propos d'inviter à une réflexion collective sur un ensemble de normes en archéologie. Il ne s'agit cependant pas de réfléchir sur le "quoi", mais sur le "comment". Ainsi nous ne nous interrogerons pas sur quelles informations une base doit contenir (enjeu des normes décrites par Anne Chaillou dans sa thèse: Chaillou 2003, 52s), mais sur comment représenter ces informations.

En bref, il s'agit de réfléchir sur les modèles conceptuels de données formant le squelette d'une base de données. Toutefois, nous ne proposerons pas un schéma unique ou universel ni même n'y aspirerons[3]. Loin de nous cette idée, car le projet peut sembler illusoire. Il peut exister en effet un schéma différent par problématique de recherche et donc par système d'information, ceci à la convenance du chercheur.

Notre idée est donc plutôt de raisonner par modules d'information. C'est-à-dire de proposer une "boîte à outils" dans laquelle irait piocher l'archéologue. Les points d'entrée sont des questions certes simples, mais récurrentes lors des phases de définition d'un système d'information en archéologie: comment représenter une opération, un site, des informations de datation, etc.? Libre après au chercheur de combiner ces briques de base comme il le souhaite pour répondre à sa problématique.

Pour amorcer cette réflexion, nous nous proposons de soumettre à la critique en première instance les modèles de données utilisées au sein d'Odyssée. Notre discours sera divisé en trois mouvements: la genèse d'Odyssée, sa conception et les modèles en eux-mêmes.

3. La genèse d'Odyssée

Le projet de système d'information Odyssée est né à l'automne 2007 par la conjonction de trois circonstances favorables: la relance du Programme Collectif de Recherche (PCR) sur l'habitat rural du haut Moyen Âge en

[3] Pour une tentative, voir la "base minimale" proposée par Chaillou 2003, 206-238.

Île-de-France par les chercheurs de l'INRAP (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives), en particulier Gaëlle Bruley-Chabot et François Gentili; le début du PCR sur l'habitat rural du Moyen Âge en région Centre sous la direction d'Anne Nissen-Jaubert (Université François Rabelais de Tours) et de Sébastien Jesset (INRAP); le début de la propre thèse de l'auteur sur l'habitat rural du haut Moyen Âge en Île-de-France (Bruley-Chabot 2003, Gentili *et al.* 2003, Nissen-Jaubert 2006, Cattedu *et al.* 2007).

La caractérisation des habitats ruraux du Moyen Âge est apparue comme un dénominateur commun aux trois approches. Une même préoccupation s'est aussi imposée: comment traiter la masse de documentation archéologique accumulée depuis le développement des fouilles préventives? Soit, autour du millier de sites pour l'Île-de-France pour le haut Moyen Âge et près de cent cinquante du Moyen Âge pour la région Centre. Le bien-fondé d'une approche commune pour concevoir un système d'information était évident. Le projet Odyssée était lancé.

4. La conception

L'objectif principal d'Odyssée est d'aider à la caractérisation des habitats ruraux du Moyen Âge. Il s'agit donc d'un système d'information focalisé sur la recherche par opposition aux systèmes plus orientés vers la gestion administrative comme Patriarche par exemple. L'objectif secondaire est d'assurer à terme un recensement complet des sites du Moyen Âge pour les régions concernées. Ainsi il sera possible d'évaluer l'importance d'un site pour un axe d'étude donné (artisanat, bâtiments, structures agraires…) et de faciliter les recherches futures.

L'auteur, ayant une certaine expérience dans le développement de logiciel, s'est proposé pour assurer la conception et la réalisation du système. Toutefois, la réflexion a été menée de manière collégiale, et en particulier avec Gaëlle Bruley-Chabot, responsable d'opération à l'INRAP. Afin que le système convienne au plus grand nombre, en pratique un cycle de développement logiciel en V a été suivi (Desmoulins 2009). Ce mode implique qu'à chaque grande étape une validation des utilisateurs ait lieu. Certes, un temps plus important est nécessaire du fait des adaptations intermédiaires, mais nous nous assurons ainsi de la satisfaction finale des utilisateurs. De plus, les réunions régulières d'information ont permis de garder intacte l'implication des personnes au projet.

Avant d'aborder les modèles de données en eux-mêmes, nous allons évoquer les choix techniques. La nécessité d'autoriser la saisie des données par un nombre élevé de contributeurs amène à privilégier une solution en ligne, c'est à dire accessible par Internet (moyennant une identification). En centralisant l'information, cette solution permet en effet d'éviter les problèmes

associés à la réplication de la base de données sur les postes contributeurs: en particulier le risque de doublons et le fastidieux travail de fusion des bases de données de chacun. De plus les interfaces web, *via* l'utilisation de navigateurs (Firefox, Safari, IE…) constituent aujourd'hui le moyen le plus familier pour renseigner ou consulter l'information sous forme électronique. L'utilisation des standards de saisie et de présentation en ligne assure ainsi la facilité d'utilisation du système d'information. Enfin, l'adoption d'une technologie web permet l'utilisation de logiciels libres dont l'efficacité est à la mesure de leur large diffusion. Ces logiciels présentent différents avantages[4]. En particulier, ils respectent des standards ouverts assurant la pérennité des informations qui leur sont confiées. En effet, les formats utilisés par les logiciels propriétaires pour stocker de manière numérique l'information sont pour la plupart fermés: seule la société éditrice du logiciel sait décrypter ces informations. L'utilisateur est alors tributaire de cette dernière pour accéder à ses données (nécessité d'achat de licences par exemple). Par leur caractère ouvert et leur succès, les logiciels libres permettent de disposer d'une large documentation accessible en ligne: en particulier de nombreux exemples d'implémentation d'architectures diverses permettant de gagner du temps dans la mise en œuvre de la solution. Enfin, ces logiciels sont fournis gratuitement. Leur utilisation n'entraîne aucun coût d'achat de licences.

Pour des raisons de coûts, de pérennité de l'information et de facilité de développement, des logiciels libres ont donc été utilisés: Linux pour le système d'exploitation du serveur; le serveur Web Apache; le générateur de pages web PHP; le système de gestion de base de données MySQL; le progiciel de gestion intégré Dolibarr comme pont entre PHP et MySQL.

Enfin Firefox est utilisé pour accéder au système (consultation, modification).

5. Les modèles de données

Nous présentons ici les différents modules d'information qui constituent Odyssée. Comme annoncé en introduction, il s'agit d'une première ébauche soumise ici à la critique et qui, nous l'espérons, pourra déclencher une réflexion sur un ensemble de référence en archéologie.

Si nous avons pu évoquer dans le paragraphe précédent des points techniques relevant de l'implémentation de la solution, il convient de souligner que le cœur de notre discours concerne la conception. En effet, les différentes modélisations proposées ci-dessous ne préjugent aucunement des choix te-

[4] Pour une présentation détaillée: AFUL, *Qu'est-ce qu'un logiciel libre?*, Association Francophone des Utilisateurs de Linux et des Logiciels Libres, http://www.aful.org/ressources/logiciel-libre/, page consultée le 28 avril 2008.

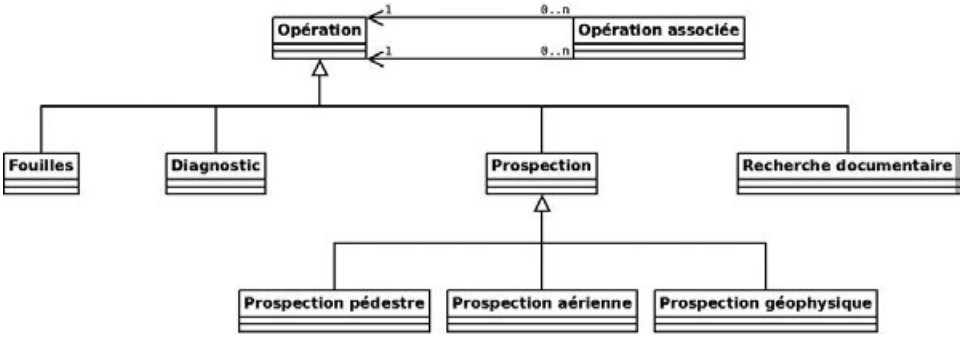


Fig. 1 – Module "opération".

chniques retenus pour les implémenter. La séparation de la conception et de l'implémentation est une règle de base de l'ingénierie informatique. Elle vise à s'affranchir de normes techniques qui évoluent très rapidement.

Les 9 modules fonctionnels constituant Odyssée sont présentés ci-dessous. La syntaxe graphique utilisée pour formaliser les différentes composantes de la base de données utilise le standard de conception logicielle UML "Unified Modeling Language" (Muller 2000).

5.1 *L'opération* (Fig. 1)

En archéologie, l'opération correspond très souvent à la pierre d'angle du système d'information. Selon le type, elle pourra être déclinée en fouilles, diagnostic, prospections pédestres, aériennes, géophysiques…

La classe "opération associée" met la classe "opération" en relation avec elle-même. Ceci permet de traiter le cas où des opérations successives concernent le même espace; par exemple un diagnostic suivi d'une fouille. On dispose ainsi d'un moyen de détecter des informations dupliquées, comme par exemple une structure qui apparaît au diagnostic et est reprise en fouille.

5.2 *La localisation* (Fig. 2)

Les informations de localisation sont associées à l'opération et relèvent principalement de deux catégories: l'espace administratif (dans le cas présent, communes/département/région/pays) et les coordonnées géographiques (dans le cas présent le type de projection Lambert, les coordonnées elles-mêmes étant mentionnées au niveau de la classe "opération"). D'autres catégories pourraient néanmoins être ajoutées.

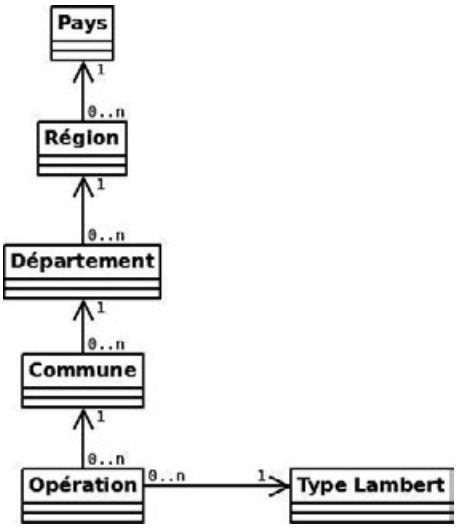


Fig. 2 – Module “localisation”.

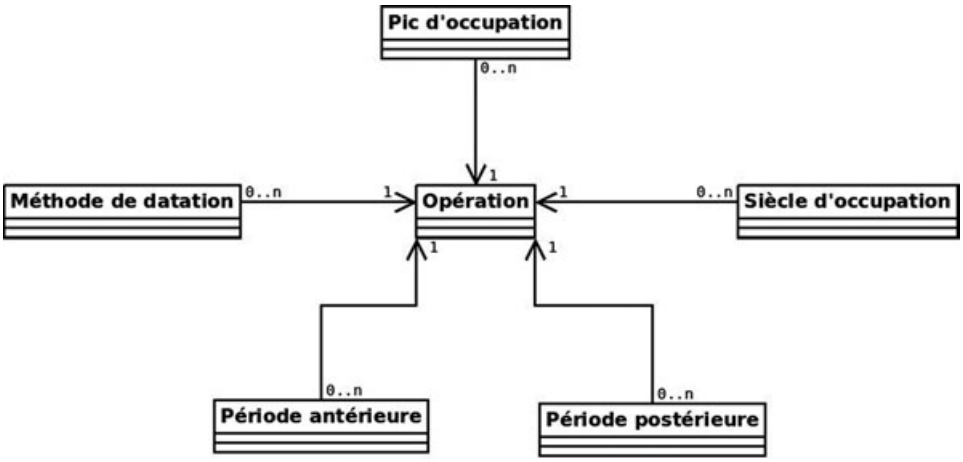


Fig. 3 – Module “datation”.

5.3 *La datation* (Fig. 3)

Ce module est lui aussi associé à l’opération. Il permet de renseigner (1) les méthodes de datation (2) les datations elles-mêmes, soit les périodes pour lesquelles une occupation est attestée.

Dans ce dernier cas, la période centrale à la recherche est distinguée.

Il est possible de mentionner si des périodes antérieures et postérieures sont attestées et les siècles (ou un intervalle inférieur ou supérieur) peuvent être précisés pour la période centrale. Pour pouvoir distinguer un simple "bruit de fond" d'une occupation dense, il est aussi possible de mentionner les siècles au sein d'une classe "pics d'occupation".

5.4 *Le matériel archéologique* (Fig. 4)

Le matériel archéologique mis au jour lors d'une opération est mentionné dans ce module. Trois catégories ont été distinguées:

– les matières;
– le mobilier;
– les activités.

La dernière catégorie est plus interprétative puisqu'elle suppose qu'une fonction a été déduite du mobilier trouvé.

5.5 *Les structures* (Fig. 5)

Associé à l'opération, un décompte des structures par type est réalisé au sein de ce module. Deux décomptes peuvent être distingués:

– un décompte général par type;
– un décompte par type et par phase (siècle de début, siècle de fin ou tout autre intervalle pertinent).

5.6 *Le bâti* (Fig. 6)

Ce module permet de mentionner les différents bâtiments distingués par le responsable d'opération. Plusieurs points sont à noter:

– les bâtiments sont associés à une opération;
– à un bâtiment peut être associé un certain nombre de techniques de construction et de matériaux;
– enfin une plage d'occupation en siècles peut être définie pour chacun des bâtiments.

5.7 *Les études spécialisées* (Fig. 7)

Si des études spécialisées ont été réalisées en sus de l'opération elle-même, elles sont renseignées ici: anthracologie, archéozoologie, céramologie…

5.8 *Le système agraire et l'environnement* (Fig. 8)

Ce module rassemble les informations concernant le système agraire et l'environnement que l'opération a permis de déduire. Ces informations sont

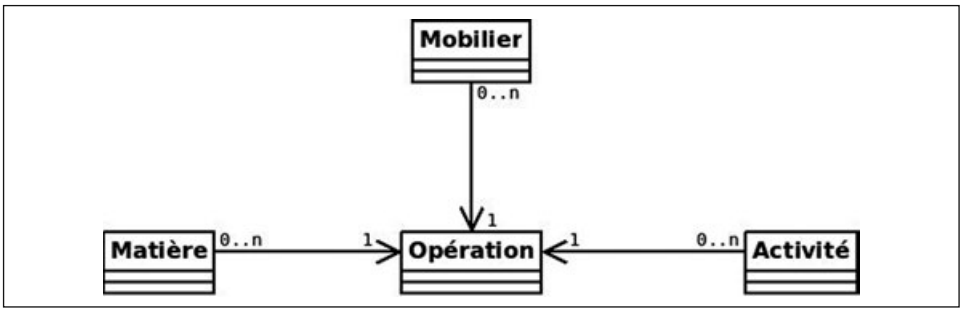


Fig. 4 – Module “matériel archéologique”.

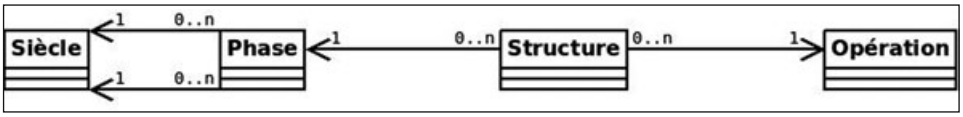


Fig. 5 – Module “structures”.

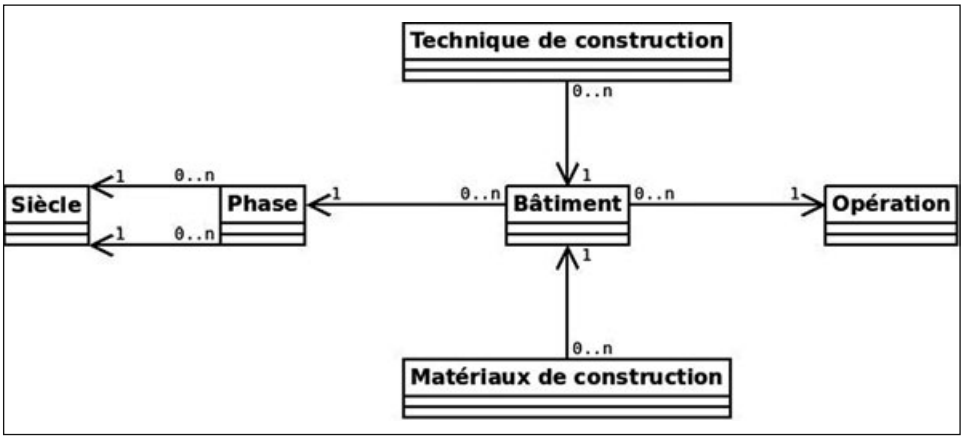


Fig. 6 – Module “bâti”.

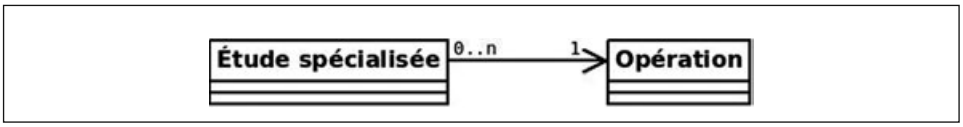


Fig. 7 – Module “études spécialisées”.

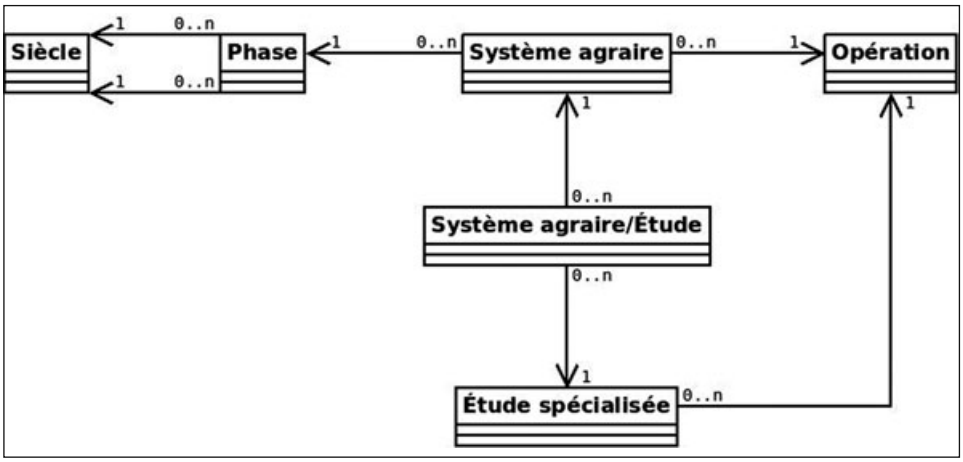


Fig. 8 – Module "système agraire et environnement".

bien souvent associées à des études spécialisées (carpologie, palynologie…) qu'il est donc possible de mentionner (lien avec la classe "étude spécialisée" *via* la classe "système agraire/étude"). Enfin une phase chronologique peut être définie (lien avec la classe "phases").

5.9 Le site et les ensembles spatiaux remarquables (Fig. 9)

Il est important de bien distinguer la notion de site de celle d'opération. Un site correspond à l'appariement spatial de structures au sein de mêmes phases temporelles. Il s'agit d'un niveau interprétatif plus élevé que celui guidant le renseignement des opérations. Un site est modélisé par différents moyens.

Un site peut être référencé sous plusieurs opérations. De même, une opération peut référencer plusieurs sites (lien avec la classe "opération" *via* la classe "site/opération"). Et ceci pour tout type d'opération (diagnostics, fouilles, prospections). Un site peut comprendre plusieurs phases d'occupation (lien avec la classe "phases" *via* la classe "site/phase"). Enfin, si un site est constitué de structures et de bâtiments, ceux-ci peuvent faire l'objet au préalable de regroupements au sein d'"ensembles spatiaux remarquables".

Il ne s'agit pas ici d'un artefact de modélisation, mais de la traduction de réflexions collectives menées au sein des deux PCR sur l'habitat rural du Moyen Âge (cfr. *supra*) par les chercheurs, en particulier ceux de l'INRAP[5]: des aires spécifiques sont délimitées au sein des sites (du moins pour les plus

[5] Je remercie ici François Gentili (INRAP) pour les fructueuses réflexions dont il m'a fait part.

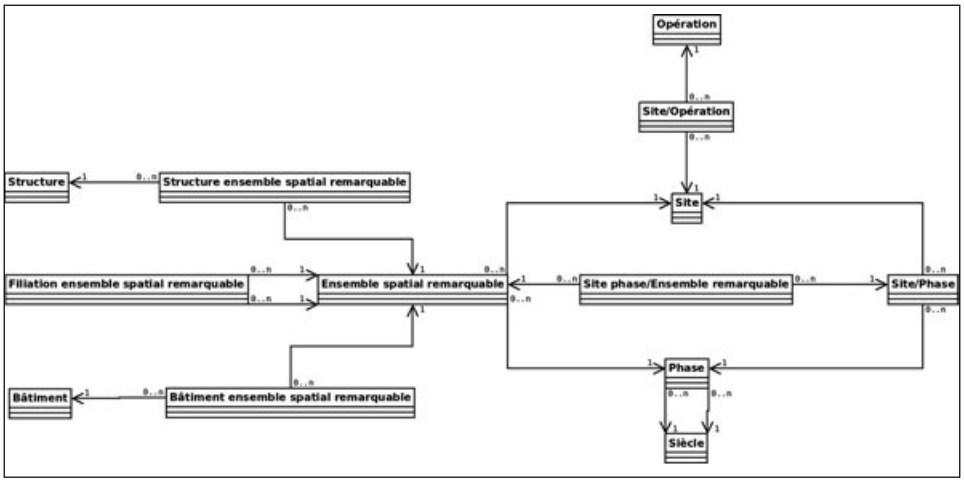


Fig. 9 – Module "site et ensembles spatiaux remarquables".

importants). Il s'agit ici de faciliter l'analyse spatiale inter-sites en permettant de comparer rapidement et aisément des groupes de structures et bâtiments fonctionnant ensemble.

Au cours des différentes phases d'occupation d'un site, les ensembles spatiaux remarquables sont susceptibles d'évolutions. Pour traiter cet aspect, il est possible d'établir un lien de "filiation" entre ensembles remarquables. Les modalités de cette évolution peuvent être nuancées spatialement: aire identique, extension, diminution, décalage.

Une remarque importante doit toutefois être faite ici. En terme spatial, l'agencement des structures et des bâtiments, les uns par rapport aux autres, constitue une information primordiale. C'est pourquoi il est important que le système d'information permette de sauvegarder un plan d'agencement des structures et des bâtiments réalisé selon une légende normalisée.

Dans le cadre des PCR concernés, le standard de représentation est toujours en voie d'élaboration. L'objectif à terme serait d'établir une typologie de ces regroupements, aidant ainsi à la caractérisation des habitats ruraux du haut Moyen Âge en Île-de-France et du Moyen Âge en région Centre.

6. Conclusion

Aujourd'hui en archéologie, l'étudiant, l'enseignant-chercheur ou le chercheur conçoivent leur propre système d'information. Cette tendance de fond a été rendue possible par la démocratisation de l'informatique à tous les niveaux: sur le plan matériel évidemment, mais surtout sur le plan logi-

ciel, avec la mise à disposition de système d'information gratuit de qualité professionnelle.

Réaliser et mettre en service son système d'information deviendra de plus en plus aisé. Toutefois, il existe une étape primordiale dont la difficulté ne pourra jamais être éludée: la conception même du système et la réflexion préalable qu'elle impose. Soit, le modèle de données présidant à la représentation de l'information au sein de la base de données. Or, chaque système d'information peut *a priori* être unique, car adapté à une problématique précise. Cependant, il est possible de dégager des schémas récurrents au sein des modèles de données, car répondant aux mêmes questions élémentaires: comment représenter une opération, des informations de localisation, de datation, un site…?

À travers cet article, nous avons donc proposé une série de descriptions de modules d'information pour les bases de données en archéologie. Issus certes du système Odyssée pour l'étude de l'habitat rural du haut Moyen Âge, ces modèles de données se veulent avant tout génériques pour pouvoir être réutilisés. À terme, l'objectif est de constituer un référentiel pour aider l'archéologue, étudiant ou chercheur plus confirmé, à concevoir son système d'information. Pour ce faire, nous espérons qu'une réflexion collective puisse s'initier et déboucher sur un ensemble de normes traitant des modèles de données en archéologie.

Antoine Bourrouilh
Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité

BIBLIOGRAPHIE

Bruley-Chabot G. 2003, *Les fours culinaires en Île-de-France*, in *L'habitat rural du haut Moyen Âge en Île-de-France*, *PCR bilan 2002/2003*, 1er suppl. au Bulletin Archéologique du Vexin français, Guiry-en-Vexin, 25-31.

Catteddu I., Gentili F., Jesset S. 2007, *Le renouvellement des connaissances sur l'habitat et l'espace rural au haut Moyen Âge*, in J.-P. Demoule (dir.), *L'archéologie préventive dans le monde. Apports de l'archéologie préventive à la connaissance du passé*, Paris, La Découverte – INRAP, 82-92.

Chaillou A. 2003, *Nature, statut et traitements informatisés des données en archéologie: les enjeux des systèmes d'informations archéologiques*, thèse de Doctorat de sciences humaines et sociales, Université Lumière Lyon 2, 2 t. (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00137986/fr/) [mis en ligne en Mars 2007].

Desmoulins N. 2009, *Maîtriser le levier informatique: accroître la valeur ajoutée des systèmes d'information*, Paris, Pearson, 95-96.

Gentili F., Lefèvre A., Mahé N. 2003, *Introduction*, in *L'habitat rural du haut Moyen Âge en Île-de-France*, *PCR bilan 2002/2003*, 1er suppl. au Bulletin Archéologique du Vexin français, Guiry-en-Vexin, 5-9.

Lundbeck-Culot K. 2005, *Recherche sur la fondation de l'archéologie danoise. Une réflexion sur les influences réciproques entre le Danemark et la France*, thèse «nouveau régime» soutenue à l'Université de Paris 1 – Panthéon-Sorbonne sous la direction d'Alain Schnapp, Atelier National de Reproduction des Thèses, Lille, 274 ss.

Muller P.-A. 2000, *Modélisation objet avec UML*, Paris, Eyrolles.

Nissen-Jaubert A. 2006, *Le haut Moyen Âge*, in A. Ferdière, V. Matterne, P. Méniel, A. Jaubert, B. Pradat, *Histoire de l'agriculture en Gaule*, Paris, Errance, 141-197.

ABSTRACT

The large amount of documentation made available by "preventive" archaeology led to the setting up of several collective research programs. Aimed at rural settlements during the Middle Ages on a regional level, both "région Île-de-France" and "région Centre" PCR have to deal with handling this documentation. In line with the current Ph.D work of the author about settlements and agrarian system during the early Middle Ages, a shared reflection on a common information system was launched. Beyond approaches aimed at evaluating archaeological potential or solely focused on inventory, here the goal is to acquire a tool dedicated to research. Moreover, if databases are used on a daily basis by the archaeologist, their use in a collective way leads to the standardizaton of the manner information is encoded. The aim of this paper is to present the conclusion of this shared reflection, focusing especially on settlement patterns, environmental data and the estimate of reliability of information. The technical choices which helped to minimize costs are also presented.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 51-60

CONSTRUCTION ET DIFFUSION DE BASES DE DONNÉES PARTAGÉES: L'EXPÉRIENCE DE LA BASE DES SÉPULTURES D'ENFANTS DANS L'ANTIQUITÉ

1. Introduction

Le Centre Camille Jullian d'Aix-en-Provence, l'Unité Archéologies et Sciences de l'Antiquité de Nanterre et le Centre d'Études Alexandrines ont constitué un groupe de recherche international sur l'étude de l'enfant dans le monde gréco-romain et dans un contexte funéraire. Ces laboratoires[1] ont reçu le soutien de l'Agence Nationale de la Recherche pour le programme "L'Enfant et la mort dans l'Antiquité (EMA)". Ensemble, entre France et Égypte, ils ont mis en œuvre une base de données et d'images, mutualisée entre les trois parties, sur les sépultures d'enfants. Cette expérience permet de présenter, à l'occasion de ce colloque des JIAP 2010, les objectifs et les conditions de réalisation d'une base de données partagée, ainsi que la politique de communication de ces données sur Internet[2].

2. La construction d'une base de données partagée

Pour ce programme international sur cinq ans (2008-2012), les trois partenaires, à travers leurs représentants, Antoine Hermary (CCJ, coordinateur du programme), Anne-Marie Guimier-Sorbets et Yvette Morizot (ArScAn), Jean-Yves Empereur et Marie-Dominique Nenna (CEAlex) ont rassemblé un réseau de chercheurs: des membres de chaque équipe, des chercheurs d'autres unités, des chercheurs étrangers nombreux, ainsi que les docteurs et doctorants qu'ils encadrent. Après deux premiers colloques, à Athènes et à Alexandrie, ce réseau compte environ 60 contributeurs de 11 nationalités différentes et un dernier colloque les réunira en 2011[3]. Les colloques, la publication de leurs Actes et la base de données structurent le travail de cette communauté (Hermary 2010).

[1] CCJ, UMR CNRS/Université de Provence. ArScAn, UMR CNRS/Université de Paris I/Université de Paris Ouest Nanterre/Ministère de la Culture. CEAlex, USR CNRS.

[2] Je souhaite remercier Agnès Tricoche (ArScAn) pour ses remarques sur ce texte.

[3] Colloques: *L'Enfant et la mort dans l'Antiquité I, Nouvelles recherches dans les nécropoles grecques. Le signalement des tombes d'enfants*, Athènes, Ecole française d'Athènes, 29-30 mai 2008 (Guimier-Sorbets, Morizot 2010). *L'Enfant et la mort dans l'Antiquité II, Types de tombes et traitements du corps des enfants dans l'Antiquité gréco-romaine*, Alexandrie, CEAlex, 12-14 novembre 2009, Actes à paraître dans les Études alexandrines. *L'Enfant et la mort dans l'Antiquité III, Le matériel associé aux tombes d'enfants*, Aix-en-Provence, Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, 20-22 janvier 2011, Actes à paraître aux Éditions Errance, BiAMA, 12.

Si la participation aux colloques et la publication des communications est un processus habituel pour les chercheurs, le rassemblement et l'analyse de données, à l'échelle d'une petite communauté, sont plus rares. La conception de la base EMA a été menée par l'équipe "Archéologie du monde grec et systèmes d'information" d'ArScAn, en collaboration avec les deux autres partenaires d'EMA. Cette conception s'inscrit dans la continuité des recherches sur l'ergonomie des bases de données et d'images initiées au début des années 1970 par René Ginouvès et menées dans les années 1980 par Anne-Marie Guimier-Sorbets. Dans un article de 1999, Anne-Marie Guimier-Sorbets explicite le modèle d'une base partagée: «Les bases factuelles actuellement vivantes sont généralement l'émanation d'un groupe de personnes collaborant à une même recherche et se partageant la constitution et les bénéfices scientifiques de l'exploitation de l'outil documentaire commun» (Guimier-Sorbets 1999, 111). C'est donc le principe d'une base de données commune aux trois parties, bilingue français et anglais et coordonnée par un comité scientifique[4] qui a été retenu.

Le champ couvert par la base correspond aux sépultures d'enfants du monde antique, à l'exception de l'Étrurie et du monde phénico-punique, du premier millénaire avant J.-C. à la fin de l'Antiquité. Les sites-références se situent dans le Sud de la France, en Italie (Rome, Italie du Sud, Sicile), en Grèce et en Grèce du Nord, dans la partie occidentale du Pont-Euxin, en Afrique du Nord et en Égypte, en particulier à Alexandrie. Les sépultures concernées ne sont généralement pas monumentales et la notion d'"enfant" renvoie à la période allant de la naissance et la période périnatale jusqu'à l'âge de 12-14 ans. L'analyse des données relève de l'archéologie et de l'anthropologie biologique prenant en compte les caractéristiques des sépultures et des rites funéraires, mais aussi les méthodes d'approche de l'âge et du sexe des enfants.

L'outil de production est le logiciel FileMaker Pro, compatible avec les plate-formes MAC et PC, ce qui a permis de préparer un mode de saisie mutualisée et un système de consultation des images. Avec ce système, l'utilisateur fait défiler dans la base de données toutes les images qui ont été prévues grâce à un lien entre le fichier "sépulture" et le dossier externe des images; ce lien a été amélioré par Eric Gimel, administrateur de bases de données et de services web, au sein du service informatique de la Maison René-Ginouvès.

La consultation de la base commence par le choix de la langue, qui mène aux fiches des sépultures et permet de passer en mode d'interrogation. De la fiche sépulture, on peut accéder, de lien en lien, aux fiches sites et nécropoles, à la bibliographie (de la référence abrégée à la référence développée) et aux images.

[4] Ce comité est composé des cinq responsables d'EMA cités et de trois gestionnaires de données: Stéphanie Satre pour les mondes grec et romains coloniaux, Marie-Dominique Nenna pour l'Égypte, Ivette Morizot et moi-même pour la Grèce.

Les sites sont enregistrés avec les dénominations françaises, en suivant pour la Grèce la chronique du «Bulletin de Correspondance Hellénique»[5], pour l'Égypte le *Guide Bleu*, pour l'Italie, les noms en français diffusés dans la bibliographie.

L'unité "nécropole" sert à enregistrer les cimetières comportant des sépultures d'enfants, pour lesquels nous indiquons les rites funéraires et les types de sépultures, le nombre d'enfants et d'adultes rencontrés, et nous en donnons une brève description.

L'unité "sépulture", la principale, commence par des informations générales: le rite funéraire, le nombre de morts retrouvés dans la sépulture d'enfant, la mention des adolescents et des adultes s'y trouvant éventuellement, la datation, mais aussi l'identifiant de la sépulture dans la base et dans les corpus, la bibliographie, les légendes d'images.

Les autres parties de la fiche structurent de façon logique la description de la sépulture d'enfant. La partie "topographie" permet de préciser la situation de la sépulture, notamment au sein d'un ensemble funéraire (par ex., un tumulus, ou un enclos, ou un hypogée qui abrite plusieurs sépultures, dont la tombe d'enfant considérée).

La partie "signalement", pour l'élément en surface indiquant la sépulture, signale le type (une stèle ou tout autre dispositif, amas de pierre, cippe, etc.), la présence d'une inscription (que nous traduisons en français), d'une représentation, d'un décor.

La partie "sépulture" permet d'indiquer son type (tombe à fosse, tombe-bûcher, etc.), avec ses aménagements éventuels. Une partie "contenant" s'y ajoute pour aborder les inhumations d'enfants dans des vases ou les contenants cinéraires.

La partie "individu" contient les informations sur le squelette ou les restes de crémation, la référence à une étude anthropologique, les interprétations d'âge et de sexe de l'enfant faite par l'anthropologue et/ou l'archéologue.

La partie "matériel" fournit les informations sur la vaisselle, les récipients ou les objets trouvés à l'intérieur ou à l'extérieur de la sépulture, mais en rapport avec elle. Des listes de matériel ont été dressées avec un vocabulaire contrôlé et commun aux aires culturelles (vase à boire, récipient à parfum et cosmétique, tasse, coupelle, figurine, arme, etc.). Un champ commentaire permet en outre de donner les caractéristiques sur les matériaux, la technique, les lieux de production, les dimensions, le décor, etc.

[5] L'École française d'Athènes et l'École britannique d'archéologie d'Athènes publient les chroniques des fouilles en Grèce sur le web à compter de 2010: http://chronique.efa.gr/ ou http://www.bsa.ac.uk/, menu E-resources. Les textes édités dans les derniers volumes papier (2005-2009) ont été repris.

3. Apports et caractéristiques du programme documentaire

Le programme EMA a été lancé lors de l'appel à projet de 2007, mais ses prémices remontent à des programmes de recherche plus anciens dans les laboratoires. Il existait des fichiers réalisés par des chercheurs, qu'il s'agisse d'enregistrements de terrain ou de catalogues de thèse; ceux-ci ont été intégrés. La première étape a consisté à choisir les catégories d'informations lors de réunions, en séparant dans le processus les informations (définition d'une sépulture, sélection des caractéristiques pertinentes) de l'informatique (menus déroulants, cases à cocher, champs de commentaires). Le "modèle conceptuel de données" a été établi en une année, puis stabilisé pour éviter de retarder la construction du réservoir d'informations. Pendant l'été 2008, nous avons rédigé, grâce à un groupe de travail resserré, le guide d'analyse de la base qui définit les règles de structuration des informations et d'expression avec des spécifications fines. C'est un document essentiel que chaque auteur de fiches possède.

Le programme EMA est parvenu à préparer les phases d'harmonisation de la description, des vocabulaires, l'accord sur l'utilisation des mêmes catégories d'information. Des langages documentaires réalisés par plusieurs équipes dans les années 1960-1970, le projet a tiré parti du système descriptif multilingue publié par René Ginouvès pour l'architecture[6]. La partie consacrée à l'architecture funéraire a servi de base de discussion avec les chercheurs étrangers qui ont bénéficié des traductions des concepts en anglais, allemand, italien et grec. Des mises au point spécifiques ont été nécessaires pour la définition des périodes de l'Antiquité, car les dénominations et le temps qu'elles recouvrent devaient convenir aussi bien pour la Grèce, l'Italie, la Gaule que pour l'Égypte. Il en a été de même avec le vocabulaire archéologique: pour les types de sépulture, un enchytrisme (dénomination pour la Grèce) est ainsi devenu "inhumation en vase"; pour le matériel, une phiale est devenue "vase à boire/tasse". Les chercheurs ont déterminé des tranches d'âge correspondant aux grandes étapes du développement de l'enfant: fœtus, de périnatal à 6 jours, de 7 jours à 6 mois, de 7 à 11 mois, de 1 à 3 ans, de 4 à 6 ans, de 7 à 14 ans. Ensuite, l'auteur de la fiche trouve l'équivalence entre l'expression de l'âge dans l'étude de cas et les tranches d'âge d'EMA.

Le travail s'appuie d'une part sur les informations dont dispose chacun des chercheurs du groupe, et d'autre part sur les informations recueillies dans la bibliographie. L'opération a été considérée comme une réelle analyse des données de la part de l'auteur des fiches. C'est pourquoi chaque fiche est signée, ce qui a été jugé utile à la reconnaissance et à la citation de l'auteur au sein

[6] Ginouvès 1998, 54-66 et en ligne: http://www.mae.u-paris10.fr/ginouves/dico/dicotext.htm.

du groupe de recherche, puis en vue de la diffusion des données. L'auteur doit se conformer à la structuration des informations, aux listes de vocabulaire contrôlé, mais grâce aux zones de commentaires libres, il peut rédiger une description complémentaire succincte. Les commentaires permettent également de rendre compte d'exemples atypiques: c'est ainsi qu'a été noté en guise de commentaire sur le contenant, le cas très particulier de cette petite fille, découverte dans la nécropole de Phères en Grèce, dont le corps a été déposé sur des branches d'olivier et recouvert d'une couverture en lin[7].

Après un an et demi, la base de données est opérationnelle (2400 fiches sépultures et 120 fiches nécropoles, en juin 2010). Elle est mise à jour deux fois par an et ce travail est organisé entre les trois laboratoires, entre France et Égypte: le comité de lecture, à partir de courriers électroniques et d'échanges de fichiers, rassemble et valide les contenus et après accords, j'assure la fusion dans la base générale. À chaque introduction de nouvelles fiches, la protection des données est opérée en séparant la base-mère des bases de saisies (un "clone sans enregistrement" dans FileMaker Pro) et seul l'administrateur peut procéder aux ajouts et aux corrections dans la base-mère.

4. Le partage et la communication électronique des bases de données sur Internet

4.1 *Les logiques des pratiques professionnelles des archéologues*

La question de la communication des outils documentaires est intéressante dans la réflexion actuelle sur les *digital humanities*. Aujourd'hui, il existe des exemples de projets collectifs disposant de sites web. Or les archéologues s'intéressent à la construction de systèmes d'information et aux traitements qu'ils peuvent en tirer, et de plus en plus à la communication électronique des outils produits[8]. Les technologies permettent soit le partage des contenus au sein d'un groupe d'utilisateurs bien ciblés (Intranet/Extranet), soit leur ouverture à tous (Internet).

Avant Internet, comment se faisait la consultation des bases de données archéologiques? Un colloque récent, consacré à la naissance de l'informatique en archéologie, nous montre comment des générations de chercheurs européens (au moins deux) ont réfléchi aux corpus, index, représentations, traitements utiles à la recherche et à la diffusion des connaissances (Moscati 2009). La

[7] Fiche EMA PHE001 préparée par Irène Papaikonomou (ArScAn), d'après V. Adrymi-Sismani, *Tymbos Pheron*, «Archaiologica Analecta Eks Athenon», 16, 1983, 1, 2, 23-42 (en grec).

[8] Les exemples et les références cités sont choisis principalement en France, dans différentes institutions, mais des exemples peuvent être choisis dans d'autres pays (date de consultation des adresses web: 8 novembre 2010; vérification: 30 avril 2012).

question de la diffusion des bases de données a déjà été posée. Parmi les cas emblématiques et un peu anciens, on peut citer la base de données sur les sanctuaires romano-celtiques de Gaule de P. Arcelin et I. Fauduet (1993), qui ont combiné les supports papier et numérique, laissant dans la publication traditionnelle, avec les résultats de la recherche, une partie des données factuelles et des illustrations, tandis qu'une autre partie des données et des images est livrée dans un document électronique. De cette façon, la communauté scientifique et les instances d'évaluation continuent de prendre en compte la publication traditionnelle. Cette pratique se poursuit, citons à titre d'exemple l'étude de l'iconographie des cultes isiaques (SNRIS) dirigée par L. Bricault (2008), qui fournit avec son groupe une riche base de données sur un CD-ROM encarté dans leur ouvrage, et celle sur les amphores vinaires de Narbonnaise, de F. Laubenheimer et d'A. Schmidt qui offre simultanément un livre et une base en ligne[9]. Suivant une autre voie, certains chercheurs organisent un accès restreint aux bases qu'ils préparent, en demandant aux utilisateurs intéressés de prendre contact avec eux et de consulter les bases sur place, ce qui permet à chacun d'expliciter ses souhaits. La base EMA n'est pas préparée comme un catalogue de publication, mais constitue un instrument de travail séparé et cumulatif, existant en parallèle des Actes des colloques. D'autres projets font déjà coexister une base et des livres de façon indépendante, comme le *Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae* ou le *Nouvel Espérandieu*[10]: le contenu des bases ne correspond pas à la mise en ligne des livres, donc à un ensemble clos d'information, mais à des données récemment acquises ajoutées à un stock de documents déjà riche. Autrement dit, les deux bases sont vivantes et une fois en ligne, elles continuent d'être alimentées par les équipes de recherche. Les mêmes questions se posent pour les Systèmes d'Information Géographique (SIG)[11].

Aujourd'hui, la décision de communiquer les données de la recherche sur Internet est prise par les chercheurs mais aussi par les institutions. En France, l'Agence Nationale de la Recherche qui accorde les financements sur appels d'offre encourage un accès public aux données. Ainsi les programmes qu'elle soutient, quand ils ont élaboré une méthode d'analyse des sources et une base

[9] Laubenheimer, Schmitt 2009 (http://www.mom.fr/AMPHORES-VINAIRES-DE-NARBONNAISE.html). Les auteurs annoncent un futur enrichissement des critères de recherche.

[10] Pour des présentations des bases de données: Linant de Bellefonds, Szabados 2006 (www.mae.u-paris10.fr/limc-france/); Lavagne, Terrer, Robert 2007 (http://nesp.mmsh.univ-aix.fr/). Références des publications traditionnelles: *Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae*, Fondation pour le Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae, L. Kahil (dir.), Zürich, Artémis, 1981-1999. *Nouvel Espérandieu, Recueil Général des Sculptures sur Pierre de la Gaule*. I. *Vienne (Isère)*, par D. Terrer, R. Lauxerois, R. Robert *et al.*, Paris, De Boccard, 2003. II. *Lyon (Rhône)*, par M.-P. Darblade-Audoin, Paris, De Boccard, 2006.

[11] On trouvera des textes dans ce volume et aussi Semeraro 2009.

de données, les mettent en ligne: le programme "Constructions, interprétations et représentations cultuelles de l'espace dans les sociétés anciennes (CIRCE)" qui a entrepris un inventaire topographique des lieux de culte connus par l'archéologie dans le monde grec l'a fait[12], le programme "Culture Antiquaire et Invention de la Modernité (CAIM)" est présenté par A.-V. Szabados dans ce volume. Quant au CNRS, il a lancé un observatoire des "grandes" bases de données en Sciences humaines et Sociales et des projets à travers les unités de recherche et la plateforme Adonis[13].

D'autres programmes communiquent très rapidement sur Internet. Aux États-Unis, l'Université de Cincinnati a repris l'étude du Palais de Nestor à Pylos (Grèce) et les bases de la prospection ont été mises en ligne deux ans avant la fin du travail, ce qui a été cité en exemple par nos collègues grecs qui ont collaboré avec eux[14]. Même sans base, le programme Balnéorient dirigé par M.-F. Boussac réunit des chercheurs français et étrangers qui travaillent sur le bain en Égypte, au Proche-Orient et en Arabie, et on trouve sur leur site web[15] de nombreux articles et rapports sur les bains. Dans les deux cas, la communication est publique et les contenus ont donc l'avantage d'être accessibles à deux cercles de lecteurs, les autres membres du groupe et la communauté scientifique.

Dans ce contexte, le programme EMA a réfléchi à la diffusion des données, en intégrant dès le départ les auteurs des analyses. Il fallait trouver une formule convenant aux 60 contributeurs des différents pays et protéger les contenus inédits, catalogues de thèse, études de sites et de matériels, que certains auteurs ont accepté de déposer dans la base. La diffusion est donc prévue en deux étapes:

– dans un premier temps, la base n'est consultable que par les chercheurs qui ont déposé des informations (phase d'étude et d'accès restreint);
– dans un second temps, à la fin du projet, et après accord de chacun des chercheurs, la base sera ouverte à la consultation de tous, selon les recommandations de l'Agence Nationale de la Recherche.

Ces principes prennent en compte les souhaits du réseau de chercheurs, où chacun est responsable de la communication des contenus qu'il a versés. L'ac-

[12] Centre Louis Gernet/Centre Glotz (www.circe-antique.fr/).

[13] Recensement des grands réservoirs de données du CNRS, http://gbd.ccsd.cnrs.fr/, voir l'onglet «Liste des bases».

[14] Heath 2008 (http://classics.uc.edu/prap/): pour un autre exemple, cfr. Costa, Duplouy, Eyraud *et al.* 2008 (http://prospection-itanos.efa.gr/).

[15] La carte de vœux de Balnéorient pour 2010 portait à la connaissance du groupe les contenus du site web: http://balneorient.hypotheses.org/; les organisateurs ont donc utilisé un support papier envoyé à tous les membres comme document secondaire annonçant le service électronique.

Fig. 1 – Page d'accueil du site de consultation de la base des sépultures d'enfants dans l'Antiquité (EMA). Source: programme L'Enfant et la mort dans l'Antiquité.

cord de l'auteur porte sur la diffusion des analyses et des images. Cette décision est appliquée par les trois parties du programme. Quant à l'utilisateur, il a la responsabilité de citer la base de données quand il en extrait des informations. Or les mécanismes de régulation opèrent encore peu sur les réseaux électroniques. Dans un ouvrage sur le thème de l'avenir du livre, M. Melot affirme: «Le double caractère sacré et secret du livre a été battu en brèche, et s'y substitue une banalisation et un anonymat des écrits, que l'on a souvent du mal à appeler "œuvre": car la grande question, pour le chercheur, déjà, est celle-ci: qui écrit tout ce qu'on trouve sur la Toile? Y a-t-il encore un auteur dans cette infinité d'auteurs?» (Melot 2007, 10). Perspective intéressante, les concepteurs de la ressource AGORHA de l'Institut National d'Histoire de l'Art réfléchissent actuellement à une charte de bonnes pratiques (Annoepel-Cabrignac 2010, 5).

4.2 *Les logiques techniques*

En matière d'application, nous travaillons actuellement avec le service informatique de la Maison René-Ginouvès sur le site de consultation. Les so-

lutions MySQL/PHP ou XML, conformes aux standards, et que l'on rencontre dans la discipline (Costa *et al.* 2008, 108-115 ou Annoepel-Cabrignac 2010, 5), ont la préférence du service informatique, mais elles ont l'inconvénient d'obliger à une ré-ingénierie de la base EMA. Nous souhaitons tester le logiciel FileMaker Server qui propose une "Publication Instantanée" et une Publication PHP pour conserver la programmation actuelle. Cette possibilité a d'ailleurs déjà été exploitée en archéologie[16]. Finalement, la base a été migrée en MySQL/PHP et la mise en ligne interviendra en mai 2012 (Fig. 1)[17].

En conclusion, le programme "L'enfant et la mort dans l'Antiquité" a développé une méthode et des techniques pour l'élaboration d'une ressource numérique sur le thème de la présence des enfants en contexte funéraire. Cette ressource est le résultat d'une chaîne de production: constitution d'un système descriptif et d'une application, alimentation en données, exploitation des données par le programme, diffusion au sein du groupe de recherche, puis à la communauté scientifique. Les auteurs de fiches, les responsables scientifiques et les gestionnaires de données font ainsi œuvre commune, en organisant la coexistence de productions traditionnelles et d'un instrument de travail numérique.

Virginie Fromageot-Lanièpce
CNRS – UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
CNRS, Université de Paris 1, Université de Paris Ouest Nanterre,
Ministère de la Culture et de la Communication
Maison René-Ginouvès d'Archéologie et d'Ethnologie

BIBLIOGRAPHIE

Annoepel-Cabrignac S. 2010, *Accès global et organisé aux ressources en histoire de l'art (AGORHA)*, «Les Nouvelles de l'INHA», 37, 4-5.

Bricault L. (dir.) avec la collab. de R. Ashton, F. Delrieux, W. Leschhorn *et al.* 2008, *Sylloge nummorum religionis isiacae et sarapiacae (SNRIS)*, Paris (Mémoires de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres XXXVIII, avec un CD-ROM).

Costa L., Duplouy A., Eyraud F., Sarris A. 2008, *Vers la mise en réseau des données et des chercheurs: le système d'information de la prospection d'Itanos (Crète orientale)*, «Archeologia e Calcolatori», 19, 103-122.

Fauduet I., Arcelin P. 1993, *Les sanctuaires romano-celtiques de Gaule*, Paris, Editions Epona.

Ginouvès R. 1998, *Dictionnaire méthodique de l'architecture grecque et romaine III: espaces architecturaux, bâtiments et ensembles*, Athènes-Rome, École française d'Athènes-École française de Rome.

[16] Cfr. portail du laboratoire Archéologies d'Orient et d'Occident et textes anciens http://www.archeo.ens.fr/ (menu diffusion scientifique, bases de données). Acces restreint on public selon les bases.

[17] Sur le site de la Maison René-Ginouvès, grâce au développement d'Agnès tricoche (Archéolien).

Guimier-Sorbets A.-M. 1999, *Des bases de données à la publication électronique: une intégration des données et des outils de recherche*, «Archeologia e Calcolatori», 10, 101-115.

Guimier-Sorbets A.-M., Morizot Y. 2010 (dir.), *L'Enfant et la mort dans l'Antiquité* I, *Nouvelles recherches dans les nécropoles grecques*, *Le signalement des tombes d'enfants*, *Actes de la table ronde internationale organisée à Athènes (29-30 Mai 2008)*, Paris, École française d'Athènes (Travaux de la Maison René Ginouvès 12).

Heath S. 2008, *Computers and Maps at PRAP*, in J.L. Davis (ed.), *Sandy Pylos, An Archaeological History from Nestor to Navarino*, 2e édition, Athènes, 298-301.

Hermary A. 2010, *Présentation du programme "L'enfant et la mort dans l'Antiquité [EMA]: des pratiques funéraires à l'identité sociale"*, in Guimier-Sorbets, Morizot 2010, 11-16.

Laubenheimer F., Schmitt A. 2009, *Amphores vinaires de Narbonnaise, Production et grand commerce. Création d'une base de données géochimique des ateliers*, Lyon (Travaux de la Maison de l'Orient et de la Méditerranée 51).

Lavagne H., Terrer R., Robert D. 2007, *La base de données du Nouvel Espérandieu: une sauvegarde de la mémoire collective*, «Comptes rendus des séances de l'Académie et Belles-Lettres», Novembre-Décembre, 1533-1572.

Linant de Bellefonds P., Szabados A.-V. 2006, *L'iconographie de la mythologie antique sur le web*, «Archeologia e Calcolatori», 17, 25-43.

Melot M. 2007, *Le livre au défi de la numérisation*, in P. Lardellier, M. Melot (eds.), *Demain, le livre*, Paris, L'Harmattan, 9-17.

Moscati P. (ed.) 2009, *La nascita dell'informatica archeologica, Atti del convegno internazionale (Roma 2008)*, «Archeologia e Calcolatori», 20.

Semeraro G. 2009, *Strumenti "tradizionali" e nuove tecnologie per la comunicazione in archeologia*, in Moscati 2009, 85-94.

Les articles de la revue «Archeologia e Calcolatori» cités sont disponibles en ligne: http://soi.cnr.it/archcalc/.

ABSTRACT

Archaeologists are interested in the construction of information systems and in their treatment and increasingly, in the electronic communication of tools. The examples of collective projects which have web sites exist (databases, GIS, computer generated images, etc.). In this paper we shall present the experience of the EMA program which, under the aegis of the National Agency of Research, was responsible for the creation of a database of children's graves in Antiquity (Center Camille Jullian of Aix-en-Provence, UMR Archaeology and Science of Antiquity of Nanterre, Center of Alexandrine Studies). In association with their partners, the UMR ArScAn designed the tool in continuation of the work on the conception and the ergonomics of the bases of data and images. The EMA base now is shared; at the end of the program it will be opened for consultation, after the consent of each of the researchers involved. At the same time, we shall examine some sites of consultation of databases and the ways in which they respond.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 61-73

SYSTÈMES D'INFORMATION ARCHÉOLOGIQUE DE TERRAIN ET FONDAMENTAUX DE L'ENREGISTREMENT ARCHÉOLOGIQUE: QUELQUES REMARQUES À PROPOS DE L'APPLICATION STRATIBASE

1. L'application Stratibase: genèse d'un outil

À l'origine de Stratibase (comme de nombreuses autres applications), se trouvent les systèmes d'enregistrement adaptés aux sites densément stratifiés de type urbain, utilisant des fiches d'unités stratigraphiques, mis au point en Grande Bretagne (*single context recording*), puis introduits en France dans les années 1970 par quelques équipes pionnières avant de se répandre plus largement à la faveur des fouilles urbaines préventives. Au départ non informatisé, ce type d'enregistrement, bien que parfois critiqué comme trop complexe et "paperassier", présentait déjà les caractères d'un véritable système d'information. En effet, les données y étaient structurées de façon analytique (champs descriptifs définis) et relationnelle (liens et renvois entre différents documents d'enregistrement), et leur mise en œuvre efficace nécessitait une claire définition des processus de travail et de la répartition des tâches et responsabilités.

L'auteur de ces lignes, formé à cette école au début des années 1980, a ensuite mis en œuvre ce type d'enregistrement sur les fouilles dont il a eu la charge; mais en ne recourant, jusque dans les années 1990, qu'à une informatisation limitée (saisie sur tableur de listes d'unités stratigraphiques et de mobilier saisies), relevant plus de la bureautique liée à la réalisation des rapports de fouille que d'une véritable gestion des données. Il avait en revanche commencé à travailler sur l'automatisation du traitement des données stratigraphiques, en vue de réduire le temps important de réalisation manuelle du diagramme stratigraphique sur des stratifications denses (Desachy, Djindjian 1991).

2. L'ancêtre de Stratibase: UMAEI, un outil pour une opération spécifique (1999)

En 1999, la participation de l'auteur à un programme de formation du ministère de la Culture à Mayotte, comprenant la conduite d'un chantier école sur le site de Dembéni (Desachy, Belarbi 2000) fut l'occasion de franchir le pas d'une informatisation plus poussée. Les contraintes particulières de cette opération imposaient le maximum de simplicité et de facilité d'utilisation. Une application, nommée UMAEI (Unités et Mobilier Archéologique – Enregistrement Informatisé) a donc été créée, dont le modèle de données (Fig. 1) matérialisait deux objectifs principaux:

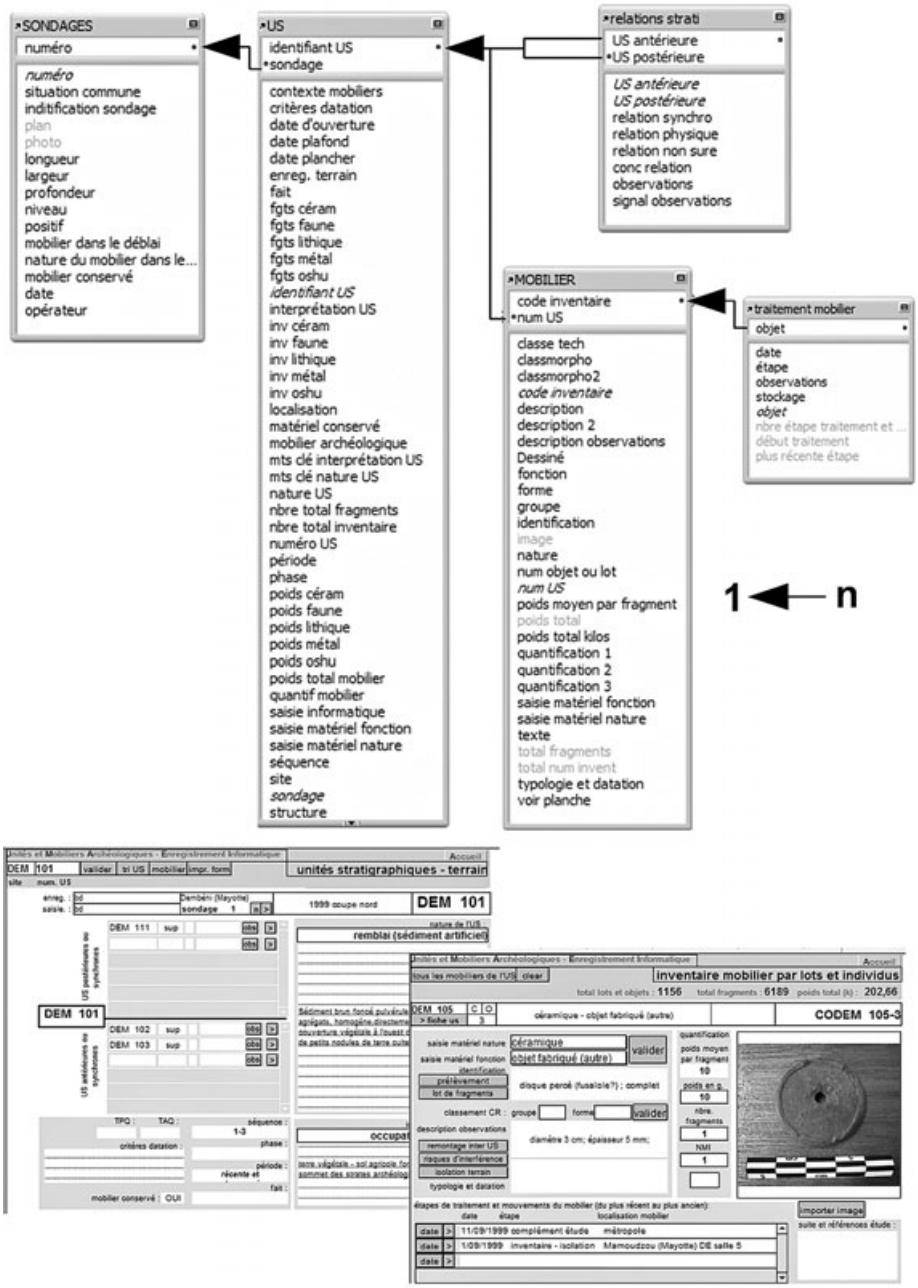


Fig. 1 – Base de données UMAEI (1999): modèle de données et écrans.

– Sur le terrain, permettre un enregistrement stratigraphique efficace, par une gestion réellement relationnelle de la stratigraphie. La structure mise en place à cette fin comprenait une table des unités stratigraphiques (munie de champs de description et d'interprétation) et une table de lien assurant une relation de type "plusieurs à plusieurs" de la table des US sur elle-même. Cette table de lien stockait ainsi les relations stratigraphiques sous forme de couples d'US, et permettait, au niveau des interfaces, la saisie et l'affichage des relations stratigraphiques directement depuis le formulaire d'US (au moyen de sous-formulaires); avec, lors de la saisie d'une relation depuis une US, l'affichage "automatique" de la relation réciproque sur le formulaire de l'autre US en cause (le même couple d'US créé dans la table de lien renseignant les sous-formulaires des deux unités). Cette table de lien stockant les relations stratigraphiques permettait aussi une vérification aisée de ces relations[1].
– Deuxième objectif principal, disposer pour la "post-fouille" d'un tableau de bord permettant le suivi du mobiliers et des prélèvements. Pour cela, le parcours de tout élément recueilli en fouille (artefacts, ecofacts, prélèvements…) a été défini, dans une vision de processus, comme une suite d'étapes de traitement; chaque étape étant elle-même définie par un temps (date de début de l'étape considérée, la date de début de l'étape suivante en marquant la fin), un type de traitement (restauration, étude archéologique, stockage, etc.), et un lieu (le changement de lieu entrainant le changement d'étape); d'autres indications pouvant s'y ajouter, par exemple la personne ou l'organisme effectuant ce traitement. Chaque élément (lot ou individu) était ainsi généré dans le système par une étape initiale, au sortir de fouille, de tri par nature, conditionnement et enregistrement du matériel recueilli dans une US; étape initiale suivie d'étapes spécialisées différentes suivant la nature de cet élément; et avec, dans certains cas, une étape ultime mettant fin à l'existence matérielle de l'élément considéré (analyse destructive d'un prélèvement par exemple). La structure de données correspondante comprenait une table unique des éléments (objets ou lots) recueillis, munie de champs précisant leur nature (matière et fonction); et une table des étapes de traitement, en relation "1 à plusieurs" avec la table des éléments recueillis (un élément recueilli subissant plusieurs étapes successives de traitement, mais une étape de traitement ne se rapportant qu'à un seul élément). Cette structure fournissait l'inventaire du mobilier, la localisation de chaque élément étant donnée par l'étape de traitement en cours; et sa "traçabilité" étant assurée par la succession des étapes classées chronologiquement.

[1] L'auteur était à l'époque très fier d'avoir trouvé cette structure simple de gestion des relations stratigraphiques, mais il ne s'agissait que d'une redécouverte: elle était présente (au moins) dans le modèle IDEA (Integrated Database For Excavation Analysis) précédemment proposé par Andresen, Madsen 1996.

Un lien entre la table des éléments recueillis et celle des US, et une table des sondages regroupant les US observées dans des ouvertures distinctes complétaient ce modèle de données. Celui-ci a été implémenté sur un "petit" logiciel (Filemaker), choisi pour des raisons pratiques: courant dans la profession, multiplateforme (PC et Macintosh), et offrant (dans sa version 3 disponible à l'époque) des capacités relationnelles limitées mais réelles.

Le bilan de cet outil de circonstance s'est révélé globalement positif: son usage était aisé, et il a fortement aidé à l'élaboration du rapport de mission et des inventaires. Mais il a aussi révélé des inadaptations et des lacunes.

Tout d'abord, le principe d'un outil d'enregistrement exclusivement basé sur la notion d'US et l'identification des relations stratigraphiques a montré ses limites. Lors de sa première évaluation, le site d'intervention était apparu comme une stratification dense de type urbain; ce qui ne s'est révélé que partiellement vrai. Sur une grande part de sa surface, le lessivage typique des sols tropicaux, avait en effet rendu imperceptibles les interfaces des structures en creux (fosses, trous de poteaux ou de piquets, etc.), bien que la fraction grossière des sédiments archéologiques (y compris le mobilier) soit apparemment restée en place. La poursuite de la fouille aurait nécessité une stratégie adaptée, basée sur l'enregistrement en trois dimensions et l'analyse de la distribution spatiale de ces éléments en place, et par conséquent un développement complémentaire de la base UMAEI, inadaptée en l'état à ce type d'enregistrement.

Autre et non moindre lacune: dans un but de simplicité maximale, la gestion de la documentation produite par les fouilleurs n'avait pas été intégrée au système (seul un inventaire des photos, non lié aux autres tables, a été ajouté en cours de route). L'expérience a montré que cette économie était un mauvais calcul: la documentation a besoin d'être suivie, au même titre que les autres données de fouille.

3. L'application Stratibase: d'un "démonstrateur" à un outil opérationnel (2005-2011)

L'application UMAEI n'a pas connu de diffusion au delà de cette mission à Mayotte (mis à part quelques interventions de terrain limitées effectuées par l'auteur de ces lignes dans le cadre de ses fonctions de l 'époque au Service régional de l'archéologie (SRA) de Picardie). Elle a en revanche servi de base pour une nouvelle application, développée dans une perspective différente. La mise au point d'un outil de réalisation de diagramme stratigraphique, poursuivie par l'auteur, nécessitait en effet d'expérimenter les échanges entre cet outil et une base de données d'enregistrement de terrain. Cela dans la perspective d'un "système d'information stratigraphique" (SIS), faisant du diagramme un document dynamique, généré ou régénéré en tant que de besoin à partir des US et relations enregistrées dans la base de données, et permettant

la visualisation de requêtes effectuées sur les US. Ce travail a donné lieu à une thèse (Desachy 2008) qui présente les deux composantes d'un système d'information stratigraphique expérimental mais déjà opérationnel: une base de donnée d'enregistrement stratigraphique (Stratibase), communiquant avec un module de création de diagramme stratigraphique (Le Stratifiant).

Les caractéristiques de Stratibase (ainsi que celles du Stratifiant) sont détaillées dans ce travail de thèse; nous n'en évoquerons ici que les aspects utiles à notre propos.

L'application devait tout d'abord être la plus générique possible, comprenant les fonctions essentielles présentes dans tout système d'enregistrement stratigraphique. Stratibase a ainsi bénéficié de l'expérience d'UMAEI, qui visait déjà à la plus grande simplicité, mais dispose d'un modèle de données plus complet (Fig. 2). On y retrouve les composantes d'UMAEI concernant la stratigraphie et les éléments recueillis, avec un ajout essentiel: la gestion de la documentation produite par les archéologues, au moyen (simplicité oblige) d'une table unique munie de champs précisant la nature du document. Cette table est liée par des relations plusieurs à plusieurs à celle des US et à celle des éléments recueillis, permettant une indexation réciproque et une navigation du document vers l'objet ou le contexte documenté, et vice-versa.

Le choix d'implémentation s'est de nouveau porté sur Filemaker, sans exclure à l'avenir le transfert vers un logiciel libre; cependant, le recours aux logiciels les plus courants dans les ordinateurs d'archéologues a volontairement été préféré à toute recherche d'avant-gardisme technique.

Il faut noter que Stratibase n'a jamais été conçue comme une solution universelle ou unique. En effet, le module de création de diagrammes Le Stratifiant a été lui conçu pour pouvoir s'adapter à d'autres bases de données d'enregistrement, à condition qu'elles remplissent certaines conditions conceptuelles et techniques (essentiellement: une gestion relationnelle des données stratigraphiques). De ce point de vue, Stratibase a donc d'abord un rôle de "démonstrateur", d'exemple illustrant ces conditions.

Néanmoins, ceci n'excluait pas la possibilité d'une utilisation réelle, la règle suivie pour la thèse étant de fournir des outils ayant une capacité opérationnelle. De fait, Stratibase a été employée sur le terrain dès 2007[2]. Accessible gratuitement et librement[3], cette application connait aujourd'hui une certaine diffusion, et est utilisée ou essayée sur le terrain par quelques équipes de fouille, de l'Inrap notamment. Elle est aussi appliquée à la reprise

[2] Sur la fouille du Mont Saint-Syméon (Qalat Semaan, Syrie) dirigée par Jean-Luc Biscop.

[3] Indépendamment de son actuel logiciel-support Filemaker, le développement propre de Stratibase est placé sous licence libre CeCill. Lien de téléchargement: http://le-nid-du-stratifiant.ouvaton.org/spip.php?article7.

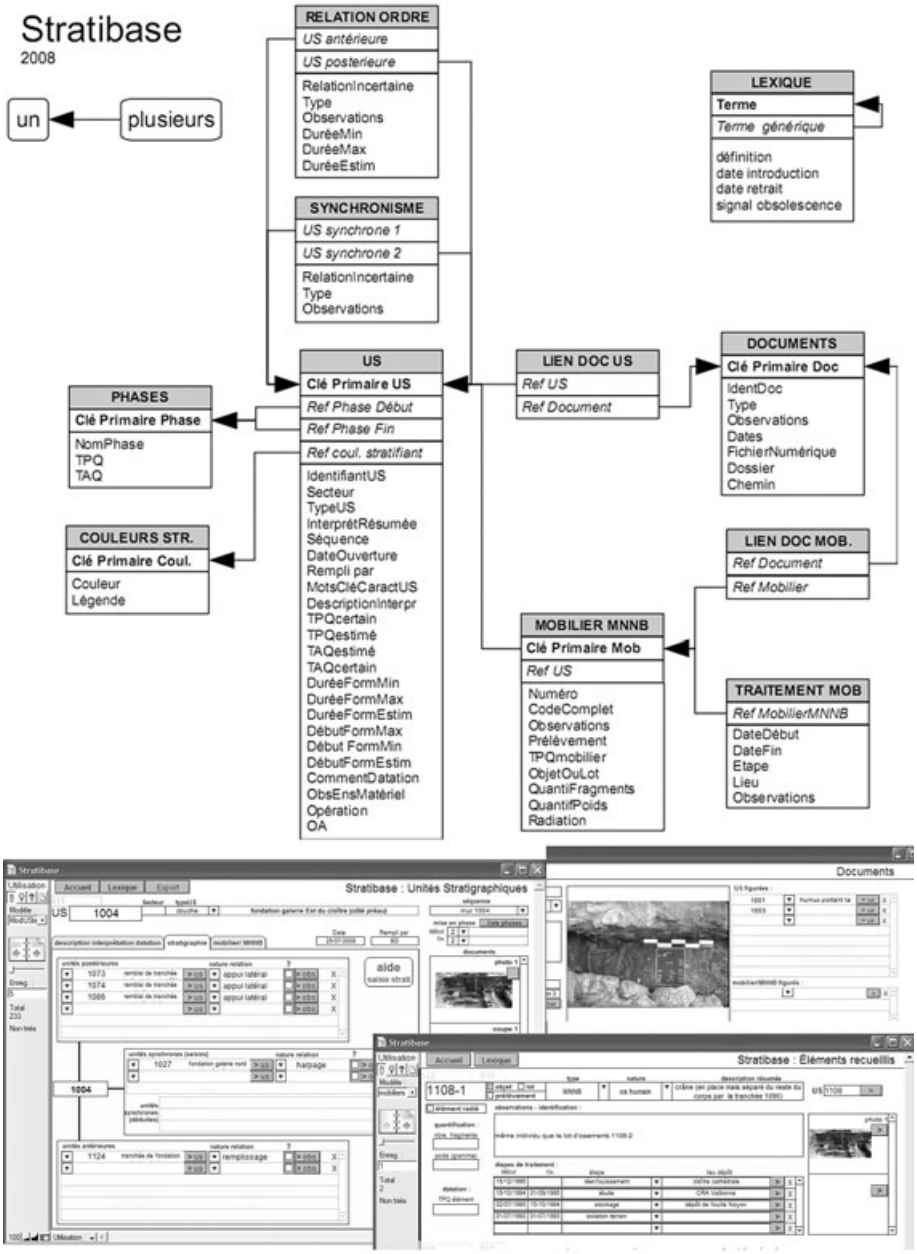


Fig. 2 – Application Stratibase: modèle de données et écrans.

des données de fouilles anciennes[4]. Par ailleurs, elle sert de "banque d'organes" pour d'autres applications plus spécialisées et plus développées[5]. Le bilan ne peut être exhaustif, car la mise à disposition libre de Stratibase l'amène à vivre sa propre vie, sans que l'auteur ne soit au courant de toutes ses utilisations. Les retours qui lui sont parvenus montrent néanmoins que la simplicité de l'application est un critère qui motive initialement son choix; mais que son utilisation entraine rapidement le besoin de descriptions plus spécialisées, de champs voire de tables à ajouter… De sorte qu'il existe aujourd'hui "des" (et non une) stratibases opérationnelles, qui divergent progressivement les unes des autres. L'application "générique" cesse en fait de l'être, dès qu'elle est réellement utilisée et qu'elle évolue pour répondre aux besoins des utilisateurs.

4. Les leçons d'une expérience

4.1 *Parti-pris 1: non au mythe de la solution unique*

Le premier enseignement tiré de cette expérience est effectivement qu'aucun outil informatique ne peut prétendre constituer une solution unique, car aucun n'est définitif ni d'un usage universel. Au contraire, un système informatisé d'enregistrement doit d'abord, à notre sens, être adapté localement.

Cette nécessité d'adaptation concerne le contexte chrono-culturel étudié: la fouille d'un village néolithique ne recourra pas aux mêmes thésaurus et qualifications de structures que celle d'un îlot urbain médiéval.

Elle concerne aussi la méthode d'enregistrement, laquelle est variable, en fonction de l'échelle d'analyse du terrain. De ce point de vue, notons que les systèmes d'enregistrement d'obédience "urbanisante" fondés sur la notion d'US (au rang desquels figure Stratibase), tendent implicitement à poser la fouille par US comme l'unique approche de terrain possible. Or, l'US, telle que définie par Edward Harris (la plus petite unité de terrain situable en chronologie relative par des interfaces stratigraphiques), est effectivement l'unité centrale en fouille urbaine, mais pas dans d'autres approches, comme le montre l'exemple du site de Dembéni évoqué ci-dessus. Suivant le type de terrain, l'échelle de l'analyse peut en effet être plus large – sur les fouilles en grands décapages (sites peu densément stratifiés), l'unité principale d'enregistrement est fréquemment la structure fonctionnelle (correspondant en fait à un regroupement d'US) – ou plus fine: l'unité principale d'enregistrement peut se situer (comme cela est fréquent sur les fouilles préhistoriques) au niveau

[4] Projet en cours à Beauvais (Oise), en collaboration avec le service archéologique de la ville et la société académique de l'Oise.

[5] Certaines de ses composantes ont ainsi été réemployées dans le système informatisé d'enregistrement SIA-Am (Sistema de información arqueológica de las Américas) développé par Laure Déodat au sein de l'UMR 8096 – ARCHAM.

du sous-ensemble artificiel (mailles, carrés, etc.), voire de chaque élément constitutif, d'un niveau archéologique constituant une seule US au sens de Harris (Desachy 2008). Ces différences de terrain et d'échelle induisent des processus de fouille et d'enregistrement spécifiques. On peut certes concevoir des systèmes d'enregistrement polyvalents et multiscalaires; néanmoins l'adaptation optimale d'un système à un même type de site, relevant d'un même contexte chrono-culturel global, et induisant une même approche de terrain, entrainera inévitablement sa spécialisation, y compris concernant les outils logiciels[6].

Enfin, et surtout, l'adaptation du système à l'organisation de l'équipe qui le met en œuvre est primordiale; ce n'est pas matériellement la même application qui conviendra par exemple à une équipe avec un personnel réduit et très polyvalent ou à une équipe nombreuse avec un personnel très spécialisé; à une équipe ayant le seul rôle d'opérateur de fouille, ou amenée à gérer un processus plus large (y compris carte archéologique, dépôt de fouille, voire musée), voire à s'intégrer dans un SIG territorial, comme ce peut être le cas pour un service archéologique de collectivité.

Cette nécessité d'adaptation entraine celle de l'évolutivité. L'expérience montre qu'un système d'enregistrement, pour être efficace, connait au début de son utilisation une phase "d'apprentissage" marquée par de nombreux compléments et modifications, afin de mieux l'adapter au champ traité et aux acteurs qui l'emploient (comme l'ont bien montré O. Barge, S. Sanz, et J. Mouraille: Barge, Sanz, Mouraille 2005). Il peut atteindre ensuite une relative stabilité, mais il suffit que les conditions d'emploi – le terrain, ou les acteurs, ou les besoins, ou les trois – changent, pour devoir repasser par cette phase de modifications et d'ajustements. Cet apprentissage est effectivement le processus par lequel, en s'adaptant, le système devient plus spécialisé, et moins universel…

La variété des applications informatiques d'enregistrement archéologique et leur recours à des logiciels divers ne sont donc nullement un phénomène négatif. A l'inverse, la recherche plus ou moins explicite de l'application unique et universelle n'est, à notre sens, qu'une illusion, porteuse d'un risque de stérilisation intellectuelle de l'enregistrement archéologique, et nourrie soit par une vision bureaucratique de (fausses) économies à tirer d'une standardisation totale des outils; soit par le souhait – légitime – d'archéologues de faire vivre le système qu'ils ont localement développé, mais tentant pour cela d'imposer ledit système

[6] Par exemple, l'emploi de logiciels de SIG pour l'enregistrement de terrain, s'il est judicieux sur des sites érodés fouillés en grands décapage (la stratigraphie y est essentiellement "horizontale", et le plan des structures est le principal support de l'analyse), est en l'état actuel l'une des choses plus problématique sur les sites densément stratifié; car la stratification tridimensionnelle qui les caractérise impose, pour être pleinement représentée, de traiter des volumes (des polyèdres et non plus des polygones) et leur topologie (les faces communes traduisant des relations stratigraphiques): ce que ne sait pas faire aujourd'hui un simple SIG cartographique.

au détriment de tout autre (ces collègues acceptant, en somme, une solution unique et standardisée mais à condition que ce soit la leur et pas celle du voisin…); soit encore par un excès de naïveté des utilisateurs, attendant directement d'un produit logiciel la solution de leurs problèmes de fonctionnement…

4.2 *Parti-pris 2: oui à la recherche de fondamentaux communs*

De fait, le paysage actuel des outils informatiques d'enregistrement de terrain est d'une très grande diversité, avec une multitude d'applications locales, comme l'ont noté les enquêtes réalisées au sein de l'Inrap notamment (cfr. les communication de P. Ciezar, A. Koehler et C. Tufféry). Cette diversité n'est, répétons-le, pas un problème en soi. Le vrai danger est celui de l'incommunicabilité entre ces outils différents. Pour y remédier, il est possible, au delà de leurs différences d'échelle d'analyse, de référentiels et de vocabulaire, de retrouver des composantes fondamentales communes qui manifestent l'unité conceptuelle profonde de l'archéologie de terrain[7].

Comme expression possible de ces derniers, la Fig. 3 propose une structure générique sous forme d'un modèle entité-association simplifié, tel que l'on peut dire qu'en l'absence de ces entités et relations minimales, un système d'enregistrement de terrain est incomplet. Malgré son extrême simplicité, ce modèle générique appelle quelques commentaires.

D'abord, il a un périmètre défini: l'opération archéologique[8]. Il s'applique donc à que nous qualifions ici de "système d'information archéologique de terrain" (SIAT), c'est-à-dire les systèmes mis en place pour gérer et traiter les données scientifiques au cours de la réalisation de l'opération archéologique, de son début (autorisation de fouille), à sa fin (remise du rapport final d'opération, de la documentation scientifique et du mobilier). Cette étape de réalisation de l'opération archéologique, que nous qualifions "d'archéologie de terrain", s'insère dans un plus vaste processus archéologique et patrimonial, comprenant, en amont et à plus large échelle, la gestion de la carte archéologique (dont la notion d'opération archéologique n'est qu'une entité, alors qu'elle est le périmètre

[7] Ce qui ne constitue en aucun cas une recherche ontologique. Car l'auteur tient ici à signaler qu'il désapprouve l'emploi du terme "ontologie" pour désigner l'analyse d'un système de concepts communs à une activité (par exemple l'archéologie de terrain); et qu'il stigmatise du sceau de l'infamie les informaticiens coupables de ce jargon pompeux.

[8] Le périmètre réduit à l'opération archéologique du modèle générique proposé place celui-ci à une échelle différente de (mais pas en contradiction avec) le modèle plus vaste qu'est le CIDOC CRM (*ICOMs International Committee for Documentation – Conceptual Reference Model*). Le CIDOC CRM, qui en est actuellement à sa version 5.0.2 (janvier 2010), a pour ambition d'être une structure de référence documentaire pour tout le domaine du patrimoine culturel; de sorte que toute structure de données dans le domaine du patrimoine culturel (dont l'archéologie) soit traduisible dans une forme compatible avec ce modèle. Le CIDOC CRM est néanmoins pensé principalement du point de vue de la gestion des collections de musées (cfr. N. Crofts, M. Doerr, T. Gill, S. Stead, M. Stiff, Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model: http://www.cidoc-crm.org/).

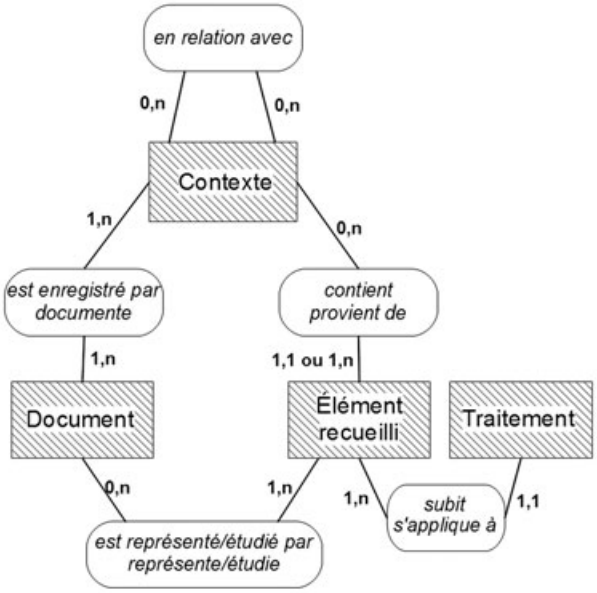


Fig. 3 – Systèmes d'information archéologique de terrain: structure de référence.

d'un SIAT), ou, en aval, l'étude spécialisée des différents catégories d'artefacts et d'ecofacts, la gestion des centres de conservation et d'études (CCE) et celle des collections de musées. Chaque étape mobilise des concepts et processus propres, qui fondent des systèmes et applications informatiques adaptés; les identifier permet de mieux articuler ces différents systèmes ou sous-systèmes au sein du processus global. Par exemple, dès la réalisation de l'opération, on constate aujourd'hui de plus en plus la nécessité d'articuler (et non de confondre) les SIAT proprement dit, et les bases de données spécialisées et transversales (portant sur les données de plusieurs opérations et sites) fréquemment mises en œuvres par les chercheurs en études environnementales et de mobilier.

La structure de référence proposée s'organise autour des entités en relation que sont l'information contextuelle (la notion de contexte recouvrant les unités de terrain employées par l'archéologue), la documentation scientifique (tout document produit par l'archéologue lui-même), et les éléments recueillis (tout élément matériel conservé en vue d'étude ultérieure et/ou de présentation).

À cette dernière entité, il nous a semblé important de lier celle de traitement (effectué sur ces éléments recueillis). En archéologie de terrain en effet, l'objet (au sens d'élément matériel recueilli) n'est pas nécessaire (il existe des opérations sans recueil d'éléments matériel), à la différence du contexte et du document (il n'existe pas – ou ne devrait pas exister – d'opération archéologi-

que sans observation du milieu exploré, et sans enregistrement de celle-ci); mais lorsque des éléments matériels ont été recueillis (ce qui est tout de même le cas le plus fréquent), ce qu'il sont devenus au terme de l'opération est, en pratique, comme on l'a vu plus haut, le produit d'une série de traitements. De fait, tout archéologue sait qu'un inventaire archéologique est "instable" jusqu'au terme de l'étude, car ces traitements peuvent modifier les objets (remontage céramique par exemple). Aussi, on peut affirmer que pour l'archéologue, le traitement est une entité aussi importante que l'objet matériel en soi, car c'est le premier qui définit le second. Le modèle reflète donc ce statut particulier de l'objet matériel en archéologie de terrain, qui diffère par exemple du statut de l'objet dans la conservation des collections de musées.

Autre point à noter, l'importance particulière de l'association (relation) des contextes à eux-mêmes. Elle recouvre en effet la stratigraphie (formée de relations d'ordre et d'équivalence entre contextes), mais aussi les relations d'inclusion entre unités de terrain enregistrées à échelle différente (US, structures, etc.), ainsi que la relation entre unités artificielles (définies par le fouilleur) et unités archéologiques, très importante dans certaines approches de terrain. C'est au niveau de ces relations (dont la nature doit être évidemment précisée dans l'enregistrement), inhérentes à la définition même des contextes, que s'expriment la méthode de fouille et le choix de l'échelle d'analyse du terrain.

Notons enfin que les relations entre documents d'une part, contextes et éléments recueillis d'autre part, incluent la spatialisation (topographique, voire topologique) de ces contextes et éléments, lorsque les documents concernés sont des relevés et représentations spatiales, ou qu'ils précisent une localisation; laquelle spatialisation peut recourir à des outils de SIG.

Cette structure de référence, qui vise à exprimer de façon très synthétique, donc très simplifiée, les entités et relations fondamentales de l'enregistrement archéologique, ne fait que refléter la pratique: le modèle de données de Stratibase s'y rapporte[9], comme celui de la plupart des autres SIAT existants. Mais elle affirme l'unité conceptuelle profonde des SIAT, et par conséquent la possibilité de communication entre SIAT différents. A cela, le projet de norme numérique d'échange de données présenté par Anne Chaillou (cfr. *infra*), qui correspond aussi à cette structure de référence (à l'étape de la transmission des données de l'opérateur au SRA, au terme de l'opération), apporte d'ores et déjà une réponse précise. Cette norme présentée sous forme de tableaux constitue en effet une structuration détaillée au niveau d'un modèle logique de données (c'est à dire avec l'indication des champs nécessaires et de leur format) des tables et liens que tout SIAT doit être, au minimum, capable de produire.

[9] Les tables *US* et *Phase* de Stratibase se rapportent à l'entité *Contexte*, les tables *Relation Ordre* et *Synchronisme* à l'association *en relation avec*, les autres entités et associations correspondent directement à des tables et liens.

Au delà de l'échange des données, un modèle de référence a aussi pour utilité de faciliter l'audit et l'amélioration des applications existantes. Par exemple, la comparaison de la structure de référence (Fig. 3) avec le modèle UMAEI (Fig. 2) suffit ainsi à mettre en évidence un manque majeur, déjà signalé, de ce dernier: l'absence de gestion de la documentation. De ce point de vue, une normalisation intelligente des SIAT pourrait être la compatibilité du système concerné avec une structure de référence minimale (mais nécessairement plus détaillée que le modèle simplifié présenté ci-dessus), structure de référence pour laquelle le projet de norme présenté par Anne Chaillou nous paraît là aussi constituer une base judicieuse. Cette normalisation serait "intelligente" en ce sens qu'il ne serait pas question de standardiser les SIAT (imposer partout la même application), mais de vérifier que les différentes applications (quels que soient leurs auteurs, leur structure complète, les logiciels utilisés, et les opérateurs et équipes qui les mettent en œuvre) respectent une série d'exigences minimales. Il nous paraît clair que ce rôle de normalisation devrait relever de l'Etat, par exemple au moyen d'un label attribué aux applications informatiques de SIAT satisfaisant à ces exigences minimales.

4.3 *Parti pris 3: l'archéologue doit faire l'effort de prendre le pouvoir*

La troisième leçon de l'expérience et le troisième parti-pris, qui nous tiendront lieu de conclusion, consistent à affirmer que les archéologues ne peuvent faire l'économie, lors de la mise en place d'un nouveau système d'information archéologique de terrain ou lors de sa refonte, d'une réelle analyse préalable de leurs besoins et pratiques. Cette analyse passe nécessairement par la définition, et la clarification si besoin, des processus de travail propres à l'équipe concernée; ainsi que par la structuration précise de l'information propre au champ archéologique traité par cette équipe (au delà des fondamentaux communs à toute l'archéologie de terrain évoquées plus haut). D'expérience là encore, l'espoir qu'une application informatique préfabriquée acquise "sur l'étagère" pourra directement résoudre les problèmes qui se posent à l'équipe, en évitant cet effort d'analyse et de remise en question, s'avère fréquemment déçu.

Pour mener à bien ce type d'analyse préalable, les professionnels compétents dans le domaine de la conception des systèmes d'information utilisent des méthodes de formalisation[10] qui peuvent aider les archéologues à "accoucher"

[10] Il en existe plusieurs, qui ont une nette tendance à s'ignorer les unes les autres (chacune se posant comme universelle), et une non moins nette tendance à cacher les mêmes principes de base sous un vocabulaire foisonnant (et par ailleurs souvent lié aux outils informatiques, au lieu d'en être indépendant) qui n'est pas sans rappeler les inventions langagières des cartes des grands restaurants ou de l'industrie des produits de beauté (l'utilisation déjà évoquée du terme "ontologie" n'en est qu'un exemple). Ces méthodes sont cela dit indiscutablement utiles. Les plus récentes sont "orientées-objet" (associant traitements et attributs des données), mais les méthodes de la génération précédente (type *Merise*) restent, à notre avis, pratiques, en particulier car elles distinguent clairement, dans le système d'information, l'analyse des processus et celle de la structure.

de ce qui au fond est une réflexion méthodologique appliquée à la réalité du travail archéologique. Mais c'est bien la méthodologie archéologique, et non les objectifs de rentabilité financière des sociétés de service en informatiques et /ou les effets de mode technologique, qui doit primer dans l'informatisation des systèmes d'information archéologiques de terrain.

Bruno Desachy
EPCC Bibracte
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Équipe Archéologies environnementales

BIBLIOGRAPHIE

Andresen J., Madsen T. 1996, *Dynamic classification and description in the IDEA*, in P. Moscati (ed.), *III International Symposium on Computing and Archaeology (Roma 1995)*, «Archeologia e Calcolatori», 7, 1996, 591-602.

Barge O., Sanz S., Mouraille J. 2005, *Finalités et contraintes des inventaires archéologiques: réflexions et pistes pour la mise en œuvre*, in J.-F. Berger *et al.* (eds.), *Temps et espaces de l'homme en société, analyse des modèles spatiaux en archéologie*, *Actes des XXVe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes 2004*, Antibes, Éditions APDCA, 249-258.

Desachy B. 2008, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, thèse de doctorat en archéologie des périodes historiques, soutenue le 12 Décembre 2008, Université de Paris 1 (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00406241/fr/) [accès le 21 Janvier 2011].

Desachy B., Belarbi M. 2000, *Dembéni (Mayotte) – mission archéologique août-septembre 1999*, rapport déposé à la Sous-Direction de l'Archéologie (Paris) et au Service Régional de l'archéologie de Picardie (Amiens).

Desachy B., Djindjian F. 1991, *Matrix processing of stratigraphic graphs: a new method*, in K. Lockyear, S.P.Q. Rahtz (eds.), *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, Oxford, BAR International Series, 565, 29-37.

ABSTRACT

This article illustrates a computerised database for excavation recording called *Stratibase* which is used by several archaeology teams in France. This is not intended to be a detailed presentation of *Stratibase* and its characteristics, because this sort of computerised application is at present very commonplace. However, the steps leading to the origin and development of *Stratibase* are presented along with some conceptual aspects; in fact, through this experience, we arrived at some general conclusions about computerised recording systems used by archaeologists. Our remarks, from an archaeological point of view, concern the need for variety and adaptability in those systems and, at the same time, the necessity for standardized fundamental principles. They also concern the role of the archaeologist in the elaboration of data models.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 75-95

LE SYSTÈME D'INFORMATION DU PROGRAMME "ARCHÉOLOGIE DU BASSIN PARISIEN". ENTRE SIG ET SGBD, VERS UN APPLICATIF OPEN SOURCE ADAPTÉ

1. Introduction

1.1 *Objectif de la base de données*

La constitution de la base de données du programme est l'axe méthodologique fort de celui-ci (Brun, Soulier 2007). Loin de vouloir imposer un schéma universel de modélisation des données, l'objectif de la base "Archéologie du Bassin parisien" est de proposer un recensement des sites répertoriés dans les corpus d'études des aires géographique et chronologique du programme. L'intérêt et l'originalité de ce travail est de rendre compte des nombreuses recherches menées dans le cadre du programme. Il s'agit d'un projet ambitieux de grande envergure puisque de nombreux programmes collectifs (type ACR ou PCR) mais aussi des diplômes universitaires produisent des corpus de données susceptibles à terme, d'être intégrés à la base Bassin Parisien.

1.2 *Vers une métabase de données*

Le programme Bassin Parisien couvre une aire géographique et chronologique très large, de la Préhistoire au Moyen-âge. Entre ces bornes chronologiques, la nature des sites, leur fonction, et leur degré de complexité sont très variables. De même, les bases de données destinées à être intégrées sont constituées selon des problématiques et des échelles très diverses (objet – site – réseau de sites – aire d'approvisionnement, etc.) qui sont spécifiques à chaque auteur et constituent autant de schémas de pensées différents. Vouloir mettre en cohérence des corpus conçus indépendamment les uns des autres oblige à ne prendre en compte que les éléments communs à l'ensemble, et non à reprendre *in extenso* tous les éléments de chaque corpus, ce qui équivaudrait à remettre en cause le modèle de la base dès l'ajout de nouvelles données.

Sur la base de ce constat, la présence systématique de trois critères a été relevée dans les différents corpus: 1) la localisation, 2) l'expression du temps ainsi qu'une 3) description fonctionnelle du site. La base de données étant conçue comme une base de sites archéologiques (Aubry, Ferjani, Quilliec 2008), nous avons choisi comme entité élémentaire, ou entité archéologique, de cette base le triplet d'informations suivant 1) un lieu géographique occupé à 2) une époque donnée avec 3) une fonction définie. Chaque triplet d'information géographique, chronologique et fonctionnelle doit être unique dans la base.

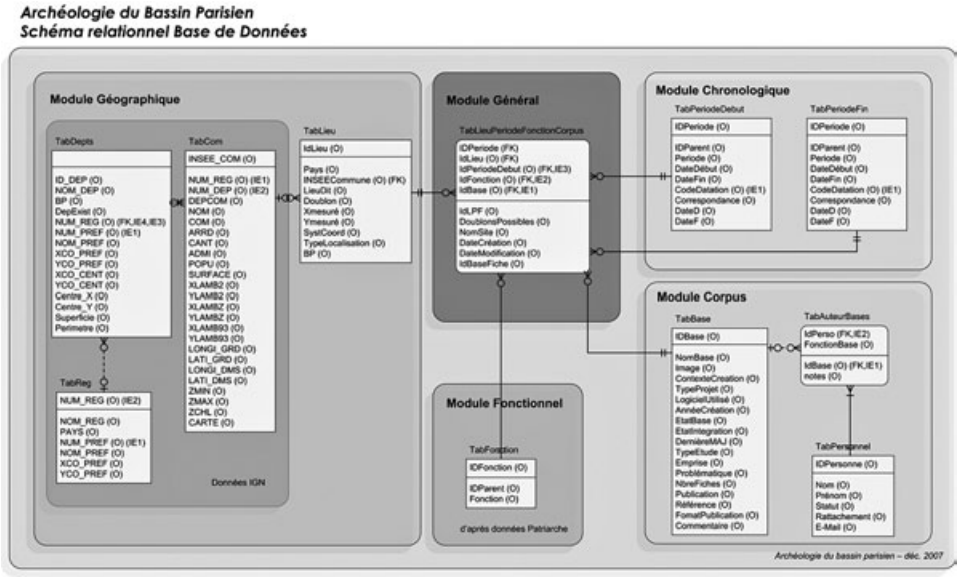


Fig. 1 – Schéma relationnel de la base du programme archéologie du Bassin parisien.

On peut l'interroger selon les questions élémentaires suivantes:

– Inventaire chronologique. Quels sont les sites pour une période donnée?
– Inventaire fonctionnel. Quels sont les sites pour une fonction donnée?
– Inventaire spatial. Quels sont les sites présents sur une zone géographique donnée?

Ces trois critères ont constitué la première ossature de la base. Toutefois, il est vite apparu que s'ils étaient nécessaires, ils n'étaient pas suffisants pour autant, car ils ne permettaient pas de gérer le phénomène de doublonnage. En effet, un même triplet d'informations peut se retrouver dans plusieurs corpus. Nous avons donc modifié la structure du modèle en y ajoutant une information supplémentaire à notre enregistrement élémentaire garantissant son unicité: le nom du corpus originel et donc son (ou ses) auteur(s). Cette solution est d'autant plus intéressante qu'elle replace les auteurs des corpus au centre du dispositif.

En modifiant légèrement sa structure, cette base de sites archéologiques est devenue, de fait, une base de bases de données, ou une base de corpus archéologiques, ou encore une métabase de données.

Aux interrogations précédentes, on peut maintenant ajouter la question élémentaire suivante:

– Inventaire des recherches. Quelles sont les études menées sur une zone géographique, une fonction, et/ou une période donnée?

La structure de la base est constituée de 5 modules distincts composés chacun d'une à plusieurs tables (Fig. 1). Les modules "Géographique", "Chronologique", "Fonctionnel" et "Corpus" se retrouvent liés au module "Général", pivot structurel de la base de données (cfr. Aubry, Ferjani 2009 pour une description plus détaillée de ces modules). À noter que cette structure radiale autour d'un module central n'est pas sans rappeler le schéma de données OLAP[1] dit en étoile, i.e., une table de faits et une série de tables descriptives aussi nommées tables de dimension autorisant des analyses multidimensionnelles (Celko 2006).

2. Cahier des charges

Si l'on veut que cette base de données puisse se développer et être utilisée – et donc remplir son rôle d'outil collaboratif du programme – elle doit répondre à certaines exigences qui relèvent des méthodologies propres aux bases de données, de la technique de modélisation et de l'ergonomie du mode d'interrogation. Le système doit posséder les caractéristiques suivantes:

2.1 *Cahier des charges utilisateur*

Un accès personnalisé

Cette base étant un outil de travail ergonomique, elle doit proposer à l'utilisateur une mémoire ou un historique de ses interrogations. Pour ce faire, il est nécessaire de proposer un accès personnalisé avec login et mot de passe pour chaque utilisateur.

Une interface d'interrogation

L'utilisateur de la base ne doit pas obligatoirement connaître le fonctionnement du logiciel choisi pour l'utiliser avec succès. Pour cela, il est nécessaire de développer une interface d'interrogation intuitive (choix par menus déroulants, cases à cocher, etc.).

Un système multiplateforme

La majorité de la communauté des archéologues susceptibles de consulter cette base travaille sous les environnements Windows et MacOS. Il faut donc développer une solution multiplateforme, afin de ne pas faire du choix d'un environnement un obstacle pour une partie de la communauté.

[1] OLAP : dans le domaine des bases de données, le traitement analytique en ligne (anglais *OnLine Analytical Processing*) est un type d'application informatique orienté vers l'analyse d'informations selon plusieurs axes ou dimensions indépendantes, dans le but de synthétiser l'information contenue dans des entrepôts de données (data warehouse). Les représentations multidimensionnelles sont aussi appelées Hypercube ou cubes OLAP.

2.2 *Cahier des charges techniques d'échange*

Une ouverture vers d'autres logiciels et notamment SIG

La base de données doit pouvoir se connecter vers un logiciel de traitement de données géomatiques pour proposer une représentation cartographique du résultat des interrogations.

Un système d'échange

L'utilisateur de la base doit pouvoir récupérer le résultat de ses requêtes dans un fichier de données tabulées tel qu'un fichier texte ou un fichier Microsoft Excel. Les données cartographiques doivent pouvoir être récupérées dans un fichier de type bitmap (.bmp, .jpg, .tif) et/ou vectoriel.

Un accès distant par une architecture client-serveur

La base de données s'enrichit régulièrement de nouvelles données. Diffusée sur plusieurs postes de travail, il faudrait mettre tous les postes à jour en même temps. La solution client-serveur, avec n clients qui se connectent à la machine serveur contenant les données, est plus pertinente car plus simple en termes de maintenance des données (suppression, ajout et modification).

Un système diffusable libre de droit[2]

La solution doit pouvoir être diffusable aisément. Il faut donc privilégier des solutions techniques libres de droit.

2.3 *Choix techniques*

Afin de répondre au mieux aux différents points abordés dans ce cahier des charges, la solution choisie se compose du logiciel Microsoft Access 2007. Ce logiciel est un SGBDR bureautique interrogeable par le langage SQL (Celko 2005; Churcher 2008). Il a de plus, la particularité d'être fortement configurable afin de s'adapter aux besoins des projets le mettant en œuvre. C'est cette particularité que nous avons utilisée pour développer, par programmation en Visual Basic for Application, un applicatif possédant diverses interfaces d'interrogation de la base de données (Henning *et al.* 2007; Feddema 2007).

Cet applicatif est enrichi de fonctionnalités cartographiques insérées directement dans l'applicatif par l'adjonction du module libre de droit de fonctionnalités SIG MapWinGIS[3], développé par l'Idaho State University (Ames *et al.*

[2] Quelques notions de logiciel libre ou encore de "Free and Open Source Software" à rappeler. La Free Software Foundation (GNU 2010) définit la notion de logiciel libre par 1) la liberté de l'utiliser, 2) la liberté de le modifier pour ses propres besoins, 3) la liberté de le redistribuer et enfin 4) la liberté de l'améliorer et de rendre ces améliorations publiques.

[3] http://www.mapwindow.org/.

2007b). Cette solution répond en partie au cahier des charges défini et représente une étape vers une solution plus pérenne. Toutefois, cette solution que l'on peut considérer comme un prototype de la solution définitive, va servir à éprouver la base et à en définir, par l'usage, les fonctionnalités et les attendus:

2.4 *Choix utilisateur*

Un accès personnalisé

Par programmation, un gestionnaire de comptes a été développé. Actuellement, un gestionnaire de compte avancé est en cours de développement, autorisant à terme l'enregistrement d'un historique des recherches.

Une interface d'interrogation

Là encore par programmation, il a été possible de développer un applicatif proposant de naviguer dans la base et de l'interroger par le biais d'interfaces ergonomiques et conviviales. Ces interfaces et les fonctionnalités qui s'y rattachent sont décrites plus loin.

Un système multiplateforme

Le couple Access et MapWinGIS ne fonctionne pour le moment que sur Windows. La solution choisie est donc une solution propre au monde Windows et non multiplateforme comme souhaité. À l'heure actuelle, une solution multiplateforme passerait par un développement en langage JAVA[4] ou par la conception d'un site Internet de type WebGIS. Les concepteurs de MapwinGIS développent actuellement une version web de leur produit ainsi qu'une version multiplateforme utilisant la technologie libre MONO[5].

2.5 *Choix des techniques d'échange*

Une interface SIG intégré

L'emploi du module MapWinGIS remplace la connexion à un logiciel tel qu'ArcGIS (ESRI). Toutefois, celle-ci reste possible sur les postes possédant la licence d'exploitation de ce logiciel. En effet, Access a la possibilité de se connecter à d'autres logiciels par le protocole ODBC propre au monde Windows.

[4] JAVA: le langage Java est un langage de programmation orienté objet développé par Sun Microsystems depuis les années 90. Les logiciels écrits avec ce langage ont la particularité d'être très facilement portables sur plusieurs systèmes d'exploitation tels que UNIX, Microsoft Windows, MacOS ou Linux avec peu ou pas de modifications. C'est la plate-forme qui garantit la portabilité des applications développées en Java.

[5] MONO est le pendant actuel de la technologie JAVA. Cette technologie, développée par Miguel de Icaza (le créateur de l'interface GNOME) est basée sur un portage multiplateforme des développements dot.NET de Microsoft.

Un système d'échange

Par programmation, il a été possible de développer des modules d'export de données au format souhaité. L'applicatif permet à l'utilisateur de récupérer le résultat de ses recherches sous différents formats:

– Le listing peut s'ouvrir automatiquement sous Microsoft Excel;
– La requête peut être sauvegardée dans Access sous format SQL. Cette option, réservée aux administrateurs de la base, permet de faire des tests dans le cadre du développement;
– La cartographie peut être exportée sous forme d'image au format bitmap (.bmp);
– Les données sélectionnées peuvent aussi être exportées au format SHAPEFILE[6] (.shp) afin d'être intégrées dans un logiciel spécifique de cartographie avancée.

Un système diffusable libre de droit

Actuellement, la base de données est pilotée par un SGBD commercial. Toutefois Microsoft a développé un logiciel gratuit "Microsoft Access Runtime" permettant de lire les applicatifs développés sous Access. Ce logiciel devrait être inclus dans une distribution à l'étude actuellement. La solution logicielle actuelle est donc diffusable gratuitement.

Un accès distant par une architecture client-serveur

Pour l'instant, la solution choisie est locale, consultable dans l'unité, installée sur les ordinateurs du programme. La mise en place d'une architecture client-serveur nécessite un logiciel de gestion de base de données adapté et Microsoft Access n'est pas le logiciel idéal pour ce genre d'emploi. Toutefois, sa structure de SGBD gérant les données *via* le langage SQL confère une grande portabilité des données hébergées vers d'autres systèmes communiquant en SQL. Rappelons que le langage SQL est majoritairement employé par les SGBD qu'ils soient commerciaux comme Oracle ou libre de droit comme MySQL. Des premiers tests de portage de la base de données vers PostgreSQL[7] ont été réalisés avec succès.

[6] Le format SHAPEFILE développé par ESRI est l'un des formats les plus utilisés en géomatique. Ce format permet d'associer un fichier d'objets vectoriels ou formes (les objets affichés à l'écran) avec un fichier d'informations de nature textuelle et/ou numérique. Il permet de plus, d'associer des informations concernant la projection cartographique des données ainsi que les métadonnées de celles-ci. Le SHAPEFILE est une spécification ouverte à tous d'ESRI (ESRI 1998).

[7] PostgreSQL est un système de gestion de base de données relationnelle et objet (SGBDRO). C'est un outil libre disponible selon les termes d'une licence de type BSD. Ce système est concurrent d'autres systèmes de gestion de base de données, qu'ils soient libres (comme MySQL et Firebird), ou propriétaires (comme Oracle, Sybase, DB2 et Microsoft SQL Server). Comme les projets libres Apache et Linux, PostgreSQL n'est pas contrôlé par une seule entreprise, mais est fondé sur une communauté mondiale de développeurs et d'entreprises.

3. Fonctionnalités de l'applicatif

3.1 *Accès personnalisé*

Lors du lancement de l'applicatif, une fenêtre de connexion apparaît. Cette fenêtre liste les membres enregistrés du programme (Fig. 2). Lors de l'enregistrement d'un nouveau membre, celui-ci reçoit un identifiant de connexion ainsi qu'un code d'accès ou mot de passe. Trois types de connexion ont été prévus: 1) Administrateur, 2) Utilisateur et 3) Anonyme. Le compte Anomyne permet d'accéder aux fonctionnalités d'interrogation ainsi qu'aux fonctions d'export. Le compte Utilisateur permet d'enregistrer l'historique d'interrogation. Le compte Administrateur donne accès à des informations techniques de gestion de la base et permet d'agir sur les données (Modification, Ajout, Suppression).

Dès l'apparition de cette interface, l'utilisateur est invité à s'identifier (nom et mot de passe) afin de se connecter à la base. Une série de boutons apparaît proposant de visualiser des informations concernant les auteurs des corpus intégrés, les corpus eux-mêmes ainsi que les données.

3.2 *Interrogation des données*

Le bouton "Données" de la fenêtre de navigation (Fig. 2) donne accès à la fenêtre principale (Fig. 3)[8]. La sélection des données se fait selon les quatre modules du schéma de données (Fig. 1), c'est-à-dire les modules "Géographique", "Chronologique", "Fonctionnel" et "Corpus". La zone centrale du formulaire représente la liste des sites sélectionnés. Cette zone se recalcule automatiquement dès modification d'un des critères de sélection.

Bien entendu, les quatre critères de sélection (Géographie/Chronologie/Fonction/Corpus) peuvent être mobilisés simultanément. Dans ce but, ils fonctionnent de façon interdépendante.

Les choix portés dans les modules d'interrogation permettent de filtrer les données. Les résultats sont représentés dynamiquement dans la zone de liste de la Fig. 3. Il est à noter que dans la liste résultante, figure pour chaque enregistrement le nom du corpus d'origine ainsi que le numéro de la fiche dans celui-ci. Le consultant pourra par la suite contacter l'auteur pour avoir accès à la donnée dans son intégralité. Enfin, lors des procédures d'export, c'est cette liste qui est envoyée vers Microsoft Excel et/ou qui constitue les données attributaires du fichier SHAPEFILE de sortie.

[8] Note des auteurs: dans cet article les formulaires concernant les auteurs et les corpus ne sont pas abordés car le développement n'a pas posé de problème particulier. Les auteurs ont préféré concentrer leur discours sur les interfaces de consultation et d'interrogation.

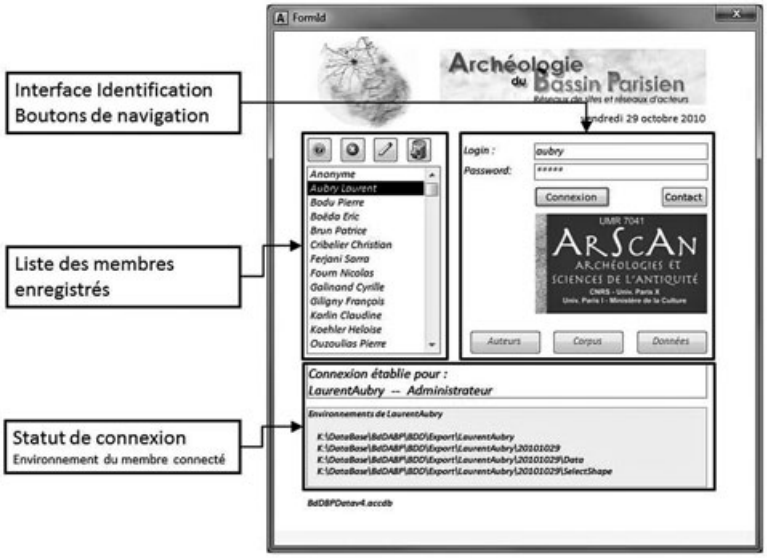


Fig. 2 – Fenêtre de gestion des comptes utilisateurs et d'accès à la base.

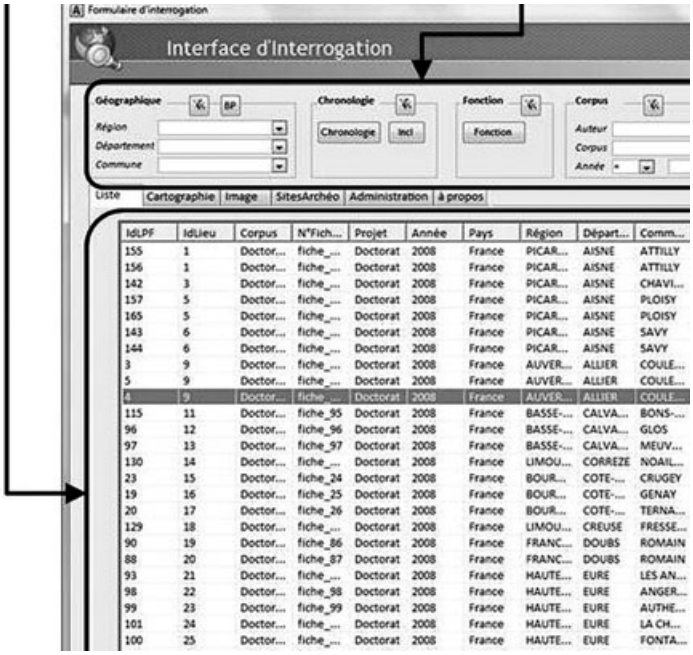


Fig. 3 – Fenêtre de l'interface d'interrogation.

3.3 *Le module d'interrogation géographique: un référentiel administratif*

Les tables du module Géographique sont extraites des données GEOFLA de l'IGN exprimées dans le système de projection Lambert II étendu. Le module d'interrogation Géographique se compose de trois menus déroulants liés entre eux et correspondant aux choix "Région", "Département", "Commune". Dès sélection d'une région, seuls les départements et les communes de la région choisie où des enregistrements existent sont accessibles (Fig. 4).

3.4 *Le module d'interrogation chronologique: un écueil méthodologique*

Les corpus à intégrer dans cette base de données n'ont aucune raison d'avoir la même échelle chronologique même pour des périodes similaires, notamment dans le cas de particularismes régionaux. Ainsi par exemple, un enregistrement d'un site du paléolithique pourra être défini par une culture matérielle et/ou le phénomène climatologique qui s'y rapporte. De même, l'appartenance des données à des périodes préhistoriques ou historiques entraîne une grande variation de précision et de subdivision. Enfin, chaque auteur va choisir le degré de granularité de son information en fonction de ses objectifs de recherche.

Afin de pallier les problèmes structurels liés à la diversité de la chronologie et de saisir l'information définie par chaque auteur, il a été choisi de donner à la table de référence chronologique la structure d'une table hiérarchique, i.e., une table qui a la propriété de s'appeler elle-même dans des interrogations en utilisant les propriétés de la récursivité[9]. Cette structure de table étant liée à elle-même, il est possible d'avoir autant de niveau de précision que nécessaire. Ainsi, tout enregistrement d'une période renverra à une période "parente" plus générale. À titre d'exemple, un enregistrement "La Tène B" renverra à "La Tène ancienne", qui renverra à "La Tène", puis à "Âge du fer", puis "Protohistoire". Avec cette structure hiérarchique, lors d'une interrogation, tous les sites "enfants" – qui dépendent de la période sélectionnée – seront pris en compte.

La structure particulière de cette table ne peut être représentée sous forme de menu déroulant, il a donc fallu le développement spécifique d'un formulaire de sélection. Ce formulaire est accessible par le bouton "Chronologie" de l'interface d'interrogation (Fig. 3). L'affichage des résultats se fait au travers d'un objet de visualisation adapté à l'aspect hiérarchique, le Treeview, qui représente l'arborescence de la structure. Pour information, cet objet de navigation graphique a été développé pour les systèmes d'exploitation afin de faciliter la navigation dans l'arborescence des répertoires et des fichiers de données (Fig. 5).

[9] Récursivité: en informatique et en logique, un algorithme qui contient un appel à lui-même est dit récursif.

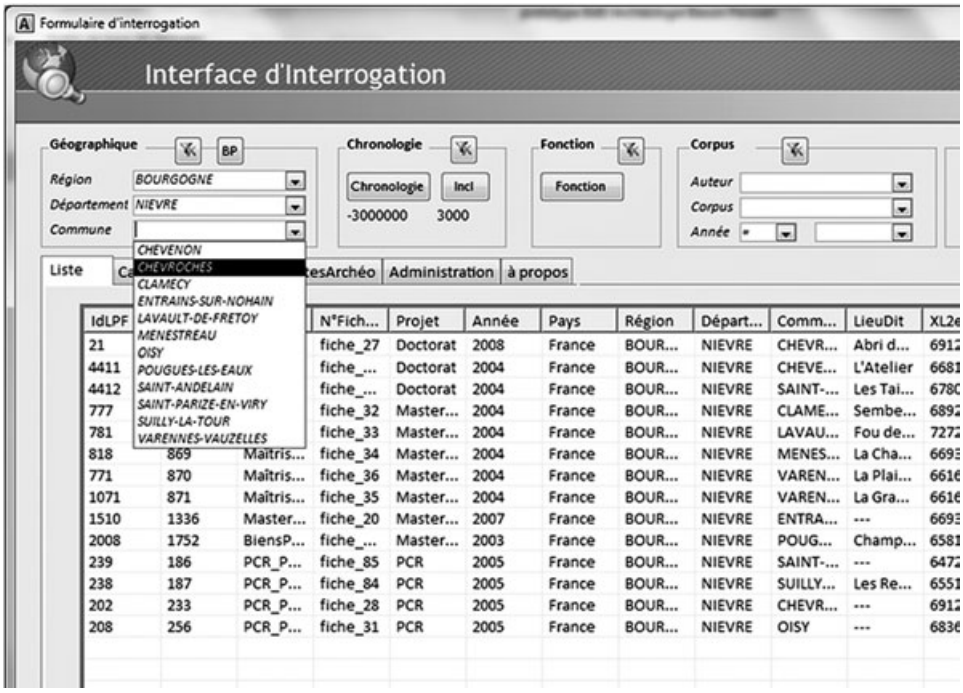


Fig. 4 – Fenêtre du formulaire d'interrogation. Détail des menus de sélection géographique.

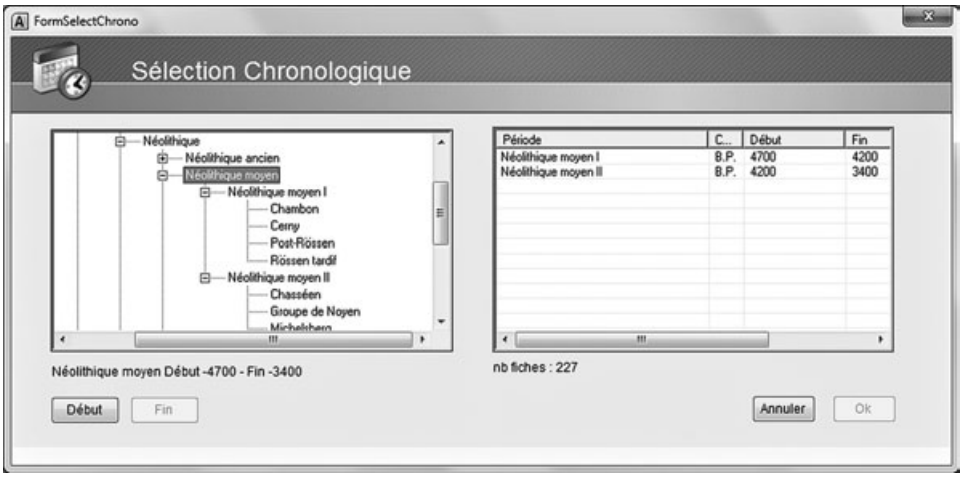


Fig. 5 – Fenêtre de sélection chronologique.

Le choix de la période s'effectue à l'écran. La requête récursive appliquée à la table hiérarchique parcourt l'arborescence et sélectionne tous les sous-niveaux chronologiques quel que soit le nombre de niveaux hiérarchiques. Par exemple, dans la Fig. 5, le "Néolithique Moyen" est la période choisie. Les sous-périodes telles que "Néolithique Moyen I", "Néolithique Moyen II", "Chasséen", "Michelsberg", "Cerny", "Chambon", etc. sont automatiquement choisies. Les enregistrements de ces périodes seront donc sélectionnés.

Soulignons que ces notions de récursivités qui apportent une souplesse de modélisation des phénomènes hiérarchiques, n'existent pas de manière native dans les SGBDR bureautiques. Un développement algorithmique particulier a été effectué pour cet applicatif.

3.5 *Le module d'interrogation fonctionnelle*

La table des fonctions s'inspire du thésaurus de la base de données Patriarche. Elle respecte donc sa structure hiérarchique. Le module d'interrogation Fonctionnelle, accessible par le bouton "Fonction" de l'interface d'interrogation (Fig. 3), a donc été construit sur le même modèle que le module de sélection chronologique (Fig. 6).

L'exemple de la Fig. 6 montre que l'occurrence "Réseau routier" a été choisi. Les occurrences, "Borne routière", "Relais routier", "Borne miliaire" et "Voie"… sont donc automatiquement intégrées dans les critères de sélection.

3.6 *Le module d'interrogation des* corpus *et des auteurs*

Le module d'interrogation "Corpus" permet d'afficher toutes les données d'un corpus défini ou bien de filtrer les données par auteur. Là encore, les menus "Auteur" et "Corpus" sont liés afin d'afficher les corpus d'un auteur dès que son nom est sélectionné. Rappelons que dans la liste résultante, figure pour chaque enregistrement le nom du corpus d'origine ainsi que le numéro de la fiche dont il est issu.

3.7 *De la base de données à la carte…*

L'expression du filtrage des données sous une forme tabulaire n'est que l'une des représentations possibles des données. L'intégration au sein de l'applicatif du module MapWinGIS permet de proposer la représentation cartographique de celles-ci (Fig. 7). Lors du développement, nous avons choisi d'associer à la représentation cartographique des outils permettant là encore d'optimiser l'ergonomie et le confort de consultation. Nous avons programmé des outils d'import de données géoréférencées (geotif, .bil, .shp), de *Zoom Avant* et *Zoom Arrière*, de *Mise à l'échelle automatique*, de *Déplacement*, ainsi qu'un gestionnaire de couches de données et ses outils spécifiques de

Fig. 6 – Fenêtre de sélection fonctionnelle.

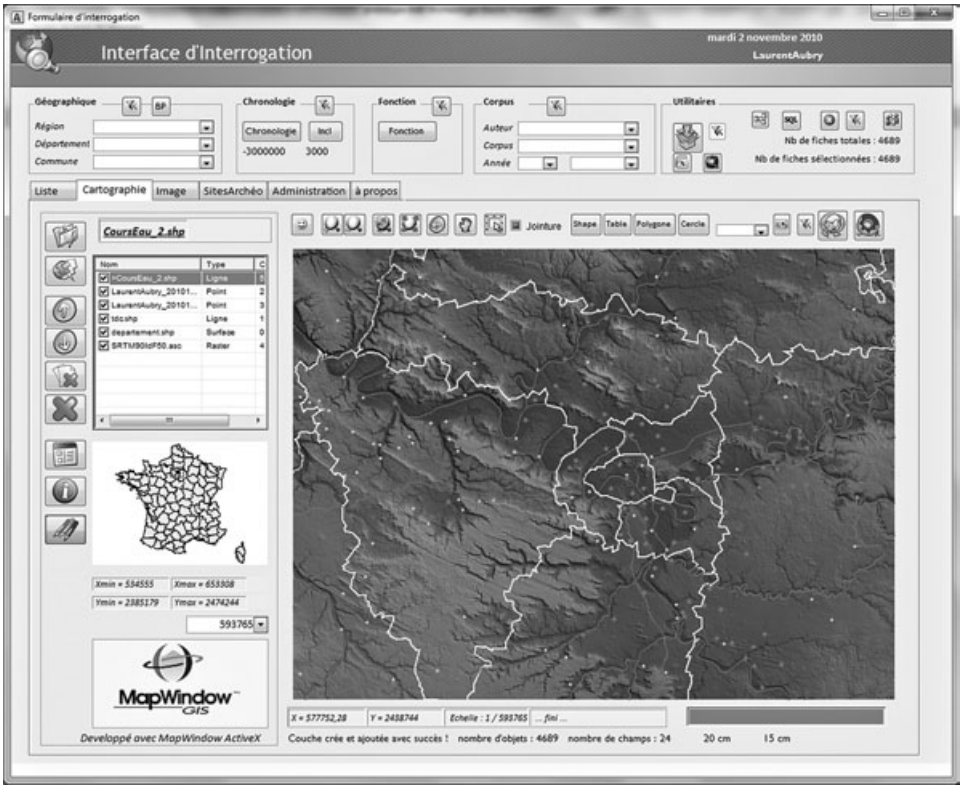


Fig. 7 – Fenêtre de l'interface d'interrogation. Interface cartographique.

déplacement et suppression des couches. Une cartographie de taille réduite représente l'emprise géographique de la carte principale. Enfin, un petit éditeur de symbologie permet de changer la couleur, la taille et la transparence de la représentation des couches de données. L'objectif est de pouvoir créer, simplement et rapidement, des documents de travail.

3.8 … *et de la carte à la base de données*

Classiquement, lorsqu'une base de données est connectée à un logiciel SIG bureautique, l'aspect cartographique n'intervient que pour cartographier le résultat de la requête, i.e., elle n'intervient qu'en fin de processus de définition des critères de sélection. La cartographie n'est alors qu'un support visuel ne participant pas directement à l'interrogation de la base de données.

L'implémentation du module de fonctions cartographiques directement au sein du SGBD autorise l'utilisation de la carte comme moyen d'interrogation de la base de données, au même titre que les modules sémantiques vus précédemment. Les modalités d'interrogation cartographiques sont compatibles avec les modules de sélection et peuvent donc être panachées à l'envie.

3.9 *Saisie de formes géométriques*

Le module cartographique possède des fonctionnalités de digitalisation développées par les auteurs qui permet la saisie de polygones. Le dessin effectué à l'écran est transcrit en SQL avant d'être injecté dans la base de données. Les enregistrements, situés dans l'emprise des polygones tracés par l'utilisateur et/ou des formes géométriques prédéfinies et paramétrées par l'utilisateur, sont sélectionnés (Fig. 8).

3.10 *Utilisation du format SHAPEFILE*

L'applicatif peut charger des fichiers de données de divers types et notamment du format SHAPEFILE. Ces données permettent d'enrichir visuellement la cartographie mais aussi, quand il s'agit de données surfaciques, apportent des possibilités avancées de sélection.

3.11 *Utilisation du format SHAPEFILE: la saisie et l'extraction de formes*

Lorsque l'on souhaite filtrer les données selon des zones complexes et/ou précises, la saisie à l'écran peut se révéler vite malaisée. On peut alors utiliser un fichier de données – ou des formes le constituant – comme filtre. Cette fonctionnalité a fait l'objet d'un développement spécifique de sélection – et d'extraction – de formes élémentaires d'un fichier de référence. Les enregistrements compris dans la sélection cartographique seront alors sélectionnés (Fig. 9).

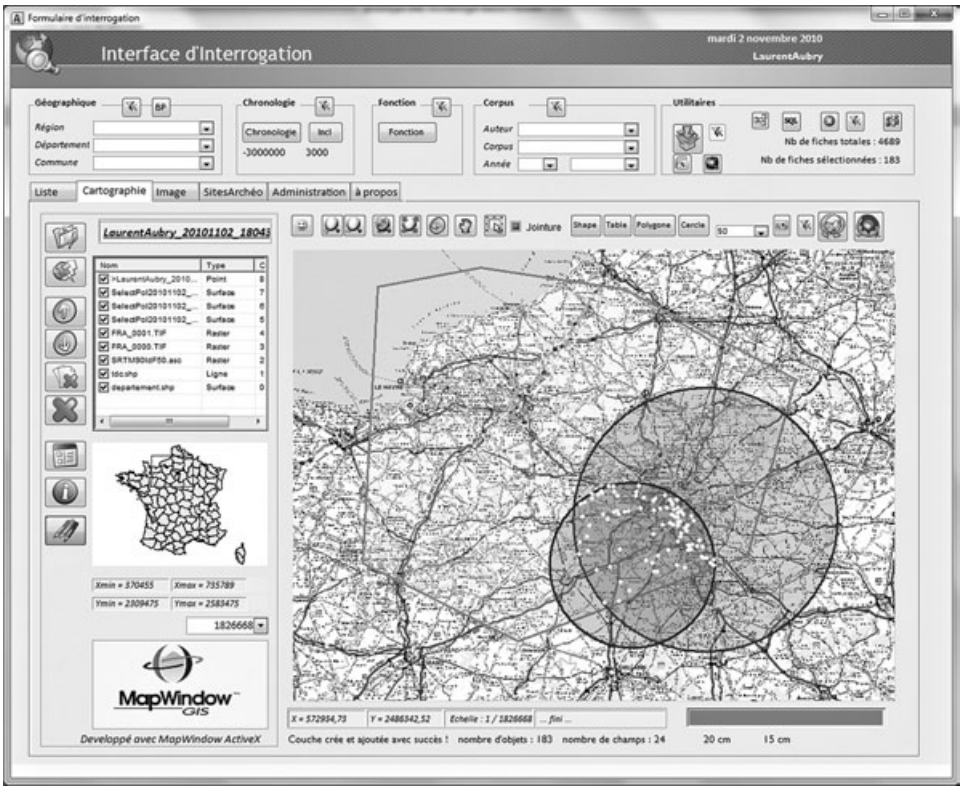


Fig. 8 – Fenêtre de l'interface d'interrogation. Sélection géographique par formes géométriques.

3.12 *Utilisation du format SHAPEFILE: exploitation de la table attributaire*

Dans le cas précédent, les données ont été sélectionnées en se basant sur la géométrie des formes choisies du fichier de référence. Il peut être plus judicieux, lorsque le fichier choisi est complexe, de sélectionner les enregistrements non pas par la géométrie des formes mais par les valeurs attributaires de celles-ci. Lorsque cette option est choisie, on définit le fichier ou la couche de données de référence, le champ attributaire sur lequel va porter l'interrogation et la valeur de ce champ (Fig. 10). Cette valeur est soit définie par un menu constitué des occurrences du champ, soit par une recherche libre. Le système extrait les formes choisies et les importe dans un fichier SHAPEFILE qui servira de filtre cartographique des données (Fig. 11).

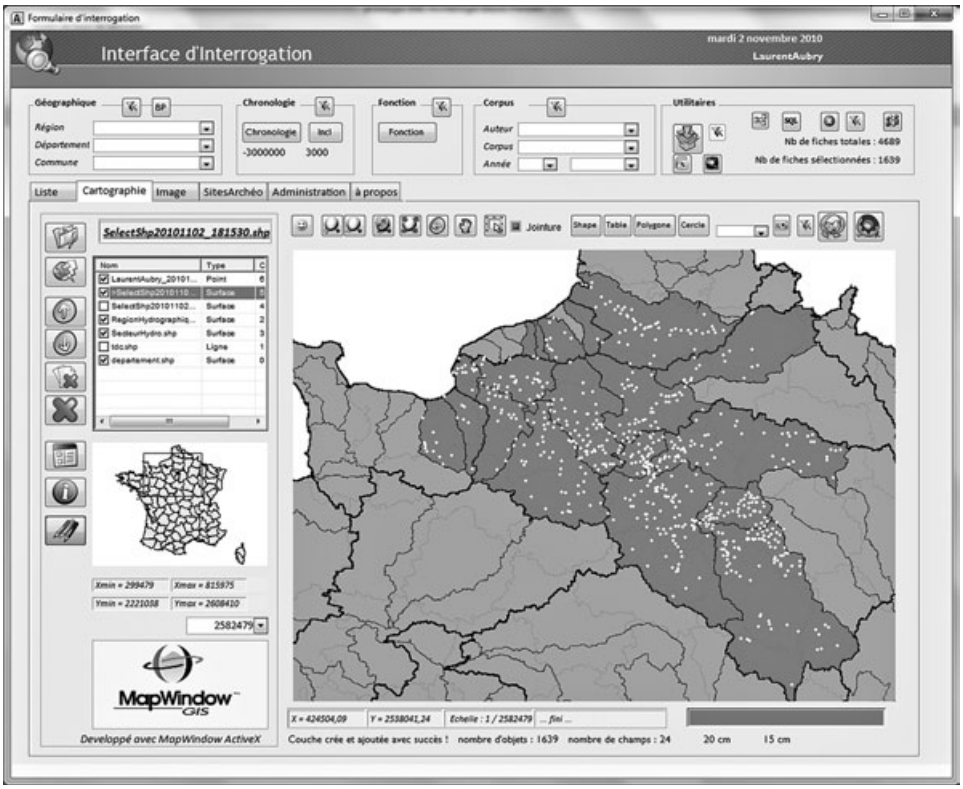


Fig. 9 – Sélection des sites présents dans les formes des secteurs hydrologiques sélectionnés à l'écran.

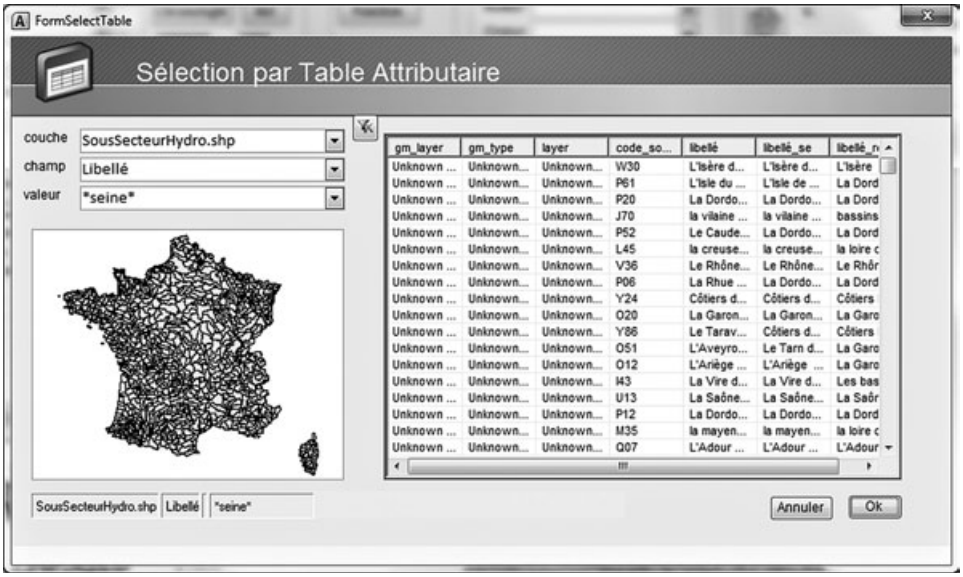


Fig. 10 – Descriptif du module de sélection des données attributaires.

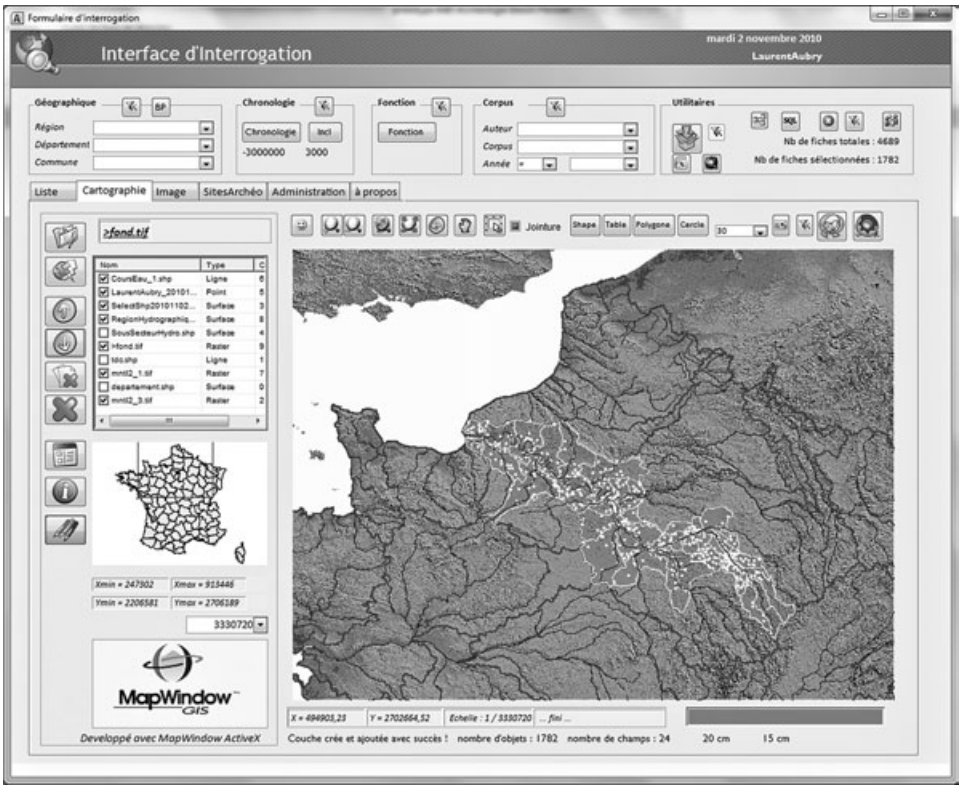


Fig. 11 – Sélection des sites présents dans les formes des secteurs hydrologiques ayant le terme «seine» présents dans le champ «libellé» de la table attributaire.

3.13 *Utilisation du format SHAPEFILE: un modèle de données évolutif – la jointure spatiale*

Lors de l'ajout d'un fichier au format SHAPEFILE, l'aspect graphique est représenté, et s'il est de type surface, le fichier DBF[10] associé est automatiquement importé dans la base de données au même titre qu'une table externe et est connecté au module Général par un lien décrivant, pour chaque site, la relation d'inclusion dans une ou plusieurs formes du fichier. Grâce à son architecture en étoile, le schéma de la base de données est donc capable de se modifier et d'évoluer en prenant en compte les données géographiques ajoutées

[10] L'information attributaire des formes contenues dans un fichier SHAPEFILE est portée par un fichier au format DBF, format de la base de données dBase.

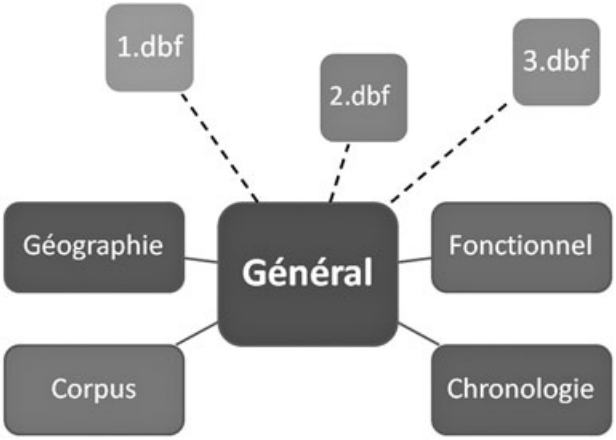


Fig. 12 – Schéma de jointure des fichiers DBF au modèle de données.

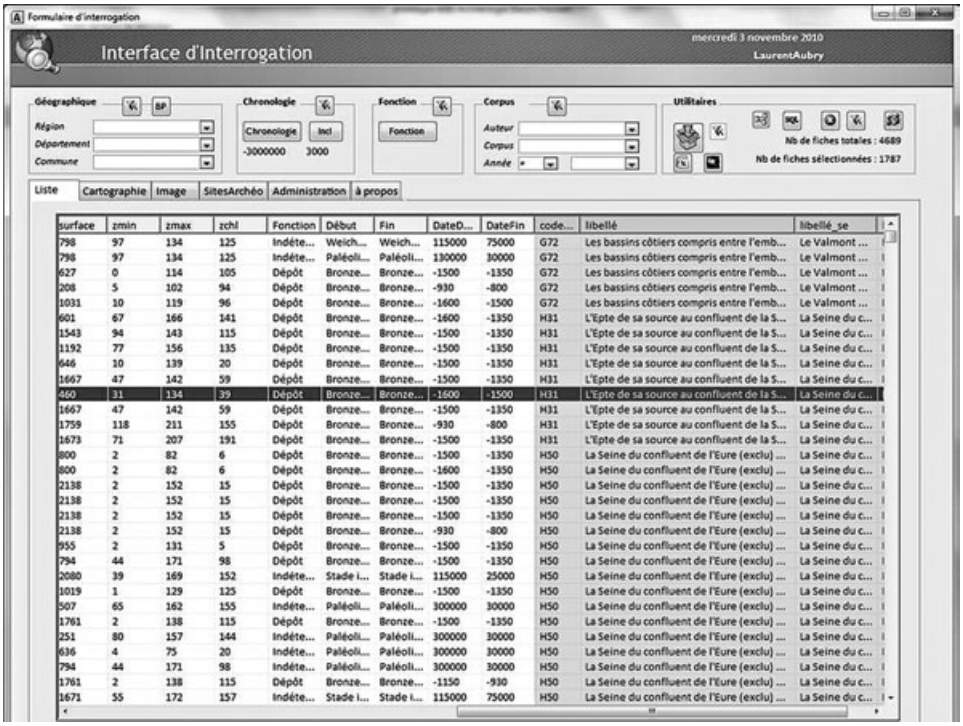


Fig. 13 – Interface d'interrogation. Les informations ajoutées par jointure spatiale sont affichées sur fond orange.

lors de l'utilisation de la base de données (Fig. 12), i.e., chaque fichier DBF représente une dimension supplémentaire d'analyse.

Cette jointure effectuée sur la spatialité des données permet d'ajouter aux enregistrements de la base les informations attributaires de couches de référence (Fig. 13). Ces données "augmentées" et "augmentables" à volonté sont récupérables par l'utilisateur selon les modalités d'export vues précédemment.

4. Réflexions sur l'outil et son devenir

4.1 *Type de l'applicatif*

En 2006, Dan Ames, initiateur et porteur du projet MapWinGIS, rappelle les trois principaux types de développement possible d'outil logiciel SIG: 1) des modules ou plug-ins venant enrichir un logiciel SIG existant, 2) des sites web autorisant la visualisation et enfin 3) le développement d'applications autonomes adaptées aux besoins. Une synthèse critique récente de ces applications autonomes ou "StandAlone" a été proposée par Steiniger et Bocher (2009). Ces applications sont souvent des versions allégées de logiciels propriétaires présentant des bibliothèques de fonctions propres à des disciplines scientifiques (hydrologie, géographie physique, etc.). L'applicatif décrit ici ne s'inscrit que partiellement dans les premier et dernier cas proposés par D. Ames, car il correspond à un développement original adapté aux besoins d'un programme de recherche, qui ajoute des fonctionnalités à un logiciel – SBGD et non SIG – existant. Présentant des fonctionnalités liées, propres aux mondes des SGBD et de SIG, cet applicatif n'est ni l'un ni l'autre *stricto sensu*, mais une sorte de "chimère" logicielle.

Il s'inscrit toutefois dans l'esprit de l'OGC[11] qui tend à promouvoir les bases de données spatiales, bases de données qui respectent les spécifications de l'OGC du SQL autorisant les requêtes spatiales et qui intègrent les types d'objets géographiques comme n'importe quel type de format de données (Sherman 2008). Le SGBDR spatial le plus abouti est actuellement PostGIS[12] développé par Refraction Research. Le nombre important de communications lui étant consacré, lors de la dernière conférence Free Open Source Software for Geography (FOSS4G 2010)[13] organisée par OSGEO[14], montre la vivacité de la communauté des développeurs et des utilisateurs. La nouvelle version de PostGIS doit intégrer les données raster (Arévalo 2010; Racine 2010) et s'orienterait vers la 3D (Courtin 2010).

[11] OpenGIS Consortium définition http://www.opengeospatial.org/.
[12] http://www.refractions.net/.
[13] http://2010.foss4g.org/.
[14] http://www.osgeo.org/.

4.2 *Développement de l'applicatif*

Le pari d'intégrer dans le développement de l'applicatif des technologies SIG a été dicté par 1) la nature des objets manipulés, i.e., des sites archéologiques nécessitant l'élaboration de cartographies thématiques 2) et aussi par la volonté d'inscrire ce projet dans le contexte actuel de l'émergence des bases de données spatiales, et d'associer la cartographie au processus d'interrogation des données.

Le développement du prototype a permis de mieux appréhender les contraintes tant techniques que méthodologiques et de mieux comprendre les enjeux liés à telle ou telle technologie. Il a aussi permis aux auteurs de s'intégrer dans la communauté des développeurs et d'utilisateurs de MapwinGIS, la solution choisie, de recueillir son soutien informatique mais aussi – et surtout – de participer aux débats concernant les choix de développement *via* des forums de discussion dédiés et aussi lors de la première rencontre internationale (Aubry 2010). Cet échange est l'apanage des logiciels libres.

Le développement de l'applicatif s'appuiera sur le moteur de bases de données spatiales PostGIS, hébergé sur un serveur dédié, proposant une connexion distante accessible *via* un applicatif développé en C++ construit autour de la technologie MapwinGIS et/ou *via* un WebGIS développé en php.

Ces développements futurs dépendent de contraintes techniques mais aussi des choix et des évolutions du programme de recherche. Toutefois, en l'état, l'applicatif est opérationnel et les fonctionnalités – qui ont nécessité des développements spécifiques – sont utilisées dans d'autres programmes de recherche.

Laurent Aubry
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Équipe Protohistoire européenne

Sarra Ferjani
Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Équipe Protohistoire européenne

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les modérateurs, gestionnaires et intervenants des sites Internet de Développez.com (http://www.developpez.com/) et de MapWinGIS (http://www.mapwindow.org/), véritables mines d'informations et grandes sources d'inspiration. Ils remercient tout particulièrement Dan Ames et Paul Meems pour leurs conseils précieux.

BIBLIOGRAPHIE

Ames Daniel P. 2006, *Getting started with the MapWinGIS ActiveX Control* (http://www.mapwindow.org/) [consulté 26 Apr 2011].

Ames Daniel P. 2007a, *MapWinGIS Reference Manual: A function guide for the free MapWindow GIS ActiveX map component* (http://www.mapwindow.org/) [consulté 26 Apr 2011].

Ames Daniel P., Michaelis C., Dunsford T. 2007b, *Introducing the MapWindowGIS project*, «OSGEO Journal», 2, 2007.

Arévalo J. 2010, *PostGIS WKT Raster. An Open Source alternative to Oracle GeoRaster (FOSS4G 2010, 6-9 September 2010)*, Barcelona.

Aubry L. 2010, *A joined approach of geomatics and database management in archaeological research. The program "Archaeology in the Paris Basin": a case study*, in *1st International Conference of MapWindow Users and Developpers, Orlando USA (31 Mars-2 Avril 2010)*.

Aubry L., Ferjani S., Quilliec B. 2008, *Etat de la base de données du Programme*, in P. Brun, P. Soulier, *Rapport du programme "Archéologies du Bassin parisien", pour les années 2006-2007*, UMR 7041 Archéologies et sciences de l'Antiquité, Nanterre, Maison René Ginouvès.

Aubry L., Ferjani S. 2009, *La base de données "Archéologie du Bassin parisien". Vers un système d'information aux fonctionnalités avancées"*, in P. Brun, P. Soulier, *Rapport du programme "Archéologies du Bassin parisien, pour l'année 2008"*, UMR 7041 Archéologies et sciences de l'Antiquité, Nanterre, Maison René Ginouvès.

Brun P., Soulier P. 2007, *Archéologie du Bassin parisien. Rapport pour les années 2004-2005*, UMR 7041 Archéologies et sciences de l'Antiquité, Nanterre, Maison René Ginouvès.

Celko J. 2005, *Joe Celko's. SQL for Smarties. Advanced SQL programming*, Elsevier, Morgan Kaufmann Publishers.

Celko J. 2006, *Joe Celko's. Analytics and OLAP*, Elsevier, Morgan Kaufmann Publishers.

Churcher C. 2008, *Beginning SQL Queries. From Novice to Professional*, New York, Apress.

Courtin O. 2010, *PostGIS meet the third Dimension*, in *FOSS4G 2010, (Barcelona, 6-9 September 2010)* (http://2010.foss4g.org/presentations_show.php?id=3556) [consulté 26 Apr 2011].

ESRI 1998, *ESRI shapefile Technical Description. An ESRI White paper* (http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf) [consulté 26 Apr 2011].

Feddema H. 2007, *Access 2007 VBA Bible*, Indianapolis, Wiley Publishing.

GNU 2010, *The Free software definition* (http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html) [consulté 26 Apr 2011].

Henning T., Cooper R., Griffith G., Stein A. 2007, *Access 2007 VBA Programmer's Reference*, Indianapolis, Wiley Publishing.

Jansen M., Aven N. 2010, *What you type is what you see*, in *FOSS4G 2010 (Barcelona, 6-9 September 2010)* (http://2010.foss4g.org/presentations_show.php?id=3630) [consulté 26 Apr 2011].

Racine P. 2010, *Introducing PostGIS WKT raster. Seamless raster/vector operations in a spatial database*, in *FOSS4G 2010 (Barcelona, 6-9 September 2010)* (http://2010.foss4g.org/presentations_show.php?id=3221) [consulté 26 Apr 2011].

Sherman G.E 2008, *Desktop GIS, Mapping the Planet with Open Source Tools*, Pragmatic bookshelf.

Steiniger S., Bocher E. 2009, *An overview on Current Free and Open Source desktop GIS Developments*, «International Journal of Geographical Information Science», 23-10, 1345-1370.

Steiniger S., Hay G. 2009, *Free and opensource geographic information tools for landscape ecology*, «Ecological informatics», 4, 183-195.

ABSTRACT

One of the goals of the research program "Archaeology of the Paris Basin" has been to establish an Archaeological Information System, i.e., meta-database of the archaeological sites studied in the geographic area of the program, from the Paleolithic to modern days, in order to produce thematic maps using appropriate software. This paper aims to present this meta-database, but also to consider the technical constrains and the methodological choices involved in its implementation. The development of the query interface of this database represented an opportunity to reconsider the initial geomatic approach. This application is based on Open Source technology, and is both appropriate and adapted to the objectives of the program. It proposes an original synthesis of DBMS and GIS functionalities. Its development is in line with the rereading of the discipline paradigms suggested – or imposed – by the rise of the geomatic Open Source.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 97-112

LE SIG COMME OUTIL FÉDÉRATEUR DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE: APPLICATION À LA GROTTE CHAUVET-PONT D'ARC (VALLON-PONT-D'ARC, ARDÈCHE, FRANCE)

1. Introduction et genèse d'un outil interdisciplinaire

La grotte Chauvet-Pont-d'Arc à Vallon-Pont-d'Arc (Ardèche, France), découverte en 1994 par trois spéléologues, s'est immédiatement imposée comme un ensemble archéologique unique en milieu souterrain. Outre les représentations pariétales riches et dans un état de conservation incomparable, datées de 32 à 30.000 ans BP, elle offre des vestiges et des traces de différentes natures, animales (restes osseux, empreintes, griffades, bauges d'ours, etc.), et humaines (artefacts, foyers, empreintes, marques de torches, représentations pariétales, etc.). Cette cavité présente, par ailleurs, une importante diversité géomorphologique (formes et dépôts) qui favorise l'interprétation morphogénique de la cavité en lien avec les occupations humaines et animales.

L'équipe scientifique mise en place à la suite d'un appel d'offre dès 1998 sous la direction de J. Clottes puis de J.-M. Geneste a pour objectif d'étudier la diversité de ces témoignages. Les différentes disciplines engagées dans l'étude de cette cavité produisent une masse d'information importante, qui se doit d'être croisée pour la mise en réseau d'arguments, qu'ils soient à vocation chronologique ou interprétatifs.

Rapidement, l'équipe a été confrontée à la difficulté de définir les supports pertinents pour la centralisation et le croisement des données qui puissent être mis à disposition à l'ensemble des membres et qui permettent de recouper aisément des informations tant chronologiques que spatiales. Ces impératifs ont été le moteur d'une réflexion autour de la mise en place d'un système d'information global, capable d'archiver, de stocker, d'analyser et de partager les données de différentes nature. L'idée d'un SIG s'est rapidement imposée comme une solution adaptée permettant la spatialisation des données, et de ce fait l'enregistrement du contexte des vestiges et des traces, notamment la morphométrie et la géomorphologie de la cavité. Sa conception et sa construction ont débuté en 2008.

Comme pour tout site archéologique, la dimension spatiale des phénomènes est essentielle et a logiquement orienté les choix vers un SIG, dont l'utilisation est aujourd'hui largement généralisée, plutôt que vers une simple base de données relationnelle. Ce besoin avait déjà été évoqué dans le cas d'étude de grottes ornées (Aujoulat 2005) pour l'étude des sols d'habitation (grotte de la Garma – Espagne: Ontañón 2003).

Le SIG permet en effet de traiter des problématiques spécifiques à chaque discipline et surtout de les confronter par l'entrée spatiale. Ainsi en est-il de la répartition des vestiges anthropiques ou paléontologiques (Herrmann 2002) et de leurs interactions, ou bien de ce qui concerne les circulations humaines dans la cavité (Moyes 2002). C'est donc, en plus des fonctions de gestion des données, avec l'intérêt d'exploiter le potentiel scientifique et de rendre les études dynamiques, que l'outil a été pensé et mis en place.

2. Les étapes de la mise en place du SIG de la Grotte Chauvet

2.1 *Contexte et contraintes: le choix d'un SIG vectoriel*

La construction d'un tel outil pour une équipe de chercheurs présentant un très large spectre disciplinaire a demandé un processus en plusieurs étapes, allant de la validation de l'idée du SIG par tous, aux modalités de son utilisation, en passant par sa construction conceptuelle et physique.

Cette étape du travail se situe en amont de la réalisation de l'outil à proprement parler mais. La complexité de l'objet "grotte ornée" ici étudié (objet en 3D, disciplines nombreuses, accessibilité limitée) a nécessité du temps qui peut paraître un peu long par rapport à un SIG "normal". Il importe de rappeler qu'il n'existait pas de réels référentiels sur des SIG "grottes ornées" avec la dimension pro-active souhaitée par l'équipe. De par la diversité des informations acquises au fur et à mesure des campagnes scientifiques dans

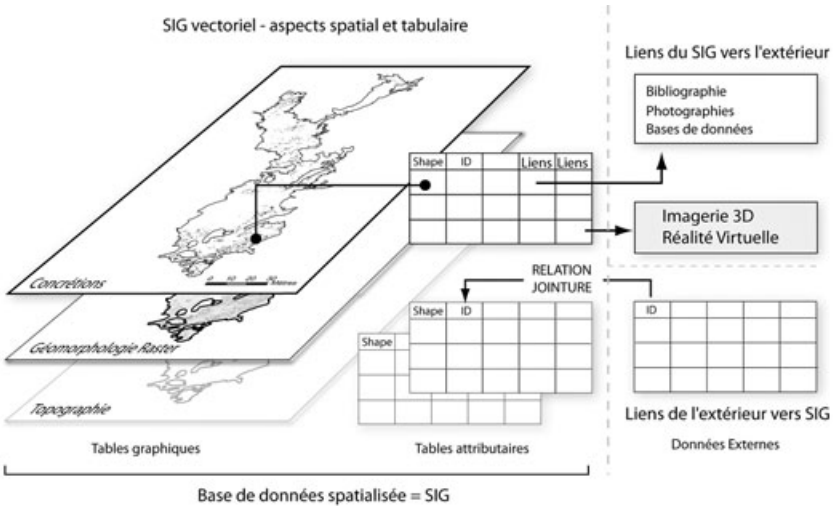


Fig. 1 – Schéma global du SIG Chauvet.

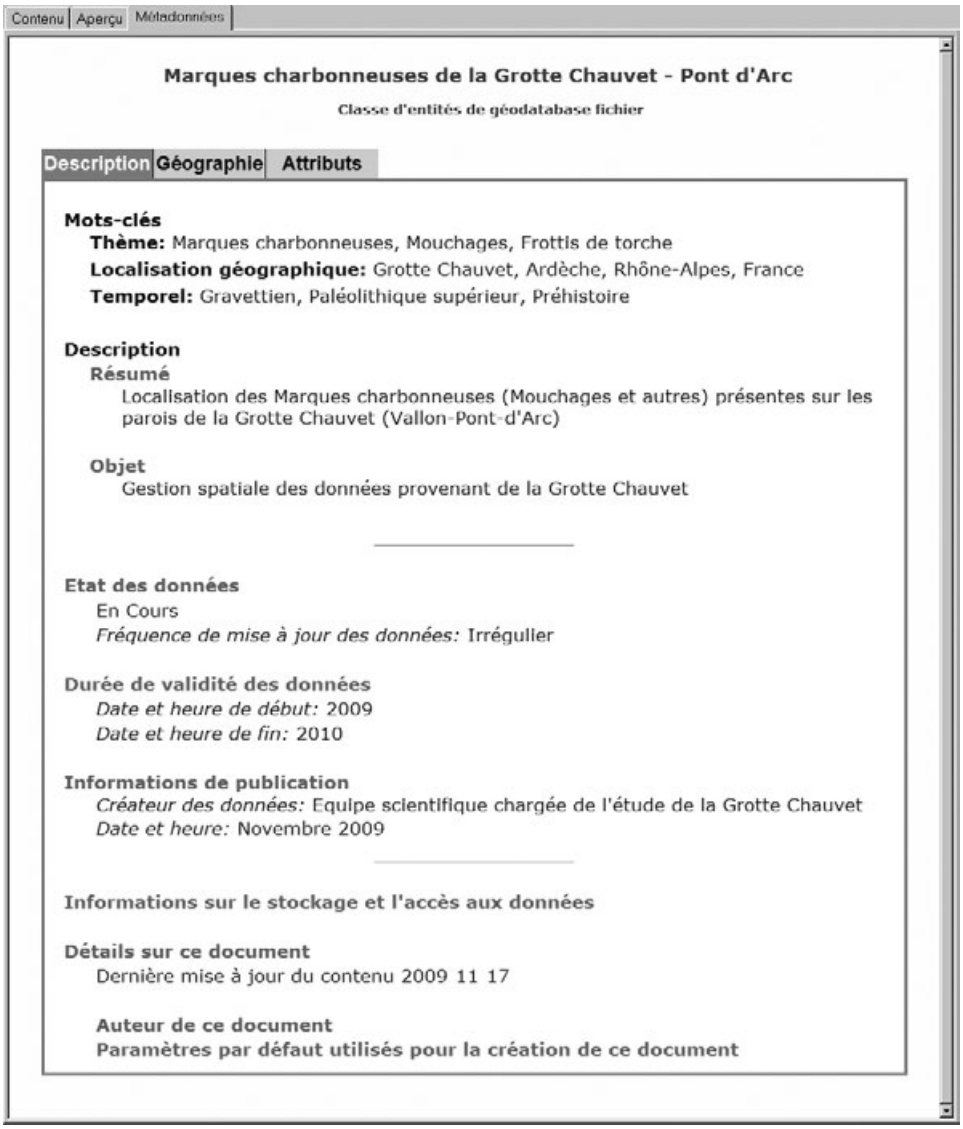


Fig. 2 – Exemple de métadonnées.

la cavité, le choix a été fait de s'orienter vers le mode vectoriel, plus à même d'archiver et gérer des informations de nature différente que le SIG en mode raster. La structuration des données au sein de cet outil résulte d'une réflexion sur les données acquises par l'ensemble des champs de recherche de l'équipe

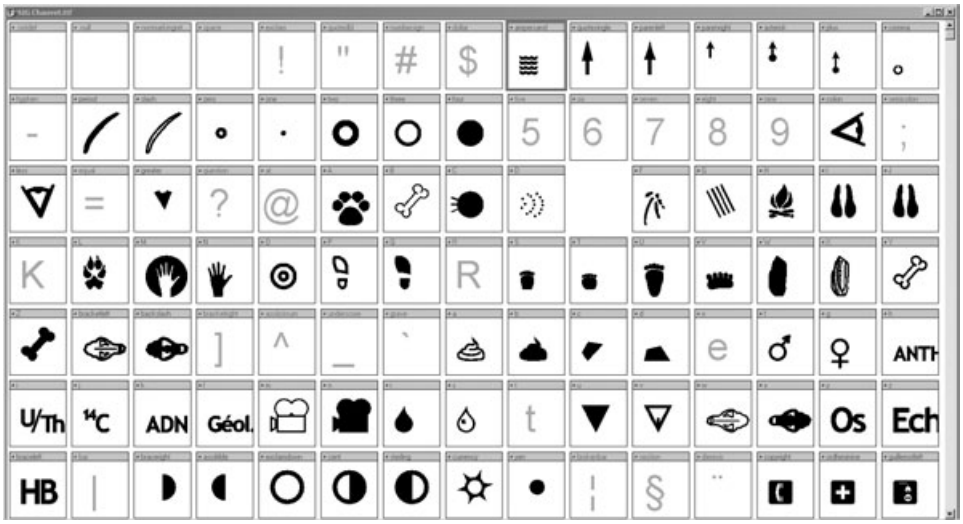


Fig. 3 – Extrait de la police du SIG Chauvet.

et sur le croisement de ces informations. Une période de maturation a été nécessaire afin de bien poser les enjeux d'un tel outil pour l'équipe, de la connaissance de la cavité à la valorisation des travaux. Elle s'est concrétisée par des réunions de travail menées avec chaque champ disciplinaire, afin de prendre en compte au mieux les attentes particulières et les problématiques spécifiques de chacun.

L'état des lieux et l'inventaire des données existantes, leur nature, leur géométrie et leurs inter-relations, ont mis en avant trois grands types d'information qui devaient être intégrés dans le SIG, à savoir: les cartographies existantes mais non liées à des bases de données, les bases de données non-spatialisées et les données restant à synthétiser.

Afin de produire un outil répondant, entre autre, aux besoins d'archivage de toute la documentation existante, le choix a été fait de gérer les documents annexes à ceux précédemment cités par l'intermédiaire de liens hypertextes avec la création de champs spécifiques réservés à ces derniers. Cette solution permet l'appel de documents externes, comme par exemple les relevés, les photographies, les publications, ou encore le lien au Genbank en ligne pour les données des analyses ADN (Fig. 1).

Enfin, les aspects liés au partage et à la diffusion des données sont des points qui ont été pris en compte dés l'élaboration de l'outil. C'est dans cette optique qu'une attention particulière a été portée au renseignement de métadonnées (ensemble d'informations structuré décrivant les données), afin de garantir leur pérennité et leur utilisation dans d'autres logiciels, et

qui incluent notamment l'auteur de la source et l'auteur de la donnée entrée dans le SIG (Fig. 2).

Répondant à un souci d'ergonomie et d'utilisation collective, une charte graphique a été crée, avec l'élaboration d'une police True type dédiée (Fig. 3).

L'accès au SIG *via* un serveur et un outil d'accès gratuit sont en cours d'étude; il en est de même pour la rédaction d'une charte d'utilisation afin de bien délimiter le rôle et l'investissement souhaité de chacun, les différents statuts (utilisateurs, gestionnaires), l'accès et le protocole de publication des données.

3. De la carte géomorphologique à sa structuration en SIG

L'équipe de karstologues avait déjà produit un document cartographique de qualité, basé sur la topographie du cabinet de géomètre-expert G. Perazio, et complétée par celle de l'équipe scientifique (F. Maksud et Y. Le Guillou). Cette cartographie rassemble l'ensemble des informations géomorphologiques et géologiques des sols, ainsi qu'une partie des connaissances archéologiques.

C'est donc cette base cartographique 2D vectorisée qui a servi de premier support à la construction du SIG. Cette étape a consisté en une saisie informatique de la carte géomorphologique par vectorisation avec constitution de sa base de données afférente, laquelle est structurée en couches d'informations selon les types et natures d'informations (Figs. 4-5, Pll. I-II).

La structure de la base de données et le contenu des tables attributaires ont été définis en concertation avec les membres de l'équipe. Elle contient principalement les volets vestiges (archéologie, paléontologie, ichnologie), géomorphologie, ainsi que les échantillons prélevés pour analyses. Des couches d'informations topographiques, toponymiques ou liées aux aménagements de la cavité sont présentes. Un volet "recherche" dédié aux analyses spatiales issues du SIG a également été ajouté, afin de faciliter le stockage de ces nouvelles informations produites (Fig. 6).

4. De la base de données à la spatialisation de l'art pariétal

Les contraintes liées à la géométrie des objets (la cavité étant un volume fermé sur lui-même) et à leur position à la fois au sol et en paroi (entités graphiques, griffades d'ours, marques charbonneuses) ont toutefois nécessité l'adaptation de cette structure pour intégrer ces données complexes. Cela répondait également à notre souhait initial de faire évoluer le SIG en un outil permettant de raisonner dans les différentes dimensions spatiales de la cavité.

Les différences d'échelles selon les objets traités ont également été prises en compte, celles-ci allant du micro-prélèvement à l'espace global de la cavité.

Les entités ont été topographiées ou localisées à vue (contraintes de cheminements), avec des choix contraignant nécessairement leur géométrie.

Fig. 4 – Extrait de la carte géomorphologique des sols.

Il était complexe de représenter une entité graphique en paroi en respectant son emprise globale (3D), souvent difficile à déterminer par ailleurs. Le choix a été fait de ne représenter les entités graphiques de parois qu'en les géolocalisant par des implantations ponctuelles. Les plages d'empreintes ont également nécessité une adaptation de la géométrie et de la symbologie en fonction du niveau de zoom.

A l'inverse de la carte géomorphologique, la base Hadès dédiée à l'art pariétal, crée sous Filemaker Pro par N. Aujoulat en 1995, contenait un grand nombre d'entités non spatialisées.

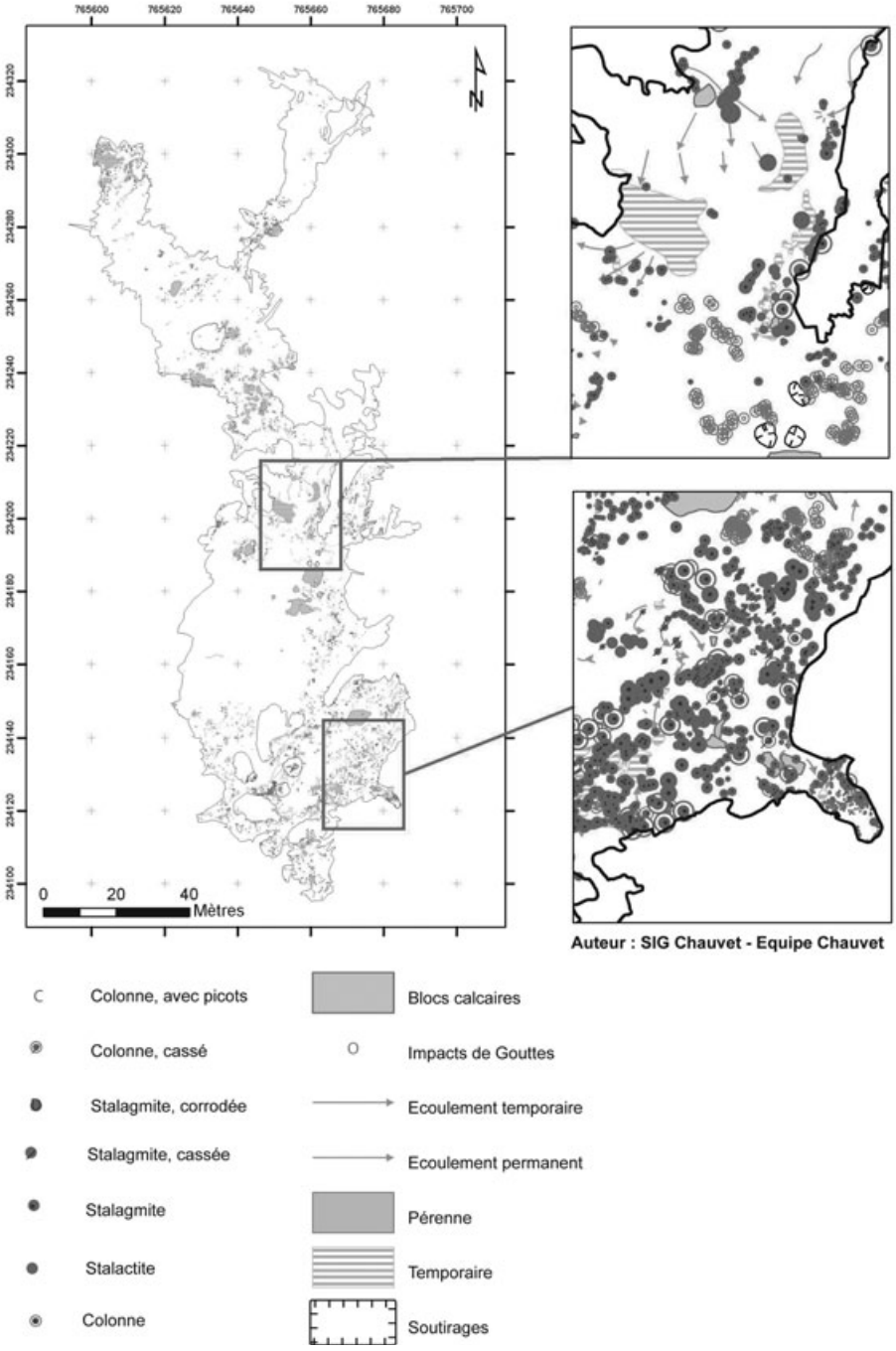


Fig. 5 – Extrait de la carte géomorphologique mise en SIG.

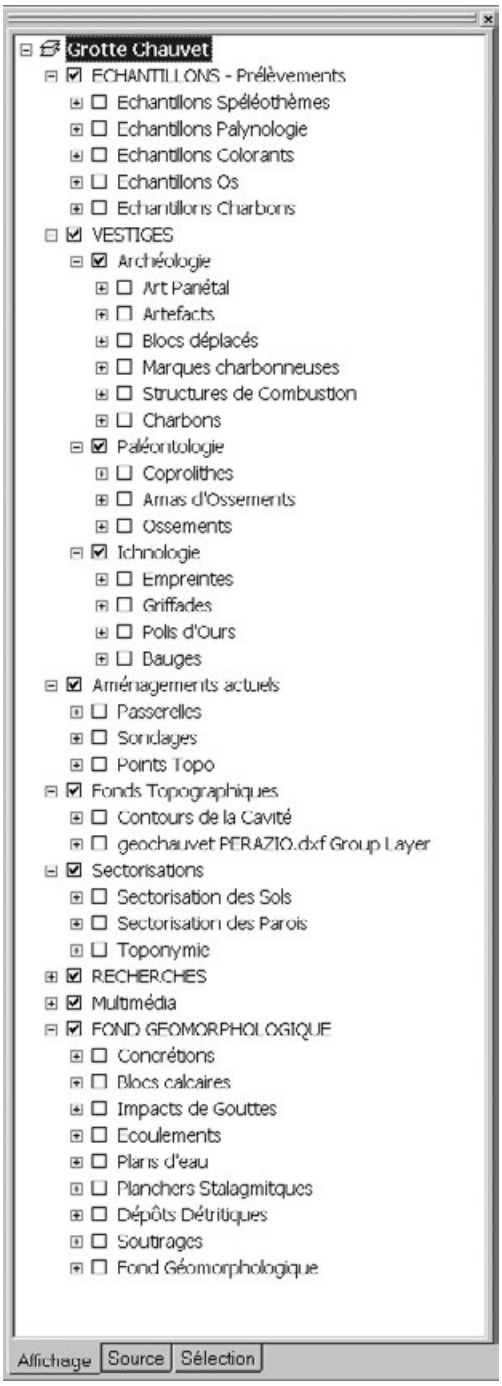


Fig. 6 – La structure générale de la base de données.

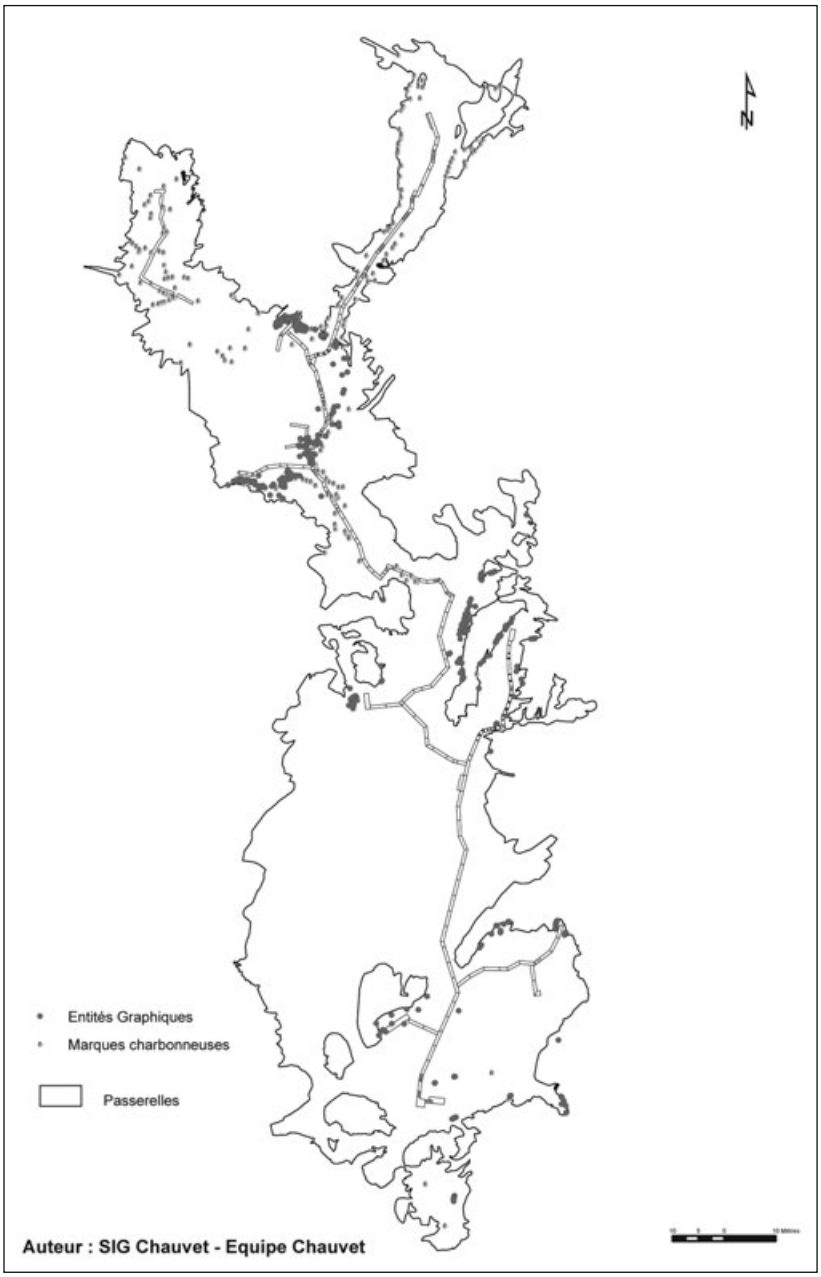


Fig. 7 – Localisation des entités graphiques et des marques charbonneuses en cours d'intégration dans le SIG.

L'acquisition de données spatiales a donc été nécessaire sur le terrain afin de géolocaliser les différentes entités répertoriées à l'aide de l'inventaire papier. Les prises de mesures au tachéomètre on ainsi pu être aisément intégrées au fond topographique.

Les champs de cette base ont été intégralement conservés. Cependant il a été nécessaire de la rendre compatible en homogénéisant l'information, afin de l'exporter, de la compléter et de la rendre dynamique, avant de procéder à son intégration dans le SIG par jointure d'identifiants d'entité communs (Fig. 7, Pl. III, a).

5. Saisie spatiale et attributaire de données nouvelles

Le dernier type d'intégration de données prend pour exemple les échantillons prélevés dans la grotte (palynologie, ADN, isotopes, datations, matières colorantes…). Ceux-ci n'étant jusqu'à présent pas tous répertoriés, la base de données a été créée en même temps que la collecte des informations et de leur spatialisation grâce au repérage des prélèvements dans la cavité. Chaque type de matériau prélevé possède une table propre, en relation avec l'objet échantillonné.

6. Vers un enrichissement des données acquises: de la 2D à la 3D

La troisième dimension est un besoin partagé au sein des différentes disciplines travaillant dans la grotte, d'autant plus fort que les contraintes de cheminement ne permettent pas d'apprécier l'espace dans sa totalité (les déplacements dans la grotte sont contraints par des passerelles pour des raisons de conservation). Elle sert par exemple de base à l'étude, à l'échelle des parois, pour la prise en compte du rôle du support dans la réalisation d'une peinture, mais également pour la visualisation des sols ou la compréhension de la morphologie générale de la cavité et de ses modifications au cours du temps (voir Sadier *et al.*, ce volume). Elle permet, en effet, de traiter aussi bien des sols que des parois, c'est pourquoi les efforts se sont dirigés dans la voie de son intégration dans le SIG. Même si quelques expériences ont été réalisées pour intégrer des données tridimensionnelles dans des SIG pour des recherches préhistoriques (Chandelier, Roche 2009), les logiciels SIG actuels ne permettent pas de saisir ou de traiter directement de l'information 3D réelle en association à des informations attributaires[1]. Afin de s'affranchir de cette contrainte forte, deux pistes ont donc été testées à ce stade expérimental.

[1] Les logiciels SIG traitent des données 2D en multicouche. L'intégration du z n'est qu'une information supplémentaire (on parle parfois de 2,5D) mais il n'est pas possible avec ces logiciels de traiter les objets repliés sur eux même sans perdre la topologie de voisinage.

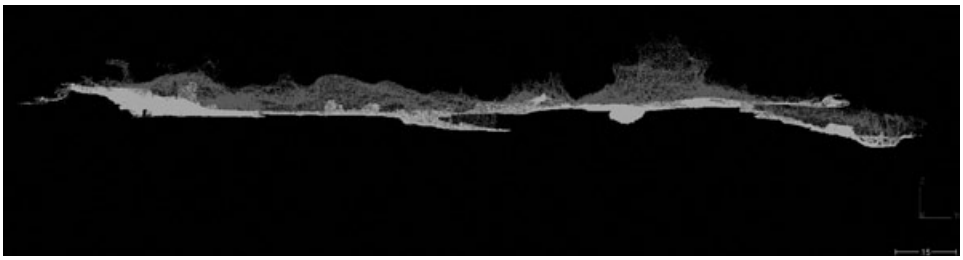


Fig. 8 – Vue du nuage de point décomposé pour la création des deux surfaces (sols et voûtes).

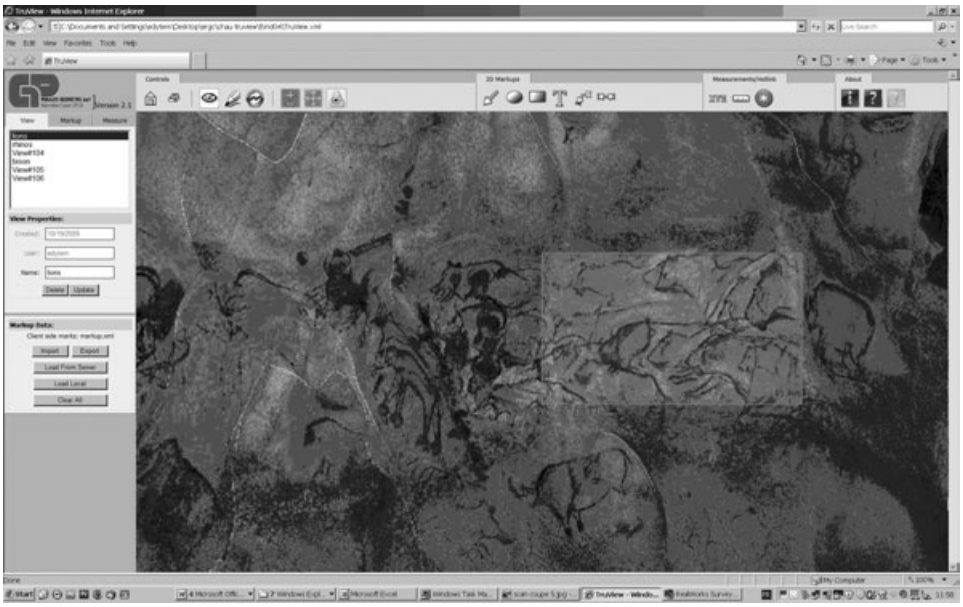


Fig. 9 – Fenêtre du TruView et ses fonctionnalités.

Un premier choix a été fait de travailler sur le nuage de points 3D haute résolution réalisé par laserscanning par le cabinet G. Perazio, en décomposant la topographie 3D en deux couches 2,5D afin de la rendre utilisable dans le SIG. Le nuage de point est décomposé en deux parties, sols et voûtes, pour la réalisation des modèles numériques de terrain. Cela implique un long travail de nettoyage du nuage, car des objets comme les colonnes reliant les sols aux plafonds sont complexes à traiter (Fig. 8, Pl. III, b).

Ces deux MNT permettent d'avoir une appréciation altimétrique des sols et des voûtes dans le SIG. Cette appréciation est essentielle pour une

bonne compréhension de la répartition des nappes de vestiges, de la nature de sols, de l'accessibilité des parois, etc.

Le second choix, quelque peu inverse, fait appel à la 3D à partir du SIG. Un lien hypertexte ouvert à partir d'un point de vue défini dans le SIG comme entité, commande l'ouverture d'une fenêtre externe permettant de visualiser en réalité virtuelle l'entité en question. Le logiciel offre l'accès à une image 3D solide, c'est-à-dire une image 2D comportant de l'information tridimensionnelle (ici une information de profondeur depuis le point de vue utilisateur) (Fig. 9).

Outre la visualisation de la scène, le pointage des éléments permet de sélectionner des objets comportant eux-mêmes une information attributaire, de les mesurer en distance vraie, mais aussi de réaffecter de l'information, photographique par exemple.

Ces deux procédés ne reposent pas sur les mêmes traitements mais sont pleinement complémentaires. Ils constituent une première étape pour la gestion de l'information tridimensionnelle dans et à partir du SIG.

7. Le potentiel fédérateur du SIG

Au-delà de la gestion des données, l'état d'avancement du SIG et sa structure montrent le réel potentiel fédérateur de l'outil comme moteur d'interdisciplinarité. Il permet de mettre en avant des interactions entre des objets de nature différente qui ne sont pas toujours perceptibles sur le terrain, comme par exemple les difficultés de circulation par les hommes préhistoriques liées à la morphologie de la cavité (Le Guillou 2005). En d'autres termes, il devient plus aisé d'appréhender la dimension spatiale des phénomènes et de mieux comprendre les répartitions spatiales des vestiges (Herrmann 2002) entre eux, par requêtes croisées dans la base de données, et en fonction de la topographie ou de la géomorphologie par des fonctions d'analyse spatiale simple (Moyes 2002).

Des cartographies thématiques peuvent être réalisées, afin de mettre en évidence différentes traces d'une même espèce, à titre d'exemple (Fig. 10, Pl. 4, a).

Enfin, les outils d'analyse spatiale offrent de nombreuses possibilités afin d'identifier des concentrations particulières de vestiges, ou encore de modéliser des parcours dans la cavité. Ces fonctionnalités sont envisagées comme un moteur de nouvelles problématiques et investigations scientifiques.

L'outil permet également de tester de nouvelles méthodes d'enregistrement, comme par exemple l'orthorectification de photographies, pour le relevé de plages d'empreintes, d'amas osseux, de concentrations charbonneuses et ainsi permettre leur analyse et de nouveaux modes de traitement (Craig, Aldenderfer, Moyes 2006).

Cet aspect fédérateur, en termes de visualisation et d'enregistrement, prend tout son sens avec l'intégration de la troisième dimension, besoin identifié et partagé au sein des différentes disciplines.

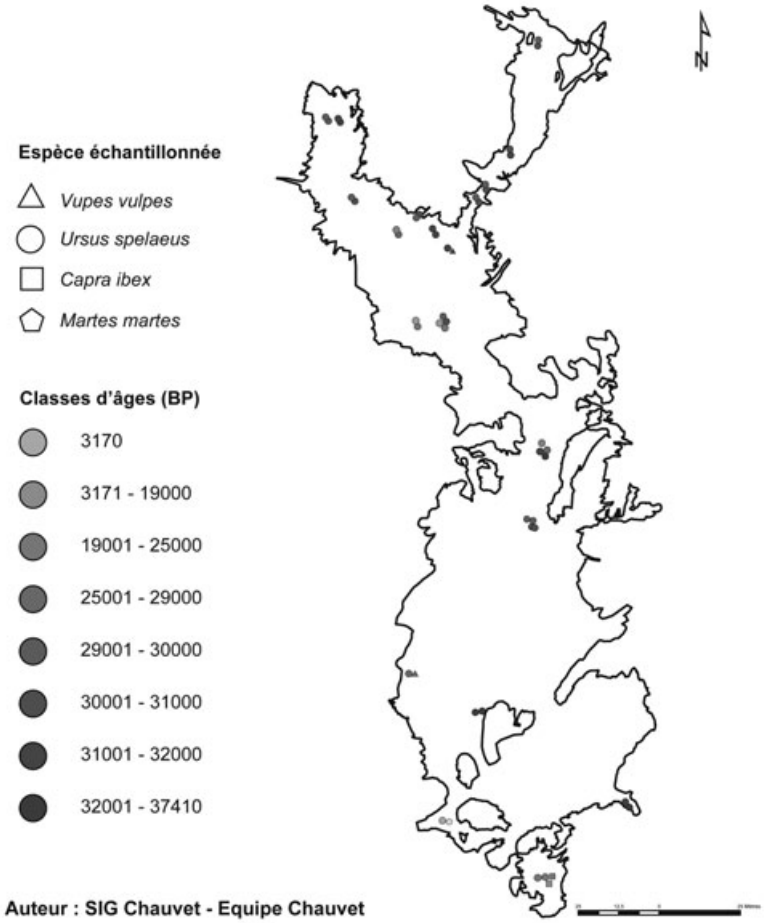


Fig. 10 – Datation des ossements de la grotte Chauvet.

8. Mise en perspective et conclusion

Hormis les développements du SIG vers la 3D afin de pouvoir mieux coupler les données issues des parois, des voutes et du sol, l'intégration des nouvelles données qui seront produites par les chercheurs de l'équipe est au cœur du SIG. Une attention particulière sera portée aux informations relatives à la conservation de la cavité, aux relations de celle-ci avec son environnement interne et extérieur afin de mieux appréhender son état actuel de conservation

ainsi que les éventuelles modifications liées aux aménagements de la cavité. Le SIG, en dehors de sa dimension scientifique s.s., peut assurément être un outil de gestion de la grotte en définissant et localisant des zones fragiles à des fins de protection comme cela a été fait pour des grottes touristiques (Despain, Fryer 2002).

Le SIG, par ses dimensions spatiale et géoréférencée, constitue un outil performant pour croiser les données géologiques, hydrogéologiques et géomorphologiques issues de l'observation de la grotte et de la surface. Ce croisement permet de mieux comprendre l'organisation de la grotte et son fonctionnement hydrologique et de mieux appréhender ses vulnérabilités structurelles et fonctionnelles (Ohms, Reece 2002; Delannoy *et al.* 2008).

Cet outil, par sa structure adaptable et les recherches de développement vers l'intégration de données tridimensionnelles, constitue un référent pour l'application à d'autres grottes ornées.

Au-delà de l'aspect classique de l'utilisation d'un SIG, l'outil SIG que nous avons mis en place reste apte à évoluer, notamment en terme de développement pour de la réelle 3D, spécifique à l'objet grotte, afin de peut-être servir de base à un futur SIG 3D. C'est là un des challenges méthodologiques auxquels nous souhaitons répondre: la grotte Chauvet s'y prête particulièrement bien compte tenu de la dynamique mise en place au sein de l'équipe scientifique et des supports technologiques dont on dispose (cartographie géomorphologique à haute résolution spatiale, géoréférencement des principaux objets archéologiques et paléontologiques, maillage 3D de la cavité…). L'existence d'un SIG dédiée à une grotte ornée est novatrice, son évolution vers la 3D est assurément un vecteur de dynamique au sein de l'équipe scientifique et un moteur de nouvelles perspectives, à la fois scientifiques et techniques.

Estelle Ployon, Benjamin Sadier, Jean-Jacques Delannoy, Stéphane Jaillet
EDYTEM – UMR 5204
Université de Savoie, CISM – Le Bourget du Lac

Julien Monney
UMR 7055 Préhistoire et technologie
Maison René-Ginouvès d'Archéologie et d'Ethnologie

Elisa Boche
Centre National de Préhistoire
Ministère de la Culture et de la Communication – Périgueux
EDYTEM – UMR 5204
Université de Savoie, CISM – Le Bourget du Lac

Jean-Michel Geneste
Centre National de Préhistoire
Ministère de la Culture et de la Communication – Périgueux
UMR 5199 PACEA
Université Bordeaux 1

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier tous les membres de l'équipe scientifique de la grotte Chauvet pour leur investissement dans ce projet, le laboratoire Edytem et le Centre National de Préhistoire, ainsi que le cabinet Géomètre Expert G. Perazio, la DRAC Rhône-Alpes, l'ARAPE et l'ANR Madapca pour leur soutien.

BIBLIOGRAPHIE

Aujoulat N. 2005, *Contribution de la saisie tridimensionnelle à l'étude de l'art pariétal et de son contexte physique*, «Bulletin de la Société préhistorique française», 102, 1, 189-197.

Aujoulat N., Boche E. 2007, *Un projet de SIG pour les grottes ornées*, «Culture et Recherche», 111, 36.

Chandelier L., Roche F. 2009, *Terrestrial laser scanning for paleontologists: the Tautavel cave*, in *Proceedings of XXII CIPA Symposium (Kyoto, 11-15 October 2009)*, 5.

Craig N., Aldenderfer M., Moyes H. 2006, *Multivariate visualization and analysis of photomapped artifact scatters*, «Journal of Archaeological Science», 33, 1617-1627.

Delannoy J.J., Duva M.L., Gauchon Ch., Jaillet S., Perrette Y., Ployon E., Sadier B. 2008, *Etude préalable au projet d'extension de classement du site des abords de Pont d'Arc*, DIREN Rhône-Alpes.

Despain J., Fryer S. 2002, *Hurricane Crawl Cave: A GIS-based cave management plan analysis and review*, «Journal of Cave and Karst Studies», 64 (1), 71-76.

Geneste J.-M., Fagnard J.-P., Delannoy J.-J. 2005, *La grotte Chauvet à Vallon-Pont-d'Arc: un bilan des recherches pluridisciplinaires*, «Bulletin de la Société préhistorique française», 102, 1, 5-7.

Herrmann N. 2002, *GIS applied to bioarchaeology: An example from the Río Talgua Caves in northeast Honduras*, «Journal of Cave and Karst Studies», 64, 1, 17-22.

Le Guillou Y. 2005, *Circulations humaines et occupation de l'espace souterrain à la grotte Chauvet-Pont-d'Arc*, «Bulletin de la Société préhistorique française», 102, 1, 117-134.

Moyes H. 2002, *The use of GIS in the spatial analysis of an archaeological cave site*, «Journal of Cave and Karst Studies», 64, 1, 9-16.

Ohms R., Reece M. 2002, *Using Gis to manage two large cave systems, Wind and Jewel Caves, South Dakota*, «Journal of Cave and Karst Studies», 64, 1, 4-8.

Ontañón R. 2003, *Sols et structures d'habitat du Paléolithique supérieur, nouvelles données depuis les Cantabres: la Galerie Inférieure de la Garma (Cantabrie, Espagne),* «L'Anthropologie», 107, 333-363.

Wheatley D., Gillings M. 2002, *Spatial technology and archaeology. The archaeological applications of GIS*, New York, Taylor and Francis.

ABSTRACT

Up to now Geographic Information Systems have rarely been used to study decorated caves. The research conducted for more than 12 years now in the Chauvet cave required a unifying tool that would collect, on the same support, all of the different types of information gathered from the various fields of research involved in the study of the cave. The objective was to find a system that could centralize and cross reference all of the information acquired. Besides just a filing system, this tool was also needed to promote the development of new

research for a better comprehension of the cave and the way in which it was occupied. The diversity of the data to be integrated and the needs of the different disciplines required a co-constructive approach to the support and to the means for representing the data. In order to be able to cross-reference both the data collected from the soil and from the walls we decided to direct the GIS developments towards the integration of three dimensional information. The first GIS applied to caves with paintings should also be a useful reference tool for the study of other caves in the future. This article is intended to describe the different stages we passed through for the implementation of this tool, by analyzing the limitations, the choices made and the prospects we envisage.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 113-123

CONSTRUCTION D'UN SIG POUR L'ÉTUDE D'UN CIMETIÈRE: L'EXEMPLE DE MORTEFONTAINE (AISNE)

1. Introduction

Il existe peu d'exemples publiés de Systèmes d'Information Géographiques construits pour la gestion des données issues de la fouille d'un site funéraire important. Le projet mis en place suite à la fouille du cimetière de "la Ferme de Pouy" (Aisne) a ainsi permis d'expérimenter les potentialités et les limites d'un tel système et d'en évaluer la pertinence dans le cadre d'une équipe archéologique de collectivité territoriale. La "Ferme de Pouy" est située dans la commune de Mortefontaine, à l'extrémité Ouest du département de l'Aisne (Fig. 1). À l'occasion de travaux d'élargissement de la route départementale 81 en juillet 2008, un ensemble de structures a été mis au jour, motivant la prescription d'une fouille archéologique préventive menée d'août à octobre 2008 par le pôle archéologique du Conseil général de l'Aisne, sous la responsabilité de Thierry Galmiche.

Les premières estimations de terrain avaient conclu à la présence d'une quarantaine de tombes et de quelques structures d'habitat attribuées au haut Moyen Âge; ces dernières ne sont pas traitées ici. Le nombre relativement modeste de sépultures, associé au caractère d'urgence imposé par les conditions de découverte, ont conduit à la mise en œuvre d'une méthodologie de relevés simple et rapide sur le terrain. Chaque sépulture est entourée de quatre clous (à la tête, aux pieds et sur les côtés); à la fin de la fouille, l'anthropologue enregistre ses observations dans une fiche de terrain, la tombe est photographiée verticalement (par des photographies d'ensemble et des clichés de détail) et les clous sont enregistrés avec une station totale dans un fichier topographique référencé en coordonnées Lambert I (Fig. 2). Dans les faits, la densité des tombes n'a pas toujours permis de positionner quatre clous topographiques et certaines sépultures n'ont donc été localisées que par trois voire deux clous dans quelques cas; le redressement et le géoréférencement des clichés perd alors sensiblement en précision. Si l'importance réelle du site dépasse de loin les premières estimations (dans l'emprise de l'aménagement routier, c'est-à-dire sur une bande de 50 m par 5 m le long de la route, 192 sépultures réparties entre les VIIIe et début XIe siècles ont été fouillées, Fig. 3), la méthodologie de fouille et d'enregistrement définie au départ n'a pas été modifiée. Elle est restée efficace sur le terrain mais a parfois compliqué le traitement planimétrique et cartographique des données.

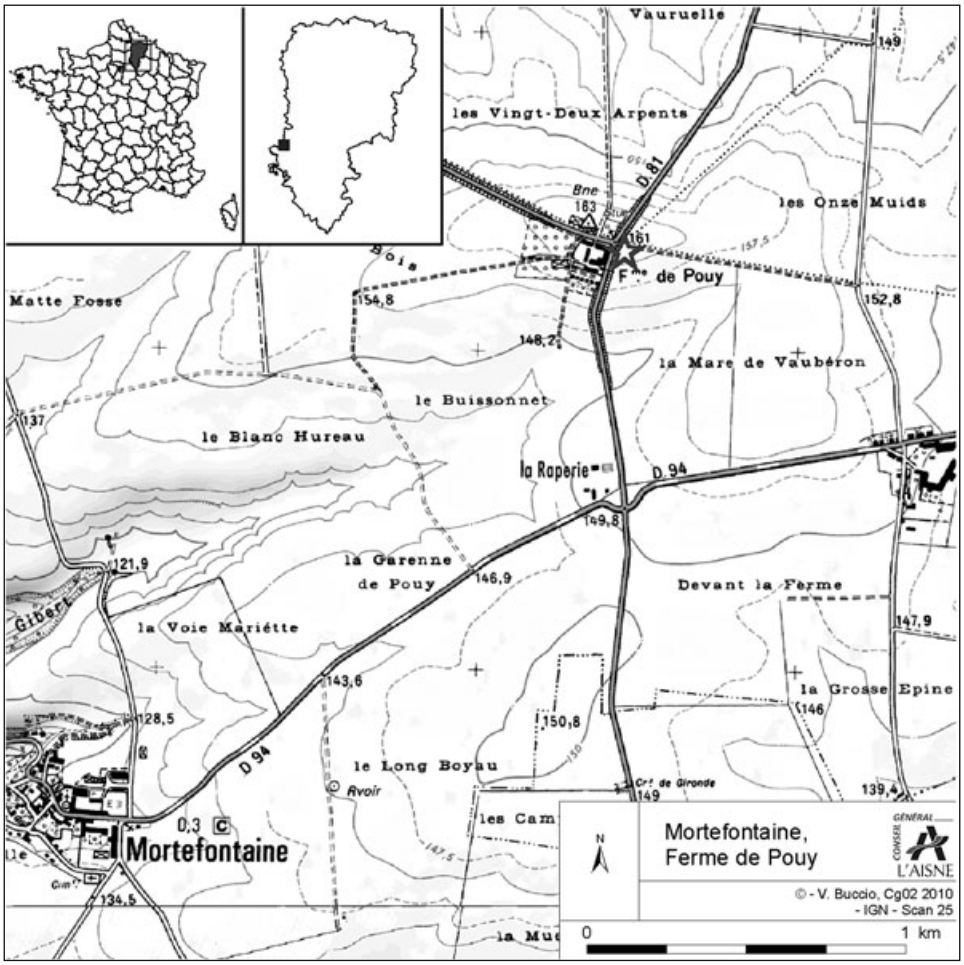


Fig. 1 – Localisation du site, © V. Buccio, Cg02; © Scan 25 IGN 2009.

Fig. 2 – Cliché de terrain: la tombe 51, © Cg02.

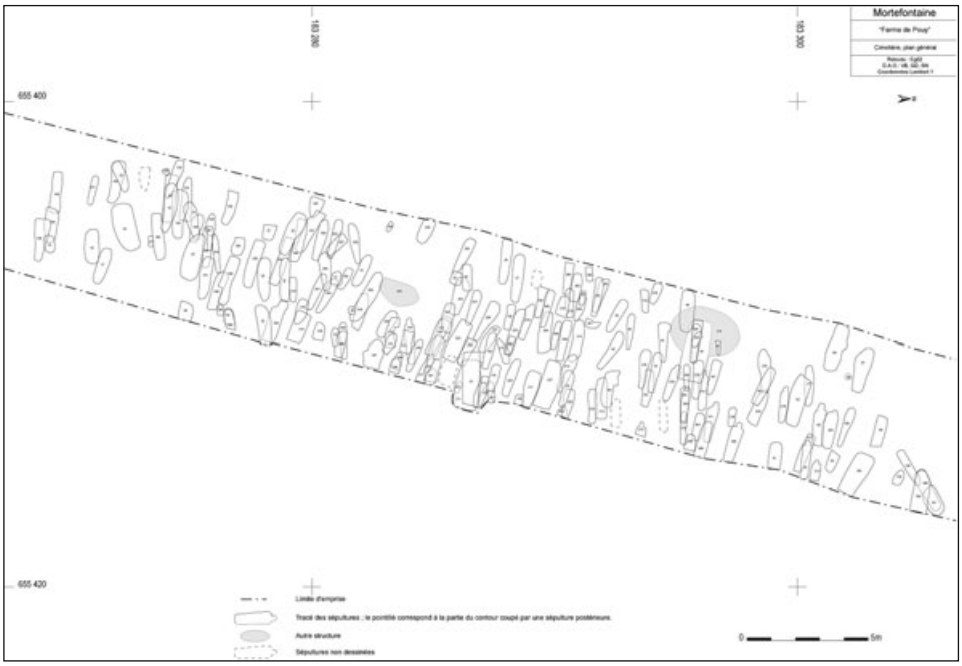


Fig. 3 – Plan du cimetière, © V. Buccio, Cg02.

2. Mise en œuvre et structure du SIG

La fouille de Mortefontaine a fourni la première tentative de création de SIG intra-site au sein du pôle archéologique du Conseil général de l'Aisne. Un tel outil s'est imposé du fait du nombre de structures fouillées et de données à étudier et la base de données à références spatiales a été mise en œuvre dès la phase de traitement des données. L'objectif de cet outil est essentiellement pragmatique: il est destiné à faciliter l'enregistrement et l'interprétation des données de la fouille; l'automatisation de nombreux calculs (les dimensions des tombes, le ratio longueur-largeur, l'orientation de chaque tombe par exemple) et le gain de temps impliqué par cette automatisation constituaient également deux des points importants pour lesquels les possibilités de traitement du SIG devaient être sollicitées.

La nécessité d'établir au plus vite un plan abouti de l'ensemble du site et une chronologie relative complète des sépultures pour choisir les tombes à dater par le radiocarbone ont amené à traiter avant tout l'organisation spatiale du site. Le principe retenu revient à géoréférencer les photographies de chaque tombe grâce aux clous enregistrés lors du relevé topographique.

Pour cela, le lever topographique est importé dans le SIG (construit ici dans le logiciel ArcGIS 9.3 sous licence ArcView); le contour de chaque tombe est ensuite enregistré dans une géodatabase qui contient une classe d'entités de type "polygones". La table attributaire est ici réduite à sa plus simple expression: outre une clef d'indexation automatique, elle contient essentiellement le numéro attribué à chaque sépulture lors de la fouille et les champs nécessaires au fonctionnement de la base. Les métadonnées de cette géodatabase ont été enregistrées sous ArcCatalog en respectant la norme du Dublin Core; elles sont destinées surtout à transmettre le mode de constitution et les droits liés à cette base à tous les utilisateurs potentiels.

3. Organisation de la base de données

La base de données principale a, quant à elle, été créée sous MS Access dans un fichier indépendant de la géodatabase afin de limiter les manipulations de cette dernière dans plusieurs logiciels. La construction de la base a été menée par V. Buccio en collaboration avec N. Robin et T. Galmiche. Les deux fichiers sont liés *via* un identifiant unique, le numéro de sépulture. Le choix de cette articulation logicielle repose sur deux contraintes: l'équipement informatique (matériel et logiciel) du Conseil général de l'Aisne et la formation des divers intervenants dans ce projet: du fait de la bonne maîtrise de MS Access par l'anthropologue, il a semblé judicieux d'utiliser ce logiciel pour l'exploitation de la base, qui permet également d'alimenter, consulter et modifier la base indépendamment du SIG. La très bonne articulation des deux logiciels employés était aussi un critère fondamental dans cette structure, comme la possibilité de gérer les relations de façon dynamique.

Le choix qui a présidé à la structuration de la base de données est celui de la plus grande simplicité et de l'adéquation avec les logiciels disponibles. Elle rassemble avant tout les informations dont nous voulions étudier la répartition spatiale et celles qui sont utiles à l'étude anthropologique. Ainsi, dans la mesure où ArcGIS 9.3 sous licence ArcView gère mal le relief, les altitudes n'ont pas été intégrées à la base de données. Les principales mesures d'altitude de chaque sépulture sont portées sur les dessins des squelettes et les fiches anthropologiques. La table principale de la base, ou table "Sépultures", comprend l'ensemble des informations uniques relatives à chaque individu (Fig. 4). Elle est alimentée *via* un formulaire structuré en quatre sections:

– L'organisation de la tombe regroupe tous les champs concernant la fosse, l'espace de décomposition, le contenant et les ossements qui n'appartiennent pas à l'individu inhumé (os retrouvés dans le comblement ou déposés en réduction).
– La disposition du corps comprend l'ensemble des informations sur la position du corps, des membres et des extrémités. Nous avons choisi ici de ne pas utiliser de codage (contrairement, par exemple, à Durand et Vanhaeke

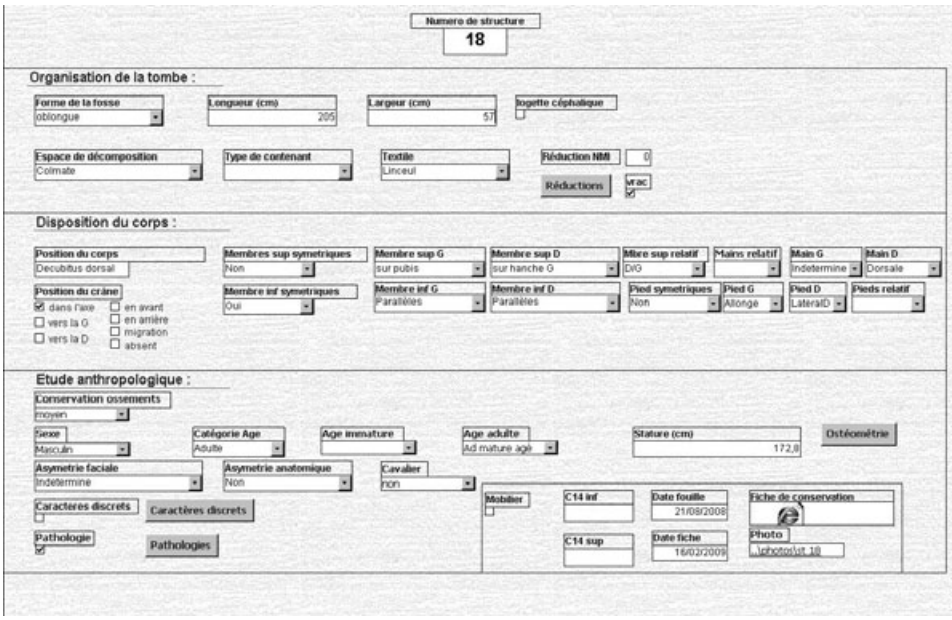


Fig. 4 – Copie d'écran, formulaire principal de saisie, © V. Buccio, Cg02.

1987, 88) pour la position des membres afin de limiter les sources d'erreur à la saisie. La position propre de chaque membre et des extrémités constitue autant de champs, auxquels s'ajoute la description de la position relative des membres (gauche sur droit, droit sur gauche ou sans relation).
– Dans la section "étude anthropologique" sont groupés les champs relatifs à la conservation de l'individu, à son sexe, son âge au décès, sa stature et ses caractères morphologiques. Ces informations sont en cours d'élaboration par l'anthropologue.
– Une section administrative rassemble enfin les liens vers les fiches de conservation des squelettes, les photographies de terrain et les dessins des tombes; on y trouve également les dates de fouille et de création des fiches et les valeurs des datations au radiocarbone quand elles existent (neuf ont été réalisées sur l'ensemble du site). La rareté du mobilier (présent seulement sous forme résiduelle dans le remplissage des tombes) a conduit à le signaler sous la simple forme d'une case à cocher. Dans l'hypothèse d'une réutilisation de la structure de la base pour d'autres sites, il serait simple de lier la table "Sépultures" à une table "Mobilier".

Cette table principale est liée à cinq tables secondaires (Fig. 5): la première concerne les caractères discrets observés sur certains squelettes, la

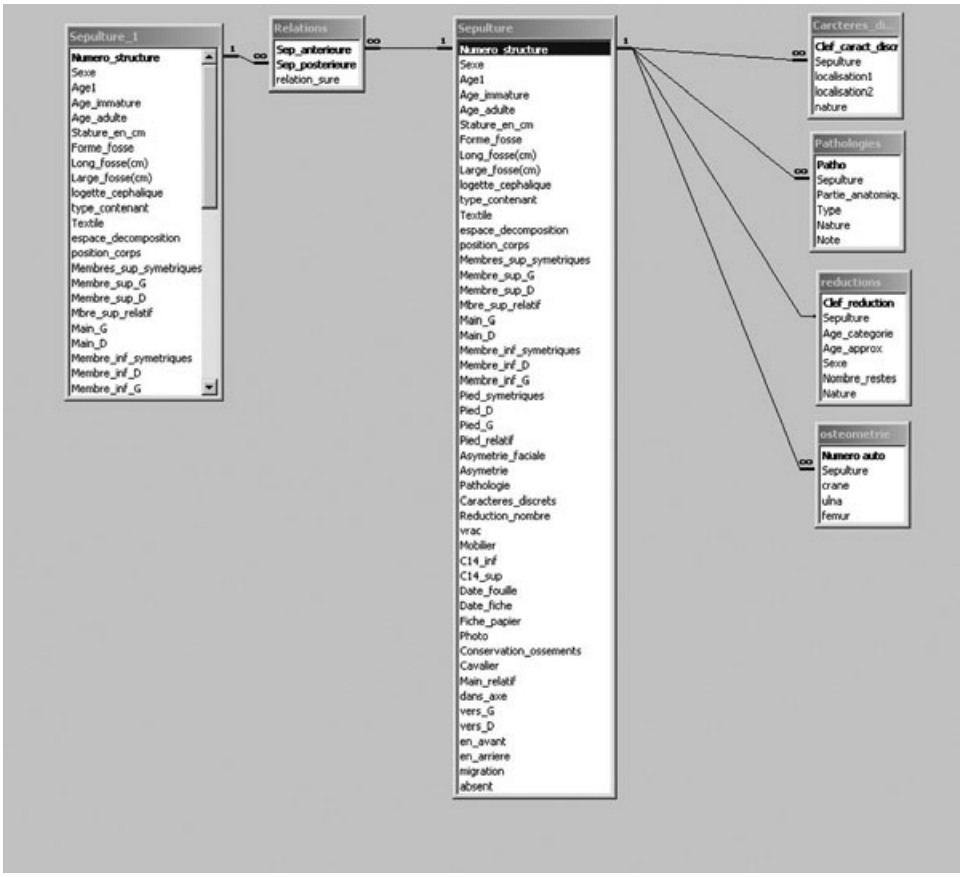


Fig. 5 – Architecture de la base de données, © V. Buccio, Cg02.

deuxième liste les pathologies de chaque individu par type, la troisième décrit les individus présents en réduction dans chaque fosse et la quatrième liste les principales caractéristiques ostéométriques de chaque individu. Ces tables sont liées à la table des sépultures par une relation de type un-à-plusieurs; par exemple, chaque pathologie d'un individu constitue un enregistrement dans la table pathologie, qui peut donc comprendre plusieurs enregistrements (une quarantaine, dans certains cas) pour un même squelette. Seules ces quatre tables comprennent des champs textuels pour la saisie d'observations diverses, les champs de la table principale correspondant à des valeurs numériques ou à des thésaurus limités. La cinquième table permet de construire une chronologie relative en autorisant une liaison plusieurs-à-plusieurs entre

les différentes entités de la table "Sépultures". Son architecture est directement inspirée des travaux de B. Desachy (Desachy 2008) et de la structure du système Stratibase. Cette gestion assez simple est amplement suffisante à l'échelle du site de la "Ferme de Pouy", où les éléments de chronologie relative sont peu nombreux et ne sont pas complexes (nombre de sépultures qui sont stratigraphiquement déconnectées des autres, et les plus grandes séries stratigraphiques comportent six niveaux).

La structure adoptée a permis une relative souplesse dans l'alimentation de la base de données: nous avons ainsi pu ajouter des champs ou modifier la structure des bases liées sans difficultés techniques; cela implique néanmoins de reprendre les fiches déjà renseignées pour les compléter.

4. De la base de données au SIG

Le passage de la base de données au logiciel SIG se fait très facilement par un jeu de jointures et de relations. Les tables sépultures, réductions, caractères discrets, pathologies et ostéométrie sont rattachées directement aux entités de sépultures correspondantes; les résultats des requêtes peuvent également l'être. Cela pose un problème conceptuel (les pathologies par essence n'existent pas sans l'individu) mais allège considérablement le SIG. Il est ainsi possible de multiplier les requêtes croisées et d'analyser la répartition des tombes selon des critères multiples et inhabituels dans le cadre des études de cimetières, comme la répartition des pathologies ou de certains caractères discrets.

L'usage du logiciel SIG permet la création de champs calculés automatiquement sur la géométrie des tombes. Si le logiciel est incapable de calculer simplement la longueur et la largeur maximales des tombes, qui sont des polygones irréguliers, une manipulation simple permet d'obtenir une valeur proche de ces résultats: il suffit d'intégrer chaque tombe dans le rectangle circonscrit le plus proche et de mesurer la longueur et la largeur du rectangle obtenu. Plusieurs scripts existent qui permettent ce calcul. L'orientation de la tombe est assimilée à la direction du plus grand côté du rectangle, et il est assez simple d'en obtenir la valeur automatiquement. Les trois valeurs obtenues sont enregistrées dans autant de champs de la base de données des sépultures (afin d'être accessibles à tous les utilisateurs, même en-dehors du logiciel SIG). Quant aux possibilités d'analyse spatiale offertes par le logiciel, elles n'ont pas été exploitées ici: les recoupements de tombes, qui sont la principale expression des relations topologiques entre les entités, ont été étudiés lors de la fouille et le traitement automatique *a posteriori* n'apporte pas réellement d'informations complémentaires.

Mais le SIG construit autour de ce site ne se limite pas à la seule étude des structures fouillées; il intègre en effet deux niveaux de documentation. A très grande échelle, le cimetière fait l'objet d'une base de données et d'une

couverture dans le système. S'ajoute à cela, à plus petite échelle, la documentation cartographique historique (les cartes du XVIIIe siècle, le cadastre dit napoléonien en particulier) qui est géoréférencée; les informations topographiques issues des sources textuelles (en particulier un terrier de la fin du Moyen Âge) sont elles aussi intégrées au système. Ce volet du SIG a surtout vocation à simplifier la gestion de ces données; l'écart chronologique et la différence de grain entre cette documentation et le site archéologique ne permet pas d'établir de lien direct entre ces documents et la base de données des tombes.

5. Applications et limites

L'étude anthropologique n'est pas achevée à ce jour, aussi est-il difficile d'exposer les résultats obtenus grâce au système. Bien évidemment, la base de données permet de multiplier les analyses statistiques, sur un échantillon dont la représentativité pourra être discutée[1].

Au-delà des plans de répartition habituels, selon la forme des fosses, le sexe ou l'âge au décès par exemple, tous les critères de la base de données peuvent être cartographiés, de façon isolée ou par des requêtes croisées. Là où l'obtention de plans de répartition en DAO est coûteuse en temps, la manipulation est ici simplifiée une fois la base de données alimentée, et il est donc possible de multiplier les plans de répartition sans évacuer de critères *a priori*. On pourra ainsi analyser à terme la répartition des individus atteints de tuberculose et de DISH (Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis, ou maladie de Forestier): la première de ces pathologies est généralement associée aux populations pauvres, la seconde aux populations plus aisées. Leur distribution dans le cimetière pourrait fournir des éléments d'ordre socio-économiques et sur la répartition des individus en fonction de leur classe sociale.

Dans la mesure où l'étude anthropologique n'est pas achevé, il est prématuré de proposer des plans de répartition sur des critères scientifiques. En outre, le SIG mis en place ici permet aussi de produire des documents de synthèse à vocation administrative: à titre d'exemple, la carte de répartition des sépultures par date de fouille fournit un support qui permet de justifier de l'occupation des terrains auprès de l'aménageur. Ici, on lit aisément la progression de la fouille en plan et la réalisation d'un décapage intermédiaire qui a mis au jour un second niveau de sépultures (Fig. 6, Pl. IV, b).

Une limite essentielle subsiste à la structure adoptée pour la base de donnée et plus largement pour le SIG élaborés dans le cadre de cette fouille. Du fait de contraintes logicielles, nous n'avons en effet pas intégré ici

[1] La méconnaissance des limites du cimetière ne permet pas de connaître le nombre total de sépultures et l'on ignore donc la part du site qui a été fouillée. Le nombre d'individus (près de 200) permet toutefois de considérer que cet échantillon est assez grand pour faire l'objet d'un traitement statistique.

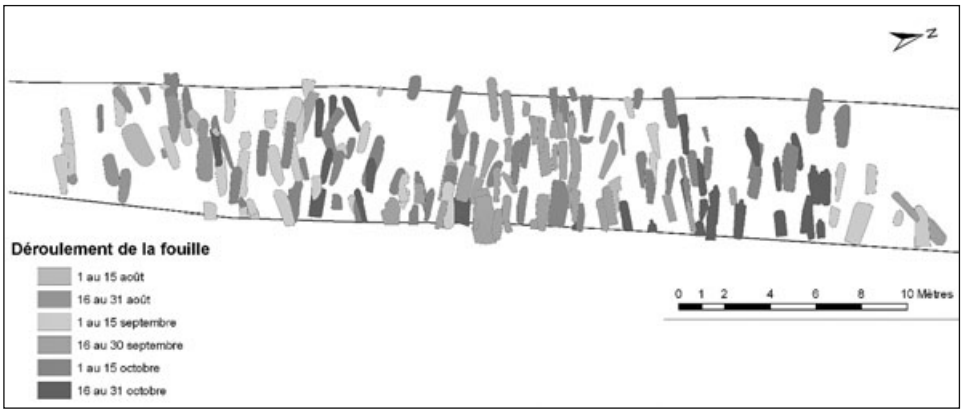


Fig. 6 – Déroulement de l'opération, © V. Buccio, Cg02.

de données altimétriques dans la construction du SIG. Dans la perspective d'une utilisation élargie à d'autres sites, il semblerait pertinent de permettre la gestion des fosses dans l'espace en intégrant leur altitude d'apparition et leur profondeur. Cela permettrait de clarifier les recoupements et les chevauchements de sépultures. De même, les modalités choisies pour l'intégration de la chronologie relative ne sont opérationnelles que dans le cadre d'un site peu stratifié. Il est difficile, en l'état du système, d'adosser l'ordre d'affichage des polygones dans le SIG à l'ordre défini *via* les éléments de chronologie relative de la base de données.

6. Conclusion

L'outil mis en place ici est conçu comme un outil de gestion et d'aide à l'interprétation; il ne se veut en aucun cas un modèle conceptuel ou technique. Il existe peu d'exemples publiés d'usage de SIG ou de SGBD à cette échelle et dans ce type de contexte, loin des problématiques d'archéologie spatiale pour lesquels les SIG sont fréquemment utilisés. Cet outil facilite la gestion des informations et la création de plans de répartition par rapport à une solution en DAO; chaque critère de la base de données peut être intégré à l'analyse spatiale, ce qui ouvre de multiples champs d'interprétation et de compréhension du site. En limitant les manipulations manuelles du plan, le système construit permet de réduire les risques d'erreurs de traitement inhérents aux tâches répétitives. La base est aujourd'hui opérationnelle et sert à l'enregistrement des données funéraires de la fouille de la "Ferme de Pouy"; les premières requêtes de répartition spatiale ont été formulées.

Cette application a constitué pour notre équipe un laboratoire des possibilités de développement d'outil SIG à la fouille de nécropoles: si le

nombre de tombes à "la Ferme de Pouy" a donné une certaine souplesse dans la conception et la mise en œuvre de l'outil, une application à l'échelle d'un site plus important impliquera une approche plus systématique et anticipée[2]. Dans ce cas, le SIG permettra de faciliter et d'accélérer le traitement des résultats pour ce type de sites. Si les contraintes inhérentes à l'archéologie préventive, en particulier au sein d'un service de collectivité territoriale de taille moyenne, permettent rarement le développement d'outils conceptuels, la réalisation d'un projet tel que celui qui a été mis en place ici paraît accessible sans difficultés techniques majeures et trouve une application concrète dans les activités du service. Le ratio entre l'investissement en temps de développement de l'outil et ses apports est largement favorable à la mise en œuvre d'un SIG pour l'étude des nécropoles lorsque celles-ci dépassent quelques individus. La mise en commun éventuelle de telles bases de données pourrait aussi permettre des études spatiales et des comparaisons à échelle régionale, relatives à l'état sanitaire ou aux techniques d'inhumations par exemple. On ne peut que souhaiter une promotion de l'outil SIG et de ses potentialités auprès des acteurs de l'anthropologie et de l'archéologie funéraire, qui peuvent y trouver une assistance appréciable pour leurs travaux. Les possibilités offertes de lier simplement la géométrie des objets à un tableur permet d'importer de nombreuses informations sans modifications importantes de certaines pratiques de gestion de données. On ne peut que souhaiter une multiplication à venir de tels systèmes de gestion, élaborés en collaboration avec les anthropologues.

Vincent Buccio, Thierry Galmiche, Nadège Robin
Département de l'Aisne

BIBLIOGRAPHIE

Aldenderfer M., Maschner H. 1996, *Anthropology, Space and Geographic Information Systems*, Oxford, Oxford University Press.

Arenal I., Valdés L. 1995, *Base de datos "Andros". Sistematización de datos antropológicos procedentes de excavaciones arqueológicas*, in *Aplicaciones informáticas en Arqueología: teorias y sistemas, I Coloquio Internacional de Arqueología e informática (Saint-Germain-eu-Laye 1991)*, Madrid, Denboraren Argia, 11-21.

Costa L. 2009, *Impact des approches géomatiques dans les organisations de l'archéologie,* Thèse de doctorat, Université Paris X.

Desachy B. 2008, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain,* Thèse de doctorat, Université Paris1 Panthéon-Sorbonne (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00406241/fr/) [consulté 26 Apr 2011].

Durand M., Vanhaeke L. 1987, *La nécropole du haut Moyen Âge et le moulin médiéval de Sacy-le-Petit*, «Revue archéologique de Picardie», 3-4, 83-114.

[2] Si la mise en place d'un SIG intra-site ne s'impose pas pour la fouille de tombes isolées, il semble à l'inverse indispensable d'avoir un outil opérationnel dès le début du traitement des données pour un site de plus grande ampleur que la "Ferme de Pouy".

Galmiche T. *et al.* (sous presse), *Mortefontaine, "Ferme de Pouy", rapport de fouille archéologique préventive*.

Paillard D. 1995, *Enregistrement et exploitation des données pour la fouille d'une nécropole*, in *Aplicaciones informáticas en Arqueología: teorias y sistemas, II Coloquio Internacional de Arqueología e informática (Bilbao 1993)*, Madrid, Denboraren Argia, 370-395.

ABSTRACT

The Pôle archéologique from Aisne Department excavated a ninth and tenth century graveyard in Mortefontaine (Aisne). Two hundred graves were excavated in a field (50 m long, and 5 m wide) and integrated in a GIS. The decision to build this last system was taken after the end of the excavation, without any specific field process, which constituted an important technical constraint. Each grave is a part of a database built in collaboration with the anthropologist studying them and the archaeologist in charge of the excavation. The system makes it possible to fill the database independently from the GIS Although the study is not yet over, we already have the first results in terms of distribution. They show the usefulness of this system to manage and understand this kind of excavation.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 125-140

GIS APPLICATIONS FOR THE ARCHAEOLOGICAL ANALYSIS OF A MEDIEVAL TOWN: PISA, ITALY

1. A matter of principle

«Contrary to popular mythology, contemporary professional archaeologists may spend more time using GIS than a trowel» (Wheatley, Gillings 2002, 10), becoming the first interpreters of digital processing of archaeological data, since only those who are aware of the general principles connected to archaeological data recording can arrange the complex relationships required by their rationalization. Archaeology becomes the central point of view, so the development, not only semantic, from Geographical Information System to Archaeological Information System is fundamental. The acronym GIS is not only rather slippery and difficult to define in a precise or meaningful way (Wheatley, Gillings 2002, 9), but it's especially inappropriate in defining the specific nature of archaeological practice. In the analysis of an urban framework is essential to complement the information system, that stores, manages, processes and analyzes historical and archaeological data linking them to a geographical coordinates system, to a larger network, that includes specialists, organizations and institutional arrangements to collect, record, analyze and disseminate data (Favretto 2000, 165), defined with the broader term AIS Solution[1].

2. Pisa's Archaeological Information System

Over the past 10 years archaeological research in Italy has started to create urban archaeological GIS focused mainly[2] in Tuscany: Firenze (Scampoli 2007), Grosseto (Citter *et al.* 2007), Pisa (Anichini 2004-2005), Siena (Fronza, Nardini 2009), and in Emilia-Romagna[3]: Bologna (Pescarin *et*

[1] Pisa AIS Solution is composed of an institutional network of University of Pisa's Archaeological Department (Dipartimento di Scienze Archeologiche), Archaeological Superintendence of Tuscany (Soprintendenza peri i Beni Archeologici della Toscana) and Municipality of Pisa.

[2] The *Forma Urbis* project is one of the few exception (www.aec2000.it/lanciani/html/informazioni.html).

[3] From 1995 Emilia Romagna regional administration is developing the C.A.R.T (Carta Archeologica del Rischio Territoriale Archaeological Risk Territorial Map) System (Guermandi 2001). As far as 2008 C.A.R.T. system was updated for Bologna (town), Faenza (town) e Forlì (town, municipal country, provincial country). http://www.ibc.regione.emilia-romagna.it/wcm/ibc/menu/istituto/04attivita/13progetti/prog/cart.htm.

al. 2002), Faenza (Guermandi 2000, Guarnieri 2001), Forlì (Prati 2001), Modena (Cardarelli *et al.* 2001), Parma (Bigliardi 2007), Ravenna[4].

Pisa AIS was developed to manage heterogeneous data, which drawn the urban archaeological complexity, and to develop effective predictive tools, working on an intermediate scale which allows to analyse how the geographic space have influenced the economical, political and logistic choices. The choice of on an intermediate scale has led to the need to work with both topographical (geomorphologic, hydrographical, toponymic data, etc.) and urban data (archaeological stratifications, buildings, road network, hypotheses of historians and archaeologists, etc.), combining inter-site analysis and archaeological excavation GIS' resources. To combine multi-temporal and multi-scale data, it was necessary to provide for digital data conversion and georeferencering of archaeological excavation data acquired at different times and different scales and the integration and overlap of data obtained with different techniques and diverse topographical reliability and precision. To enable proper processing queries, it was necessary a comprehensive geographical and archaeological data entry, according to a consistent use of geometric primitives for reproducing vector objects. As a general principle it was decided to use points for georeferencing data with inexact location, surfaces (polygons) for georeferencing data with exact location, lines for georeferencing linear data with exact location.

Archaeological excavation data entry was based to the principles of archaeological stratigraphy (Nardini 2000), archaeological plans coming from a complete archaeological dataset or from a partial archaeological dataset have been addressed through an identical graphical representation, but using different files. Deposit is drawn as polygon, cut and symbol as line[5]. The inclusion of interpreted data developed by previous researchers[6] has been solved by drawing the same feature on two different files: the first one contains the real object, the second one the interpreted object. Typological analogous data, but gathered from sources with different reliability, have been distinguished through codes of trustworthiness. The frequent change of use of the same object has been undertaken linking the feature with an apposite RDBMS table, while the change of shape of an object which maintained the same use has been undertaken drawing two features with different attributes (Nardini 2004, 367). To summarize the AIS includes:

– geographical data;
– urban data;

[4] http://www3.unibo.it/archeologia/arcmed/progRa.htm.

[5] It has been opted to not use symbols for partially documented archaeological excavation data, to underline data incompleteness. Partially documented archaeological excavation data have a well-constructed attribute table, because they aren't linked to RDBMS.

[6] Interpreted data are essential information (Nardini 2004, 366).

– historical cartography data;
– all archaeological data from occasional findings to stratigraphical excavations.

For locating all the available data, different cartographies have been used: regional cartography (scale 1:5000 and 1:10.000) to describe the extra-urban territory; vector maps furnished by the Municipal Administration to reproduce the urban space. The AIS has been elaborated through the proprietary software ArcGIS 9.0 licensed by ESRI. This is a pragmatic, not ideological, choice related to the use of this software by the different partners of the AIS solution and to the perfect compatibility with MSAccess used for the RDBMS, based on the use of Visual Basic. Not a secondary factor, the digital format ESRI.shp is a standard format for vector data, that allows the exchange and the processing of data even with open source software.

3. Spatial analysis

This article describes the procedures related to the creation of the DTM of medieval town and the analysis of the marshy areas.

3.1 *Digital Terrain Model of medieval town*

The creation of medieval Pisa DTM meets the need to understand the urban settlement's choices especially in relation to the distinguishing environmental context to which the town was connected, characterized by a complex hydrographic system with wide marshy areas. The preliminary phase consisted in the analysis of the different models of interpolation, aimed at the choice of the method that best allows to calculate unknown values based on known values in their proximity. The elevation data were derived from different archaeological excavations – for which it was possible to trace the absolute dimensions with a degree of reliability exact or calculated and were georefered as points. Only 9 accurate elevation data are available for the Early Middle Ages (8th-10th century), whilst 91 accurate elevation data are available for the Late Middle Ages (11th-12th century) (Fig. 1).

It was, therefore, rejected the idea of creating a DTM for Early Middle Ages town. It was necessary to take into account the presence of the Arno River, which crosses from East to West the city. Archaeological evidence indicates that the route of the Arno river is essentially stable since the Late Middle Ages, so the bed of the river was considered very similar to the current average that is equal to -3 m above sea level[7]. Overall, the elevation points' location appears irregular, concentrated in the central portion of the city and lacking in eastern e

[7] http://geodataserver.adbarno.it/sezioni/viewer.htm.

southern areas. This kind of points' location fits well with kriging geostatistical interpolation. I have preferred to verify the validity of two different interpolation methods: IDW[8] and Kriging[9], excluding immediately TIN[10], because of its intrinsic preference for a more regular points' location, and Trend surface analysis[11]. The comparison between the two different interpolation methods was made on the basis of the calculation of root mean square deviation, that is the measure of the differences between the values predicted by a model and the values actually observed from the object being modeled[12].

[8] The Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation produces a raster model. IDW interpolation becomes more accurate as the number of known values increases and as the distribution of values is more regular. The unknown values depends to a greater extent by the closest points, since the influence of a known value on an unknown value is weighted in inverse proportion to their distance (Forte 2002, 152; Wheatley, Gillings 2002, 193). This is an unconstrained method in which the result does not pass through the data points, but uses the points to approximate the value within both sampled and unsampled locations.

[9] The Kriging interpolation is a geostatistical, unconstrained method which produces a raster file. It is used in cases where both the distribution and density of the points are irregular. The method is based on the autocorrelation, i.e. the characteristic of the environment's properties of being in relationship with each other at some scale, which means that the sampled values in nearby locations tend to have similar behaviors, while values of the same variable measured in samples collected in places far from each other tend to have different behaviors, or at least tend to differ from the average values. Thus, the correlation between the values of the variable tends to decrease with increasing distance. The Kriging and IDW are conceptually similar and in fact the value of the unknown point is given by the weight of the known values around it and of the distance between them. The main difference is that the weight given to the points depends on the spatial structure and on the degree of distribution's spatial autocorrelation. To calculate the weights to be given to values around the unknown point, Kriging interpolation uses a semivariogram, that relates the distance between two points to the influence that these points have upon one another. The semivariogram contains three basic parameters:

– Range: the maximum distance within which there is an autocorrelation;
– Sill: the maximum value reached by semivariance;
– Nugget: unexplained part of the semivariance. It is due to measurement errors, instrumental errors and to the spatial variability present at a distance less than the minimum sampling distance (Terrosi 2007, 295).

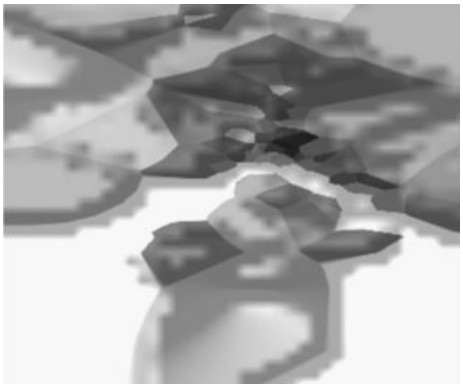
The semivariogram exhibits the value of spatial dependence, i.e. the autocorrelation. To obtain a continuous function the semivariogram should be combined with a mathematical model necessary to describe the general trend of spatial variation. The most used are circular, spherical and exponential model. The first two show a decrease in autocorrelation, until it becomes equal to 0 at a certain distance (range). The exponential models are applicable in the presence of an exponential decreasing of autocorrelation with an increasing distance.

[10] The Triangulated Irregular Network (TIN) is a constrained method that produces a vector model that creates a network of triangles; each triangle that forms the network is created from a series of three points (mass points). The values of the model correspond to the known values, while the unknown ones are placed on the flat sides of the triangles, so the results is a faceted surface model. This vector model allows the calculation of derivative maps such as slope and aspect (Wheatley, Gillings 2002, 112).

[11] The Trend surface analysis is not appropriate for approximating complex surfaces such as topography (Wheatley, Gillings 2002, contra Terrosi 2007).

[12] The root mean square deviation (RMSD) or root mean square error (RMSE) is calculated by omitting a value between those used for calculating and using the remainder for the estimation of value in that location. The two values, those measured and those estimated, are then compared to measure the error. This comparison is repeated for all the values at which a measurement was made. The root mean square deviation of all differences becomes the measure of the validity of the estimate. The closer the value approaches 0, more the interpolation approaches the real values.

Fig. 1 – The location of the 91 elevation data available for the Late Middle Ages.



2

3

Figs. 2-3 – 2. The DTM obtained using *IDW* interpolation; 3. The DTM obtained using *Kriging* interpolation.

Using IDW interpolation (Fig. 2) with the following parameters:

Method Parameter(s): Power: 80,73
Searching Neighborhood:
Neighbors to Include: 5 (include at least 5)
Searching Ellipse:
Angle: 0
Major Semiaxis: 150
Minor Semiaxis: 310
Sector Mode: 2

we get a root mean square equal to 0,76.

Using Kriging interpolation (Fig. 3) with the following parameters:

Selected Method: Ordinary Kriging
Output: Prediction Map
Number of datasets currently in use: 1
Number of Points: 122
Semivariogram/Covariance:
Model: 30*Circular[13] (2382,3,1984,9,304,9)
Error modeling:
Microstructure: 1,9186 (100%)
Measurement error: 0 (0%)
Searching Neighborhood:
Neighbors to Include: 5 or at least 5 for each angular sector
Searching Ellipse:
Angle: 305
Major Semiaxis: 2382,3
Minor Semiaxis: 1984,9
Angular Sectors: 8

we get a root mean square equal to 0,63.

3.2 *The wetlands: marshes and swamps*

During the Middle Ages, the plain of Pisa was characterized by the presence of wetlands and marshes (Baldassarri, Gattiglia 2009) to get an idea, the more likely one of the extension of these areas, can assess their impact on the development of Pisa. GIS analysis, developed to locate possible marshy areas, has required complex operations[14] generated through a large

[13] It was decided to use the circular model because it gave the lower root mean square deviation.

[14] The process created is inspired by Macchi Jánica 2001 and Citter, Arnoldus-Huyzendveld 2007a, b.

amount of data from various sources analyzed through map algebra[15]. First of all geographic data: terrain elevation, assuming that the areas located at lower altitudes, in our case close to or even below sea level, are more prone to flooding; slope, considering the flattest land the more likely to flood; sunken areas or internal drainage areas. Then geopedological data through the use of the soil map (Arnoldus-Huyzendveld 2007; Volpe, Arnoldus-Huyzendveld 2005) and of CAR.G. (Regional Geological Cartography), considering the land of lakes, marshes and reclaimed areas the most suitable wetland areas. Finally toponymic data[16] with the identification of place names related to the presence of wetland areas and place names found in medieval documents in order to insert a chronological characterization.

The spatial analysis of data, duly reclassified and processed by using the raster calculator function, has created a map of areas potentially flooded in the medieval period. A fundamental part of this phase of work consisted in reclassification, i.e. the assignment of parameter values to the series of data obtained, from which depended the final result. The first stage focused on the geographic data. I have created a DTM of the examined territory related to

[15] Map algebra (Tomlin 1990) allows operations with raster data and represents one of the most important GIS analysis. In addition to standard arithmetic addition, subtraction, division and multiplication, this particular type of algebra also accepts the relational operators, i.e.<, >, =, etc. The logical operators AND, OR, XOR, NOT are also used and statistical, trigonometric, logarithmic and exponential operators. A prerequisite for the application of map algebra is that the input maps should have all the same resolution and be aligned to the pixel. Besides being able to act on individual cells, map algebra can also work with groups of cells to solve complex problems. Four types of functions are applicable to a raster:
– Local calculates the output raster based on the value contained in the cell of input raster processed by the function applied without taking into account the adjacent cells. The local functions are trigonometric, exponential, logarithmic.
– Focal calculates the output raster on the basis of the values of a number of adjacent cells, which is called focus. The selection of surrounding cells is established through a form defined by user and centered on the cell considered. Focal functions are those that calculate the standard deviation, the sum, the change of values in the immediate or extended vicinity of a given cell.
– Zonal calculates the output raster based on a comparison between two rasters. They do not operate on a single cell, but on groups of cells defined in a specific area; in the first input map are defined the values on which the operator acts, in the second input map are defined the input areas, creating a mask on which operations will be carried out. The result of these operations will be reported in the output raster.
– Global estimates the output raster cell values based on the algorithms applied to cells of the input raster. The global operators calculate the output raster by taking into account the values of all cells in the input raster. An example for this type of operator is the Cost Surface Analysis.

Map algebra operations should pay particular attention to input raster that contains the NoData value. This is not considered, in fact, equal to 0, but corresponds to an absence of data, so any operation involving a NoData cell in the input raster will produce a NoData cell in the output raster, so it is preferable to assign the value 0 to NoData, working through reclassification tools.

[16] The toponymic data have been handled by the method of Thiessen polygons. In fact one can easily assume to be true, that each name has the same importance, or weight, and thus its range is defined by the distance to other names of equal importance. The application of this principle has been used to define the areals of current (Thiessen_toponimi.shp) and of medieval toponyms (Thiessen_topo_med.shp). In the case of medieval toponyms we have to consider a greater uncertainty due to the difficulty of locating them and to the disappearance of some names.

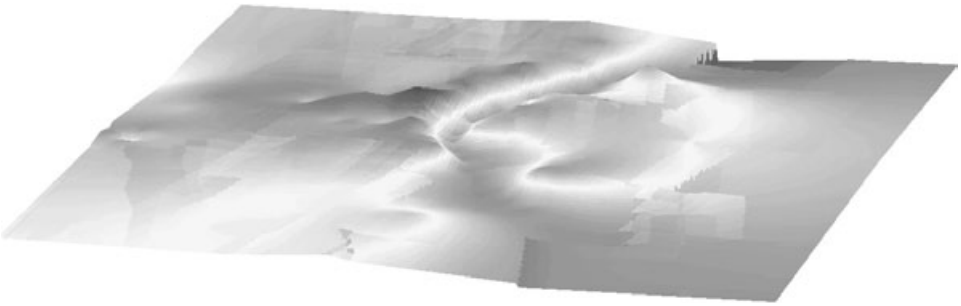


Fig. 4 – The three-dimensional reconstruction of the ground of late medieval Pisa.

the Middle Ages. Not being able to implement a medieval DTM due to the lack of sufficient elevation data related to the Middle Ages for such a wide area, it was decided to elaborate a DTM on current elevation data with the exception of post-medieval coastal advances[17]. From the resulting TIN file a raster DTM file was created with a resolution of 25 m per cell[18].The latter has been reclassified on the basis of the elevation values from 1 to 6, giving the highest value to areas with lower elevation, those more likely to be flooded. The raster DTM was also subjected to the function slope, expressed as the percentage of slope, and then reclassified (Fig. 5, Pl. V, a) compressing the values on a scale from 1 to 5 in order to assign higher values to areas with a lower percentage of inclination, i.e. areas with presumed greater propensity to flood. Latest data relating to geography are those of sunken areas: the raster DTM file was submitted to the sink function, reclassified with values from 1 to 5, in which higher values indicate areas more prone to be sunk.

The second stage focused on the pedological and geological data. The pedological data derived from the pedological vector map[19]: through a selection by attributes I identified lacustrine, fluvial-lacustrine and peat soils. The selection file was converted to raster and reclassified by assigning the values 10, 8, 4 and 0 to NoData. The geological data were obtained from geological vector map (CAR.G), through a selection by attributes marsh deposits and areas related to land reclamation have been identified and then reclassified by assign-

[17] I chose to use the 16th century coastline to take into account the progress of the shoreline during the medieval period, and to exclude all elevation points to the West of this line. This method is only partially regressive and therefore is not reconstructive. See Celuzza *et al.* 2007, 221 ss.

[18] The option of using 25 meters cells is linked to the desired degree of accuracy over an area of 350 km², that is related to the purpose of evaluating the likely, not the real extension of wetlands on Pisa area.

[19] Soil map of Tuscany (scale 1:250.000) is downloadable from http://sit.lamma.rete.toscana.it/websuoli/.

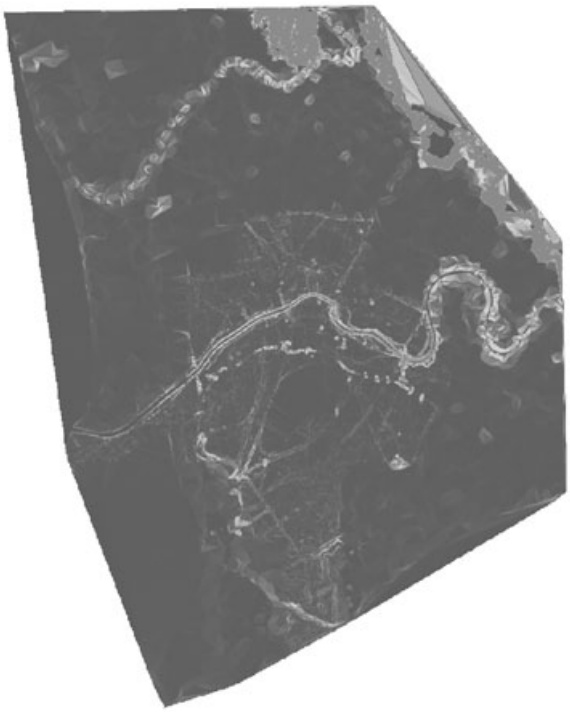


Fig. 5 – The reclassification of slope function applied to the DTM.

Fig. 6 – The *selection by attibutes* from toponymic vector map of features connected to marshy areas or mentioned as marshy areas in medieval documents.

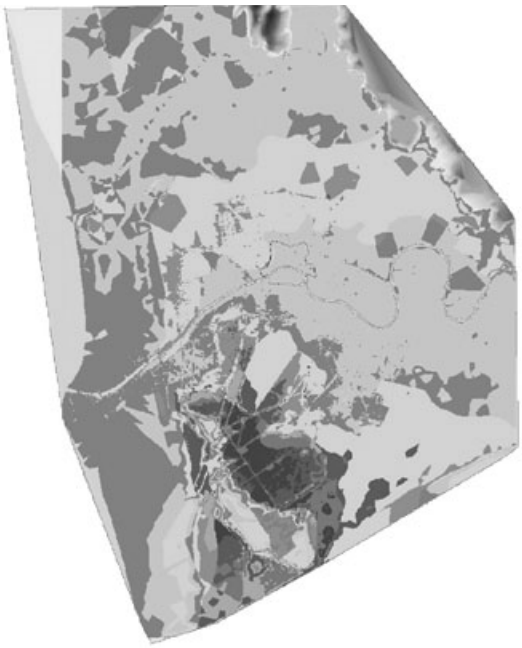


Fig. 7 – The map of potentially marshy. Reddish areas represent high potential for flooding; yellowish areas represent medium potential for flooding and greyish areas represent low potential for flooding.

ing the following parameters: 5 to marshy areas, 3 to land reclamation, 0 for all other land. The third stage consisted in the creation of the polygon file related to the toponyms, that has been created through a selection by attributes from toponymic vector map of features connected to marshy areas or mentioned as marshy areas in medieval documents. Selection has allowed the creation of the polygon file (Fig. 6, Pl. V, b), which was first converted to raster and then reclassified by assigning the value 3 to all toponyms selected and 0 to NoData. The final phase of the work consisted in map algebra analysis. Through the raster calculator the assigned values were summed and then reclassified from 1 to 10, as increasing values of the flooding potential. Overall, the geographic data weight 47%, geopedological data 44% and toponymic data 9%; the low incidence of toponymic data is due to their lower accuracy.

The resulting map of potentially marshy areas was split into three different color scales (Fig. 7, Pl. VI, a) representing the areas of high, medium and low potential for flooding. By overlaying the urbanized areas, for which the geological data is absent, it is clear how the data in some areas may be slightly underestimated by the absence of records. In fact, if we do not take into account the geological data as a whole, precisely because of the impact of urban areas, and we calculate the new raster file, we see a substantial coincidence of data in areas of high potential, but an increase in areas with medium potential in spite

of those with a low potential. The last phase of the work consisted in comparing the results of spatial analysis and archaeological data for confirming the presence of marshy areas in areas identified as flooding. 31 different archaeological excavations have identified deposits related to medieval marshy areas: 29 are located within the area of medium potential while 2 are outside the areas potentially flooded. One result appears to be completely in contrast, i.e. the one represented by the presence of a early medieval necropolis in the area of medium potential, probably originally placed on a slight relief, flattened as a result of the intense post-medieval agricultural use. The results show the substantial validity of the model obtained, so the high and medium potential areas of flooding can be considered as areas actually flooded in the Middle Ages (Fig. 8, Pl. VI, b).

4. Raw data now!

The particular attention to the aspect of management of the archaeological raw data, which represent essential information for the next phase of analysis, led to the creation of a data store, that constantly implemented and made accessible, may serve to further future analysis (Gattiglia 2009). Making data available means to allow comparing data between each other. In general terms, it was decided to give up a concept of absolute objectivity, attempting to objectify the subjectivity, i.e. to explain the methodological background used in the encoding of digital data. This process does not change the formalization of the data taken by the individual researcher, but ensures the encoding of information on more abstract formal models, since it records through metadata the reasons and circumstances of the creation of a digital source, the details of its origin, its content, its structure and the terms and conditions applicable to its use, allowing both an extensive and continuous use of the data. In this way all data related to every single archaeological excavation (archeographic data, structure and format of digital data) were stored in text format, according to the chart below, to record the history of the data formation and to streamline search, location and selection operations and to make information accessible to everyone, even at a distance of time and space (Gattiglia 2009):

History of the investigation

– purpose
– issues
– methodology
– type of archeographic record
– geographical coordinate
– chronology
– scientific Director/excavation team
– more…

Sources used to create data

– questioned archives
– cartography used for georeferencing data
– previous archaeological investigations
– method and data structure
– creation of the dataset
– georeferencing data
– cartography used for georeferencing data
– list of files and their contents
– list of ID assigned
– list of codes and their meaning
– Thesauri
– systems used in data acquisition
– conversions to other formats.

Staff

– reports
– bibliography
– place of storage of archeographic record
– place of storage of findings
– more…

Data dissemination involved the selection of formats that allow for a wide possibility of interchange[20]. Databases created in MSAccess 2003, will be disseminated in.xml (Signore, Missikoff, Moscati 2005, 299), that is designed as a meta-language suitable to represent web content and information from databases and allowing the description in a hierarchical form of text content. XML is well suited to store in a transparent and flexible way archaeological data (D'Andrea 2006, 51) and its transparency[21] is an advantage compared to proprietary database formats and to the problems related to the continuous evolution of software. CAD files were created in Autodesk proprietary formats. Actually there are no standard formats for exchanging

[20] The digital data were produced for the most part with proprietary software. Although this choice may be questionable, it is also true that the open source represents the possibility of adopting alternatives, rather than a complete "conversion" (Pescarin 2006, 138), and the proprietary software represents the majority of the software we have to deal with in the creation of digital archives. The basic concept of the open data, in fact, pragmatically, is not, or not only, how the data has been created, but rather that they are shared and made available to the archaeological community. Therefore the choice of dissemination formats has been made with the idea of reaching the widest possible audience. It was not planned for any future implementation of the data, any difference between the native and the dissemination format, as expected to more complex projects such as the ADS archive.

[21] «Documents should be human-legible and reasonably clear» (http://www.w3.org/).

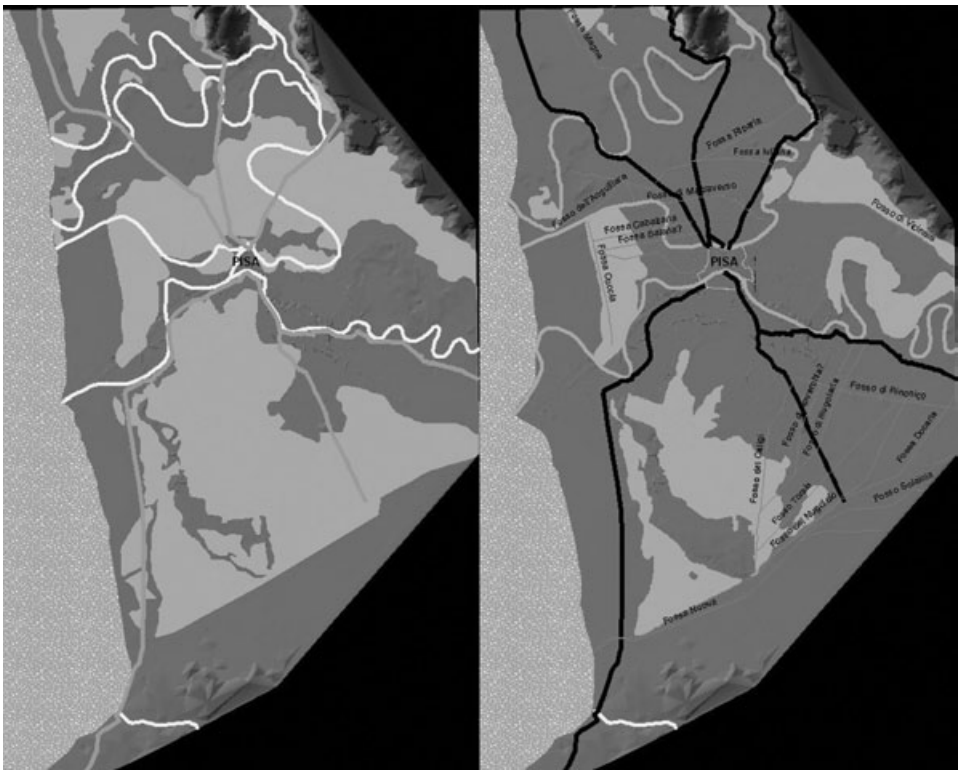


Fig. 8 – The result of this process is the hypothetical model of the landscape in the Early Middle Ages landscape (left) and in the Late Middle Ages (right), with the extent of the marshy areas, the road network and the rivers.

data between different CAD software. It was decided therefore to use the most common formats[22] which are AutoCAD AutoDesk.dwg and.dxf[23].Therefore we chose to distribute CAD files with these two formats although they should constantly be migrated to the latest version[24]. The GIS files were created with ESRI ArcGIS and will be disseminated in .shp. Images will be disseminate in JPEG format[25], which is open source and is also the standard for compressing photographic images. The text files will be disseminated in .pdf and in

[22] Since there are multiple files in a particular format more converters outcome for that format.

[23] http://ads.ahds.ac.uk/project/goodguides/cad/sect45.html.

[24] OpenDWG Alliance http://www.opendesign.com/ strives to make.dwg format an open standard.

[25] http://www.jpeg.org/.

Open Document Format.odf, standard format for saving and exchanging office documents, thanks to approval by ISO in 2006. Spreadsheets will be disseminated in .xls format, that is read by OpenOffice.org, Calc, Gnumeric, KSpread and Neo Office. For metadata the Dublin Core (DC)[26] has been adopted, born in the library field and managed by the Dublin Core Metadata Initiative (DCMI).

Type	Native format	Dissemination
Databases	MDB	XML
CAD	DXF, DWG	DXF, DWG
GIS	SHP	SHP
Images	JPEG, TIFF	JPEG
Spreadsheets	XLS	XLS
Texts	ODF	ODF, PDF
Metadata	ODF	ODF, XML

Table 1 – Native formats and dissemination formats.

Gabriele Gattiglia
University of Pisa

BIBLIOGRAPHY

Anichini F. 2004-2005, *Tutela, ricerca, valorizzazione del patrimonio archeologico: progetto per il G.I.S. della città di Pisa*, Tesi di laurea, Università di Pisa, rel. prof. M. Milanese.

Arnoldus-Huyzendveld A. 2007, *Le trasformazioni dell'ambiente naturale della pianura grossetana dati geologici e paleo-ambientali*, in Citter, Arnoldus-Huyzendveld 2007a, 41-62.

Baldassarri M., Gattiglia G. 2009, *Tra i fiumi e il mare. Lo sviluppo di Pisa nel suo contesto ambientale tra VII e XV secolo*, in *Atti del V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Foggia, 1-3 Ottobre)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 181-187.

Bigliardi G. 2007, *Il sistema informativo territoriale archeologico della città di Parma*, «Archeologia e Calcolatori», 18, 75-100.

Cardarelli A., Cattani M., Labate D., Pellegrini S. 2001, *Il sistema Mutina: esperienze ed evoluzione*, in Guermandi 2001a, 200-210.

Celuzza M., Cianciurlo D., Citter C., Colmayer M.F., Gherdevich D., Guerrini C., Vaccaro E. 2007, *La città di Grosseto nel quadro della viabilità romana e medievale della bassa valle dell'Ombrone*, in Citter, Arnoldus-Huyzendveld 2007a, 156-230.

Citter C., Arnoldus-Huyzendveld A. (eds.) 2007a, *Archeologia urbana a Grosseto. I. La città nel contesto della bassa valle dell'Ombrone*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Citter C., Arnoldus-Huyzendveld A. (eds.) 2007b, *Archeologia urbana a Grosseto. II. Edizione degli scavi urbani 1998-2005*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

D'Andrea A. 2006, *Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico*, Budapest, Archaeolingua.

Favretto A. 2000, *Nuovi strumenti per l'analisi geografica: i G.I.S.*, Bologna, Pàtron.

[26] http://dublincore.org/.

Fronza V., Nardini A. 2009, *Un sistema informativo per la gestione dello spazio urbano*, in G. Volpe, P. Favia (eds.), *V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Foggia-Manfredonia, 30 settembre-3 ottobre 2009)*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 68-72.

Forte M. 2002, *I sistemi informativi geografici in archeologia*, Roma, Edizioni MondoGis.

Gattiglia G. 2009, *Open digital archives in archaeology a good practice*, «Archeologia e Calcolatori», Supplemento 2, 49-64 (http://soi.cnr.it/archcalc/indice/Suppl_2/04_Gattiglia.pdf) [Accessed 26 Apr 2011].

Guarnieri C. 2001, *Pianificazione urbana e carta archeologica: il caso di Faenza*, in Guermandi 2001a, 215-222.

Guermandi M.P. 2000, *Il progetto C.A.R.T*, in C. Guarnieri (ed.), *Progettare il passato. Faenza tra pianificazione urbana e Carta Archeologica*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 49-52.

Guermandi M.P. (ed.) 2001a, *Rischio Archeologico: se lo conosci lo eviti. Atti del Convegno di studi su cartografia archeologica e tutela del territorio (Ferrara, 24-25 marzo 2000)*, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Guermandi M.P. 2001b, *Il sistema C.A.R.T.: metodologia e tecnologia*, in Guermandi 2001a, 189-194.

Macchi Jánica G. 2001, *Modelli matematici per la ricostruzione dei paesaggi storici*, «Archeologia e Calcolatori», 12, 143-165 (http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF12/08Macchi.pdf) [Accessed 26 Apr 2011].

Nardini A. 2000, *La piattaforma GIS dello scavo di Poggio Imperiale a Poggibonsi. Dalla creazione del modello dei dati alla loro lettura*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 111-123.

Nardini A. 2004, *L'applicazione della tecnologia GIS nella gestione dei contesti urbani*, in *Relazione del progetto archeologia dei paesaggi medievali (anno 2000-2004)*, 365-374 (http://www.paesaggimedievali.it/) [Accessed 10 December 2009].

Prati L. 2001, *C.A.R.T. a Forlì: la carta del potenziale archeologico del territorio forlivese*, in Guermandi 2001a, 211-214.

Pescarin S. 2006, *Open source in archeologia. Nuove prospettive per la ricerca*, «Archeologia e Calcolatori», 17, 137-155.

Pescarin S., Forte M., Guidazzoli A., Mauri M., Bonfigli M.E. 2002, *Bologna in età romana dal GIS alla realtà virtuale*, in A. Coralini, D. Scagliarini Corlàita (eds.), *UT NATURA ARS Virtual Reality e archeologia. Atti della Giornata di Studi (Bologna, 22 aprile 2002)*, Imola, University Press Bologna, 115-122.

Scampoli E. 2007, *Dalla costruzione della documentazione archeologica alla gestione informatica dei dati*, in F. Cantini, C. Cianferoni, R. Francovich, E. Scampoli (eds.), *Firenze prima degli Uffizi*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 33-50.

Signore O., Missikoff O., Moscati P. 2005, *La gestione della conoscenza in archeologia: modelli, linguaggi e strumenti di modellazione concettuale dall'XML al Semantic Web*, «Archeologia e Calcolatori», 16, 291-319.

Terrosi G. 2007, *La creazione dei DTM del paleo suolo, del pavimento mediceo e della pavimentazione del XX secolo*, in Citter, Arnoldus-Huyzendveld 2007b, 292-305.

Tomlin C.D. 1990, *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Englewood-Cliffs, Prentice-Hall.

Volpe R., Arnoldus-Huyzendveld A. 2005, *Interpretazione dei dati archeologici nella ricostruzione storica e ambientale del paesaggio suburbano: l'area di Centocelle nel suburbio sudorientale*, in B. Santillo Frizell, A. Klynne (eds.), *Roman Villas around the* Urbs. *Interaction with Landscape and Environment*, *Proceedings of a Conference at the Swedish Institute (Rome, September 17-18, 2004)* (http://www.isvroma.it/public/villa/screen/volpe.pdf).

Wheatley D., Gillings M. 2002, *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Applications of GIS*, London-New York, Routledge.

ABSTRACT

The main use of GIS in archaeology is connected to regional research or management of excavation data sets. The use of GIS for urban archaeological research is far less extensive. The urban GIS about the medieval town of Pisa contains all archaeological data from occasional findings to modern stratigraphic excavations, geographical data, historical cartography data and urban data, each described by the geometrical shape (point, line, polygon) that best represents each feature. The distinguishing environmental context to which the town is connected is characterized by a complex hydrographic system; GIS analysis enabled us to study the relationships between the urban transformations and the surrounding environment. The article explains how geostatistical analysis allowed us to create a model of the ancient landscape and how the use of map algebra was useful in understanding the medieval environment. The difficulty in finding raw archaeological data, that is, all the excavation and fieldwork recording (planning of context, context recording sheet, photographs, findings quantification sheet), suggested the necessity to create an open digital archive and to provide possible standardization of digital formats, metadata records and archaeological data recording, so as to allow a comparison between the data.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 141-152

DE LA DÉCOUVERTE AU SIG: L'EXEMPLE DE LA BASE TERRAIN DU SERVICE ARCHÉOLOGIQUE DE LA VILLE DE LYON

1. Introduction

L'idée de la mise en place d'un SIG au service archéologique de la Ville de Lyon est née en 2001, année où s'est également tenue la 1re école thématique "Géomatique, Modélisation spatiale et Archéologie" à l'origine du réseau ISA ("Informatique spatiale et Archéologie") organisée au CEPAM d'Antibes[1].

Baptisé Archéologie Lyonnaise et Analyse Spatiale (ALyAS), un SIG couplé à une base de données a donc pris la relève de la carte archéologique déjà en place au service, qui associait une base de données FileMaker à des illustrations sur papier ou sous Adobe Illustrator.

Lors de sa création, ALyAS a rapidement renoncé à être mis en parallèle avec ces poids lourds de la recherche qu'étaient les projets comme *Archeomedes* ou *ArchaeDyn*, ou avec les productions des laboratoires en pointe sur les systèmes de gestion des données archéologiques (Lattes ou Tours). Plus modestement le projet a affiché la spécificité d'être un SIG archéologique développé intégralement au sein d'une collectivité territoriale et répondant à ses besoins et ses exigences propres.

Cette origine a incontestablement influé sur les objectifs du projet qui entend à la fois:

– faciliter l'intégration de l'archéologie préventive dans les projets d'aménagement du territoire;
– assurer la valorisation et la diffusion des connaissances archéologiques vers le grand public;
– mettre en place pour les scientifiques, à une échelle inter-institutionnelle, un outil d'analyse spatiale de l'information archéologique.

Même si son évolution se poursuit, ALyAS est depuis deux ans maintenant un outil opérationnel. Sans que nous ayons à ce jour utilisé toutes les fonctionnalités d'analyse et de modélisation, le SIG a induit au sein du service un renouvellement de la formulation et du traitement des problématiques archéologiques. Cependant c'est au niveau de la chaîne opératoire et plus particulièrement lors de la réalisation des interventions d'archéologie préventive que l'impact méthodologique lié à l'utilisation des outils de la géomatique est le plus perceptible aujourd'hui.

[1] L'utilisation des SIG en archéologie a donné lieu à une abondante bibliographie. on pourra consulter (entre autres) Barge *et al.* 2004; Buschenschutz, Gandini, Maussion 2004 et Berger *et al.* 2005.

En amont de l'opération elle-même, l'accès aux informations et à la cartographie portant sur les vestiges avoisinants est désormais instantanées et fournit une documentation abordable sous un angle thématique, chronologique ou stratigraphique. Durant le déroulement des interventions, le report en temps réel des découvertes sur un fond géoréférencé permet d'ajuster immédiatement la stratégie de fouille et d'optimiser l'usage des moyens.

En aval, l'intégration des découvertes dans le système ALyAS implique une normalisation de l'enregistrement afin d'assurer l'homogénéité des données saisies.

Nous ne souhaitons pas ici exposer en détail le fonctionnement d'ALyAS, mais mettre en lumière les conséquences de sa mise en place et les modifications de la chaîne opératoire qui en ont découlent. Par l'emploi de la locution "chaîne opératoire" nous entendons la succession des processus d'acquisition et de traitement de l'information archéologique depuis la préparation des interventions de terrain jusqu'à l'exploitation et la diffusion des données archéologiques[2]. L'expérience lyonnaise a en effet démontré que le recours aux méthodes et outils de la géomatique peut exercer une influence sur l'action centrale de notre profession: la fouille.

2. Mise en place et principes généraux d'ALyAS

2.1 *Cahier des charges et objectifs initiaux*

Dès son origine, le système ALyAS a été conçu comme pouvant constituer une déclinaison urbaine du système Patriarche mis en place par l'Etat. Bien que l'échelle diffère, il partage avec ce dernier une approche exhaustive et diachronique des vestiges archéologiques présents sur un territoire et a repris une part importante du vocabulaire descriptif établi au niveau national. S'il n'a pas été possible, pour des raisons techniques, de greffer ALyAS à la carte archéologique nationale, sa conception et son développement ont conservé en filigrane l'objectif d'une compatibilité. Le thésaurus d'ALyAS est très largement inspiré de celui de Patriarche tant pour les descriptifs que pour les domaines d'activité.

Au-delà de ces similitudes revendiquées avec Patriarche, l'architecture d'ALyAS a été fortement influencée par les systèmes d'information archéologique existants. Leur approche hiérarchisée des vestiges, en adéquation avec les besoins liés à l'établissement des rapports d'intervention[3] offre une réponse

[2] La chaîne opératoire évoquée ici reprend le concept de A. Leroi-Gourhan (Leroi-Gourhan 1964), puisqu'elle fait référence à une succession de processus qui induisent des séquences de gestes planifiées, un savoir-faire et des contraintes techniques et vise à produire de l'information archéologique.

[3] Les principes fondamentaux ont été largement inspirés du système précurseur Syslat en se référant aux publications: Py 1991, Py 1997 et aux ressources disponibles sur Internet: http://syslat.net/pubTerminal/t.index.html.

adéquate aux changements d'échelle rendus possibles par le SIG, ainsi que la possibilité de distinguer la description des vestiges et leur interprétation.

2.2 *Conception et fonctionnement*

L'appartenance à une collectivité territoriale déjà dotée du SIG Mapinfo et du SGBD Access, pour des besoins de gestion tout autres que ceux de la recherche archéologique, nous a amenés à utiliser le même logiciel lors de la création d'ALyAS. Cette contrainte est contre-balancée par l'accès direct au fond cartographique sans cesse actualisé de la Ville et de l'agglomération (Grand Lyon).

La structuration des données a été basée sur un développement modulaire afin de permettre évolution et enrichissement. C'est autour des vestiges et donc du module d'ALyAS archéo qu'a été conçu le système et à ce jour, deux autres modules principaux sont opérationnels (Fig. 1):

– ALyAS archéo qui traite des opérations de terrain, de l'emprise des sondages ou fouilles jusqu'aux vestiges archéologiques;
– ALyAS doc qui traite principalement des sources et recense la documentation relative aux opérations, depuis les permis de construire jusqu'aux publications;

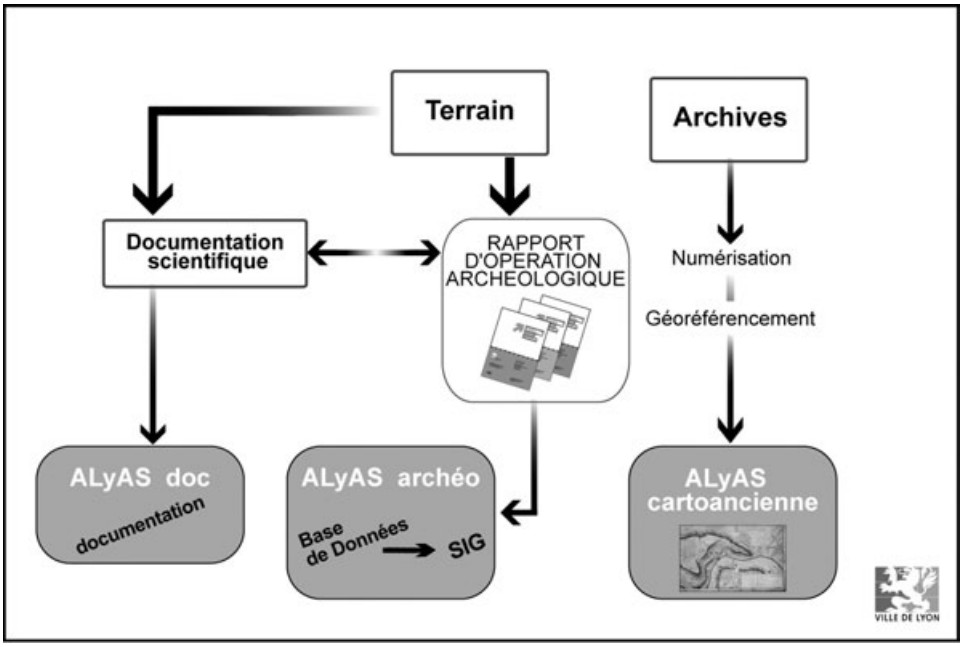


Fig. 1 – Processus originel d'acquisition et de traitement des données dans AlyAS.

– ALyAS cartoancienne, module indépendant qui recense les ressources cartographiques et permet un accès direct aux documents numérisés et géoréférencés pour une partie d'entre eux (aujourd'hui 4700 plans numérisés, dont 513 géoréférencés).

ALyAS archéo reste la pièce maitresse de l'édifice dans laquelle la structuration des données archéologiques comprend trois niveaux: les faits (le mur), les structures (la pièce) et les ensembles (l'atelier). Cette architecture permet non seulement des recherches sur des critères descriptifs comme la taille, la profondeur d'enfouissement ou la composition des vestiges, mais également sur des critères interprétatifs comme la datation, la dénomination des structures et ensembles ou l'attribution à un domaine d'activité.

3. ALyAS et ses répercussions sur les opérations de terrain

Les problématiques portant sur l'acquisition, la structuration, la gestion ou le traitement des données archéologiques sont l'objet d'une réflexion constante de la part des acteurs de la recherche archéologique[4]. Notre propos se situe aux marges de cette démarche: il ne porte pas sur la façon dont le SIG assure l'exploitation des résultats, mais sur l'influence qu'il peut avoir sur les opérations de terrain et plus spécifiquement sur les interventions d'archéologie préventive.

L'expérience lyonnaise démontre que l'usage du SIG, en mettant en place un support commun de représentation spatiale/géographique et une nécessaire homogénéisation des descriptions, lui a octroyé une fonction de pivot dont les effets sont perceptibles depuis la préparation des interventions jusqu'à l'exploitation de leurs résultats.

Le développement de l'activité en archéologie préventive à compter de 2004 et le développement du SIG ALyAS ont été concomitants au sein du service de la Ville de Lyon. Un bref regard sur les pratiques de notre métier fait clairement apparaître la banalisation de l'usage de la géomatique, modifiant tant notre approche que nos méthodes d'intervention lors des opérations d'archéologie préventive.

3.1 *En amont des interventions*

Le recours à ALyAS commence aujourd'hui dès la préparation des interventions de terrain: le fond de plan urbain fourni par le Grand Lyon ainsi que les documents fournis par les exploitants de réseau à la suite de la DICT

[4] La publication de la chaine de gestion des données de fouilles du laboratoire "Archéologie et Territoires" de Tours témoigne de la poursuite des réflexions méthodologiques. Cfr. Galinie *et al.* 2005.

(Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux) permettent de visualiser directement le cadre de la future intervention et ses contraintes.

Lors du diagnostic réalisé en 2009 en amont de la construction d'un nouveau parking souterrain sur les quais de Saône (quai St-Antoine, Lyon 2e) (Bertrand 2010), ALyAS a permis la prise en compte conjuguée des contraintes et du potentiel archéologique en amont de l'intervention.

Les obligations induites par le maintien de la circulation, la densité du mobilier urbain et des réseaux souterrains ont été prises en compte, ainsi que l'évolution de la berge au cours des quatre derniers siècles (perceptible à l'aide de la cartographie ancienne géoréférencée)[5]. Cet examen conjugué a permis, lors de l'établissement du projet d'implantation des sondages, de tenir compte à la fois des impératifs techniques et du potentiel archéologique.

Certes, les cartes de localisation sont, depuis longtemps, accessibles par le biais des logiciels de DAO/CAO. Toutefois l'apport véritable d'un SIG archéologique territorial est d'offrir une lecture dont on peut choisir qu'elle soit thématique, stratigraphique, chronologique ou combinée/synthétique du cadre de la future intervention et de produire les cartes qui illustrent les problématiques scientifiques des projets d'intervention. Ces productions cartographiques sont des atouts non négligeables pour répondre au cahier des charges scientifique émis par le SRA et anticiper les potentialités offertes par une opération de terrain, dont la connaissance est particulièrement utile dans le cadre spécifique de l'archéologie préventive.

3.2 *Pratiques de terrain*

De prime abord on serait tenté de croire que les modifications induites par le SIG ne concernent que l'amont et l'aval des interventions de terrain. En effet, si la préparation des opérations a été facilitée par l'arrivée de la géomatique, celle-ci n'a pas remis en cause les principes d'enregistrement des données de terrain qui demeurent basés sur les concepts de stratigraphie et de datation relative établis par E. Harris. L'enregistrement de l'information sur le terrain a donc toujours lieu par le biais de fiches d'unités stratigraphiques, de photographies et de relevés graphiques.

Cependant, il nous faut reconnaître que la richesse des ressources cartographiques rassemblées en préalable a rendu les archéologues exigeants et que leurs demandes ont crû tant en volume qu'en précision. Les progrès de la technologie ont entraîné la généralisation de la photographie numérique et des relevés topographiques par station totale. La profusion de repères géodésiques qui caractérise le milieu urbain nous permet par ailleurs de rele-

[5] Accessible grâce au module ALyAS cartoancienne.

ver les vestiges archéologiques directement dans un système de coordonnées géoréférencées.

L'intégration de ces nouveaux processus permet de gagner un temps particulièrement précieux dans un contexte d'archéologie préventive:

– Les photographies numériques ortho-rectifiées (sous SIG) sont susceptibles, sous réserve d'annotations par les archéologues, de remplacer les relevés graphiques;
– les levés topographiques peuvent ainsi être directement confrontés aux renseignements présents dans le SIG au moyen d'une cartographie sommaire mais immédiate. Ces plans provisoires réalisés en cours de fouille, constituent de précieux outils d'aide à la décision. Les fouilles menées par le service archéologique au 4-6 rue du Mont d'Or[6] (Lyon 9e) illustrent bien une réactivité nouvelle que l'on doit à l'informatique. Lors de cette intervention de sauvetage urgent, l'examen du contenu d'ALyAS et du levé topographique journalier a permis de reconnaitre une structure linéaire, dès le décapage, comme la prolongation d'un fossé à amphores de la Tène reconnu dans une parcelle adjacente lors d'une fouille préventive menée 13 ans plus tôt[7].

Au-delà de l'influence qu'a pu exercer le SIG sur les pratiques de terrain, c'est lors de l'étude qui suit la phase de terrain qu'une évidence a émergé: la production des rapports et l'intégration des vestiges dans ALyAS, si elles relevaient bien de principes semblables, appliquaient des logiques opérationnelles différentes, et bien souvent la mise en forme de nos données ne permettait pas de répondre à la fois aux impératifs du SIG et à ceux du rapport.

4. ALyAS terrain: la combinaison des objectifs du rapport et des impératifs du SIG

Le besoin d'une base consacrée aux enregistrements de terrain (baptisée ALyAS terrain) s'est rapidement imposé comme une évidence. Les impératifs liés aux opérations préventives ont amené à la création d'un module additionnel sous *Access* plutôt qu'à l'adoption de l'un des systèmes d'informations archéologiques très complets déjà conçus par d'autres équipes universitaires ou CNRS.

La mise en place de ce nouveau module répond à un double enjeu: concilier les objectifs des rapports de fouille et ceux du SIG. ALyAS terrain fonctionne à l'échelle intra-site, propre à l'opération, et gère la documentation de fouille (métadonnées) et les données de terrain. Cette nouvelle forme

[6] Sous la direction de Michèle Monin (SAVL): Carrara *et al.* 2009.

[7] Sous la direction de Michèle Monin (SAVL): Monin, Ayala, Horry 1995 et Ayala, Monin 1996.

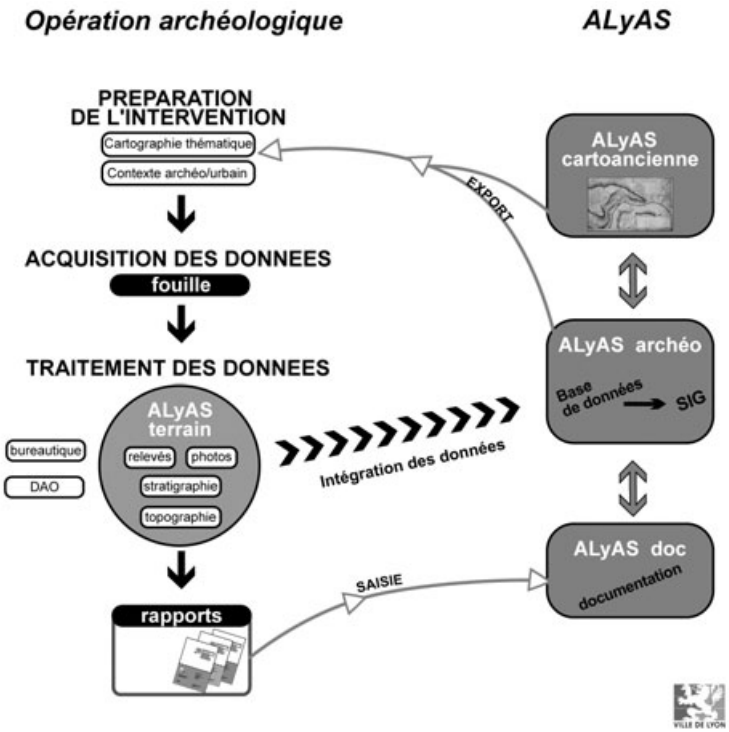


Fig. 2 – Opération archéologique et ALyAS: principes d'interactions.

d'enregistrement assure le transfert des données directement vers le SIG, permettant de ce fait l'approche du site à l'échelle urbaine (Fig. 2).

Cette base redonne une cohérence à notre chaîne opératoire: en assurant l'intégration directe des données dans le SIG lors de la réalisation de nouvelles opérations par le service, elle a pour intérêt majeur d'empêcher la création de passif pour les données issues de nos opérations. La mise en place de la base terrain modifie ainsi aussi bien l'acquisition des données que leur gestion et leur traitement.

4.1 *Acquisition*

La base terrain gère les données stratigraphiques et la documentation qui leur est associée (photos, minutes papier et photo, prélèvements…) à l'échelle d'un site. L'enregistrement est centré sur les unités stratigraphiques (US) et les faits archéologiques, leur description ayant été conçue d'après la structure et le thesaurus d'ALyAS archéo. Par ailleurs, des liens actifs sont

établis entre les données stratigraphiques, la documentation et les données numériques natives (levés topographiques et photographies numériques); ils garantissent une saisie simplifiée, un renseignement unique de chaque champ et une vision synthétique des données disponibles.

Au-delà du processus d'acquisition des données, l'homogénéisation, la simplification et le partage ont fortement modifié le traitement et l'exploitation des données de chantier.

4.2 *Traitement*

La base terrain est un outil de travail accessible *via* le réseau, où tous les supports d'information sont regroupés en vue du traitement des données et de l'édition du rapport ainsi que de l'intégration *in fine* dans le SIG.

Dans l'optique de la production du rapport, la base terrain propose l'édition des inventaires normalisés (US, faits, prélèvements, photos, minutes…). Les liens actualisés entre les différents supports facilitent la vérification et apportent une vision synthétique des données destinées à intégrer les inventaires réglementaires.

L'exportation des données attributaires des faits archéologique (nature, datation, altitudes, matériaux…) vers ALyAS archéo est complétée par les données géographiques issues de la topographie et intégrées sous SIG, permettant de traiter les deux types de données sans perdre le lien entre l'objet géographique et les données associées. De plus, des allers-retours entre le SIG et le dessin assisté par ordinateur (DAO), *via* le logiciel *MAPublisher*, permettent de travailler sur un plan de fouille géoréférencé puis d'importer des objets au graphisme élaboré dans le SIG.

En outre, des questionnements simples au niveau intra-site peuvent désormais très facilement obtenir réponse par le biais de l'interface de recherche multicritères de la base (sélection des US selon périodes et/ou phasage intra-site et/ou inclusions…).

4.3 *Limites et développements*

Dans son état actuel, l'outil développé par le SAVL a quelques limites. A titre d'exemple, la base terrain n'intègre actuellement pas le mobilier archéologique dont le traitement a été dissocié et reste effectué sous tableur en raison des nouvelles normes d'inventaires. La région Rhône-Alpes joue un rôle de pilote dans le domaine de la gestion de la documentation: depuis septembre 2007, les opérateurs régionaux d'archéologie préventive doivent respecter un cahier des charges spécifique, rédigé par le SRA, portant sur l'«enregistrement et le conditionnement de la documentation scientifique» dans les rapports d'opération d'archéologie préventive. Lorsque les règles d'établissement des inventaires auront été définitivement édictées par l'Etat, notre objectif demeu-

re à terme la construction d'un outil pérenne, capable de répondre tant aux besoins de l'étude qu'à la transmission de données numériques de gestion du mobilier et de la documentation scientifique à l'Etat. La définition d'un modèle commun d'échange inter-opérateurs des données concernant le mobilier[8] est un pré-requis nécessaire. L'intégration de la gestion du mobilier archéologique dans la base terrain demeure le point le plus délicat. Son traitement devra, à l'avenir, prendre en compte les résultats de la réflexion aujourd'hui en cours au niveau national sur le développement des centres de conservation et d'étude (C.C.E.) et des expérimentations entreprises dans les régions pilotes.

Le développement de la géocodification devrait, sous peu, automatiser la corrélation entre données stratigraphiques et objets géographiques, permettant ainsi la représentation automatique des structures archéologiques par des attributs graphiques prédéfinis selon leur nature[9]. Ces plans provisoires, quasi-instantanés, fourniront un outil d'aide à la décision adapté aux questionnements évolutifs en cours de fouille.

D'autre part, nous espérons multiplier les traitements de données intra-site au sein du SIG, à l'instar des expériences déjà menées sur la dispersion et la fragmentation du mobilier[10].

5. Conclusion

L'expérience lyonnaise met en évidence les profonds changements qu'apportent les technologies récentes, qui permettent d'enregistrer plus rapidement l'information. Il est à souligner que l'accélération est majoritairement due à l'enregistrement sous forme de documents numériques natifs sous diverses formes (topographie, photographie) et que, outre la vitesse, la vraie nouveauté réside dans la spatialisation de l'information dès son acquisition. La mise en œuvre de ces procédés au cours de nos interventions sur le terrain s'est effectuée en lien avec le SIG ALyAS et la modification de notre chaîne opératoire fait clairement apparaître le rôle désormais central de ce dernier: il exerce une fonction de pivot et les diverses étapes des interventions de terrain s'articulent désormais autour de lui (Fig. 3).

Pour autant, la mise au point des outils dévolus aux données de terrain se poursuit: la technique ne nous fournit que des moyens et c'est à l'archéologue

[8] Sur ce point, on consultera la note d'information transmise par Anne Chaillou à la suite d'une mission réalisée en 2007 pour la Sous-direction de l'archéologie, de l'ethnologie, de l'inventaire et du système d'information, intitulée "Elaboration d'une solution pour la transmission normalisée de données numériques de gestion du mobilier et de la documentation scientifique issus des opérations archéologiques".

[9] A la manière de ce que peut réaliser le logiciel Covadis, dont notre service n'est pas doté.

[10] Voir par exemple l'étude menée sur le mobilier pré et protohistorique découvert rue de la Fraternelle à Lyon (69009). Cfr. Liagre *et al.* 2008.

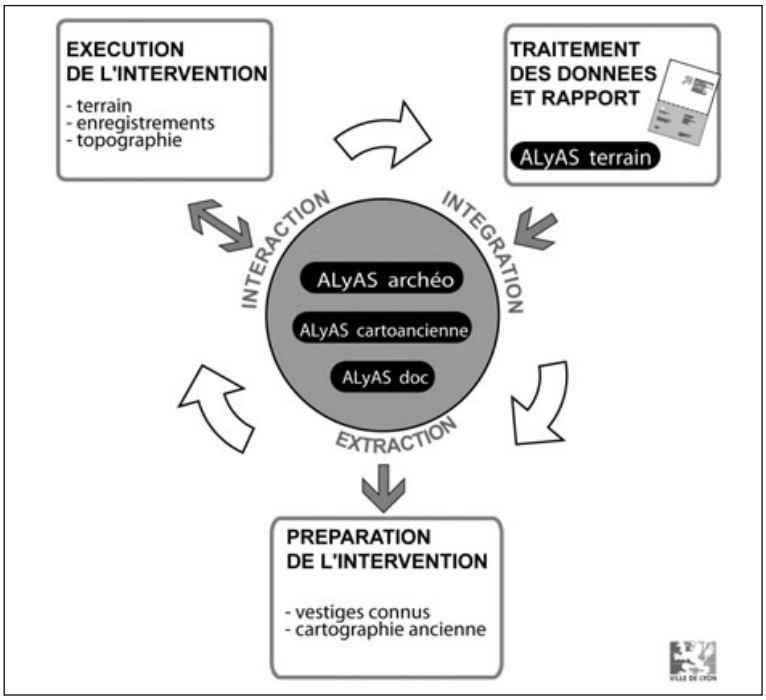


Fig. 3 – ALyAS pivot de la chaine opératoire lors des opérations de terrain.

que revient la nécessaire tâche d'assurer la mise en adéquation des moyens techniques, des procédures et des objectifs scientifiques.

La mise au point du processus de géocodification au cours des levés topographiques, l'export de données pour le traitement stratigraphique[11] et le développement d'un volet géomorphologique sont autant de pistes que nous envisageons pour le développement à court et moyen terme d'ALyAS terrain.

A l'heure où la frontière entre acquisition et traitement de l'information archéologique s'estompe et où la césure entre la représentation et la donnée a déjà été mise à mal par le développement des SIG, le géoréférencement en 3D et la nouvelle approche du mobilier archéologique (de la mise au jour jusqu'à la mise en valeur) esquissent par ailleurs les autres défis que nous devrons relever…

Etienne Hofmann, Clement Mani
Service archéologique municipal de Lyon

[11] Nous pensons en particulier à l'application "le stratifiant" développée par Bruno Desachy dans le cadre de sa thèse à l'université de Paris I. Cfr. Desachy 2008 et disponible sur le web: http://le-nid-du-stratifiant.ouvaton.org/.

BIBLIOGRAPHIE

Ayala G., Monin M. 1996, *Un nouveau site d'occupation de la transition du 1er au 2e Age du Fer en plaine alluviale de Vaise (Lyon 9e)*, «Revue Archéologique de l'Est», 47, 47-66.

Barge O., Rodier X., Davtian G., Saligny L. 2004, *L'utilisation des systèmes d'information géographique appliquée à l'archéologie française*, «Revue d'Archéométrie», 28, 15-24.

Berger J.-F., Bertoncello F., Braemer F., Davtian G., Gazenbeek M. 2005, *Temps et espaces de l'homme en société, analyses et modèles spatiaux en archéologie*, *Actes des XXVe Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes*, CNRS-Cepam, Antibes.

Bertrand E. 2010, *Quai Saint-Antoine, Place d'Albon, 69002 Lyon, rapport de diagnostic archéologique*, Service archéologique de la Ville de Lyon, SRA Rhône-Alpes, 2 vol., Lyon.

Buchsenschutz O., Gandini C., Maussion A. 2004, *L'archéologie à la conquête de l'espace: les 'cartes à pois' et le poids des cartes, de la Carte archéologique au Système d'Information Archéologique*, «Revue d'Archéométrie», 28, 5-13.

Carrara S., Monin M., Bertrand E., Mege C. 2009, *Les habitats de la fin du IVe s. et du Ve s. av. J.-C., rue du Mont d'Or à Lyon-Vaise (Rhône)*, «Bulletin de l'Association Française pour l'Etude de l'Age du Fer», 27, 13-18.

Costa L. 2002, *SIG et archéologues en Val-D'Oise*, «Les petits cahiers d'Anatole», 10 (http://www.univ-tours.fr/lat/Pages/F2.html) [Accessed 21 January 2011].

Desachy B. 2008, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques in archéologie de terrain*, Thèse de doctorat, Archéologie, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00406241/fr/) [consulté 26 April 2011].

Galinié H., Husi P., Rodier X., Theureau C., Zadora-Rio E. 2005, *ARSOL – la chaîne de gestion des données de fouilles du Laboratoire Archéologie et Territoires*, «Les petits cahiers d'Anatole», 17 (http://citeres.univ-tours.fr/doc/lat/pecada/F2_17.pdf) [Accessed 21 January 2011].

Liagre J., Thirault E., Mauger A.-C., Mani C., Hofmann E., Leroy E. 2011, *Lyon Vaise (Rhône): statut et variabilité des niveaux d'occupation de l'Age du Bronze final*, in I. Sénépart, T. Perrin, E. Thirault, S. Bonnardin (dir.), *Marges, frontières et transgressions. Actualité de la recherche, Actes des 8èmes Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente (Marseille, 7-8 Novembre 2008)*, Toulouse, Archives d'écologie préhistorique, 457-474.

Leroi-Gourhan A. 1964, *Le geste et la parole*, Paris.

Monin M., Ayala G., Horry A. 1995, *10 rue Marietton, Lyon 69009, Document final de synthèse*, AFAN, SRA, Rhône-Alpes, Lyon.

Py M. (ed.) 1991, *Système d'enregistrement, de gestion et d'exploitation de la documentation issue des fouilles de Lattes*, Lattara 4, Lattes, A.R.A.L.O.

Py M. (ed.) 1997, *SYSLAT 3.1, Système d'Information Archéologique – manuel de référence*, Lattara 10, Lattes, A.R.A.L.O.

ABSTRACT

Since 2003 when the Archaeological Unit City of Lyon (SAVL) was appointed by the French Ministry of Culture as a preventive archaeological operator, the increase inactivity revealed the need for a standardized in field recording tool. In the mean time, the state archaeological services required the different operators to adopt an extreme degree of homogeneity in the final excavation reports, in order to improve the long term management plan of the archaeological artifacts. This double evolution drove the SAVL to adopt an operating system development

from the field to the final report process built on the "ALyAS" GIS (Archéologie Lyonnaise et Analyse Spatiale). This system, enhanced as an additional tool for the French institutional GIS "Patriarche", proceeds, with the overall results, from the archaeological fact scale to the topographic mapping feature. To the original database core (archaeological data, referenced documents and ancient map recordings) an extension module focusing on in field recording is added. The ongoing purpose of these tools is to connect the field recording results to GIS final processing. This approach links the immediate targets of preventive archaeology (reports) to the archaeological data management involved in a long lasting territorially applied GIS system. In the near future, some extensions should also respond to the institutional request, and each time become more refined, particularly when compiling archaeological artifacts recording the final archaeological reports.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 153-159

ARKEOGIS, DÉVELOPPEMENT D'UN WEBSIG TRANSFRONTALIER: CONTRAINTES ET PREMIERS RÉSULTATS

1. Le constat

L'archéologue qui désire se consacrer à l'étude du cours supérieur du Rhin se retrouve confronté à un certain nombre de contraintes liées à sa situation frontalière spécifique, d'autant plus que la frontière a largement varié depuis la mise en place de l'archéologie au XIXe siècle. Quelle que soit la période étudiée, les travaux effectués dans la région sont nombreux mais leur diffusion est assez inégale selon que la bibliographie est disponible en français ou en allemand, publiée en caractères latins ou gothiques, et conservée ou non dans les différentes bibliothèques ayant le moins souffert de la dernière guerre mondiale. Au bout du compte, la moindre étude représente un volume de travail quasiment doublé par rapport à ce qu'il peut être dans les régions non frontalières de la France.

L'historiographie de la région rhénane est particulièrement complexe: depuis les débuts des recherches archéologiques menées par les différents duchés du pays de Bade, des associations de randonneurs, des commissions du type de la "commission d'étude des enceintes anhistoriques" ou d'articles plus synthétiques mais moins archéologiques jusqu'aux bases de données inventaires existant de part et d'autre du fleuve, la région a fait l'objet de nombreuses recherches qui sont difficiles à appréhender. L'avantage est que la masse des données disponibles est satisfaisante pour une automatisation du traitement des donnes (plus de 10.000 sites dans la base PATRIARCHE du Service Régional de l'Archéologie pour l'Alsace). La région miroir étant également bien étudiée.

Cette situation représente bien évidemment une difficulté supplémentaire pour les chercheurs, mais ce sont surtout les étudiants qui sont aujourd'hui pénalisés, dans la mesure où les travaux de recherche de 2e et 3e cycle sont de plus en plus limités dans le temps. Par ailleurs, pour les enseignants-chercheurs, l'état actualisé de la recherche et des travaux d'étudiants en cours sur trois pays (France, Allemagne et Suisse) est particulièrement complexe à identifier.

Les contraintes géographiques sont relativement fortes dans le sillon rhénan, limité à l'Ouest et à l'Est par des massifs anciens (Vosges et Forêt-Noire): cela présente l'avantage de pouvoir proposer une zone d'étude finie (au sommet de ces massifs) et cohérente. En effet, les terroirs sont largement complémentaires, des zones humides voire marécageuses le long du fleuve, de riches terres agricoles, des contreforts calcaires permettant la culture de vignes et enfin des massifs qui sont aujourd'hui giboyeux et exploités pour

le bois. La carte géologique permet de constater la présence de tous les types de sols: argiles, calcaires, grès. De surcroît les ressources en minerai de ces massifs sont loin d'être négligeables et la production de fer entre autres est importante depuis le Ve S. av. J.-C. en Forêt-Noire (Gassman, Rösch, Wieland 2006 par exemple).

Les massifs bordant le fossé Rhénan sont traversés par des affluents du Rhin qui sont autant d'axes de communication Est-Ouest, et qui correspondent à des bassins-versants d'amplitude relativement faible mais dont la compétence peut-être importante. Les problématiques liées à l'érosion ou au recouvrement des sites seront donc à prendre en compte dans le cadre d'une étude archéologique diachronique, pouvant par-exemple expliquer des sous-représentations de sites.

Cette complémentarité des terroirs à une échelle régionale est remarquable, elle permet de proposer des modélisations pour chacune des périodes au niveau de l'économie régionale. Le Rhin est évidemment un axe de circulation majeur, qui permet des contacts avec tout le Nord de l'Europe, mais son rôle comme frontière n'est pas immuable (Goudineau 2002) et il a sans-doute plus souvent servi de trait d'union entre rive gauche et droite que de frontière.

Je ne développe pas plus avant ce bref état de la recherche et des potentialités archéologiques du sillon rhénan, pour insister sur la pertinence de la mise en place d'une solution de traitement informatique des données qui s'impose donc assez rapidement, pour qui souhaite travailler avec les outils disponibles. La mise en place d'un Système d'Information Géographique transfrontalier a donc été retenue tout naturellement, dans la mesure où il n'existe pas à l'heure actuelle de cartographies actualisées par période de l'ensemble des sites connus depuis la fin de la Préhistoire jusqu'au haut Moyen-âge qui prennent en compte les deux rives du fleuve.

2. L'outil

Un très grand nombre de bases de données, voire de SIG sont déjà disponibles. Il s'agit d'une part de bases inventaires comme PATRIARCHE (base DRAC-SRA) et son pendant allemand ADAB (Allgemeine Denkmaldatenbank), d'autre part de bases recherches développées par des chercheurs isolés dans le cadre de leurs études (étudiants de Master et de Thèse) ou de leur travail (archéologues préventifs, enseignants-chercheurs et chercheurs). A cela s'ajoutent des bases d'amateurs (prospecteurs et associations d'archéologie) et des bases thématiques développées dans le cadre de PCR par exemple. La plupart de ces bases sont "mortes", c'est-à-dire qu'elles ne sont plus incrémentées, et que leur créateur est prêt à mettre ces données à disposition de la communauté scientifique.

De ce constat est issue l'idée de centraliser toutes ces bases de données au sein d'un web-SIG participatif: un outil en ligne, permettant l'ajout ou la modifi-

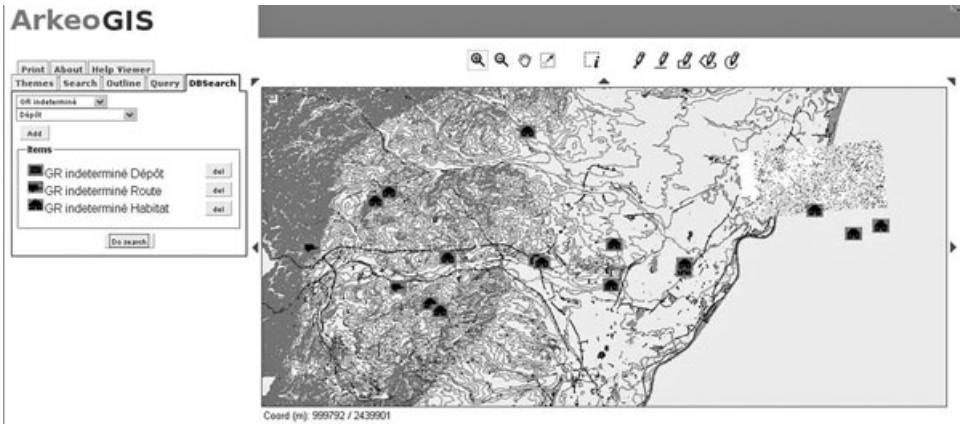


Fig. 1 – Exemple de requête sur ArkeoGIS.

cation de sites, la consultation des bases de données, l'interrogation de ces bases dans un environnement cartographique, et la génération de cartes réponse sous forme de couches (*layers*) successifs en fonction du choix de l'utilisateur identifié.

L'état très différencié des bases en archéologie, qui peuvent aussi bien concerner un type de mobilier sur un espace restreint dans le temps et/ou l'espace, qu'un type de site à l'échelle régionale, ainsi que les très nombreux sites mal identifiés (données anciennes ou issues de prospections de surface) nous ont amené à choisir un affichage simple, par grandes périodes et grandes thématiques sur un fond de carte actuel muet (Fig. 1). Il est évident que le travail de vérification des bases de données reste à fournir, afin d'actualiser les données en fonction des évolutions récentes de la recherche, mais ceci se fera dans un second temps.

En effet, le choix de l'équipe qui s'investit dans arkeoGIS a été celui de la mise en place d'une version de développement dite "bêta" plutôt que de la rédaction d'un cahier des charges. Ceci présente plusieurs avantages: visualiser les progrès effectués au fur-et-à-mesure du renseignement des fiches, permettre une réflexion et une évolution de la base de données et constater l'existence de champs inutiles (généralement des données qui ne sont pas disponibles au dépouillement). La base de travail a été un export.xml de la base PATRIARCHE et l'intégration manuelle des données visualisées de l'ADAB. Ces données ont ensuite été corrigées grâce à un travail de recherche bibliographique en bibliothèque et dans les SRA. Une première zone-test a été mise en place entre deux affluents du Rhin, la Zorn et la Moder au Nord de Strasbourg; d'Est en Ouest les sites pris en compte sont implantés entre les Vosges et la Forêt-Noire.

Dans cette première phase nous avons donc créé une nouvelle base de données, en important des données en provenance de deux bases et affiché ces

informations sur un fond de carte IGN BD-ALTI et BD-ORTHO. Au niveau technique, l'absence de personnels disponibles et compétents en architecture web-SIG au sein des structures traditionnelles nous a amené à externaliser le développement. Ce sont donc différents opérateurs privés ayant l'expérience de ce type de logiciels (SIGfreed) qui ont réalisé le projet. Ils ont croisé plusieurs gratuiciels (*freeware*), à savoir Mapserver, Tikiwiki, PostGIS et Cartoweb, afin de créer l'outil dont nous avions besoin. Le tout sur une distribution Linux Gentoo hébergée au sein de la Maison Interuniversitaire des Sciences de l'Homme Alsace. La limite de ce choix a été celle du temps nécessaire pour développer l'outil: plus de deux ans, période au cours de laquelle la communauté libre a abandonné une partie de ces applications pour d'autres. Le développement actuel repose sur la modélisation de la base issue de 2 ans de tests, et la mise en œuvre de modules spécifiques pour alléger l'outil et sa maintenance maintenant que les contours du champs d'action sont plus précis. Cet écueil menace la plupart des projets développés en Sciences Humaines: nos échelles de travail et l'illusion d'avoir des outils pérennes ne sont pas compatibles avec la réalité du fonctionnement de l'informatique actuelle.

3. Les contraintes

Les contraintes de l'exercice sont nombreuses, mais les difficultés les plus importantes ne se situent pas forcément là où on les attend. La contrainte linguistique par exemple n'a pas posé de problèmes sérieux, dans la mesure où suffisamment de personnes maîtrisant le jargon archéologique dans les deux langues travaillent sur le projet. Une version bilingue (affichage des intitulés de champs) est d'ores et déjà prête pour la version 1.0. Il est beaucoup plus complexe de faire la part des choses concernant les méthodes de travail, les fossiles directeurs ou les typologies et les datations qui en découlent. Se pencher sur ces considérations correspond à ouvrir une boîte de Pandore dépassant très largement les buts du programme. Il a donc fallu harmoniser les systèmes chronologiques, et choisir un certain nombre de marqueurs archéologiques (fossiles directeurs, mais également indicateurs de richesse par exemple) faisant l'unanimité.

Les difficultés techniques se sont révélées assez facile à traiter – grâce à la compétence des développeurs-, ce sont les chicanes administratives de conventions et de mise à disposition des données qui nous ont finalement fait perdre le plus de temps. Au niveau du géoréférencement, nous avons fait le choix d'utiliser des coordonnées en Lambert II étendu pour la France, et en Gauss-Krüger pour l'Allemagne, ce qui correspond aux données renseignées sur les bases de données que nous avons pu utiliser. Un autres problème est apparu, qui est plus complexe à résoudre, c'est celui du niveau zéro de référence. Le zéro français est sur la Méditerranée, celui des Allemands sur la Baltique. En

l'état nous n'avons pas eu les moyens de développer un outil d'intervisibilité, mais cette contrainte nous obligera à une gymnastique supplémentaire: recréer un troisième zéro et adapter les MNT en conséquence.

Au niveau cartographique, l'utilisation des niveaux de BD-ALTI et BD-ORTHO de l'IGN côté français s'est révélée satisfaisante à grande échelle, moins en zoomant (apparition de courbes de niveau mal dessinées, voire pixellisation en cas de zoom trop important). Nous n'avons malheureusement pas réussi à obtenir plus qu'une image raster géoréférencée des cartes au 25.000e de la part des collègues allemands. Le découpage par couches des cartes ne permettant pas d'isoler les courbes de niveau, cette solution s'est révélée peu satisfaisante au niveau de la pollution des cartes par les structures actuelles. Cela pose également un certain nombre de problèmes de poids et d'affichage dans la mesure où il ne s'agit pas de fichiers vectorisés.

Le développement de la nouvelle version prévoit l'utilisation du fond Google maps pour pallier à certains des problèmes de compatibilité entre les fonds cartographiques qui pourraient être mis à disposition par les instituts géographiques nationaux. Cette solution "légère" dotera le projet arkeoGIS d'un niveau d'interopérabilité supérieur.

4. L'état actuel

A ce jour nous disposons donc d'une version bêta hébergée à la MISHA qui nous sert encore à renseigner des fiches, ce projet ayant aussi une vocation pédagogique qui permet aux étudiants de 3e année de licence d'archéologie de l'Université de Strasbourg de faire un premier dépouillement bibliographique et un premier tri de l'information vers une base de données dans le cadre de leur formation. Cet outil est maintenu en attendant la finalisation de la version 1.0 d'arkeoGIS sur un cluster du TGE adonis, qui prendra le relais par la suite.

Pour la version bêta nous avons et développé nos propres icônes pour le type de sites (dépôt, habitat, superficie (3 rangs), rempart (4 rangs), tombe, inhumation, incinération, nombre de tumuli (5 rangs), isolé, temple, mine, route, élément architectural), le tout affiché en code couleur sur 17 périodes du Néolithique à la période Mérovingienne. A l'usage il est apparu que nos critères n'étaient pas tous valides, dans la mesure où certains types ne sont quasiment jamais renseignés (*Murus Gallicus* par exemple), et que nous avons mis sur un même niveau des critères de qualitatifs et quantitatifs.

Le développement de la nouvelle version nous servira à corriger un certain nombre de ces erreurs, en privilégiant les systèmes de menus imbriqués (de type "âge du fer indéterminé – Hallstatt D – Hallstatt D1-Hallstatt D1a" ou "tombe – inhumation – tumulus – princier") qui favorisent le traitement systématique de l'information archéologique.

5. Les enseignements, évolutions et perspectives du projet

Au niveau des premiers enseignements de la mise en place de ce système, avant d'évoquer les perspectives, il apparaît désormais évident que l'échelle du SIG est déterminante. En effet, l'intra-site ne saurait apparaître sur une cartographie d'échelle régionale, il conviendra donc de synthétiser l'information en créant de nouvelles icônes, éventuellement triées par rang afin de permettre de visualiser une information supplémentaire. L'avantage de cette méthode est de pouvoir intégrer de nouvelles bases de données existantes en créant des liens vers des champs existants. Les seules informations nécessaires sont le nom du site, son géoréférencement, sa datation (de périodes larges – type "âge du Bronze" – jusqu'à un niveau fin lorsque l'information est disponible – type "BFIIIb"), le reste dépendra de l'icône choisie pour afficher le site. La détermination définitive est encore à l'étude, les champs "commerce/isolé/unéraire/cultuel/circulation/guerre/prestige/artisanat/habitat" sont envisagés. En effet, la plupart des réflexions reposant sur les mobiliers et les contextes archéologiques reposent sur la détermination d'un ou plusieurs marqueurs, différents selon chaque auteur. Au moment de l'intégration de ces bases de données au sein d'arkeoGIS, des liens logiques seront établis depuis les marqueurs sélectionnés en fonction de la grille d'analyse cartographique – l'affichage des requêtes sous la forme d'icônes sur la carte – de la base de données existante. Le cas échéant, de nouvelles icônes d'affichage pourront bien sûr être créées.

L'avantage de cette méthode est que le processus est identifiable, c'est-à-dire que les marqueurs sont identifiés par base de données, après avoir été validées par l'auteur de la base de données. Cela permettra finalement un affichage logique d'hypothèses en sciences humaines, grâce à un logiciel somme-toute assez simple.

Au niveau géographique, pour aller au-delà du SIA et développer un vrai SIG, il est prévu d'intégrer des données pédologiques et/ou géomorphologiques, de manière à faire évoluer le modèle numérique de terrain en fonction des périodes prises en compte (cfr. Bravard, Prestreau 1997 par exemples pour l'importance des évolutions des sols pour l'étude archéologiques). Une première zone test, pour laquelle des datations de sols dans l'holocène sont suffisamment précise pour les corréler à des datations archéologiques, a déjà pu être identifiée. Le but n'est pas d'obtenir des MNT par période pour l'ensemble du fossé Rhénan, mais plutôt d'attirer l'attention sur les évolutions de l'environnement au cours des derniers millénaires. Par ailleurs, si l'intégration de ce type de données se révèle enrichissant, il est prévu d'exploiter un certain nombre de "logs" provenant d'opérations préventives et donc en relation avec des structures archéologiques.

Plus classiquement, des mesures d'intervisibilité entre sites de part et d'autre du Rhin pourront enfin être effectuées. Au niveau des problémati-

ques d'ordre historique, arkeoGIS permettra la production de cartes antiques représentant la réalité de la recherche aujourd'hui qui nous permettront de repenser l'antiquité dans la vallée du Rhin par des questionnements liés à une perspective diachronique (comment l'arrivée des Romains se traduit-elle dans les nécropoles et les habitats préexistants par exemple), d'étudier quels axes préférentiels étaient utilisés pour les échanges selon les périodes, comment les groupes identifiés par les archéologues interagissaient ou encore quels gués étaient déjà utilisés dans l'Antiquité. Les acquis par rapport aux travaux existants étant la possibilité de disposer rapidement de données en provenance des différents opérateurs de l'archéologie de deux pays voisins.

En guise de conclusion, le projet arkeoGIS se présente donc comme un outil de visualisation de bases de données archéologiques, par le biais d'un web-SIG participatif qui peut-être incrémenté depuis chaque ordinateur en ligne. Cet outil permet de proposer une solution aux nombreux problèmes rencontrés par le chercheur désirant unifier différentes bases de données au sein d'un même SIA.

Loup Bernard
UMR 7044
Université de Strasbourg

BIBLIOGRAPHIE

Batardy C., Buchsenschutz O., Dumasy F. *et al.* 2001, *Le Berry Antique, Milieu, Hommes, Espaces, Atlas 2000*, «Revue Archéologique du Centre», 21e suppl., Tours.

Bravard J.-P., Prestreau M. 1997, *Dynamique du paysage. Entretiens de géoarchéologie, Table ronde (Lyon, 17 et 18 Novembre 1995)*, Documents d'Archéologie Rhône-Alpes, 15, 282.

Durand-Dastès F., Favory F., Fiches J.-L., Mathian H., Pumain D., Raynaud C., Sanders L., Van Der Leeuw S. 1998, *Des oppida aux métropoles*, Paris, Anthropos.

Gassmann G., Rösch M., Wieland G. 2006, *Das Neuenbürger Erzrevier im Nordschwarzwald als Wirtschaftsraum während der Späthallstatt-und Frühlatenezeit*, «Germania», 84-2, 2006, 273-386.

Goudineau C. 2002, *Par Toutatis! Que reste-t-il de la Gaule?*, Paris, Seuil.

ABSTRACT

ArkeoGIS is a webGIS developed on free ware basis; its purpose is to link archaeological data from both the French and German sides of the Rhine, for the periods from the Bronze Age to the early medieval period. Though beta version is already functional, further development will integrate geographical data, new tools and layers. The point for both archaeologists and geographers is to be able to access data which may not yet be published, in order to plan new research and have fast access to hard to find available data (Universities, CNRS, culture, local archaeologists, etc.) in both the countries and languages involved. New databases produced by students working on the Rhine valley will help to develop the project.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 161-174

UTILISATION D'UN SIG POUR L'ARCHIVAGE ET L'EXPLOITATION DES RELEVÉS GÉOMORPHOLOGIQUES DESTINÉS À L'ARCHÉOLOGIE

1. Introduction

De manière explicite ou non, les recherches archéologiques de terrain visent la collecte de deux types d'informations. D'une part, des observations "géomorphologiques" serviront à décrire l'évolution d'un paysage, en précisant la nature des dépôts sédimentaires, et en distinguant les périodes d'érosion et de sédimentation. D'autre part, les "indices archéologiques" définiront la manière dont ce paysage fut occupé, en datant les épisodes sédimentaires qui s'y succèdent, et on pourra, à la lumière de la géomorphologie, préciser la taphonomie de chaque période représentée.

Implicitement, au travers du cahier des charges scientifiques annexé aux arrêtés de prescription, les services régionaux de l'archéologie (SRA) adhèrent à ce principe en imposant des relevés de logs systématiques, dans une visée souvent minimaliste, supposant qu'un nombre limité d'observations suffirait à décrire la variété des contextes sur une surface donnée.

Dans une visée plus ambitieuse, pour pouvoir proposer une restitution précise de la géométrie des ensembles sédimentaires en présence, il est nécessaire de multiplier le nombre de relevés, afin de disposer d'un maillage plus serré, même si les variations sont minimes entre deux logs voisins.

En s'inspirant de logiciels conçus pour la recherche géologique et minière (LogPlot, RockWare, Equuis), une base de données a été construite (avec MS Access) pour archiver la position, la description et les côtes d'altitude des unités sédimentaires successives et des indices archéologiques observables dans les différents relevés. Régulièrement utilisée, à l'occasion de diagnostics le plus souvent, ce système d'enregistrement demeure indépendant du type d'intervention archéologique (diagnostic, fouille et même observation isolée), et a maintes fois montré son efficacité, en facilitant la production rapide des rapports.

À condition d'adopter un descriptif homogène, qui doit être élaboré en concertation avec des géologues patentés et rompus aux spécificités locales, on peut donc extraire, sous forme de points, les cotes d'altitude de toutes les US représentées sur une parcelle. Ils servent alors à calculer des MNT, extrapolant la surface de chaque US (sous forme de TIN ou de Grid). Ces surfaces peuvent alors intervenir dans toutes sortes de calculs, visant des estimations volumétriques et des restitutions de profils stratigraphiques. Par essence, ces données étant localisées dans les 3 dimensions, elles peuvent aussi servir pour des restitutions en volume et des analyses de pente, d'ensoleillement et d'inter-visibilité.

À partir d'exemples concrets, montrant l'utilisation de cette base de données et son interfaçage à un logiciel de SIG, on propose de démontrer la pertinence de cette manière d'archiver l'information dans l'optique d'une meilleure compréhension générale des sites et de leur contexte. On soulignera également ses points faibles, résultant d'une démarche individuelle isolée, et les manières possibles de les réduire, par l'ouverture d'une concertation auprès d'utilisateurs potentiels.

Au-delà du service ponctuel que peut rendre ce système d'enregistrement de l'information stratigraphique dans le cadre d'une restitution au sein d'un rapport d'intervention, il répond également à l'ambition d'une accumulation du savoir archéologique, qu'il serait facile de largement ouvrir à la communauté scientifique.

2. Structuration du système d'enregistrement

Bien que le système ait concrètement été développé autour du logiciel ArcGIS (ESRI), en utilisant le SGBDR MS Access, et en mobilisant quelques lignes de programmation en Visual Basic, il peut théoriquement être adapté à tous types d'environnement. L'expérience a été faite en utilisant des solutions libres, qui ne permettent cependant pas à ce jour la même souplesse de manipulation des visualisations en volume (utilisation de gvSIG et son module 3D).

Pour cette raison, on s'attachera essentiellement à décrire la structuration du système d'enregistrement, permettant de répondre aux ambitions affichées, que l'on peut résumer de la manière suivante:

– localisation (en x, y et z) des enregistrements sédimentaires,
– cotation et description des formations en présence,
– position des indices archéologiques et d'autres observations pédologiques (pédogénèses, aquifères, autres…),
– calculs de profils,
– restitutions volumétriques.

Au départ, ces objectifs nécessitent seulement deux couches de données spatialisées, dont on tirera un certain nombre de dérivés, à la suite de géotraitements simples, réalisables par les solutions logicielles gratuites (scripts Sextante). On décrira donc ces opérations, sans s'attarder sur les manipulations concrètes qu'elles supposent. Sous une forme tabulaire, la description des logs et les cotes des US est destinée à être liée à la localisation des points de logs.

2.1 *Un modèle numérique de terrain*

En premier lieu, et dans l'ambition des restituer des données en volume, il est nécessaire de disposer d'un modèle numérique de terrain, décrivant la

topographie superficielle au moment des observations. N'importe quel format de MNT peut être utilisé, de type vectoriel (TIN) ou matriciel (GeoTif ou Grid). Il peut être obtenu de différentes manières, distinguant différents degrés de précision.

Par exemple, il peut être calculé à partir d'une vectorisation des courbes de niveau de la carte IGN et s'approchera alors de la précision de la BDAlti. Il peut aussi être restitué à partir des objets côtés en Z au sein d'un document de géomètre (type DXF ou DWG) et rendra alors mieux compte de l'état réel du terrain. Enfin, il peut intégralement résulter d'un relevé au théodolite, où l'on aura arpenté un maillage plus ou moins serré pour en relever les reliefs. Cette source sera alors d'autant plus précise qu'on aura apporté plus de soin au relevé topographique.

2.2 *Un plan de localisation des relevés de logs*

En second lieu, et dans l'optique d'une exploitation au sein de logiciels de SIG, il faut disposer du plan de localisation des relevés de logs, sous la forme d'un fichier de formes contenant des points. En l'occurrence, le format "shapefile" d'ESRI a été adopté (.shp), en passe de devenir un standard courant, exploitable par tous les logiciels clients SIG. La table d'attributs devra au moins contenir l'indication du nom du log, qui devra être une clé primaire (non vide et sans doublon); ce champ est conçu pour permettre le lien avec les données tabulaires.

Comme pour le MNT, plusieurs manières sont possibles pour constituer cette couche de données. Dans le meilleur des cas, les points auront été levés par le topographe et participeront alors au calcul du MNT. Dans la pratique, la position des logs dans les tranchées est généralement indiquée sur des minutes de terrain, en utilisant une chaîne d'arpenteur. Il faut alors mettre à jour le plan rétrospectivement, en abondant un fichier de forme prévu à cet effet.

2.3 *Les données tabulaires*

Destinées à être jointes à la table attributaire des points de localisation des logs, plusieurs tables de données connectées sont nécessaires, que l'on a choisi d'organiser au sein d'une base MS Access (Fig. 1). Le nombre de tables dépend du niveau de précision souhaité dans la description des logs. En effet, à une simple table descriptive, accessible à des opérateurs généralistes, peuvent s'ajouter des tables pour la pédologie, la granulométrie, ou autre, qui nécessitent des compétences plus poussées dans la lecture du sol.

La position la plus minimaliste suppose l'utilisation de seulement deux tables liées, auxquelles s'appliquera une simple requête de sélection constituant donc une troisième table, qui sera à la base des exploitations cartographiques suivantes. Ces tables sont décrites ci-après, en précisant les identifiants et attributs utilisés.

– Table des logs (= identification et généralités)
  – Nom du log (= clé primaire),
  – Localisation en X, Y et Z (en mètres NGF, 3 champs, positionnant le sommet du relevé),
  – Profondeur atteinte (en mètres),
  – Zbas (calculé d'après Z – Profondeur),
  – autres (date et auteur du relevé, numéro de photo, etc.).

Dans cette table, où figurent autant d'enregistrements que de logs observés, les coordonnées et cotes peuvent naturellement être obtenues à partir de la localisation des points (utilisation d'un script Sextante à partir d'une couche de points en 3D, pour ajouter leurs coordonnées dans des champs XYZ de la table d'attributs). C'est nettement plus fastidieux, mais ils peuvent aussi être directement saisis à la main. En réalité, seule l'indication de la profondeur atteinte devrait être renseignée de cette manière, les autres valeurs étant restituées par les logiciels.

– Table des formations sédimentaires
  – Nom du log (clé étrangère issue de la première table),
  – Nom de la couche (devrait être une clé étrangère se référant à une base US connexe),
  – Profondeur du sommet et de la base (2 champs, en mètres),
  – Type de sédiment,
  – Description (charbons, éléments archéologiques, pédogénèses, etc.).

Dans cette seconde table, comprenant autant d'enregistrements que de couches successives dans tous les logs observés, le nom de la couche devrait théoriquement être hérité d'un inventaire descriptif des US, contenant des indications plus complètes, notamment des regroupements en "faits" et "ensembles", qui pourraient être utiles pour des développements ultérieurs. C'est là que devrait figurer la description sédimentaire, basée sur une liste de valeurs close, qui seront mobilisées pour les figurés géologiques conventionnels. Les indications de profondeur (sommet et base) serviront à calculer des altitudes absolues (Zhaut, Zbas) dans le référentiel NGF.

Dans l'objectif des résultats recherchés, un certain niveau de synthèse est nécessaire pour pouvoir déduire des indications de portée spatiale élargie. En effet, afin de pouvoir restituer le modelé des couches de sédiments en présence, il est nécessaire qu'elles soient désignées de manière uniforme dans les différents logs où elles apparaissent, ce que n'autorise pas toujours certaines pratiques de terrain, qui privilégient un retour à zéro de la numérotation des couches, pour chaque nouveau log observé, ou bien une numérotation linéaire sans regroupements. Ces pratiques imposent donc un post-traitement, consistant rétrospectivement à associer des US réputées appartenir au

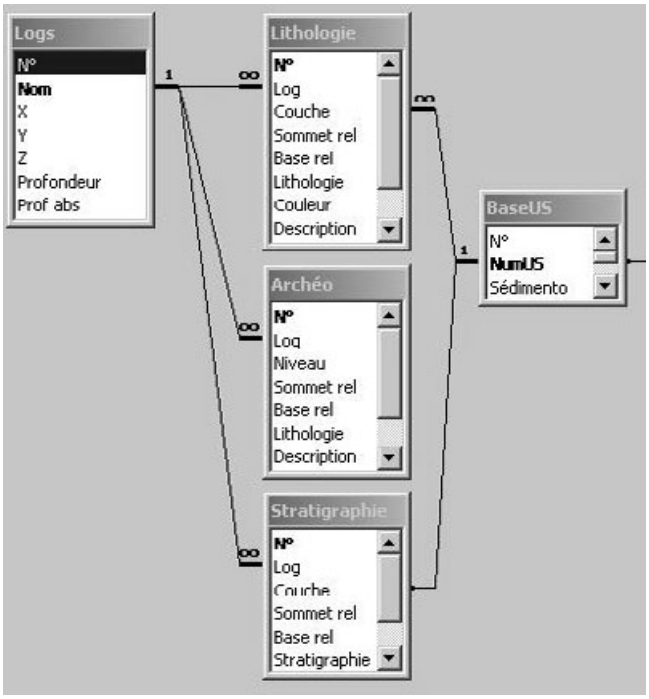


Fig. 1 – Schéma relationnel du système d'enregistrement des logs stratigraphiques.

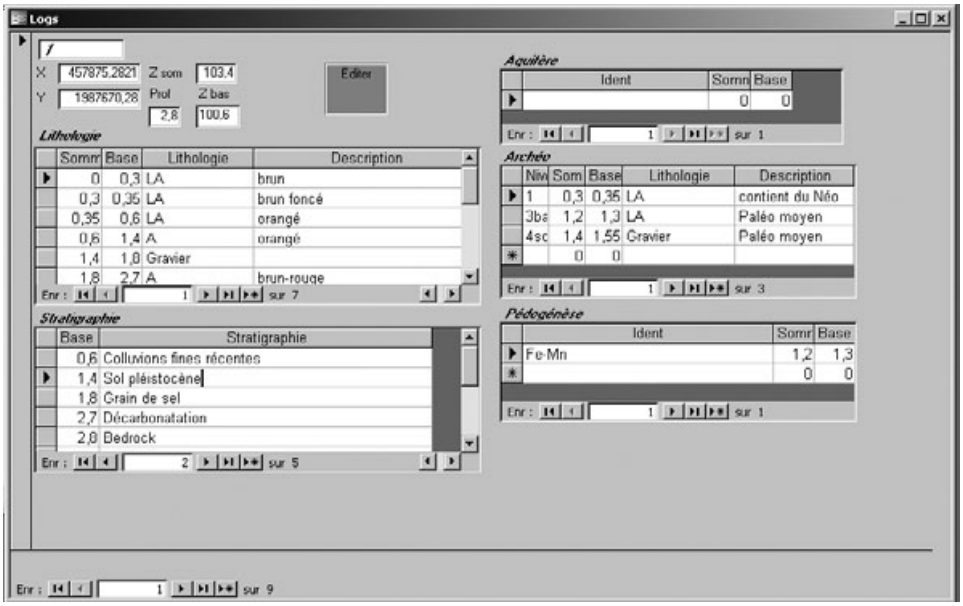


Fig. 2 – Exemple de formulaire de saisie des données géomorphologiques.

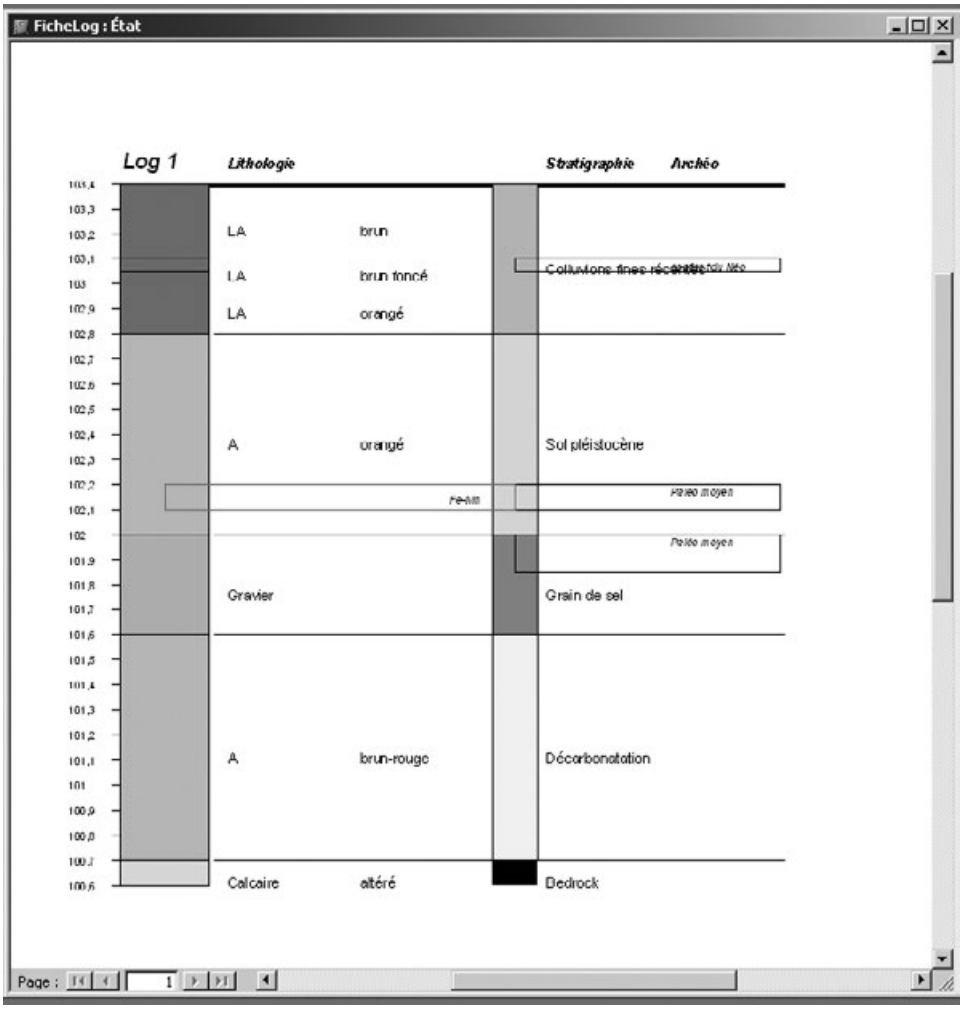


Fig. 3 – Exemple de fiche synthétique produite à partir des données chiffrées renseignées dans le formulaire descriptif.

même ensemble sédimentaire. C'est là qu'interviennent les géomorphologues spécialistes, mieux à même de réaliser ce travail, en l'accompagnant d'interprétations de portée élargie (datation des faciès, dynamique sédimentaire). Leur contribution deviendra indispensable lorsqu'il s'agira de décrire des phénomènes de portée régionale.

La saisie de cette table constitue l'épisode le plus fastidieux de la démarche, mais ce labeur pourrait se trouver alléger par le développement de

LithoLogne : Requête Sélection

Log	Couche	Sommet	Base	Lithologie	Description	X	Y	Zsom	Zbas	Epais
42	1	0	0,2	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426062,4354	2093863,927	120,4304886	120,2304886	0,2000000000
42	2	0,2	0,25	Graviers	Graviers calcaires centimétriques dans matrice limono-argileuse	426062,4354	2093863,927	120,2304886	120,1804886	0,05
42	3	0,25	0,55	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426062,4354	2093863,927	120,1804886	119,8804886	0,3
43	1	0	0,25	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426060,332	2093851,742	121,1019897	120,8519897	0,25
43	2	0,25	0,35	Graviers	Graviers calcaires centimétriques dans matrice limono-argileuse	426060,332	2093851,742	120,8519897	120,7519897	0,1
43	3	0,35	0,6	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426060,332	2093851,742	120,7519897	120,5019897	0,25
44	1	0	0,15	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426057,2905	2093837,765	121,9236984	121,7736984	0,1500000000
44	2	0,15	0,2	Graviers	Graviers calcaires centimétriques dans matrice limono-argileuse	426057,2905	2093837,765	121,7736984	121,7236984	0,05
44	3	0,2	0,4	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426057,2905	2093837,765	121,7236984	121,5236984	0,2000000000
45	1	0	0,2	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426054,4745	2093823,008	122,7226563	122,5226563	0,2000000000
45	2	0,2	0,55	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426054,4745	2093823,008	122,5226563	122,1726563	0,35
46	1	0	0,1	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426052,2211	2093804,569	123,7296906	123,6296906	0,1
46	2	0,1	0,25	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426052,2211	2093804,569	123,6296906	123,4796906	0,1500000000
47	1	0	0,15	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426046,4798	2093775,016	125,183342	125,033342	0,1500000000
47	2	0,15	0,4	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426046,4798	2093775,016	125,033342	124,783342	0,25
48	1	0	0,2	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426040,5495	2093743,868	126,5700989	126,3700989	0,2000000000
48	2	0,2	0,45	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426040,5495	2093743,868	126,3700989	126,1200989	0,25
49	1	0	0,25	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426033,902	2093710,003	128,0501404	127,8001404	0,25
49	2	0,25	0,45	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426033,902	2093710,003	127,8001404	127,6001404	0,2000000000
50	1	0	0,2	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426030,0141	2093687,633	128,8785706	128,6785706	0,2
50	2	0,2	0,5	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426030,0141	2093687,633	128,6785706	128,3785706	0,3000000000
51	1	0	0,2	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	426023,881	2093655,467	130,1432495	129,9432495	0,2
51	2	0,2	0,5	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	426023,881	2093655,467	129,9432495	129,6432495	0,3000000000
52	1	0	0,2	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	425988,3401	2093697,206	130,0247345	129,8247345	0,2
52	2	0,2	0,4	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	425988,3401	2093697,206	129,8247345	129,6247345	0,2000000000
53	1	0	0,3	Terre végétale	Terre végétale (avec nombreux cailloux calcaire)	425997,1307	2093723,553	129,0693207	128,7693207	0,3000000000
53	2	0,3	0,6	Calcaire	Blocs calcaire dans passées mameuses	425997,1307	2093723,553	128,7693207	128,4693207	0,3

Enr : 110 sur 1299

Fig. 4 – Exemple de résultat de la requête appliquée aux tables liées. Cette requête sert à produire un nouveau fichier de forme, positionnant des points aux coordonnées indiquées, soit un point pour chaque couche observée dans chaque log.

l'utilisation des tablettes PC, permettant une saisie informatique directe sur le terrain, et en recourant à des listes déroulantes pour certains champs.

Bien qu'elles soient généralement d'abord renseignées dans un tableur simple (MS Excel), les deux premières tables sont manipulées dans MS Access, pour être associées au sein d'un formulaire permettant une consultation et une saisie plus ergonomiques (Fig. 2). Celui-ci comporte un bouton qui déclenche une macro en VBA, conçu pour transcrire les données chiffrées sous une forme graphique (Fig. 3, Pl. VII).

– Requête de sélection sur les deux tables précédentes, liées par le nom du log
– Nom du log
– Nom de la couche (synthétisé sur la parcelle considérée)
– Localisation en X, Y (2 champs)
– Localisation en Z du sommet et de la base (2 champs, en mètres NGF, calculés d'après Z et les indications de profondeur)
– Epaisseur (calculé d'après Zhaut – Zbas)
– Type de sédiment
– Description (charbons, éléments archéologiques, pédogénèses, etc.)

Le but de cette requête est d'obtenir une table contenant un enregistrement pour toutes les couches observées successivement sur les différents logs d'un site donné (Fig. 4). Pour chacun, on récupère 4 coordonnées cartésiennes, précisant X, Y, le Z au sommet et le Z à la base de la couche. Naturellement, les autres champs descriptifs suivent également et serviront à des sélections et pour les figurés cartographiques.

Cette nouvelle table permet de générer un nouveau thème de données géospatiales, en positionnant des points aux coordonnées indiquées (SHP). Les différentes cotes d'altitude de la table d'attributs permettent alors de générer différents types de fichiers de formes en 3D, utilisables à différentes fins dans le logiciel de SIG, pour des productions cartographiques et des calculs de MNT.

3. Exploitation

3.1 *Fiches normalisées*

La structuration des données selon le schéma ci-dessus se prête à de nombreux développements utiles dans la pratique quotidienne de l'archéologie. Avant même d'envisager une restitution cartographique des données géomorphologiques enregistrées, l'exploitation des données tabulaires permet immédiatement de produire des fiches normalisées, qui comptent parmi les documents réglementaires souhaités par les SRA.

Pour cela, les données des deux tables de départ sont regroupées dans un formulaire utilisé pour la saisie des descriptions de logs (Fig. 2). A partir de là, un script en VBA est chargé d'afficher, dans un état, les données du formulaire sous une forme graphique (Fig. 3, Pl. VII). Dans la pratique, cela consiste à demander au logiciel de dessiner un certain nombre de rectangles et autres contrôles, avec leurs labels, selon des dimensions et aux emplacements fixés par les données du formulaire courant, en respectant les échelles souhaitées (dessin d'une échelle au 1/20 avec indication des cotes NGF, restitution d'une "carotte", description des couches en vis-à-vis de leur présentation, etc.). Le figuré des couches se base sur la description sédimentaire. Il est "récupéré" sur un autre état, contenant toutes les légendes, sous forme de contrôles portant les noms de la liste de valeurs des types de sédiments. Dans l'état actuel du développement, et Access ne gérant pas les figurés sous forme de trames, un post-traitement du PDF généré est nécessaire dans un logiciel de dessin vectoriel, pour remplacer les aplats de couleurs par des figurés géologiques conventionnels.

Cette seule application remplace avantageusement le travail débilitant consistant à dessiner manuellement ces logs dans un logiciel de dessin vectoriel pour en faire des illustrations.

3.2 *Vues en plan*

Pour les vues en plan, on peut envisager plusieurs niveaux d'exploitation à partir des données en présence.

En premier lieu, grâce à une jointure entre le SHP des logs et leur table descriptive (Table 1), fondée sur le numéro du log, on peut avancer une première représentation graphique des profondeurs atteintes, sous la forme

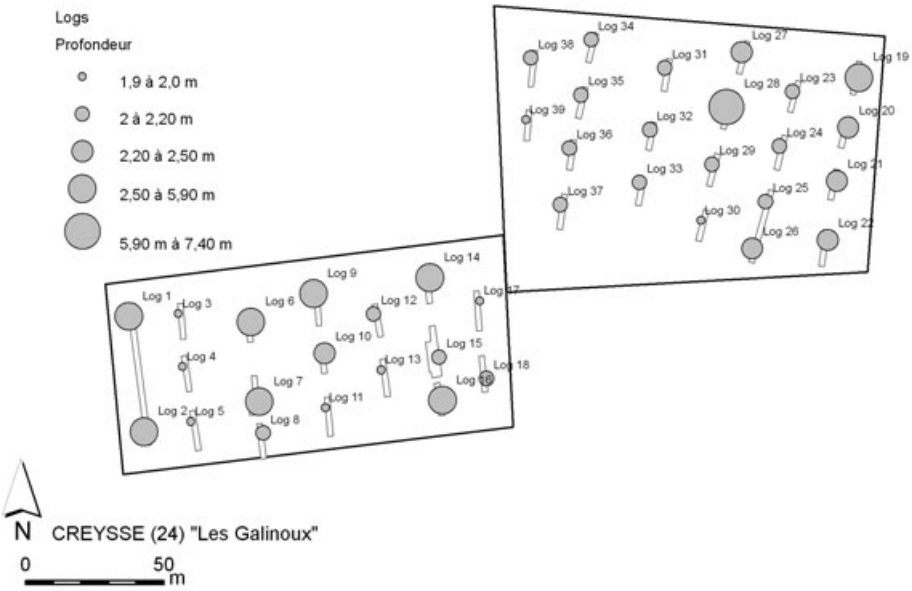


Fig. 5 – Au terme d'un diagnostic, exemple d'indication des profondeurs atteintes dans les logs, par des cercles proportionnels. Après avoir précisé à quoi correspondent ces profondeurs (toit d'une formation homogène ou arrêt arbitraire), ce type de figure peut permettre une première caractérisation des puissances sédimentaires en présence.

de cercles proportionnels (Fig. 5). Dans l'hypothèse où la même formation sédimentaire aura été systématiquement suivie, on disposera alors d'une première représentation de sa topographie superficielle. Si c'est une profondeur arbitraire qui a été respectée, le plan transcrira ce choix stratégique.

Les développements suivants nécessitent des sélections, extractions et géotraitements, qui seront réalisés à partir d'un nouveau fichier de forme, constitué de points, relocalisés aux coordonnées indiquées par le résultat de la requête appliquée aux tables 1 et 2 (Fig. 4). Cette nouvelle couche de points, qui, par construction, se superpose à celle des logs, autorise de nouvelles exploitations cartographiques.

Par exemple, on pourra choisir d'afficher "uniquement les points répondant au critère Couche = XXX" avec des diamètres proportionnés à l'épaisseur de la formation (valeur calculée). Cette représentation sera alors démonstrative des variations d'épaisseur d'un ensemble sédimentaire donné.

Au terme de ce travail, et en se bornant à des représentations en plan, on considère que les plans et fiches fournis, dûment sélectionnés, sont à même de soutenir un discours, développé par le responsable d'opération ou le géomorphologue, décrivant précisément les formations sédimentaires en

présence, ce qui était le but recherché. Il est cependant possible d'aller plus loin, en mobilisant les logiciels nécessaires pour une visualisation et des calculs "en volume".

3.3 *Restitutions en volume*

Compte tenu de la qualité intrinsèque des données géoréférencées manipulées par les logiciels de SIG, et pour peu que les informations y soient cotées en Z, on peut naturellement les visualiser "en volume" et en tirer des mesures de cet ordre (calcul de MNT et opérations sur ceux-ci).

Il faut alors utiliser les logiciels idoines, parmi lesquels les modules 3D d'ArcGIS (ESRI, ArcScene, 3DAnalyst) apparaissent à ce jour comme les plus ergonomiques et fonctionnels. Les mêmes opérations sont réalisables avec des solutions libres (notamment le module 3D de gvSIG), mais elles se heurtent encore à de nombreux bugs (d'affichage et de compatibilité Java) et souffrent de fonctions non implémentées, qui réduisent leur compétitivité (projections à la volée des données matricielles).

Dans le domaine du calcul des données en revanche (abstraction faite des questions d'affichage), de nombreuses solutions libres permettent de calculer des TIN et des Grid, qui sont les formats de MNT qu'on cherche à calculer et manipuler (Grass, Saga).

Ceux-ci sont réalisés à partir du fichier de formes généré depuis la requête appliquée aux tables 1 et 2 (Fig. 4). Sa table attributaire contient donc autant d'entrées que de couches sédimentaires successivement observées dans les différents logs. Pour chacune, on dispose d'une cote calculée (en NGF) pour le sommet et la base. On dispose donc de toutes les informations nécessaires pour calculer autant de MNT que de "surfaces de couches" (inf et sup).

Dans la pratique, et à partir du SHP initial contenant un point pour toutes les couches de tous les logs, avec cotation en XYZ du sommet et de la base:

– sélection des points répondant au critère Couche = XXX
– calcul d'un MNT pour le sommet (à partir de la valeur Zhaut) et d'un autre pour la base (valeur Zbas) de la couche
– selon la conformation des données de base, il sera souvent nécessaire de "découper" ces MNT sur des "zones d'intérêts" limitées aux emprises observées. Il faudra alors dessiner cette surface sur un autre fichier de formes (polygone utilisé comme clip), qui servira par ailleurs à figurer des "murs" sur les blocs-diagrammes
– réitération de la procédure pour toutes les couches sédimentaires observées en un lieu donné.

Au terme de ces opérations de calcul sur les données géoréférencées, on dispose de toute la documentation nécessaire pour obtenir les visualisations et

procéder aux calculs volumétriques. Les différents MNT sont considérés comme une extrapolation des données observées. L'espace libre du disque dur aura perdu quelques Go, selon les dimensions et la complexité de l'aire d'étude. En théorie, confirmée d'après quelques tests, les solutions les plus basiques comme SketchUp (Google) permettront de manipuler ces données (TIN utilisé comme "SandBox" = littéralement "Bac à sable"), et de visualiser des sections.

3.4 *Extrapolation de profils stratigraphiques*

Les données mobilisées pour les restitutions en volume (Tin et Grid) peuvent également être utilisées pour le calcul de profils sédimentaires (Fig. 6, Pl. VIII). Pour cela, nous n'avons pas trouvé de solution plus adéquate que le logiciel CrossView (APrime Software), qui est un module complémentaire d'ArcMap (ESRI), récemment acquis, à titre expérimental, par l'Inrap.

À partir d'une ligne préalablement tracée sur le plan, CrossView se présente sous la forme d'un assistant organisé en 4 onglets, qui permettent de définir la manière dont seront traitées les différentes couches de données utilisées (Fig. 7). Au terme de quelques réglages, et moyennant des formats de champs corrects, le logiciel exécute les traitements qui aboutissent à la production de nouveaux fichiers de forme.

Les MNT peuvent être traités comme des lignes (limites de couches) ou comme des surfaces (*bedrock*) selon le résultat souhaité. Les onglets de traitement des points permettent de restituer des carottes à l'emplacement des logs et de projeter d'éventuels objets sur les profils.

Dans tous les cas, les données attributaires sont conservées et servent pour les figurés géologiques, et éventuellement pour distinguer la typologie des objets projetés sur les coupes (Fig. 8).

Bien que son usage soit encore très confidentiel, cet outil nous paraît d'une puissance incomparable pour produire différents documents pour l'usage des géomorphologues (analyses sur de longs profils), mais aussi des archéologues, qui sont toujours intéressés, à juste titre, par la position relative des objets sur un axe vertical, en plus des axes horizontaux.

4. Conclusion

À partir d'un système d'enregistrement à l'architecture relativement simple, reposant uniquement sur un MNT de la topographie superficielle et sur une table descriptive de toutes les couches observées dans les logs, avec leurs cotations, on voit qu'il est assez facile de calculer des extrapolations, menant à la production d'une grande variété de documents, qui peuvent être mobilisés, à différents degrés, dans le discours archéologique.

Les logs considérés comme les plus significatifs peuvent donner lieu à l'édition d'une fiche synthétique, tout en conservant l'archivage des autres

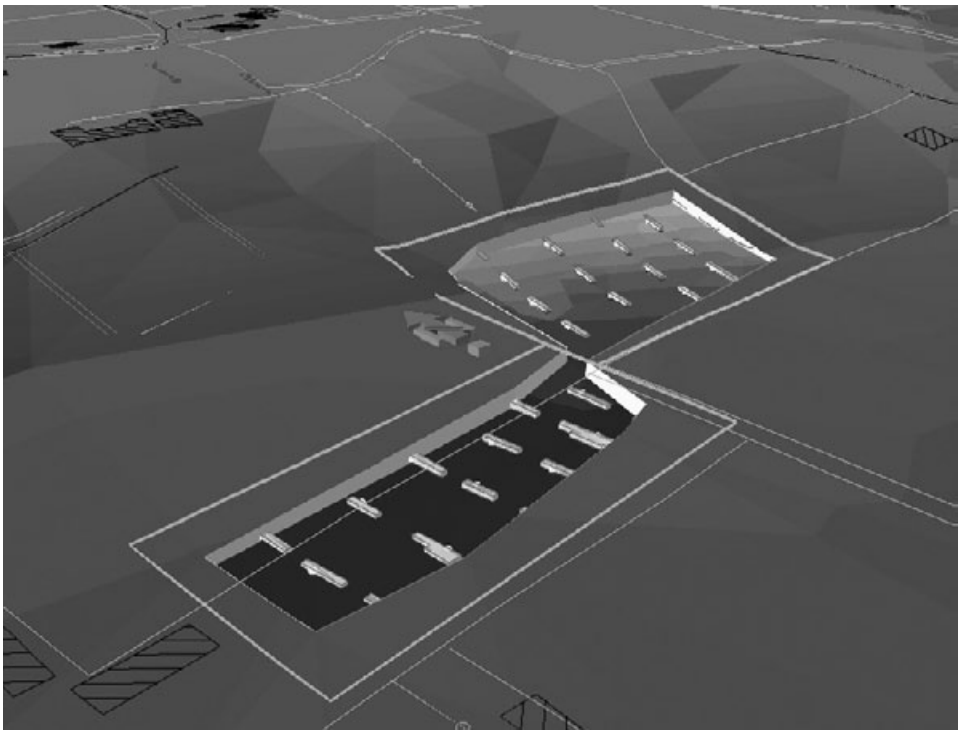


Fig. 6 – Exemple de restitution en volume de l'extrapolation des unités sédimentaires en présence (Pléistocène en violet, Holocène en gris), avec figuration des tranchées de sondage (CREYSSE, 24, "Les Galinoux"). Voir Pl. VIII.

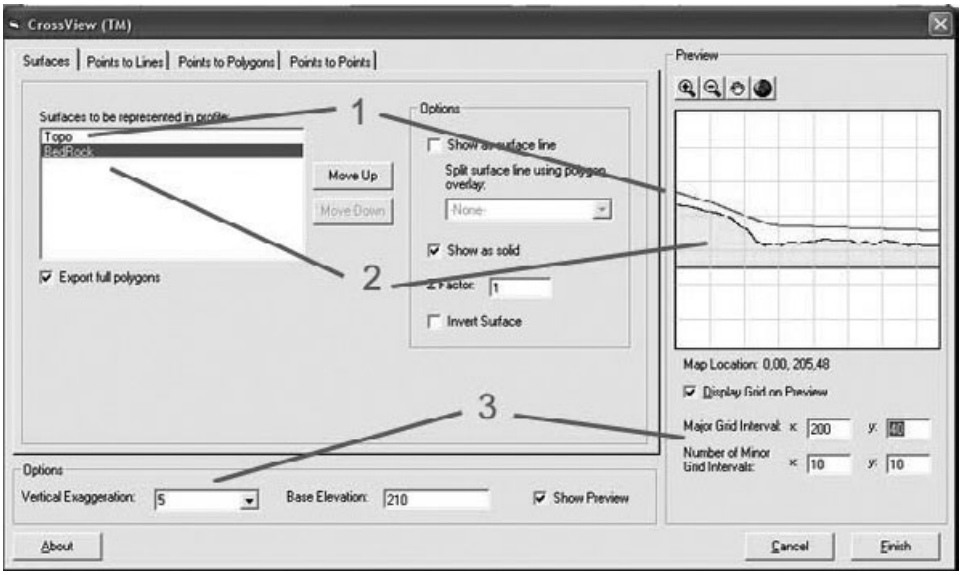


Fig. 7 – Utilisation de l'utilitaire CrossView (APrime Software pour ArcMap d'ESRI), servant à calculer de nouveaux fichiers de forme restituant les profils sédimentaires, et permettant d'y projeter différentes informations (points de mobiliers).

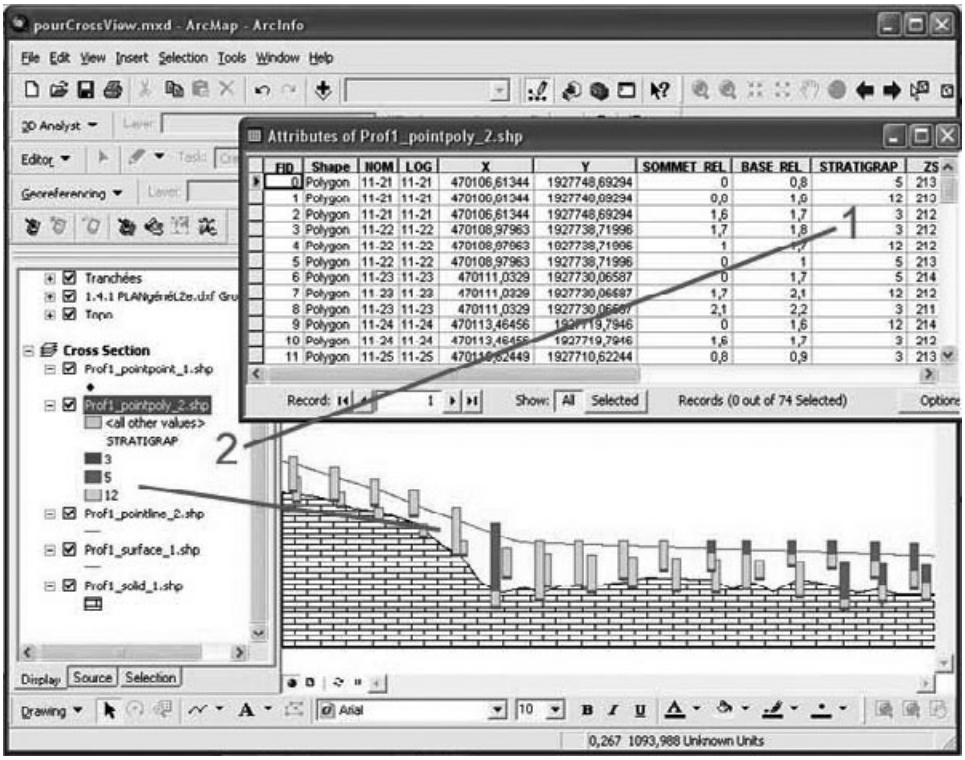


Fig. 8 – Exploitation des fichiers de formes produits par CrossView, pour l'affichage des profils stratigraphiques.

observations, qui ne sont pas nécessairement toutes destinées à être versées aux rapports autrement que sous forme d'annexes tabulaires.

Les données chiffrées sur la profondeur et l'épaisseur des couches peuvent être restituées en plan, afin de soutenir une analyse des formations en présence. Elles peuvent également être restituées en volume. C'est alors à l'écran, en faisant tourner le bloc-diagramme du site, et en masquant ou affichant successivement les différentes couches que cette forme d'exploitation des données est la plus productive. En effet, la possibilité ainsi offerte de pouvoir "refouiller virtuellement" le site est rarement fidèlement restituée sur des figures éditées. Les MNT successifs extrapolés à partir des données relevées dans les logs facilitent la production de profils, où les indices archéologiques sont figurés également.

Dans l'état actuel, ce système demeure très expérimental et confidentiel, même si la plupart des opérateurs qui l'on manipulé y ont trouvé grand intérêt. Un certain chemin reste à parcourir pour qu'il se généralise, et il doit

notamment être consolidé par une validation de la part des géomorphologues, qui sont appelés à critiquer la manière de décrire les séquences sédimentaires, et à contribuer à la définition des listes de valeurs utilisées dans les différentes tables.

Au terme de ce travail, on pourrait envisager la constitution d'une large banque de données géomorphologique, et instaurer des échanges avec des partenaires institutionnels, comme le BRGM par exemple.

Frédéric Prodeo
Inrap Grand Sud-Ouest
UMR 5199 PACEA
Université Bordeaux 1

ABSTRACT

A procedure was developed to reconstruct the sedimentary units and to establish the position of the archaeological features and was then implemented via a database coupled with a GIS. This reconstruction requires the increase of measurements taken on the ground in a homogeneous way. It is then used to supply a 3D visualization of the sedimentary units in the relationships of archaeological operation (excavation or trial trenches), even for spot observations. This tool, which is still in an experimental phase, could be extended and validated by geomorphologists to constitute a data bank which would be useful both for the archaeologist and for the geologist.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 175-184

UNE CARTE ARCHÉOLOGIQUE DE THÈBES-OUEST: ÉLABORATION D'UN SIG POUR LA CONNAISSANCE DU PATRIMOINE THÉBAIN

1. Introduction

Occupant plus de cinq mille hectares, entre désert libyque et vallée du Nil, la zone archéologique de Thèbes-Ouest recèle un nombre considérable de sites patrimoniaux, depuis les gisements du Paléolithique jusqu'aux maisons de fouilles du début du XXe siècle. Cette richesse culturelle et naturelle attire chaque année un nombre croissant de visiteurs et c'est dans la perspective d'un ambitieux programme d'aménagement destiné à promouvoir le développement touristique et économique de Louqsor que le Conseil Suprême des Antiquités de l'Égypte (CSA, Département SIG) et le Ministère français des Affaires Étrangères et Européennes ont entrepris la réalisation d'une carte archéologique de la rive Ouest de Thèbes. Une fois finalisé, ce document permettra d'assister le Conseil Suprême des Antiquités et le Gouvernorat de Louqsor dans le choix d'aménagements respectueux de la préservation et de la valorisation du patrimoine thébain (Leblanc, Amin 2005; Pimpaud, Amin 2008; Leblanc, Lecuyot, Pimpaud 2010).

La documentation, les outils et la méthodologie mis en place au sein du Département SIG du CSA[1] ont servi de base à l'élaboration de la carte archéologique de Thèbes-Ouest. Toutefois, le besoin s'est rapidement fait sentir de développer une approche et des outils spécifiques afin de rendre compte, à une grande échelle, de la richesse et de la diversité archéologique de cette région.

2. Les objectifs

Cette richesse archéologique est représentée par une documentation considérable, – cartes, plans, photographies, textes – élaborée depuis la redécouverte de Thèbes au XVIIIe siècle par les nombreuses missions qui s'y sont succédées. L'information est à la fois hétérogène et inégalement répartie: certains jeux de plans n'ont jamais été achevés (Pimpaud, Amin 2008, 203-205); de nombreux sites fouillés n'ont jamais été documentés, et lorsqu'ils l'ont été, certains restent en souffrance de publication. Afin d'offrir une synthèse et

[1] Le département SIG du Conseil Suprême des Antiquités (GIS Center, anciennement Egyptian Antiquities Information System) a pour mission de cartographier et d'enregistrer à l'échelle nationale les sites archéologiques suivant des emprises établies à partir de cartes cadastrales renseignant leurs statuts légal et foncier.

une actualisation de l'information cartographique, la carte archéologique de Thèbes-Ouest s'est donnée pour but l'enregistrement, l'homogénéisation et la gestion, au sein d'un système documentaire et géographique, de l'importante documentation cartographique publiée ou archivée. L'objectif d'exhaustivité se limite toutefois aux vestiges "immobiliers" et exclut pour l'heure le mobilier, bien que des passerelles avec des bases de données de type "objets" puissent être envisagées par la suite.

3. Les système d'information

Sur le plan logiciel, la carte archéologique est une geodatabase associant le logiciel de Système de Gestion de Bases de Données Microsoft Access et le logiciel de Système d'Information Géographique ESRI ArcGIS. Pour plus de commodité, nous ferons allusion au volet "base de données" par l'acronyme BDD, au volet cartographique par l'acronyme SIG, et nous désignerons indifféremment par "carte archéologique" ou geodatabase l'ensemble de ce projet.

L'unité géographique et documentaire retenue pour ce projet est l'entité archéologique, renseignée dans la BDD par un enregistrement de la table principale et représentée dans le SIG par une entité géographique de type "point". Le choix d'une représentation simplifiée de l'information géographique se justifie par la nécessité d'utiliser le plus petit dénominateur commun aux entités archéologiques mentionnées dans la documentation, celles-ci n'étant parfois figurées que par un point sur une carte ancienne, voire signalées de manière uniquement textuelle par leur proximité avec un élément topographique remarquable. Cette relative pauvreté graphique peut toutefois être enrichie ultérieurement par des représentations plus élaborées (voir ci-dessous).

Conjointement à la table "entités archéologiques" qui constitue l'élément central de la BDD, d'autres tables contiennent les informations relatives à la documentation source (cartes et plans, photographies, bibliographie). Des tables de correspondance permettent de joindre ces enregistrements à ceux de la table "entités archéologiques", de sorte qu'il est possible de faire ressortir toutes les entités archéologiques figurant sur un même document, et inversement, de connaître tous les documents où apparaît une entité archéologique (Fig. 1). Le dossier documentaire ainsi constitué peut ensuite être consulté de manière intuitive (Fig. 2).

[2] Notamment le Centre d'Études et de Documentation Économiques, Juridiques et Sociales (CEDEJ, Le Caire), le Centre d'Étude et de Documentation sur l'Ancienne Égypte (CEDAE, Le Caire), le Chicago Oriental Institute, l'Université de Charleston, le Griffith Institute (Oxford).

[3] Nous préférons l'emploi des termes "entité archéologique" à ceux de "site archéologique" pour désigner l'unité documentaire de la carte archéologique. La notion de site est relativement confuse, et renvoie davantage à une unité géographique dont les contours, pertinents aujourd'hui en termes administratif, foncier ou touristique, reflètent inégalement la réalité archéologique.

Fig. 1 – Structure simplifiée de la BDD (© SCA/GIS Center, 2010).

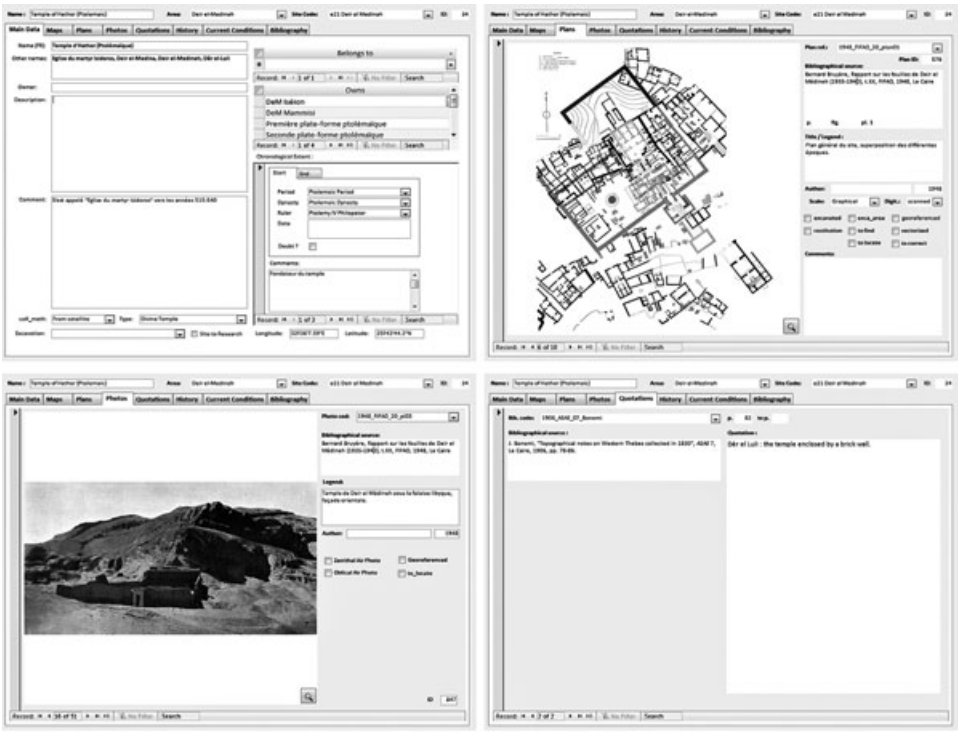


Fig. 2 – Formulaires de saisie et de consultation de la BDD à usage interne (Entités, Plans, Photos et Citations). Documents: Bruyère 1948, pl. I et III (© SCA/GIS Center, 2010).

La majeure partie des données enregistrées dans la carte archéologique provient de la documentation cartographique et photographique préexistante, imprimée à part ou livrée dans le corps des publications scientifiques. Bien que l'accès à ces documents, et *a fortiori* leur numérisation, posent parfois problème, une collection assez importante de facsimilés numériques des cartes et plans de Thèbes-Ouest a pu être constituée par le service GIS du Conseil Suprême des Antiquités, par la numérisation de son fonds mais également grâce à certaines collaborations ponctuelles entreprises avec d'autres institutions[2]. À ce jour, plus de cent cinquante cartes, cinq cents plans archéologiques et environ huit cents photographies renvoyant à plus de trois mille cinq cents entités archéologiques[3] ont été enregistrées.

Ces cartes et plans disposant très rarement d'information géodésique, nous avons procédé à leur géoréférencement par l'identification d'amers sur un document de référence. La couverture d'images satellites Digital Globe QuickBird acquise par le département SIG constitue, par sa précision submétrique, un très bon référentiel dans la plupart des cas, hormis pour les zones à fort relief de la montagne thébaine. Pour les cartes produites à très petite échelle et pour lesquelles la couverture QuickBird n'est pas disponible, l'utilisation des images LANDSAT s'est avérée satisfaisante[4].

Les entités archéologiques identifiées sur les documents sont ensuite digitalisées sous la forme de points. Les autres informations présentant un intérêt sont vectorisées sous une forme appropriée: polygones représentant la couverture de la carte ou renseignant les zones fouillées; lignes figurant les routes, sentiers ou courbes de niveau; points enregistrant les positions de relevés topographiques ou de triangulation, etc. Un soin particulier est apporté à la traçabilité des informations saisies: chaque élément vectorisé se voit attribuer la référence du document dont il a été extrait, ce qui permet au final d'estimer la précision de la localisation.

En plus des données issues de la documentation publiée, une part non négligeable et croissante des informations est directement disponible sous une forme numérique, élaborée lors des travaux de cartographie menés par

[4] Les images QuickBird offrent une résolution de 60 cm et sont géoréférencées suivant le système géodésique WGS 1984 et la projection UTM. Les images LANDSAT, de système et de projection identiques, offrent une résolution de 15 m.

[5] Les institutions et partenaires ayant contribué au présent travail de cartographie sont les suivants: le Getty Conservation Intitute (*site management* de la Vallée des Reines), l'Université de Charleston (le *Satellite Survey of Theban Tombs Project* dirigé par P. Piccione), l'université de Yale et le Chicago Oriental Institute (le *Desert Theban Road Survey* entrepris par J.C. et D. Darnell), l'Institut français d'archéologie orientale (la recherche sur l'occupation copte de la montagne thébaine dirigée par G. Lecuyot), ainsi que les nombreuses autres missions qui ont transmis leur rapport préliminaire au CSA et ont produit les données enregistrées par l'*Egyptian Antiquities Information System*.

[6] Le système géodésique UTM WGS 1984 utilisé pour le géoréférencement des images satellites est également employé avec la plupart des récepteurs GPS.

les diverses missions qui opèrent sur le terrain[5]. La récente démocratisation des outils de géolocalisation (récepteurs GPS, services d'images satellites en ligne) et le recours à une projection et à un système de coordonnées communs[6] simplifient considérablement la mise en œuvre d'une cartographie collaborative et multi-scalaire. Dans ce sens, la mise en place d'une station GPS permanente à Louqsor, actuellement à l'étude, constituerait une avancée majeure et la précision des relevés obtenus grâce aux récepteurs GPS différentiels permettrait d'imposer l'outil pour toute la Haute-Égypte[7]. En outre, une procédure d'échange des informations entre les producteurs de données et le département SIG est également prévue, même si pour l'heure la collecte et l'intégration des données est assurée au cas par cas.

Lors de l'enregistrement dans la BDD, chaque entité est décrite par un certain nombre de champs (p. ex.: nom de l'entité, nom du propriétaire dans le cas d'une tombe, etc.). Afin de simplifier la saisie, le recours à des listes d'autorité a été recherché chaque fois que cela était possible. Cette solution robuste a été appliquée pour renseigner la typologie, la datation ou bien encore les relations hiérarchiques que les entités archéologiques entretiennent entre elles. L'indication des datations, par exemple, tient compte, d'une part, des différents niveaux de précision mentionnés dans la littérature, et, d'autre part, des phases d'occupation ou d'utilisation d'une entité archéologique. Chaque entité datée dispose au moins d'une phase d'occupation, avec une date de début et éventuellement une date de fin. La séquence chronologique peut ensuite être définie selon trois niveaux de précision: par période, par dynastie ou par règne; au surplus, un quatrième niveau permet d'indiquer une date absolue (Fig. 3). S'il devient ainsi possible d'isoler toutes les entités contemporaines du règne de Ramsès II, il est également envisageable de mettre en série ces dernières avec les entités de la XIXe dynastie ne pouvant être datées plus précisément, ou plus largement toutes les entités datant du Nouvel Empire (Fig. 4). Le principe est appliqué à l'ensemble du spectre chronologique couvert par les vestiges de Thèbes-Ouest.

Compte tenu de la diversité des entités archéologiques, notamment en termes de typologie, de chronologie ou de superficie, il s'est avéré indispensable d'offrir des représentations graphiques plus élaborées dépassant le simple signalement spatial. Un travail d'homogénéisation des nombreux plans réalisés à l'échelle des fouilles est en cours et, sans pour autant chercher à atteindre la

[7] Pour l'heure, l'unique station GPS permanente en Égypte est installée au Centre d'Études Alexandrines.

[8] Pour les besoins de la carte archéologique, un MNT a été réalisé à partir des informations topographiques extraites de la couverture au 1: 1000e d'une grande partie de la zone archéologique de Thèbes-Ouest relevée par le *Survey of Egypt* entre 1921 et 1926.

[9] La carte archéologique devrait être intégralement mise à disposition du CSA sur les postes de consultation pour un usage interne, et des tirages au 1: 500e et 1: 1000e sont envisagés.

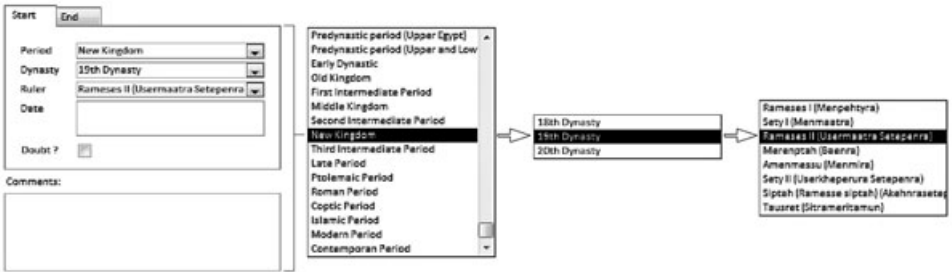


Fig. 3 – Formulaire de saisie des différents niveaux de datation et listes d'autorité (© SCA/GIS Center, 2010).

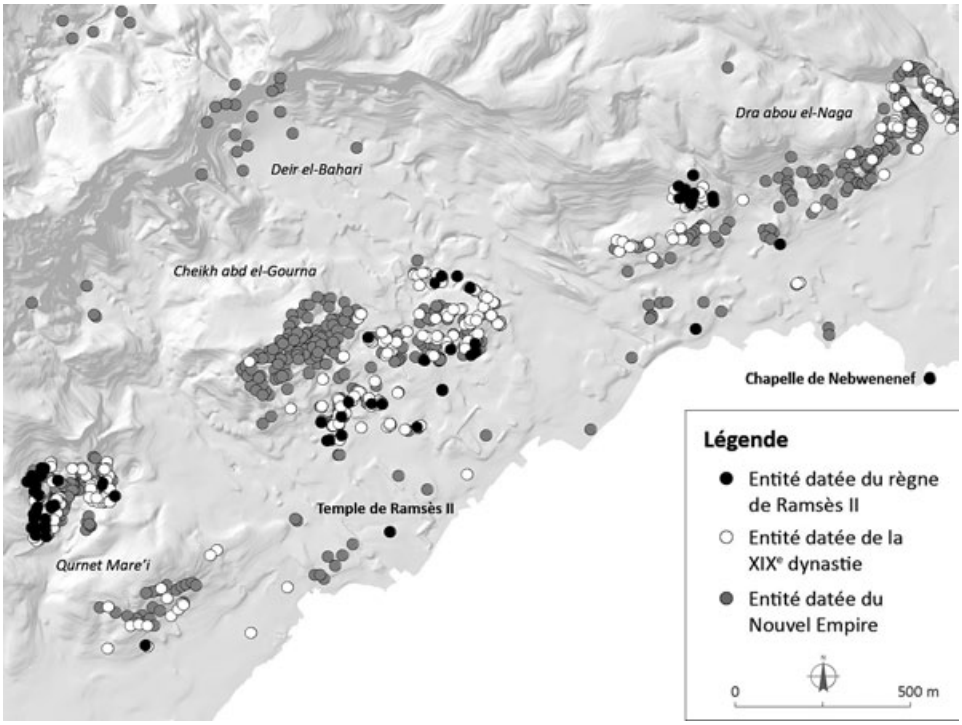


Fig. 4 – Carte de répartition des entités archéologiques datées du règne de Ramsès II, de la XIXe dynastie et du Nouvel Empire (© SCA/GIS Center, 2010).

précision des minutes de terrain, cette synthèse permet d'ores et déjà d'établir un code de représentation graphique applicable à la plupart des entités (Fig. 5).

Ainsi, une classe d'entités polygonales est utilisée pour rendre compte des vestiges bâtis et de leur restitution (*Superstructures*); si le signalement du

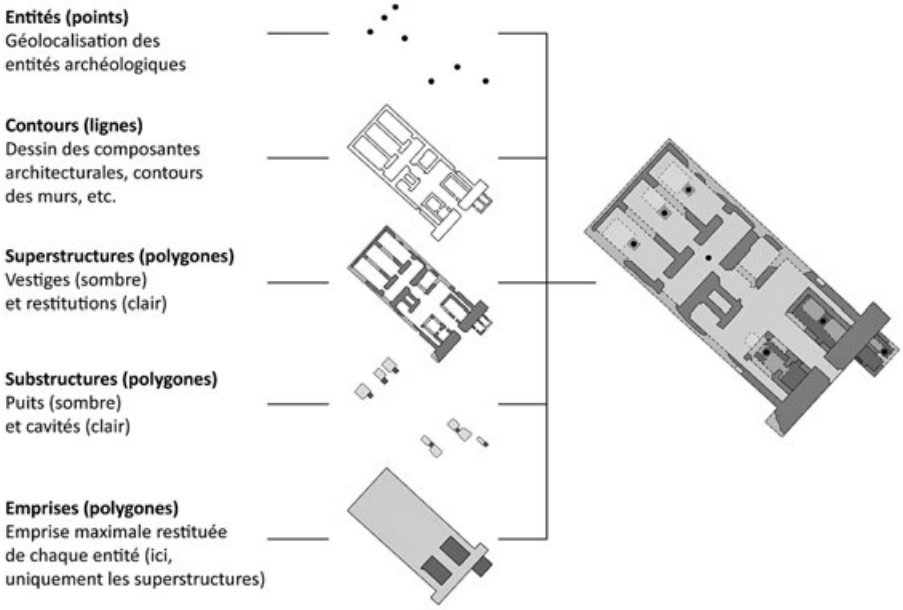


Fig. 5 – Les différents niveaux de représentation graphique des entités archéologiques: l'exemple de la chapelle de Nebneterou (d'après Bresciani 1981, fig. 1) (© SCA/GIS Center, 2010).

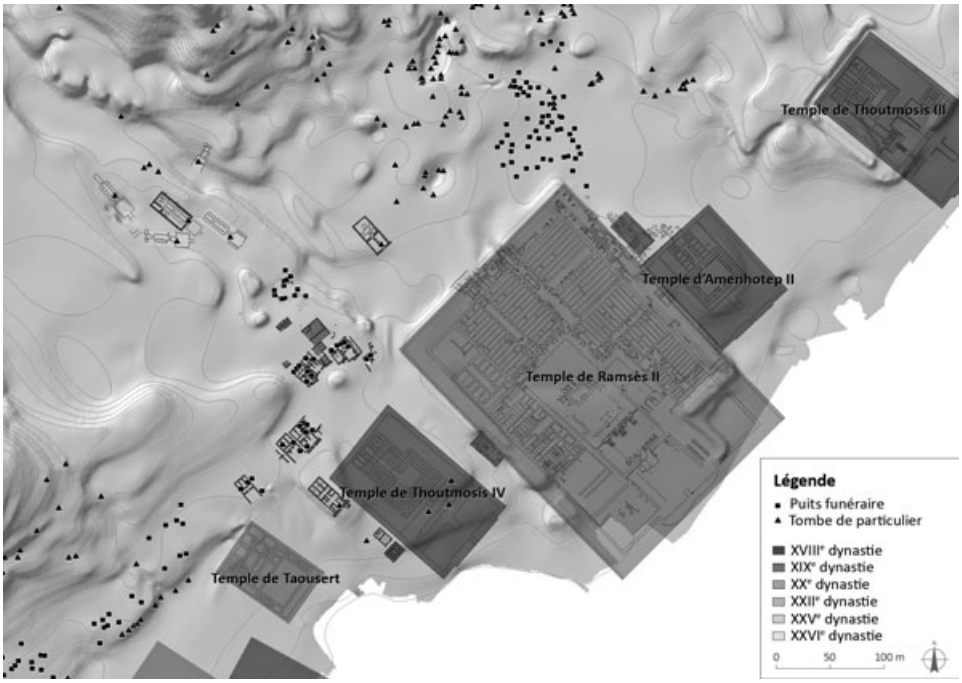


Fig. 6 – Carte de répartition des entités archéologiques en fonction de la typologie (entités ponctuelles) et de la chronologie (entités polygonales) (© SCA/GIS Center, 2010).

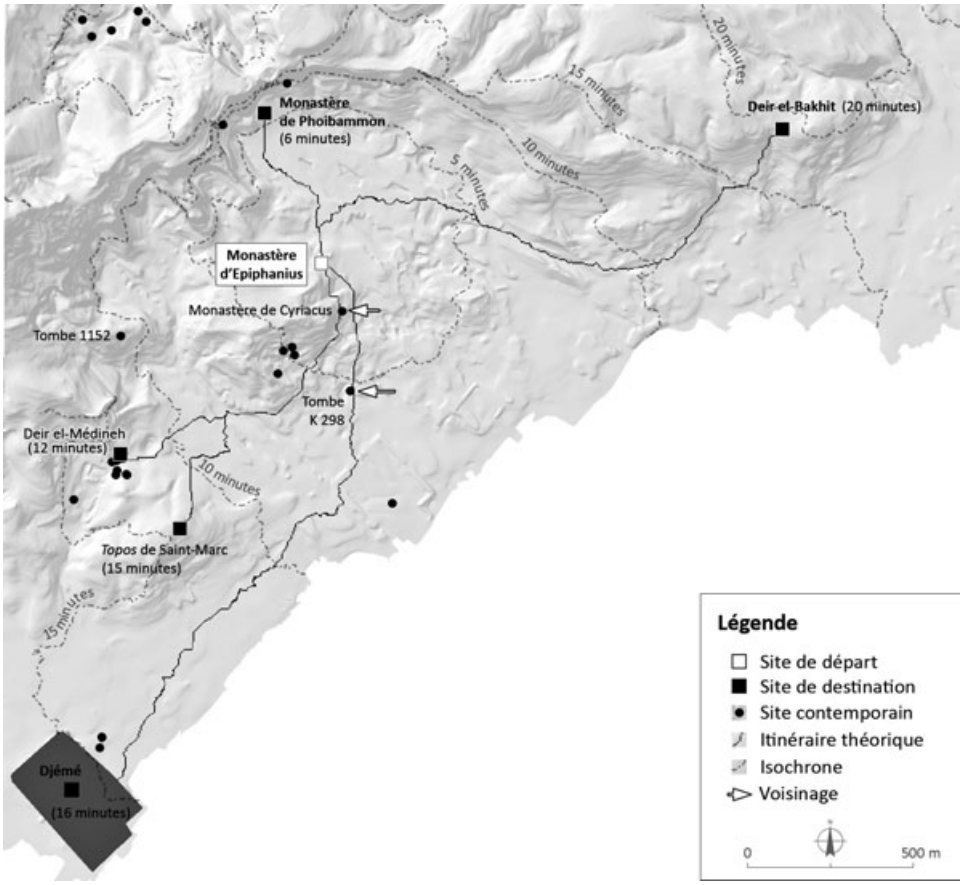


Fig. 7 – Utilisation du MNT pour la modélisation d'itinéraires optimaux entre les principaux sites d'époque byzantine. Les durées entre parenthèse indiquent le temps théorique nécessaire pour joindre le site de départ et le site de destination (© SCA/GIS Center, 2010).

matériau utilisé a été envisagé, l'inégale disponibilité de cette information nous a amenés à ne pas retenir cette précision. Une autre classe d'entités polygonales représente les parties souterraines et leurs accès, puits et escaliers (*Substructures*). Des entités de type "lignes" viennent enrichir au besoin le rendu graphique, qu'il s'agisse du dessin des marches, des sections de colonnes ou du nu des murs et des parois (*Lines*). Enfin, une classe d'entités polygonales enregistre l'aire maximale que couvre chaque entité archéologique (*Areas*).

Étant reliées à l'entité archéologique correspondante dans la geodatabase (Fig. 1), ces différentes entités géométriques héritent de ses attributs (datation,

type, etc.), ce qui autorise par exemple le tri de structures contemporaines sur l'ensemble de la zone archéologique. À terme, d'intéressants recoupements de vestiges fouillés par des équipes œuvrant à des décennies d'intervalle sur des sites voisins peuvent être envisagés.

4. Conclusion

En plus de simplifier la production de cartes thématiques établies en fonction de la typologie, de la chronologie ou de l'état de conservation des vestiges (Fig. 6), l'utilisation du logiciel de SIG permet de procéder à des analyses spatiales. Grâce à un Modèle Numérique de Terrain (MNT) récemment finalisé[8], il est désormais possible de modéliser les co-visibilités et les itinéraires théoriques que l'on peut établir entre des entités archéologiques contemporaines (Fig. 7). D'autres utilisations impliquant le MNT et le SIG sont en cours de développement et devraient permettre, par la modélisation de la dynamique géomorphologique et des processus taphonomiques, d'établir des cartes de potentiel archéologique (Burns, Fronabarger, Whitley 2008).

En conclusion, si la carte archéologique est initialement destinée à assister les autorités égyptiennes dans leur mission de gestion et de conservation du patrimoine thébain[9], les nombreuses applications qu'elle autorise en termes de recherche et de valorisation amènent logiquement à imaginer sa mise à disposition partielle auprès de différents publics. Sa publication sur un serveur Internet[10] permettrait d'en faire un outil de référence pour toutes les missions archéologiques œuvrant sur place[11], et, plus largement, pour la communauté scientifique. La mise en forme d'une partie de son contenu à destination d'un public non-spécialiste permettrait en outre de promouvoir la diversification de l'offre touristique. Dans ce sens, l'indication d'itinéraires alternatifs de visites ou le signalement des conditions d'accessibilité des sites contribueraient à une meilleure répartition de la fréquentation touristique de Thèbes-Ouest et favoriseraient ainsi la mise en valeur d'aspects méconnus de son patrimoine.

Alban-Brice Pimpaud
Conseil Suprême des Antiquités de l'Égypte
Département SIG – Ministère des Affaires Etrangères et Européennes

[10] A l'instar du serveur *On-line Geographical Information System For the Theban Necropolis* (OLGIS) de l'Université de Charleston, sur lequel sont publiés les travaux de relevés de tombes thébaines de particuliers entrepris par P. Piccione et son équipe (Piccione 2009-2010).

[11] Des SIG conçus à l'échelle d'un site sont déjà en place (Site du temple d'Amenhotep II, voir Quirino, Negri, Sesana 2010) ou sont en projet (Ramesseum).

BIBLIOGRAPHIE

Agnew N., Demas M. 2008, *Envisioning a Future for the Valley of the Queens: The GCI and SCA Collaborative Project*, «GCI Newsletter», 23.2, The Getty Conservation Institute (http://www.getty.edu/conservation/publications/newsletters/23_2/) [consulté le 5 Octobre 2010].

Bresciani E. 1981, *L'attività archeologica dell'Università di Pisa in Egitto: 1977-1980*, «Egitto e Vicino Oriente», 6, 1-36.

Bruyère B. 1948, *Rapport sur les fouilles de Deir el Médineh (1935-1940)*, t. XX, Le Caire, Institut Français d'archéologie orientale.

Burns G., Fronabarger A.K., Whitley Th. 2008, *Predictive Modeling of Cultural Resources in the Theban Necropolis, Luxor, Egypt*, in *Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Berlin, 307-308.

Egyptian Antiquities Information System (http://www.eais.org.eg/) [consulté le 5 Octobre 2010].

Leblanc Chr., Amin N. 2005, *Paysage culturel et site-musée. Les atouts de Thèbes-Ouest pour un projet de valorisation du patrimoine*, «Memnonia», 16, 189-202.

Leblanc Chr., Lecuyot G., Pimpaud A.-B. 2010, *Un projet de centre de recherche, d'exposition et de documentation pour le site archéologique de Thèbes-Ouest*, «Cahiers Supplémentaires des Memnonia», 2, 271-281.

Lecuyot G. 2007, *Ermitages de la montagne thébaine*, in L. Pantalacci, S. Denoix (eds.), *Travaux de l'Institut français d'archéologie orientale en 2006-2007*, BIFAO 107, 290-293.

Piccione P. 2005-2006, *Satellite Survey of Western Thebes. A differential GPS Mapping Project of the Private Tombs of Sheikh Abd el-Qurnah (Octobre 2005-June 2006)*, Geographical Information System for the Theban Necropolis (http://spinner.cofc.edu/olgis/survey/) [consulté le 5 Octobre 2010].

Piccione P. 2009-2010, *On-line Geographical Information System for the Theban Necropolis* (http://spinner.cofc.edu/olgis/) [consulté le 5 Octobre 2010].

Pimpaud A.-B., Amin N. 2008, *Un système d'information géographique (SIG) pour la sauvegarde et la valorisation du patrimoine archéologique de Thèbes-Ouest*, «Memnonia», 19, 199-214.

Pimpaud A.-B., en préparation, *Étude cartographique et topographique en Thébaïde*, in Y. Tristant, M. Ghilardi (eds.), *Archéologie du pausage. L'Égypte et le monde méditerraneéen*, Bibliothèque d'étude, Le Caire, en préparation.

Quirino T., Negri E., Sesana A. 2010, *The GIS Project for the temple of millions of years of Amenhotep II: data collection, analysis and 3D reconstruction hypothesis*, «Cahiers Supplémentaires des Memnonia», 2, 297-303.

Survey department of Egypt, *The Theban Necropolis*, 1:1000e, 1921-1926.

Tripcevich N. 2009, *Workshop 2009, N°1 – Viewshed and Cost Distance* (MapAspects: http://www.mapaspects.org/gis-and-anthropology/workshop-2009-viewshed-and-cost-distance/) [consulté le 5 Octobre 2010].

ABSTRACT

In cooperation with the French Ministry of Foreign and European Affairs, the GIS Center of the Supreme Council of Antiquities of Egypt has undertaken the creation of an archaeological map of the West Bank of Thebes in order to supply the Egyptian authorities with a tool for the management and the development of this rich archaeological area. The relevant documentation for the mapping process, because of its abundance and disparity, requires the establishment of a unified documentation system using jointly GIS and databases. Besides the production of thematic maps, this tool opens new horizons, both in terms of processing and analysis and in terms of sharing and publication of data relevant to the knowledge of the cultural heritage of Thebes.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 185-195

DE L'ESTIMATION DES ERREURS DE LEVÉE DU CADASTRE À LA COMPRÉHENSION DE LA CONSTRUCTION DE L'ESPACE URBAIN DE REIMS

1. Introduction

L'étude de la construction, de l'évolution et de la compréhension des formes urbaines nécessite de s'appuyer sur un plan précis de la ville, le plus ancien possible, qui rende compte des formes parcellaires et viaires avec une fiabilité géométrique correcte. Le choix du cadastre napoléonien comme source de référence pour réaliser ce type d'étude est maintenant reconnu dans les études urbaines[1]. Un tel document permet effectivement d'observer la ville au niveau des parcelles en détaillant la structure interne de chaque îlot. Il est ainsi envisageable de comprendre les formes urbaines, leur agencement et le style parcellaire. Dans le cadre de l'étude du processus urbain de Reims, ce travail de morphologie urbaine s'accompagne d'une étude de topographie historique. Cela impose de constituer un plan de référence afin de situer des objets historiques et géographiques.

Géométriquement, le cadastre de Reims de 1819 apparaît globalement juste. Toutefois, le recalage de ce document fiscal par rapport aux cartes actuelles indique quelques erreurs. Afin de mieux comprendre la source et de contrôler les données vectorisées, il devient donc nécessaire de localiser ces erreurs et d'essayer de les caractériser, avant de faire le lien avec des documents plus anciens et les données archéologiques. Il est difficile de saisir si ces erreurs révèlent des problèmes internes du document ou des problèmes liés à son traitement (logiciel, opérateur) et de quantifier la part de l'un ou l'autre. C'est la répétition de certaines erreurs identifiables, qui a permis de nourrir la réflexion qui suit. Après une rapide présentation de l'opération de géoréférencement du cadastre, cet article présente les outils rencontrés pour en estimer la qualité topographique ainsi que des exemples d'utilisation du document critiqué et créé.

2. Protocole de géoréférencement

2.1 *Présentation du document*

Reims dispose de deux cadastres parcellaires dits napoléoniens datés du 31 décembre 1819, conservés l'un aux Archives départementales de la Marne[2] et l'au-

[1] L'un des premiers à avoir reconnu l'utilité et l'intérêt des cadastres et des plans parcellaires, pour l'étude des formes, notamment en milieu rural, est Marc Bloch dans son article *Les plans parcellaires* (Bloch 1929). L'utilisation du cadastre napoléonien dans les études urbaines a ensuite été généralisée à partir du dernier quart du 20e siècle, par Gérard Chouquer, Henri Galinié, Bernard Gauthiez, Philippe Panerai, Sandrine Robert.

tre aux Archives municipales et communautaires de Reims[3]. Ce cadastre se compose de 28 plans de sections levés au 1/2500 pour les zones rurales et au 1/1250 pour les zones urbanisées. D'après les signatures apposées sur les différentes feuilles de section, Le Franc, géomètre du cadastre et Pierret ont chacun levé 7 plans. Ils ont indistinctement opéré en milieu urbain et rural[4]. En revanche, 14 feuilles de sections couvrant tant le secteur urbain (4) que rural (10), sont anonymes. Cette entreprise s'est déroulée sous la direction de Faveaux, ingénieur-vérificateur, de Crépinet, directeur des Contributions et de Le Franc en personne.

Le plan cadastral sur lequel nous avons choisi de travailler est celui conservé aux Archives départementales. Détenu par l'administration fiscale, il s'agit du cadastre d'origine de 1819, alors que celui conservé aux Archives municipales est plus probablement une copie du précédent. En effet, si le Service du cadastre était tenu de livrer deux matrices cadastrales[5], il pouvait en être de même pour les plans. Aussi, les deux documents sont en apparence identiques. Toutefois, le document conservé aux Archives départementales comporte les lignes de constructions du plan, alors que celui conservé aux Archives municipales en est épuré. De plus, les informations reportées sur l'un et l'autre plan ne sont pas tout à fait de même nature. Ces observations tendent à justifier une utilisation différente des deux documents. Il apparaît que le cadastre versé aux Archives départementales, issu des institutions fiscales, remplissait son rôle d'assiette de l'impôt foncier, alors que celui conservé aux archives municipales, a pu servir aux autorités urbaines pour cartographier des modifications de la voirie. Il semblait alors préférable de travailler sur le plan original afin de se protéger des erreurs de copie. Ce document comporte cependant une lacune, la feuille de la section H dite de Mars qui peut être comblée par la copie conservée aux Archives municipales.

Certaines études urbaines peuvent utiliser le cadastre comme un plan complet de la ville, mais cette démarche est erronée. Rappelons que la réalisation de ce document s'inscrit dans un projet de rationalisation de la fiscalité afin d'améliorer le rendement de l'impôt (Clergeot 2007). Le cadastre a vocation à représenter la surface et d'indiquer la nature fiscale des propriétés. Il ne prétend pas être un plan topographique et ne prend, par exemple, pas en compte le relief.

2.2 *Choix du géoréfencement*

Le géoréférencement a été effectué à l'aide du logiciel ArcGIS 9.3 selon une transformation affine de premier ordre polynomial. Cette transformation

[2] Arch. Dép. Marne (dépôt de Châlons), 3 P1173.

[3] Arch. Mun. Com. Reims, 1 G2.

[4] Pierret a levé six plans de sections pour le secteur rural et un couvrant la zone urbaine, et Le Franc en a levé respectivement cinq et deux.

[5] Recueil méthodique des lois, décrets, réglemens, instructions et décisions sur le cadastre de la France; approuvé par le ministre des Finances, Paris, Imprimerie impériale, 1811: art. 812.

est celle qui déforme le moins les documents originaux et permet de conserver les rapports de surface et d'alignement des objets géoréférencés. Lorsqu'un point d'amer est géoréférencé, l'ensemble du document est étiré à partir de ce point. Aussi, pour réduire dans un premier temps les déformations supplémentaires du document lors de son géoréférencement, toutes les sources d'erreurs externes au document ont été gommées ou évitées (zones vides, pliures, …).

2.3 *Méthode du géoréfencement*

Le géoréférencement appliqué au cadastre napoléonien a été réalisé à partir de la base de données urbaine (BDU) de Reims de 2007. Ces données ont été fournies en Lambert II étendu par le Service Ressources en Information Géographique de Reims Métropole. Considérée comme étant la base la plus juste disponible à l'heure actuelle, elle a servi de support à l'ensemble de l'étude. Le parcellaire de la ville actuelle a toutefois profondément changé par rapport à celui représenté sur le cadastre napoléonien. L'état de l'urbain actuel intègre les modifications dues aux grands travaux, à la démolition des remparts, à la construction du canal Aisne-Marne et aux opérations d'alignements. Les destructions de la Première Guerre mondiale et la reconstruction qui a suivi ont aussi modifié la forme de la ville. Il est donc impossible de se fonder entièrement sur la cartographie actuelle. Il est nécessaire de retirer ce bruit dû à l'évolution urbaine ultérieure pour pouvoir travailler sur la ville pré-industrielle.

Pour cela deux démarches ont été suivies. Après avoir cartographié les grandes perturbations du parcellaire de la ville de la fin du 19ème siècle à 2007 (Fig. 1)[6], les secteurs trop modifiés ont été écartés pour ne conserver que le parcellaire actuel correspondant à celui du cadastre napoléonien. La figure 1 représente trois niveaux de perturbation. Le niveau 1 correspond au parcellaire non perturbé (orientations et surfaces conservées, malgré des destructions en élévations possibles). Le niveau 2 représente le parcellaire ayant subi de légères modifications. Il s'agit la plupart du temps de transformations dues aux travaux d'alignement des rues. Le niveau 3 regroupe le parcellaire qui a été entièrement modifié. Pour pallier les lacunes constatées et géoréférencer certaines feuilles débordant sur la zone rurale, des plans intermédiaires ont été utilisés, en particulier les plans Héteau de 1844[7], Giret de 1869[8] et Ford de 1920[9].

La démarche adoptée a nécessité de recourir à trois types de points de contrôle afin de les répartir de la manière la plus homogène possible sur

[6] L'étude distingue cinq niveaux de perturbation à l'échelle de l'îlot, mais ils ont été regroupés en trois niveaux seulement dans le cadre de cet article. Cette cartographie a été réalisée à partir des plans levés par de Maindreville (?), Sainsaulieu et Kalas, des dossiers de dommages de guerre [Arch. Dép. Marne (dépôt de Reims), série 10R et Bibl. mun. Reims, fonds Deneux] et de la cartographie de la ville des 19e et 20e siècles (plans généraux et plans d'alignements).

[7] Bibl. mun. Reims, TGF22.

Fig. 1 – Les perturbations du parcellaire du centre historique de Reims du 19e siècle à 2007, figurées d'après les îlots du cadastre de 1819.

l'ensemble du raster. Les points d'amer les plus stables sont recherchés dans les rues de 2007 attestées en 1819 qui présentent toujours actuellement des saillies. Il est effectivement raisonnable de supposer que ces rues n'ont été ni élargies, ni retracées. Les monuments publics et religieux sont aussi pris en compte en raison de leur grande stabilité dans le parcellaire. Enfin, le cadastre représentant des limites foncières relativement pérennes, le choix de points d'amer en fond de parcelles est aussi privilégié.

3. Une estimation possible de la qualité du cadastre de Reims?

3.1 *Valeur du RMS*

Notons dans un premier temps que le simple assemblage des feuilles de section montre de légères incohérences dans le centre urbain même et entre la zone urbanisée et la zone rurale. Ce constat rend nécessaire le géoréférencement par feuilles de section et non des feuilles de section entre elles. Cela conduit aussi à réduire, si ce n'est éviter de s'appuyer sur les départs d'îlots des feuilles de sections voisines, figurés sur chaque feuille de section, pour ajuster le géoréférencement.

Hormis la vérification à vue de la validité du géoréférencement, le RMS est une première donnée statistique sur laquelle il est possible de s'appuyer. L'erreur RMS ou Root Mean Square, représente l'erreur moyenne quadratique entre l'emplacement des points sources transformés et celui des points de destination, exprimée dans la même unité que celle utilisée pour la carte, dans ce cas en mètres[10]. L'erreur RMS totale représente donc une moyenne générale de ces écarts.

La stratégie de géoréférencement adoptée a cependant consisté à réduire au maximum l'erreur RMS et à utiliser un nombre important de points d'amer. Alors que la transformation affine choisie nécessite généralement 3 points, il est possible d'affiner le géoréférencement en les multipliant. Notons toutefois que d'une manière générale, au-delà de 15 points, la valeur du RMS évolue peu. Globalement l'erreur RMS indiquée à l'issue du géoréférencement des documents raster actuellement nécessaires à l'étude, est assez faible. La valeur montre une erreur moyenne de 2,2m, dont 1,2m dans la ville. Il est cependant possible d'observer que le RMS est plus élevé dans les secteurs ruraux, soit 4m. Cet écart est dû au faible nombre de points amers disponibles et à leur qualité plus relative que ceux utilisés en milieu urbain.

[8] Bibl. mun. Reims, XXXII-III-h-1.

[9] Bibl. mun. Reims, TGF027.

[10] http://support.esrifrance.fr/documents/arcview3/doc_old/georef.htm, consulté le 12/05/2010.

Cette valeur de contrôle, globale et homogène, n'est cependant pas totalement satisfaisante. Elle ne permet pas de localiser des zones d'erreurs et reste insuffisante pour expliquer et corriger localement ces erreurs. Il est alors intéressant d'observer à plusieurs échelles les résultats du géoréférencement du secteur urbain sur les couches vectorielles.

3.2 *Comparaison par îlots*

En s'attachant au décalage géographique entre les points centraux des îlots de la BDU de 2007 et ceux du cadastre napoléonien, il apparaît que plus les îlots urbains occupent une grande surface en ville, plus les décalages sont importants. Toutefois, très peu d'îlots sont restés intacts entre le parcellaire de 1819 et celui de 2007. Il apparaît alors, que les faibles décalages de distances sont plus révélateurs des modifications du parcellaire dues aux travaux d'alignement et de rectification de la voirie que de problèmes liés aux opérations de levés. La confrontation de l'orientation des décalages, assez hétérogènes sur l'ensemble des îlots conservés, avec la topographie indique que les deux phénomènes ne semblent pas être corrélés. D'autant plus que le secteur de Saint Nicaise, localisé dans la partie est de la ville, pourtant susceptible d'être le plus touché par ces phénomènes ne peut pas être correctement évalué par cette méthode car il a subi de trop importantes modifications. Des erreurs liées à des problèmes de reports de pentes lors des opérations d'arpentages sont donc à écarter. Il est enfin à noter qu'à ce niveau d'analyse, peu d'erreurs significatives s'observent entre les levées réalisées par les différents géomètres.

3.3 *Comparaison par parcelles: surface et orientation*

Rappelons que la méthode de géoréférencement adoptée conserve les alignements et les surfaces. Au niveau de la parcelle, en considérant les parcelles conservées, il apparaît cependant un décalage moyen entre les surfaces des parcelles 1819 et des parcelles 2007 de 2,2% et entre les orientations de 2,5° (sur une base de 180°). La déformation moyenne du périmètre quant à elle, est de 0,6 m soit 2,1% en prenant en compte les phénomènes de réduction/augmentation des parcelles. La différence entre les deux documents est donc faible. Elle peut être due au simple trait de crayon. Cependant il est possible de caractériser ces écarts, en s'attachant à leur répartition. Certains îlots détruits durant la Première Guerre mondiale ont été reconstruits selon les mêmes orientations avec des surfaces parfois différentes[11]. Dans ces secteurs-

[11] Beaucoup de ces parcelles sont situées sur des rues qui ont été rectifiées lors de la reconstruction. Les bombardements ont fourni l'occasion de percer de grands axes, à l'occasion d'opérations d'urbanisme. Ces opérations étaient encouragées par la Commission départementale d'aménagement et d'extension des villes de la Marne. (Arch. Dép. Marne (dépôt Châlons), 1 S509/1.5, instructions du 8/08/1918).

Fig. 2 – Résultat du géoréférencement du cadastre napoléonien sur la BDU-2007.

ci, la différence des orientations parcellaires est, de fait, du même ordre que la différence moyenne observée pour la totalité des parcelles comparées.

La répartition des déformations (réductions et augmentations) des périmètres et surfaces des parcelles tend à souligner des erreurs de levés. Il apparaît

que les zones densément urbanisées sont moins bien levées que celles dans lesquelles se trouvaient des jardins sur lesquelles les géomètres ont pu s'appuyer pour rectifier leurs mesures. A contrario des formes géométriquement peu complexes ont pu être levées rapidement et leur formes simplifiées. De fait, les rapports de surfaces sont mieux conservées pour les parcelles laniérées que pour les parcelles trapues et de formes complexes. Enfin, la comparaison de la largeur des rues vectorisées et géoréférencées et celles tracées sur les plans originaux tend à indiquer que les géomètres devaient reporter les erreurs de levé des îlots sur les rues.

Il est vrai que l'ensemble des erreurs mesurées est faible. Il est aussi difficile d'estimer la part des erreurs liées à la méthode de géoréférencement en lui-même (rapport entre trait vectorisé et tracé de la limite parcellaire, choix du logiciel de travail). Toutefois des erreurs, nous l'avons vu, peuvent être justifiées. Cette étape de contrôle permet ainsi d'estimer la qualité topographique du cadastre napoléonien et de mieux effacer le bruit des résultats obtenus au cours des analyses morphologiques.

3.4 *Apport et prolongement de ce travail critique: un lien vers le géoréférencement des cartes anciennes*

En raison des modifications importantes portées au parcellaire durant la période contemporaine (démolition des remparts, construction du canal, reconstruction), le géoréférencement des plans les plus anciens à partir des plans actuels est compliqué. Le cadastre napoléonien vectorisé permet de disposer d'une base cartographique pour réaliser cette opération pour les plans antérieurs au milieu du 19e siècle, dont le style parcellaire est plus proche. Ce travail permet de mettre en évidence le fait que certains plans anciens, en particulier le premier plan Legendre (1765), copiés durant plusieurs décennies, étaient plus justes géométriquement que leurs copies les plus récentes. Il semble donc que les copies se soient faites sans retravailler les levés et aient accumulé ainsi des erreurs.

3.5 *Les analyses morphologiques*

Le travail mené sur la qualité topographique du document permet surtout de confirmer et préciser la confiance qu'il est possible d'accorder au cadastre napoléonien pour réaliser les analyses morphologiques. De rares secteurs trop incertains ou potentiellement sources d'erreur sont ainsi écartés des analyses; d'autres pour lesquels la qualité topographique du cadastre n'a pas pu être directement vérifiée en raison de trop grandes divergences avec le parcellaire de la BDU ont pu être réestimés. Ce travail permet donc d'affiner les données de l'analyse.

A partir d'une telle base, il est possible de mettre en évidence des "anomalies" ponctuelles du parcellaire. L'étude des orientations dominantes du

Fig. 3 – Mise en évidence d'une anomalie parcellaire très localisée dans la trame parcellaire dominante, hors enceinte tardive. Les orientations sont indiquées en Lambert 2 étendu, noté NL, selon une marge d'erreur de +/- 2.5°. L'hypothèse de restitution de la voirie utilisée est celle proposée par F. Berthelot dans son travail sur la structure des rues antiques de Reims (Berthelot 2004).

parcellaire révèle ainsi l'importance de l'héritage antique dans le réseau viaire et parcellaire de la ville pré-industrielle. Cette analyse met aussi en évidence la fossilisation de l'enceinte du 4e siècle dans le parcellaire actuel. Le contrôle de la qualité du plan utilisé permet ainsi de souligner des secteurs où la forme s'est transmise très localement (Fig. 3)[12]. Cette observation aide par la suite à déterminer des rythmes d'urbanisation de cette enceinte.

Au terme de cette étude, il apparaît que le cadastre napoléonien de Reims de 1819 est fiable d'un point de vue géométrique et topographique. Les différentes questions posées au document permettent d'avoir un regard critique, nécessaire pour mener à bien les analyses morphologiques et justifier de la qualité topographique du plan de référence obtenu de la ville de Reims pré-industrielle. Des erreurs intrinsèques au document papier sont à mettre en avant. D'autres, dues à l'acte de géoréférencement et aux opérations de vectorisation ne doivent pas être écartés. De fait, une réflexion sur ces méthodes mériterait d'être menée. Dans le cadre de cette étude, il a surtout été intéressant de pouvoir reconnaître des erreurs liées à la genèse du document.

Claire Pichard
CReSTIC
Université de Reims Champagne-Ardenne
Eric Desjardin
GEGENAA – URCA
Université de Reims Champagne-Ardenne

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la ville de Reims pour la bourse de recherche attribuée au travail de thèse dans lequel s'inscrivent ces réflexions, ainsi que F. Berthelot pour les données qu'il a bien voulu fournir.

BIBLIOGRAPHIE

Berthelot F. 2004, *La structure et l'évolution des rues antiques de Reims de la Conquête à la fin du Haut-Empire: approche méthodologique et premier essai de synthèse*, Université Paris 1, Mémoire de Maîtrise en archéologie des périodes historiques (sous la direction de F. Dumasy et R. Neiss), dactyl.

Bloch M. 1929, *Les plans parcellaires*, «Annales d'histoire économique et sociale», 60-70, 225-231, 390-398.

Chouquer G. 1993, *La ville, la mémoire et la Forme*, «Revue du groupe romand d'Etudes et d'Archéologie du Territoire», 2, 61-78.

Clergeot P. 2007, *Cent millions de parcelles en France: 1807, un cadastre pour l'Empire*, Paris, Publi-Tpopex.

[12] Cfr. orientation NL 121° et 38° (+/- 2.5°). Les processus de transmission de ces formes sont plus amplement traitées dans la thèse en cours.

Cochet F. 1985, *Reims ville-martyre: vie et mort d'un mythe républicain?*, Reims, CRDP.

Gauthiez B. 2008, *Lyon en 1824-32: un plan de la ville sous forme vecteur d'après le cadastre ancien*, «Géocarrefour», 83/1, 57-67.

Noizet H. 2003, *Pratiques spatiales, représentations de la ville, et fabrique urbaine de Tours (IXe-XIIIe siècles): chanoines, moines et laïcs à Saint Martin et Saint-Julien*, Université François Rabelais de Tours, thèse (sous la direction de H. Galinié), 3 vol., dactyl.

Pouget F., Rousseaux F., André U. 2010, *Estimation de la qualité topographique du plan Vasserot géoréférencé*, communication faite au colloque Alpage, tenu à Paris le 7/06/2010.

de Runz C., Desjardin E. 2010, *Imperfect spatiotemporal information modeling and its analysis in a generalization process in a GIS: application to archaeological information*, in R. Jeansoulin, O. Papini, H. Prade, S. Schockaert, *Methods for Handling Imperfect Spatial Information*, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 256, 341-356.

Tassel F.-X. 1982, *La reconstruction des villes détruites lors de la guerre 1914-1918: le cas de Reims*, Institut d'Urbanisme Paris VIII, DEA d'urbanisme (sous la direction de P. Merlin), dactyl.

SOURCES

Archives de l'Hotel Le Vergeur – Reims, C7E: Le plan de Reims après 1051 jours de bombardements par Kalas, 1918.

Destruction de Reims, 04/1918, Anonyme (de Maindreville ?), in F.-X. Tassel, *La reconstruction des villes détruites lors de la guerre 1914-1918: le cas de Reims*, Institut d'Urbanisme Paris VIII, DEA d'urbanisme (sous la direction de P. Merlin), 1982, dactyl, 128.

Ford, *Le plan jaune*, «L'illustration», 4031, 5/06/1920.

Le Bombardement du quartier de la cathédrale. Une partie des points de chute relevés autour de la cathédrale par Sainsaulieu, architecte de la cathédrale, in *Reims et les batailles pour Reims*, Clermont-Ferrand, ed. Michelin et Cie, 1919, 20.

ABSTRACT

In applying an approach of dematerialization of planimetric, written and archaeological data, that should be soon processed through a GIS, it will be necessary to estimate the errors made in the compilation of the Napoleonic land registry made in order to be able to work on the construction of the urban space. The registry was started in 1811 and as a source document for morphological analysis and regressive mapping, it is geometrically quite precise. However, a review of this fiscal document (which has a twisted perspective, perhaps to tell us something about the townscape) and a comparison to correct maps have revealed a few errors depending on the level of treatment. It therefore becomes useful to characterize and to explain them, before linking them with oldest documents and archaeological data. The example of Les Coutures will allow us to put into practice these observations in order to define methods of metrological analysis and to study dynamics of urban space occupation according to various spatial and temporal scales.

II. QUELS SYSTÈMES D'INFORMATION POUR L'ARCHÉOLOGIE?

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 199-213

L'ENREGISTREMENT DES DONNÉES GÉOARCHÉOLOGIQUES EN CONTEXTES URBAINS: QUEL(S) SYSTÈME(S)?

1. Introduction

La géoarchéologie des contextes urbains est au croisement de deux domaines d'étude complexes. D'une part, la géoarchéologie, d'usage déjà ancien, regroupe des approches et des problématiques diverses autour de méthodes et de pratiques nombreuses: stratigraphie, micromorphologie, pédologie, géophysique, géomorphologie… D'autre part, les gisements archéologiques en contextes urbains, dont la nature et la structure sédimentaires est d'origine principalement anthropique, admettent une importante diversité. Dans ces conditions, tenter d'élaborer un système d'enregistrement des données est une gageure. Pourtant, c'est ce qui définit les choix d'acquisition des données, la lecture qu'il est possible d'en faire, leur stockage et ordonnancement au travers de traitements dont le but est d'interpréter et de formuler des hypothèses. En retour, interprétation et hypothèses de travail, traitement et stockage, conditionnent les modalités même d'acquisition. Comment est-il alors possible de concilier ces nombreux types d'enregistrement, associés pourtant à des systèmes interprétatifs différents? Cela est-il toujours possible? Comment tirer une meilleure partie de l'interdisciplinarité?

Dans une réflexion sur la mise en relation de données géoarchéologiques issues de contextes urbains, l'objet de cet article n'est donc pas de présenter un système d'enregistrement aux limites finies. Il propose toutefois quelques pistes méthodologiques et pratiques, illustrées par des outils simples utilisés ou développés lors de recherches sur les terres noires urbaines, avec des données issues de la micromorphologie, de la stratigraphie et de l'étude de l'organisation en trois dimensions des sédiments.

2. Les problématiques et les objets d'étude: particularité de la géoarchéologie en contextes urbains

2.1 *Problématiques géoarchéologiques et archéologie préventive en contextes urbains*

La géoarchéologie de l'urbain a pour objet d'étude la production et la co-évolution socio-environnementale (Muxart *et al.* 2003) du sédiment urbain, c'est-à-dire le relief et le sol urbains (élévations et sous-sol). Pour cela, elle s'attache à la connaissance des contextes pédo-sédimentaires locaux ou micro-locaux – conditions de stratification, de préservation – et à la formation

du paysage urbain, par exemple dans ses relations avec les hydrosystèmes (Bravard, Burnouf, Vérot 1989). De la même manière que les références aux occupations de type "rural" en ville ce sont révélées inappropriées, il n'est plus non plus fait référence aujourd'hui à une géoarchéologie *hors site* opposée à, comme dans le cas de l'urbain, une géoarchéologie *intra site*. Au contraire, ce sont désormais les gradients et les mosaïques de nature et de formation des sols et des reliefs que l'on considère (Davidson *et al.* 2006; Cammas, Wattez 2009).

En ville, les archives du sol ont comme principale caractéristique d'être très denses et d'admettre une grande diversité, ce qui en complexifie l'étude. A cette difficulté s'ajoute celle de la pratique, qui a lieu le plus souvent lors d'opérations d'archéologie préventive, ou plus rarement de chantiers d'aménagements (sondages géotechniques). Lors de fouilles archéologiques préventives, les travaux géoarchéologiques sont soumis à la nature des prescriptions, la taille et la destination des enveloppes budgétaires spécifiques, les délais d'opération et de rendu, ainsi qu'aux espaces limités de stockage des sédiments et du mobilier. C'est néanmoins lors des fouilles préventives que les fenêtres d'observation sont les plus facilement exploitables. Dans les autres cas, les données profitables aux problématiques géoarchéologiques peuvent être issues des opérations de sondages géotechniques ou géophysiques, des études géomorphologiques à plus petite échelles, ou encore par l'analyse topographique ou cartographique.

2.2 *Objets d'étude: stratification urbaine et contextes pédo-sédimentaires*

Les objets d'étude de la géoarchéologie sont de deux ordres principaux, d'une part les dépôts et structures de la stratification, et d'autre part les processus et dynamiques liés aux contextes pédo-sédimentaires.

Sur les sites archéologiques, les stratifications sont décrites communément selon les unités stratigraphiques (US) qui les constituent, et les faits (ou structures) archéologiques peuvent être définis comme un regroupement d'US. Toutefois, la définition même de l'US ne fait pas l'unanimité. Le plus souvent, l'US est définie par ces interfaces uniquement (Harris 1979; Desachy 2008), il arrive plus rarement qu'elle le soit par sa composition interne (Lopez 1991; Roskams 2001). Cette ambiguïté n'est pas négligeable dans l'étude des processus de formation des stratifications, car elle peut entraîner d'importantes confusions entre la nature des dépôts "primaires" et les caractères acquis postérieurement au dépôt. C'est pourquoi il est sans doute préférable d'adopter la définition d'US proposée par E.C. Harris.

Le contexte pédo-sédimentaire et son évolution sont approchés en analysant les présences/absences, nature/état, et l'organisation relative des constituants et de la masse fine des dépôts. Ce contexte est généralement

induit par des facteurs extérieurs au dépôt (présence/absence d'un aquifère par exemple), mais peut souvent l'être par la nature même du dépôt: teneur en argile, acidité, *etc*.

En plus d'être de nature variée, les objets d'étude de la géoarchéologie de l'urbain relèvent finalement de temporalités et de spatialités différentes: les processus de dépôt et les processus d'altération par exemple. La difficulté pour en corréler les études en est, encore une fois, singulièrement accentuée.

2.3 *Les observations géoarchéologiques*

Les observations géoarchéologiques peuvent être artificiellement groupées en trois types: 1) l'observation des macro – et micro – constituants du sédiment, 2) l'observation de la masse fine, et 3) l'observation de l'organisation du sédiment. Chacune de ces approches est multiscalaire et fait appel à de nombreuses méthodes, chacune s'inscrivant dans un système d'enregistrement et d'interprétation propre. Sans les énumérer toutes, il est vite fait le constat de la polyvalence de chacune de ces méthodes, donc du choix stratégique en matière d'enregistrement à opérer, afin de rendre les résultats comparables.

Par exemple, la micromorphologie permet à la fois d'observer et de caractériser les macro – et micro – constituants, la masse fine et l'organisation du sédiment. Pourtant, la caractérisation des constituants est d'avantage l'objet de la micro-archéologie (Rosen 1986; Laurent 2001; Fondrillon 2007), tandis que celle de la masse fine est plutôt réalisée par les analyses granulométriques et physico-chimiques et, enfin, que l'étude de l'organisation du sédiment ne peut se faire sans une approche morpho-stratigraphique en trois dimensions. Ces différentes approches, de plus, sont incluses dans une organisation d'un ordre supérieur encore, celle du paysage urbain et de ses relations avec, par exemple, les hydrosystèmes, objets d'analyses spatiales souvent réalisées par l'intermédiaire d'outils informatiques tels que les systèmes d'information géographiques, qui nécessitent encore une organisation spécifique de l'information.

Finalement, les données de la géoarchéologie sont mises en tension entre, non seulement les différences d'échelles, ce qui n'est pas propre uniquement à la géoarchéologie, mais également entre les différences méthodologiques et pratiques. Ce constat n'est pas nouveau, mais il prend d'autant plus de sens lorsque les données sont issues du contexte urbain, où la pratique d'une archéologie dite «urbaine» est nécessaire (*Archéologie urbaine* 1982; Rosen 1986) et où les géoarchéologues peuvent difficilement importer directement les méthodes habituelles de la pratique *hors site* compte tenu de la nature fortement anthropique de la sédimentation (Cammas, Borderie, à par.).

3. Les méthodes et les enregistrements

Selon la méthode utilisée, les données peuvent donc être enregistrées dans des systèmes interprétatifs différents. Il appartient donc au préalable de tenir compte des différentes méthodes utilisables et des possibilités qu'il y a de les corréler.

3.1 *Les méthodes de la géoarchéologie et leurs systèmes d'enregistrement propres*

Le premier point à envisager est peut-être la nature qualitative ou quantitative des données enregistrables: quelle est la part interprétée dans l'enregistrement même, quelles sont les données qui peuvent être quantifiées ensuite. Si la question se pose moins pour des résultats numériques d'analyses (physico-chimie, granulométrie, géophysique) elle l'est d'avantage pour les descriptions stratigraphiques ou de constituants.

Comme cela a déjà été fait pour la sédimentologie (Butzer, Miralles, Mateu 1983), la stratigraphie urbaine peut tout à fait être décrite selon une grille de lecture "pédologique". Les propositions faites par Fechner, Langohr, Devos (Fechner, Langohr, Devos 2004) sont un premier pas vers cette "quantification". De la même manière que le sont les US indépendamment, les stratigraphies sont alors décrites à l'aide de formulaires d'enregistrement, en tenant compte, comme biais et en les adaptant, des objectifs de la pédologie (genèse et structuration des sols). La lecture des lames minces peut aussi être enrichie d'un enregistrement systématique des constituants et traits, suivant une grille et un tableau de comptage (Macphail, Cruise 2001, 245-247, Fig. 4).

L'organisation du sédiment peut également être décrite selon une quantification. Bien souvent, c'est l'espace d'échantillonnage qui fait l'objet d'une quantification: par mètres carrés, tous les *x* cm, ou, le plus souvent, par unités stratigraphiques. Toutefois, dans le cas de couches d'apparence massives ou homogènes telles que les terres noires, les terres de jardins ou de nombreux comblements, le relevé de la position en x, y, z des constituants grossiers (de taille supérieures à 3 cm par exemple), ou de tout autre prélèvement, est facilité par la mise en place d'une géocodification implémentée dans un tachéomètre laser. Basée sur des critères qualitatifs – nature des constituants – elle permet ensuite un traitement quantitatif rapide de la distribution des éléments géoréférencés, par exemple pour en esquisser la structuration spatiale (Djindjian 1990, Fig. 2).

Sans empêcher une lecture qualitative du sédiment, l'enregistrement peut en assurer facilement la quantification, ou tout du moins la "semi-quantification", pour en faciliter la lisibilité et la portabilité relativement à d'autres systèmes.

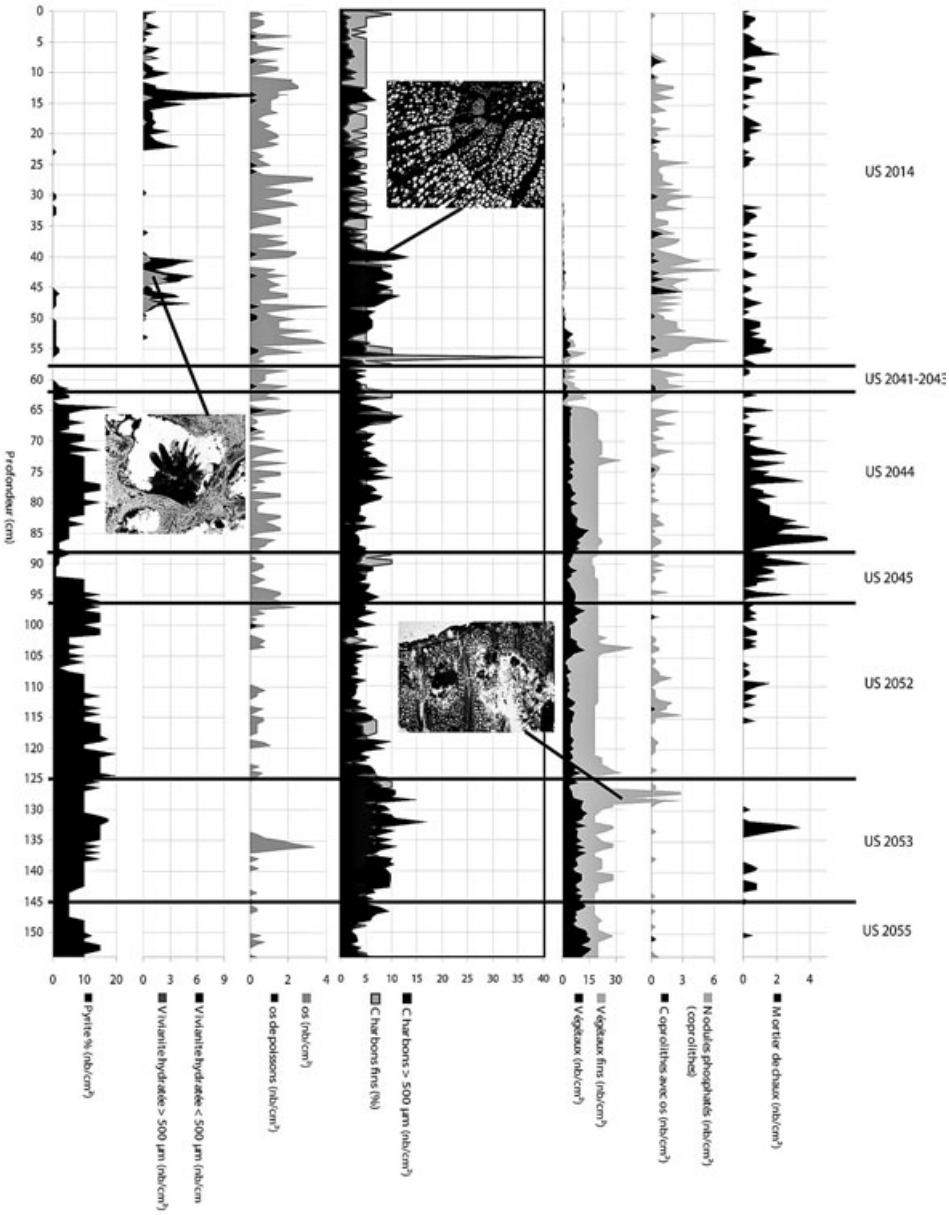


Fig. 1 – Extrait d'un diagramme figurant les interfaces des unités stratigraphiques et les fréquences des micro-constituants observés en lame mince (place A. Briand, Noyon). Chaque micro-constituant qui est présenté ici en nombre par centimètre carré (nb/cm²) a initialement été compté grâce à un tableau d'enregistrement. Les micro-constituants présentés en pourcentage (charbons fins), sont quantifiés grâce à des abaques. Sur l'ensemble de cette séquence de plus de 1,50 m de terres noires, il est possible d'observer la corrélation ou l'indépendance des fréquences avec les unités stratigraphiques. Par exemple, les US 2041-2042 sont bien corrélées avec un déficit de micro-constituants, excepté de nodules phosphatés. Ces US constituent un micro-litage de surfaces d'occupations à l'intérieur d'un bâtiment de la fin du premier Moyen Âge (IXe-Xe siècles). Par contre, les distributions de la pyrite de fer et des végétaux sont indépendantes des limites des US, car liées à l'engorgement en eau du bas de la séquence. Quant à la vivianite, les deux pics de concentration au sein de l'US 2014 précisent l'organisation interne de cette US. Ils indiquent une présence très importante de jus phosphatés et permettent d'estimer le niveau de battement de l'aquifère.

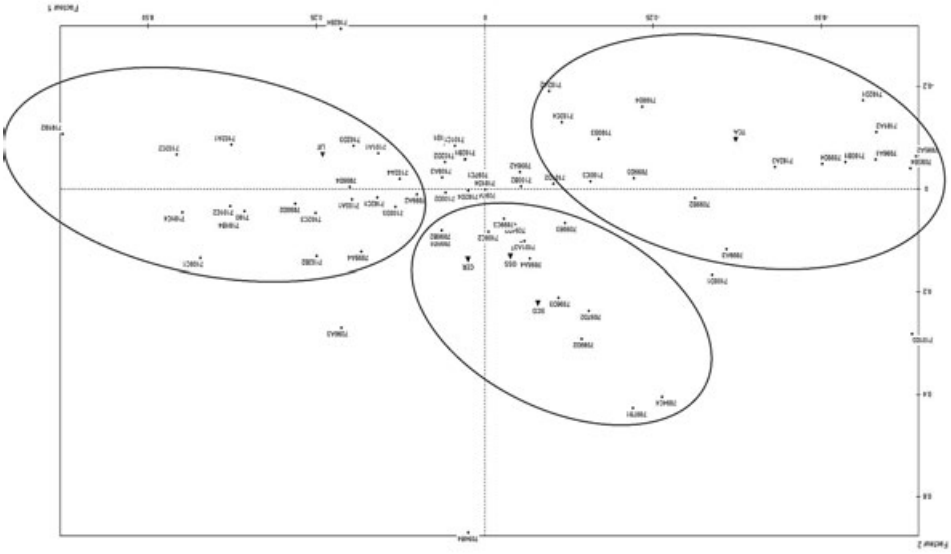


Fig. 2 – Structuration spatiale en trois dimensions d'un volume de 4×4×0,80m de couches massives de terres noires, (ZAC-Amphithéâtre, Metz), selon une maille tridimensionnelle de 1×1×0,1 m. L'analyse factorielle des correspondances permet d'observer que les mailles volumiques se caractérisent selon trois tendances principales: celles qui contiennent surtout des matériaux de construction en terre cuite, celles qui contiennent surtout des matériaux lithiques et celles qui contiennent surtout de la céramique, des os et des scories. Une remise en contexte spatial permet de constater que les mailles qui contiennent des matériaux de construction en terre cuite ou des matériaux lithiques se trouvent principalement en haut de la séquence de terres noires, tandis que celles contenant surtout de la céramique, des os et des scories se situent en bas de la séquence.

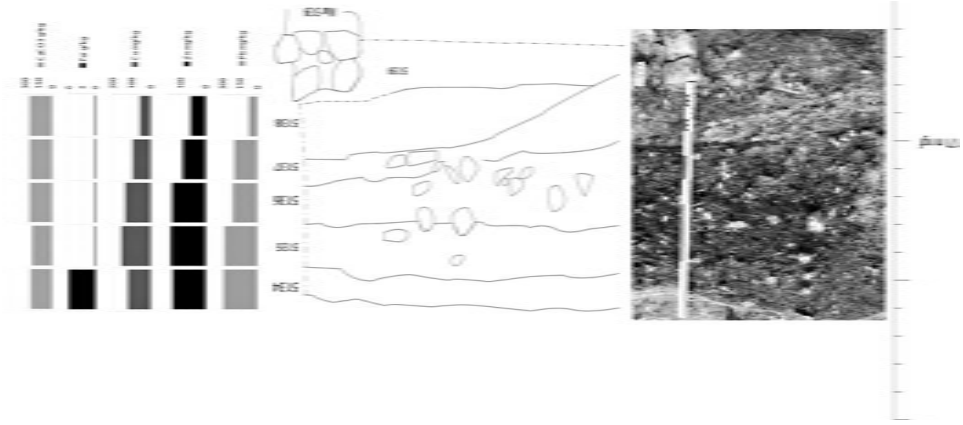
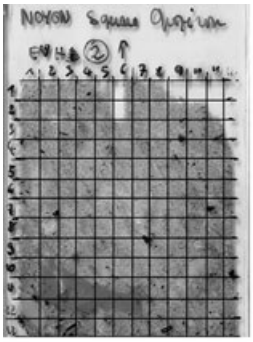


Fig. 3 – Caractérisation physico-chimique de cinq unités stratigraphiques d'une séquence de terres noires (Saint-Chrétienne, Metz). Pour réaliser les diagrammes des teneurs en plomb, zinc, cuivre, fer et carbonate de calcium, plusieurs prélèvements ont été faits par US.



NOYON place A. Briand

					Organic							
					Bionodules		Bones				Charcoals	
Prof.	US	LM	belt	UMS	prim	sec	total	fishbone	vcs	cs ms	vcs+cs	fs vfs %
			2	9	0	1	0	0	0	0	6	5
36			3		0	1	0	0	0	0	3	2
			4		0	0	4	0	1	3	9	5
37			5		0	1	2	0	1	1	5	5
	2014		6		0	0	4	0	1bd	2d, 1b	9	2
38			7		0	1	3	0	1f, 1	2b	4	5
		3	8		0	0	1	0	0	1b	7	5
39			9	10	0	2	6	0	3b, 1d	2b	12	5
			10		2	0	6	1	1f, 2b	3b	25	5
40			11	11	1	0	3	0	1b	2b	19	5

Fig. 4 – A gauche: Scan de lame mince portant un quadrillage de comptage (0,5×0,5 cm). A droite: Extrait d'un tableau d'enregistrement des comptages réalisés sur des lames minces de sédiments archéologiques de la place Aristide Briand à Noyon (fouilles M.-C. Lacroix), présentant la nature, le nombre et l'état des constituants. La surface de chaque lame mince est divisée horizontalement en bandes de 0,5 cm de hauteur. Pour chaque bande, les constituants sont comptés et le total est reporté dans le tableau présenté ci-dessus. Sur l'extrait présenté ici se trouvent, de gauche à droite: la profondeur de la ligne, en cm, mesurée depuis le haut de la séquence étudiée (ici de 35,5 à 40 cm de profondeur); le numéro de l'US dans laquelle a été prélevé l'échantillon et fabriquée la lame mince (ici 2014); le numéro de la lame mince comptée, ici la lame mince 3; le numéro de la bande comptée sur la lame mince (ici sont extraites les bandes 2 à 11); l'UMS – unité microstratigraphique – qu'il a été possible d'identifier grâce à l'analyse micromorphologique, donc en partie grâce à ce tableau de comptage (ici les UMS 9, 10 et 11); le nombre de bionodules carbonatés, primaires (peu altérés) ou secondaires (altérés), sans doute généré par les lombrics; le nombre total d'os; – le nombre d'os de poissons; le nombre d'os de la taille des sables très grossiers, de poissons (suffixe 'f'), chauffés (suffixe 'b'), digérés (suffixe 'd') ou frais (aucun suffixe); le nombre d'os de la taille des sables grossiers et moyens; le nombre de charbons de la taille des sables très grossiers et grossiers; le pourcentage de charbons de la taille des sables fins et très fins.

3.2 *Des jointures plus ou moins aisées entre les systèmes*

Compte-tenu de l'impossibilité – et de l'inutilité – d'établir un système global, c'est finalement la manière dont les données sont enregistrées dans chacun des sous-systèmes qui conditionne les jointures réalisables entre ces sous-systèmes. Ceci signifie que le mode d'enregistrement conditionne l'ensemble des données qu'il est possible (ou non) de mettre en relation, donc de comparer, d'un sous-système aux autres. Bien qu'il semble inutile de le répéter, c'est dans la définition des problématiques en amont, des techniques de recherche, puis des rendus en aval que s'établissent ces jointures entre sous-systèmes. Tout simplement, ces jointures se font par les liens entre les méthodes de fouilles d'une part et l'enregistrement et les problématiques géoarchéologiques d'autre part.

En amont, l'enregistrement des données géoarchéologiques acquises lors d'opérations archéologiques a tout intérêt à rester connecté au système d'enregistrement archéologique mis en place (Butzer 1982, 67 s.; Roskams

2001; Cammas, Borderie à par.). La mise en relation avec le système de la «matrice de Harris» peut passer par la détermination d'«unités d'altération» affectant une ou plusieurs US (Desachy 2008, 65-66), la mise en correspondance des «unités microstratigraphiques» avec les US (Cammas 1994), ou le comptage de la variation de critères au sein ou au travers de ces unités.

Par exemple, dans la pratique de terrain, la mise en place de fouilles par "passes", ou "US techniques" dans le cas des couches massives de type terres noires, ne doit absolument pas exclure la recherche d'US "traditionnelles" au sein de ces couches massives. De même, l'observation de la distribution des constituants grossiers ne peut pas être déconnectée de celle de la masse fine, même s'il est très difficile à l'heure actuelle d'analyser selon une grille en trois dimension les caractères physico-chimiques d'une US de gros volume. Au même titre, l'échantillonnage en colonne pour toute étude micromorphologique ne peut s'affranchir d'une perception plus large de l'organisation sédimentaire et d'une lecture archéologique *stricto sensu*. En aucun cas l'approche géoarchéologique ne peut se substituer à la fouille archéologique des dépôts urbains (CNRA 2002, 50-51).

Enfin, en aval, la lisibilité de la documentation géoarchéologique – tableaux synthétiques, diagrammes de fréquences – constitue une passerelle privilégiée entre les systèmes d'interprétations, déjà de nombreuses fois mise en avant (par exemple Butzer 1982, 40-42; Macphail, Cruise 2001, 245-247; Fechner, Langohr, Devos 2004).

4. Mise en relation des données depuis l'échelle micro-locale jusqu'au paysage urbain

Les données géoarchéologiques des contextes urbains, selon leur nature et leur mode d'acquisition, peuvent finalement être mises en relation à trois niveaux: le contexte stratigraphique archéologique, l'espace dans ces trois dimensions, le contexte topographique plus général.

4.1 *Le contexte stratigraphique: Harris et la géoarchéologie*

Les données géoarchéologiques s'intègrent tout à fait au sein des limites du système d'interfaces d'unités proposé par Harris, car elles complètent et précisent l'information entre ces interfaces. Elles permettent aussi de décrire les processus affectant une ou plusieurs de ces US, et parfois de définir l'origine des interfaces.

Tout d'abord, le détail de certaines observations géoarchéologiques – micro-archéologie, micromorphologie, granulométrie – peut permettre de préciser la description du contenu global des US, entre ces interfaces, à l'aide de certains critères moyennés – physico-chimiques, granulométriques par exemple (Fig. 3).

Néanmoins, le contenu des US est généralement anisotrope, c'est-à-dire différent d'un point à un autre d'une seule US, même de petit volume: microstratification, gradient de coloration, concentrations de certains constituants… La caractérisation fine de ces variations à l'aide de protocoles géoarchéologiques (micromorphologie, analyses physico-chimiques, géophysique) peut considérablement aider à l'interprétation, tant de l'usage des structures que de l'évolution en place des US: modalités de remplissage d'une structure (puits, latrine, tranchée de fondation…) ou modalités d'exhaussement d'un sol (Cammas 2004), évolution pédologique en place, décarbonatation, tassements…

Enfin, comme les processus pédo-sédimentaires ne sont pas limités à une seule US, mais affectent le plus souvent un ensemble d'US, l'enregistrement de certains caractères à l'aide de protocoles géoarchéologiques doit se faire de manière indépendante de la division du dépôt en unités. Cela permet de décrire l'impact différentiel d'un processus sur un ensemble d'US. Ce peut être par exemple le cas d'une chauffe (Desachy 2008, 65) ou d'un engorgement en eau (Fig. 1).

4.2 *L'espace ponctuel, l'espace en transects et l'espace en 3D*

Au-delà de la corrélation des enregistrements au niveau des unités stratigraphiques (US), les informations peuvent être mises en relation grâce à leur position relative dans l'espace.

Dans le cas d'US de gros volume, l'anisotropie évoquée ci-dessus peut révéler une organisation interne au dépôt à l'intérieur de ces interfaces. Le cas d'école par excellence est celui de la section 36 de Pincevent, au sein de laquelle des structures «latentes» peuvent être perçues, mais uniquement par analyse microtopographique de la distribution des constituants sur la surface (Leroi-Gourhan, Brézillon 1983, 325). Cette structuration "latente" des dépôts est systématique dans le cas de couches massives urbaines, les terres noires par exemple, comme pour la section 36 de Pincevent, mais cette fois en volume (en 3D). Le type de structuration peut être identifié par une analyse du degré d'agrégation des constituants: sont-ils fortement regroupés (ce qui serait déjà visible sur le terrain), modérément regroupés, aléatoirement distribués dans l'espace, ou bien régulièrement distribués? Comme évoqué plus haut, cette analyse statistique des groupements peut être faite à l'aide des coordonnées x, y, z des constituants directement, ou par leur position dans une grille spatiale qui échantillonne le volume (Fig. 5).

La structuration interne du sédiment urbain prend également tout sont sens à une échelle plus globale, celle de toute une opération, ou en comparant différentes opérations. Il est par exemple possible d'observer des gradients dans les caractères physico-chimiques ou dans la densité de constituants grossiers d'un point à un autre d'une opération (Guyard 2003; Gébus, Gama 2004).

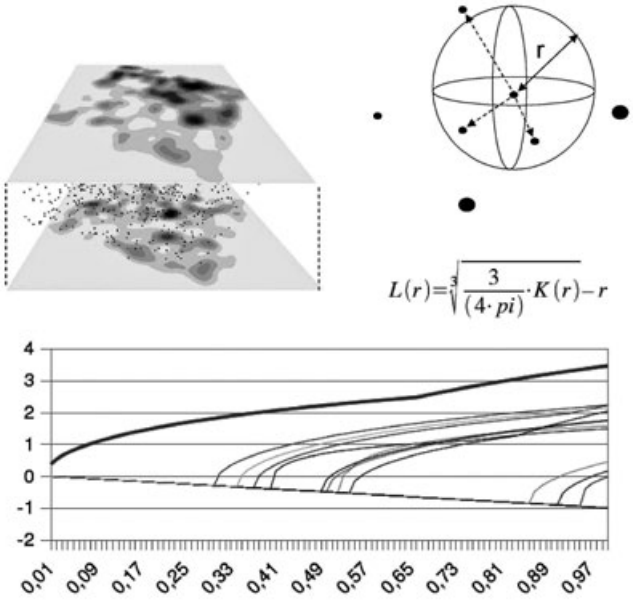


Fig. 5 – Géolocalisation en trois dimensions des constituants grossiers d'une couche massive de terres noires. La connaissance des coordonnées x, y, z des constituants grossiers permet d'en dessiner des cartes de densités (en haut à gauche), ou de calculer leur degré d'agrégation, par exemple avec l'indice de Ripley (en haut à droite). L'indice de Ripley permet de mesurer en trois dimensions l'écart entre la distribution observée et une distribution aléatoire (en bas). Ici, la courbe de la distribution observée (trait gras) est nettement au dessus de celles de plusieurs tirages aléatoires, pour un rayon de calcul de 0,01 m à 1 m. La distribution des constituants grossiers de cette zone de terres noires (ZAC-Amphithéâtre, Metz) est donc nettement agrégée, ce qui n'était pas perceptible sur le terrain.

Cette structuration est alors révélatrice d'une organisation particulière de l'espace, relativement à un élément structurant: axe de circulation, bâtiment… mais il n'est possible de la déceler que si l'enregistrement précis de caractères a été prévu au préalable: géoréférencement systématique, échantillonnage par passes et par mètre carrés, prospection géophysique (David, Broine, Thomas 2003).

Cette corrélation des données par l'espace est plus systématiquement entreprise sur l'ensemble d'une agglomération, afin d'interpoler des informations ponctuelles. L'utilisation des SIG est courante aujourd'hui pour réaliser ces interpolations, et la cartographie des épaisseurs sédimentaires urbaines peut être élaborée à l'aide des données enregistrées lors des d'opérations de sondages géotechniques et archéologiques (Depavf 1990-2002; Laurent 2007). Cette information est importante pour connaître les secteurs majeurs de sédimentation, de tassements ou d'érosion urbaine, à l'échelle de la ville. Bien qu'il soit parfois très difficile de corréler les différentes unités morpho-

stratigraphiques, l'analyse fine des différents faciès peut révéler des phases importantes de sédimentation ou d'érosion, comme la présence ou l'absence de terres noires ou les dynamiques hydrographiques et de formation des berges le long de transects (Schwien, Schneider, Watton 1998; Baudoux *et al.* 2002; Deschodt *et al.* 2006).

4.3 *Géomorphologie et contexte topographique*

A un autre niveau encore, les données géoarchéologiques sont corrélables avec les dynamiques géomorphologiques et avec les informations propres aux statuts et aux fonctionnalités des espaces urbains.

La relation entre dynamiques urbaines et géomorphologiques est abordée depuis quelques décennies déjà. Principalement initiée à Lyon (Arlaud *et al.* 1994; Bravard, Prestreau 1997), elle est entreprise autour de la coévolution des espaces urbains et des hydrosystèmes.

Pour finir, l'interprétation des données géoarchéologiques, réinsérée dans un cadre urbain historique, contribue à la connaissance des fonctionnalités et du statut des espaces, c'est-à-dire de la topographie historique. A Noyon par exemple, l'analyse micromorphologique de niveaux de terres noires situe pour le premier Moyen Âge des activités de parcages de grands herbivores dans l'espace *intra muros*, à proximité de bâtiments d'habitation et d'un axe de circulation important (Fig. 6).

5. Conclusion: Des systèmes intégrés

Finalement, s'attacher à définir un système d'enregistrement est aussi une manière de circonscrire les objets observés et les modalités envisageables de la description de ces objets. Pour le cas particulier de la géoarchéologie des contextes urbains, il parait alors crucial de décrire à la fois les unités discontinues de la stratification (US), et les processus continus, qui ne sont pas uniquement liés au contexte pédo-sédimentaires, mais aussi à la production sociale du sédiment urbain. Compte-tenu de la diversité des méthodes orchestrées dans une approche géoarchéologique, il paraît indispensable d'expliciter les jointures réalisables entre différents systèmes d'enregistrements, propres aux méthodologies mises en place.

Comme nous l'avons proposé, ces mises en relations peuvent se situer à différents plans: par défaut au niveau du discours, mais, plus souvent, elles peuvent se situer tout de même dans l'organisation conceptuelle et pratique de l'enregistrement. La prise en compte des limites des unités stratigraphiques, comme référence à l'échelle de l'opération archéologique, semble alors indispensable, tant d'un point de vue pratique qu'interprétatif. Pour d'autres échelles "hors opération archéologique", c'est l'espace – topographique et/ou topologique – qui constitue la passerelle entre les systèmes d'enregistrement.

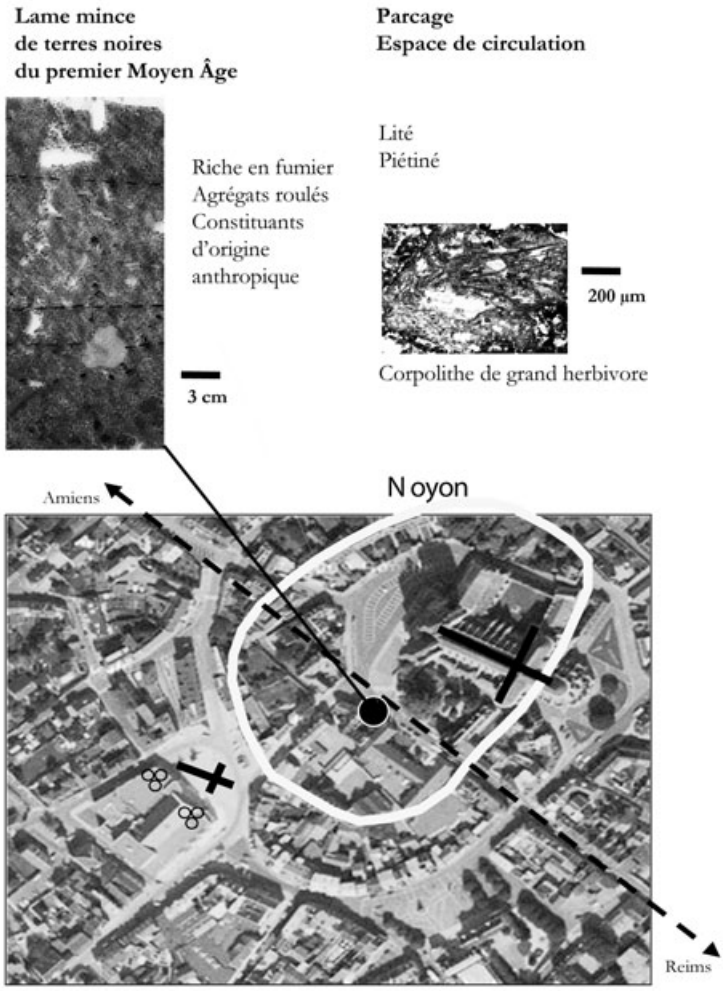


Fig. 6 – Fonctionnalité des espaces et topographie urbaine. L'analyse micromorphologique de la séquence de terres noires du premier Moyen Âge, rue de l'évêché à Noyon, a permis de proposer l'hypothèse de la présence de grands herbivores dans une aire de circulation. L'enregistrement de cette information, en tant qu'hypothèse informant la fonction et l'usage des espaces, est replacé dans le cadre topographique historique connu: espace *intra muros* de l'enceinte du *castrum* de l'Antiquité tardive, proximité de l'axe de circulation Reims – Amiens, proximité de structures domestiques (bâtiments).

Les quelques éléments que nous avons présentés montrent que des outils techniques simples et accessibles (tableur, SIG…) permettent de mettre en place ces jointures.

Corréler discontinu et continu, unités stratigraphiques et gradients, tout en explicitant clairement les rapports entre systèmes d'enregistrements,

apparaît donc comme une étape nécessaire du questionnement historique, tant dans l'étude de la relation entre l'urbain et son environnement, que dans l'approche de la production sédimentaire urbaine pour une période donnée: les terres noires du premier Moyen Âge par exemple.

Quentin Borderie
Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Équipe Archéologies environnementales

Stéphane Augry
Inrap

Cécilia Cammas
Inrap
UMR 5140 AgroParisTech

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement la cellule de topographie de l'Inrap Grand-Est-Nord, ainsi que B. Desachy, F. Gama, S. Siafi, L. Sanson, J. Abolivier, E. Fiabane.

BIBLIOGRAPHIE

Archéologie urbaine 1982, *Actes du colloque international de Tours (17-20 Novembre 1980)*, Paris, Conseil Supérieur de la Recherche Archéologique, Sous-Direction de l'Archéologie, Association pour les Fouilles Archéologiques Nationales.

Arlaud C., Burnouf J., Bravard J., Lurol J., Vérot-Bourrély A. 1994, *Lyon Saint-Jean: les fouilles de l'îlot Tramassac*, Lyon, Service regional de l'archeologie, Documents d'archéologie en Rhône-Alpes, 4, Série lyonnaise, 10.

Baudoux J., Flotté P., Fuchs M., Watton M.-D. 2002, *Carte archéologique de la Gaule, 67/2 – Strasbourg*, Paris, Académie des Belles-Lettres.

Borderie Q. 2011, *Bilan de la journée d'étude "Géoarchéologie de l'Urbain" du 29 octobre 2009, Institut d'Art et d'Archéologie de Paris*, «Les Nouvelles de l'archéologie», 112, 61-64.

Bravard J.-P., Prestreau M. (eds.) 1997, *Dynamiques du paysage: entretiens de géoarchéologie, Actes de la table ronde (Lyon, 17-18 Novembre 1995)*, Document d'Archéologie en Rhône Alpes, 15.

Bravard J.-P., Burnouf J., Vérot A. 1989, *Géomorphologie et archéologie dans la région lyonnaise: Questions et réponses d'un dialogue interdisciplinaire*, «Bulletin de la Société Préhistorique Française», 86, 10/12, 429-440.

Butzer K.W. 1982, *Archaeology as Human Ecology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982.

Butzer K.W., Miralles I., Mateu J.F. 1983, *Urban geo-archaeology in medieval Alzira (Prov. Valencia, Spain)*, «Journal of Archaeological Science», 10, 333-349.

Cammas C. 1994, *Approche micromorphologique de la stratigraphie urbaine à Lattes: premiers résultats*, in D. Garcia (ed.), *Exploration de la ville portuaire de Lattes, les îlots 2, 4-sud, 5, 7-est, 7-ouest, 8, 9, 16 du quartier Saint-Sauveur,* Lattara, 7, Lattes, A.R.A.L.O.

Cammas C. 2004, *Les "terres noires" urbaines du Nord de la France: première typologie pédo-sédimentaire*, in Verslype, Brulet 2004, 43-55.

Cammas C., Borderie Q., Desachy B., Augry S. 2011, *L'approche géoarchéologique de l'urbain*, «Archéopages», 31, 80-93.

Cammas C., Wattez J. 2009, *La micromorphologie: méthodes et applications aux stratigraphies archéologiques*, in J.-P. Bravard, C. Cammas, P. Nehlig, P. Poupet, *La géologie: les Sciences de la Terre appliquées à l'Archéologie*, coll. Archéologiques, Paris, Errance, 181-218.

CNRA (Conseil National de la Recherche Archéologique) 2002, *La Recherche Archéologique en France: Bilan 1995-1999 du Conseil National de la Recherche Archéologique,* Les Nouvelles de l'Archéologie, 22.

David C., Broine E., Thomas N. 2003, *Reconnaissances géophysiques ultra-fines: l'expérience de Rungis (94), et de Bussy-Saint-Georges (77), deux habitats du haut Moyen Âge*, «Archéopages», 10, 14-19.

Davidson D.A., Dercon G., Stewart M., Watson F. 2006, *The legacy of past urban waste disposal on local soils*, «Journal of Archaeological Science», 33, 778-783.

Documents d'Evaluation du Patrimoine Archéologique des Villes de France, Centre National d'Archéologie Urbaine, Paris, Edition du Patrimoine, 1990-2002.

Desachy B. 2008, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, Thèse de doctorat, Archéologie, Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00406241/fr/) [consulté 26 Apr 2011].

Deschodt L., Boulen M., Cercy C., Dessaux N. 2006, *Nouvelles données archéologiques sur la Deûle lilloise: d'une crise érosive du IIe s. ap. J.-C. à l'urbanisation du lit mineur*, «Revue du Nord», 88, 368, Université Charles-de-Gaulle – Lille, 3, 9-31.

Djindjian F. 1990, *Nouvelles méthodes pour l'analyse spatiale des sites archéologiques*, «Histoire & Mesure», 5, 1-2, 11-34.

Fechner K., Langohr R., Devos Y. 2004, *Archaeopedological checklists. Proposal for a simplified version for the routine archaeological record in Holocene rural and urban sites of Nord-Western Europe,* in G. Carver (ed.), *Digging in the Dirt: Excavations in a New Millennium,* Oxford, John and Erica Hedges Ltd, British Archaeological Reports, International Series, S1256, 240-256.

Fondrillon M. 2007, *La formation du sol urbain: étude archéologique des terres noires à Tours (4e-12e siècle)*, Thèse de doctorat en Histoire, Université François Rabelais – Tours (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00256362/fr/) [consulté 26 Apr 2011].

Gébus L., Gama F. 2004, *Le quartier de la Pierre-Hardie et l'îlot Turmel dans la ville de Metz en Lorraine: deux exemples d'études archéologiques des couches sombres attribuées aux IVe-XIIe siècles*, in Verslype, Brulet 2004, 135-144.

Guyard L. (ed.) 2003, *Le Collège de France: du quartier Gallo-romain au Quartier latin (Ier s. av. J.-C.-XIXe s.)*, Document d'Archéologie Française, 95, Paris, Maison des Sciences de l'Homme.

Harris E.C. 1979, *Principles of Archaeological Stratigraphy*, London-New-York, Academic Press.

Laurent C. 2001, *La "micro-archéologie": méthode et applications sur des sites de Wallonie et de la région Bruxelloise*, Thèse de doctorat, Histoire de l'art et d'Archéologie, Université Libre de Bruxelles.

Laurent A. 2007, *Evaluation du potentiel archéologique du sol en milieu urbain*, Thèse de doctorat, Histoire, Université François Rabelais – Tours (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00214256/fr/).

Leroi-Gourhan A., Brézillon M. 1983, *Fouilles de Pincevent: Essai d'analyse ethnographique d'un habitat magdalénien: la section 36*, 7e suppl. Gallia Préhistoire, Paris, Editions du CNRS.

Lopez J. 1991, *Bordereaux d'enregistrement et systématisation des données stratigraphiques*, in M. Py (ed.), *Système d'enregistrement, de gestion et d'exploitation de la documentation issue des fouilles de Lattes*, Lattara 4, 33-64.

Macphail R.I., Cruise G.M. 2001, *The Soil Micromorphologist as Team Player*, in P. Goldberg, V.T. Holliday, C.R. Ferring, *Earth Sciences and Archaeology*, New York, Kluwer Academic, 241-267.

Muxart T., Vivien F.-D., Villalba B., Burnouf J. 2003, *Des milieux et des hommes: fragments d'histoires croisées,* Paris, Elsevier.

Rosen A.M. 1986, *Cities of Clay, the Geoarchaeology of Tells*, Chicago, The University of Chicago Press.

Roskams S. 2001, *Excavation*, Cambridge, Cambridge University Press.

Schwien J.-J., Schneider N., Watton M.-D. 1998, *Le site naturel de Strasbourg et ses aménagements hydrographiques de l'Antiquité à l'époque moderne*, «Archéologie Médiévale», 28, 33-70.

Verslype L., Brulet R. (eds.) 2004, *Dark earth – Terres noires*, *Actes de la table ronde de Louvain-la-Neuve*, Louvain-la-Neuve, Université catholique de Louvain, Centre de Recherches d'Archéologie Nationale.

ABSTRACT

The geo-archaeological approach to the formation of urban strata has to deal with a high density and diversity of processes and deposits. The recording system used is generally very specific: pedologic registering forms, 3D geo-localization, etc. The records are difficult to quantify and to integrate into more common stratigraphic systems. Sometimes they are even considered useless or hardly understandable. The case study described here deals with micromorphological, stratigraphical and 3D organization of dark earth layers from French preventive excavations. It combines the use of a laser tachaeometer, a petrographic microscope, a spreadsheet and a GIS. The observations are analyzed by statistical and spatial methods. The results and the major difficulties are explained here. The system is focused only on a few elements that seem to be essential, because they help to read, register, analyze, interpret and communicate data.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 215-227

ACQUISITION ET ENREGISTREMENT DE DONNÉES À GRANDE ÉCHELLE EN ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE. OBSERVATIONS AUTOUR DES SYSTÈMES D'ENREGISTREMENT À L'INRAP

1. Systèmes d'enregistrement dans les opérations d'archéologie préventive, un bilan subjectif

Évoquer les systèmes d'enregistrement en usage à l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap) et avant lui à l'Association pour les fouilles archéologiques nationales (Afan) est un vrai défi, tant la diversité des usages, la diversité des agents, la diversité des missions et la diversité des conditions d'intervention sont abondantes.

L'Inrap, et avant lui l'Afan, grâce à ses agents, a toujours été un laboratoire pour les innombrables expériences, constructions, architectures. Introduisant toutes les nouveautés méthodologiques dans la pratique quotidienne de l'archéologie préventive, les archéologues de l'Institut œuvrent à la robustesse des outils, tout en conservant précieusement les anciennes solutions. Ainsi, de nombreuses réalisations fort intelligentes ont achevé leur course, abandonnées au fond d'un disque dur, après un test non réussi dans des conditions opérationnelles. D'autres solutions ont été transformées, voire dévoyées pour qu'elles puissent répondre aux exigences quotidiennes et renouvelées des archéologues de terrain. Mais aussi, d'utiles réalisations sont restées sans lendemain faute de constance. De cette myriade de solutions il se dégage une grande sensation d'hétérogénéité et, paradoxalement, une demande croissante d'outils performants permettant les échanges d'informations.

Dans cet article, il sera dressé succinctement un état de la question, bilan forcément subjectif, en termes de pratiques au sein de l'Institut, à la suite d'une mission confiée entre 2006 et 2009 par Pascal Depaepe, Directeur Scientifique et Technique de l'Inrap, et dirigée par Anne Speller, alors, responsable du pôle méthodes et qualités (Speller *et al.* 2008).

Trois pistes en guise de recherche d'harmonisation seront évoquées, l'une très brièvement autour de l'adoption de vocabulaires communs, l'autre concernant l'utilisation de noyaux structurels communs, enfin une troisième sera esquissée simplement pour signaler l'intérêt d'accompagner l'émergence d'une norme internationale.

Qui dit enregistrement suggère description et quantification d'un sujet, objet ou vestige, cette description est notre moyen de conserver la mémoire de notre observation archéologique.

Il s'articule au tour de quatre domaines: la description littérale, le relevé graphique, le relevé photographique et, c'est un point de vue discutable, la réplication par le modèle ou le moulage.

C'est principalement le premier domaine qui nous concerne dans cet article, même si l'évolution des médias numériques permet aujourd'hui de combiner les quatre aspects dans un même support. Et c'est dans cette gestion "multi-conceptuelle" qu'on peut atteindre la notion de système d'information archéologique.

Le sujet est si vaste qu'il mérite qu'on l'aborde par tant d'approches, de facettes et de nuances.

On ne peut dresser ici qu'un bilan partial et partiel d'une réalité encore plus subtile et complexe.

2. Données pour un bilan

Entre 2006 et 2008 une trentaine de centres archéologiques de l'Institut ont été visités. Ces rencontres en région ont été utilisées plus comme des révélateurs des pratiques que comme des enquêtes valides du point de vue statistique, permettant plutôt d'illustrer et d'apprécier une réalité décrite par les acteurs régionaux que de la quantifier.

Regroupant plus de 210 agents de l'Inrap[1], les réunions organisées pour ce bilan ont été l'opportunité d'échanger autour du thème de l'enregistrement. L'approche demeure toutefois subjective car elle concerne des personnes en très grande majorité sensibilisées à l'enregistrement. Néanmoins, Ces rencontres ont été très fortement orientées par la nécessité de répondre aux nouvelles normes réglementaires et notamment l'arrêté du 16 septembre 2004 portant définition des normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issu des diagnostics et fouilles archéologiques (NOR: MCCB0400762A) et surtout celui du 27 septembre 2004 portant définition des normes de contenu et de présentation des rapports d'opérations archéologiques (NOR: MCCB0400702A)[2].

3. Une approche essentiellement opérationnelle

L'activité d'enregistrement se situe fondamentalement dans un environnement "opérationnel". L'unité de recueil documentaire est, en effet, l'opération archéologique et tout concourt pour accroître cette prévalence: désignation du

[1] Je tiens à remercier ici vivement tous les collègues, agents de l'Inrap qui ont participé à ces rencontres dans les centres archéologiques de l'Institut et les AST qui ont relayé régionalement cette mission.

[2] Pour les arrêtés de septembre 2004: JORF n°226 du 28 septembre 2004 page 16681 – texte n° 45 (http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000627559) et JORF n°240 du 14 octobre 2004 page 17531 – texte n° 39 (http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000628726&dateTexte=).

responsable d'opération, rédaction du rapport, remise de la documentation scientifique constituée durant l'opération, isolation des lots de mobilier etc. L'ensemble du cadre réglementaire s'applique donc à l'unité opérationnelle que ce soit en fouille ou en diagnostic. La notion de "site archéologique" n'est plus abordée comme la composante principale mais comme une agrégation et l'articulation fondamentale du discours archéologique devient ainsi une abstraction.

4. Les modes d'enregistrement les plus fréquents

Les unités d'enregistrement utilisées le plus fréquemment au sein d'une opération répondent aux manifestations de l'évolution de la discipline ces trente dernières années avec une prise d'information "contextualisée".

L'unité de description documentée varie selon le type d'intervention, suivant l'école ou la tradition archéologique d'où sont issus les chercheurs responsables d'opération mais aussi, et surtout, en fonction de la meilleure adaptabilité possible à l'objectif assigné.

Quelques grandes "familles" d'enregistrement se distinguent, et citerai simplement les 5 principaux aspects qui cohabitent, et qui, comme l'expose B. Desachy (Desachy 2008), ne sont finalement, pour la plupart d'entre eux, que des sous-ensembles d'une même évolution de la discipline: l'enregistrement par structures; l'enregistrement par unités stratigraphiques, selon l'acception archéologique du concept; l'enregistrement en archéologie du bâti; l'enregistrement des structures préhistoriques (dit enregistrement ethnographique); l'enregistrement funéraire etc.

Il faudrait tenir compte aussi dans cette liste par grandes familles des outils d'enregistrement liés aux approches des spécialistes comme, par exemple, les géomorphologues.

La multiplication des opérations de diagnostic, qui devient la principale activité de certains agents de l'institut, a conduit aussi à l'émergence des supports d'enregistrement spécifiques profondément liés au type d'intervention. Ici le recours aux concepts de l'enregistrement est souvent condensé ou résumé avec des carnets de terrain pré-formatés, un choix de rubriques limitées, des listes simplifiés et souvent articulé autour de l'unité d'observation opérationnelle qu'est la tranchée.

5. Support pour l'acquisition de l'information

Quelque soit le type de mode d'approche, le principal media de l'enregistrement des données archéologiques reste un support de papier millimétré ou de calque polyester, où l'archéologue relève les vestiges et porte les annotations servant à la description des couches. Le carnet de terrain demeure aussi une source primordiale pour l'élaboration des rapports.

Néanmoins, le recours aux fiches d'enregistrement est systématique et privilégié pour les opérations de fouille ou de diagnostic à multiples intervenants, ou pour les opérations complexes même de petite envergure. Près d'une centaine d'exemplaires de modèles distincts de fiches d'enregistrement ont été recueillis durant ma mission. Il reste un travail de synthèse à faire à partir de cette documentation.

6. L'informatisation des données et les systèmes d'enregistrement

Si l'informatisation est de plus en plus généralisée, elle a en réalité démultiplié les tâches liées à l'illustration et à la mise au net de la documentation graphique ou à la gestion des clichés numériques, au détriment de la réflexion sur les systèmes d'enregistrement, trop rébarbatifs et abstraits. Le fort attrait pour les outils de type SIG est aussi à chercher, par similitude, dans leur aspect graphique. D'une manière générale, et en très peu de temps, il est devenu impensable de gérer la rédaction et l'illustration des rapports sans support informatique. La constitution de fonds documentaires descriptifs ou la réalisation d'inventaires restent néanmoins des tâches jugées ingrates.

7. À partir de quel seuil on a recours à un système d'enregistrement?

Le recours à des outils d'enregistrement de données n'intervient toutefois qu'à partir d'une certaine échelle. Il est incongru pour un agent responsable d'opération d'avoir recours à une base de données pour un minuscule diagnostic ou une opération de fouille de quelques jours. En effet, en archéologie préventive, les opérations ponctuelles participent très rarement d'une approche globale, cumulative ou territoriale de longue haleine.

Néanmoins, lorsqu'un enregistrement est prévu, la logique de l'enregistrement répond exclusivement aux questionnements du responsable d'opération, tant pour des problèmes pratiques de gestion de la documentation, préparation des inventaires du rapport, que pour des problèmes scientifiques (adoption de nomenclatures, cohérence des descripteurs, constitution de corpus de comparaison). Les choix des rubriques descriptives et des vocabulaires associés répondent alors aux questionnements que l'archéologue responsable d'opération a pour habitude d'utiliser ou qui sont dans le domaine courant d'utilisation dans son environnement scientifique et professionnel

8. Quelques exemples intégrés précurseurs

Le déploiement des solutions intégrées recherchant à combiner les données de l'enregistrement de terrain, des décomptes de mobilier et des inventaires de la documentation scientifique sont issues majoritairement des

transcriptions informatiques des préceptes de l'enregistrement stratigraphique à la fin des années 80 et début des années 90[3]. Les applications citées par la suite correspondent à des applications élaborées dans des cadres "programmés" puis qui ont été utilisées effectivement en contexte préventif.

Archéodata[4] (CNRS & Afan)	Île-de-France, Midi Pyrénées [bases franciliennes]
Arsol[5] (CNRS Univ. Tours)	Tours et quelques opérations urbaines en région Centre et Poitou-Charentes [Tours]
Julie[6] → intégrée au SIGRem/GISAR[7] (SRA Champagne-Ardennes & Afan)	Reims, région rémoise [Reims]
SysDA[8] (Ville de Chartres)	Chartres, certaines opérations de la région Centre [Saint-Cyr-en-Val]
Syslat[9] (CNRS, Lattes)	Lattes, Nîmes et sa région, quelques portages en dehors de ces régions (Île-de-France, Pays de La Loire, Alsace, Rhône-Alpes, Midi Pyrénées,…) [Nîmes, Lattes, Pézenas]
VDA[10] (CNRS, Vallée de l'Aisne, Univ. Paris I)	Picardie [Soissons]
Base DFS[11] (SRA Aquitaine)	Aquitaine [Pessac]
et tant d'autres[12]…	…

Enfin, il est à noter qu'il est rarement fait référence aux solutions étrangères comme Intrasis, IADB, CAPA+ parmi tant d'autres.

On peut être étonné du faible impact des outils dits "généralistes", s'approchant de la notion de Systèmes d'Information Archéologiques, qui à l'exception de Syslat n'ont pas réellement constitué une descendance et une "famille" d'utilisateurs et tout au plus créé des petites "congrégations" autour

[3] Pour un historique et une recension détaillée des principes et des concepts à l'origine de tous ces principaux systèmes, les thèses de M. Arroyo-Bishop en 1990, de Mme A. Chaillou en 2003 et de M.B. Desachy en 2008 constituent les principales sources.

[4] Arroyo-Bishop 1990; Arroyo-Bishop, Lantada Zarzosa 1990.

[5] Galinié *et al.* 2005. Je remercie X. Rodier de m'avoir fait partager l'évolution constante de cet outil.

[6] Base de données sous 4D, programmée en 1988/1989 à l'Afan – présentée en 2006 par Agnès Balmelle au centre archéologique de Reims (Inrap, Grand-Est Nord).

[7] Cirar 2005; Pargny 2008.

[8] Programmation de D. Joly – directeur du Service archéologique Municipal – Maison de l'Archéologie de la Ville de Chartres.

[9] Py dir. 1991, Py dir. 1997 et toutes les nouvelles des versions publiées régulièrement sur le web par M. Py http://syslat.net/forum/. Ce programme reste de loin le meilleur exemple de prise en compte des préoccupations liées à la pratique de l'archéologie préventive sans compromettre la cohérence méthodologique.

[10] Application sous FileMakerPro, présentée par l'équipe du centre archéologique de Soissons (Inrap, Nord, Picardie).

[11] Rouzeau 2008 et dès 1998: http://www.culture.gouv.fr/culture/mrt/numerisation/fr/seminaire_du_161198/projet_n07.htm.

[12] D'autres applications "généralistes" ont été évoquées, notamment en Rhône-Alpes autour d'un projet de base de données documentaire en lien avec les services de l'État.

des développeurs ou des outils. Le tour d'horizon réalisé révèle néanmoins l'existence de quelques "points d'ancrage" régionaux liés aux lieux de développement[13].

9. Solutions circonstancielles

Parallèlement, les opérations de grande envergure ont conduit à l'émergence de solutions propres réalisées par les archéologues de l'Afan puis de l'Inrap, notamment grâce à l'implication de certaines coordinations et notamment à Marne La Vallée[14], sur l'autoroute A 87 (avec Sispeo[15]), sur les parkings de Lyon et le Tramway de Montpellier[16], ou plus près de nous sur la A19[17] (Archdatop), la LGV Rhin-Rhône[18], reprises pour la LGV Est ou tout dernièrement pour le Canal Seine-Nord-Europe[19]. Cette énumération est très incomplète, tellement la création de nouveaux outils a été favorisée par la structuration même de ces grandes opérations.

10. Solutions dérivées, individuelles et originales

À cette liste il faut aussi ajouter la myriade de réalisations effectuées par les équipes de l'Afan, puis de l'Inrap pour supporter les enregistrements de leurs opérations "courantes", que ce soit de petite, moyenne ou de grande ampleur. La dynamique crée par les équipes ayant recours à un outil approprié au contexte local constitue ainsi le meilleur ferment.

L'importance des filiations et de l'appropriation dans le cadre d'un projet de recherche ou territorial de longue haleine est fondamentale dans la maintenance et la survie des applications. Le rapprochement avec des solutions existantes est privilégié dès lors que l'avantage peut être exploité dans la production des rapports de fouille en termes d'échanges de données. Il s'agit

[13] Depuis cette enquête l'émergence de solutions autour d'une nouvelle évolution du Syslat, désormais déclinée en une version serveur a produit un nouvel élan dans l'utilisation de ce système.

[14] Base de données réalisée sous FileMakerPro par J. Barrera en 1990 (Inrap Méditerranée).

[15] Base de données réalisée sous FileMakerPro par P. Viallet (Inrap Grand Ouest), P. Mercier (Ville de Nantes).

[16] Bases de données bâties sous 4D par M. Hammache (Inrap, Rhône-Alpes, Auvergne) pour les fouiles des parkings de Lyon et du Tramway de Montpellier dirigées par C. Arlaud à la fin des années 80 et durant les années 90.

[17] Réalisation d'un système de gestion des données de terrain sous FileMakerPro par F. Langry-François-Langry (Inrap, Centre-Île-de-France).

[18] Présentation des outils sous FileMakerPro par D. Watts et Y. Virlogeux (Inrap Grand-Est Sud) au séminaire Inrap sur la chaîne graphique, 2006.

[19] Réalisation d'une base de données sous access par C. Font, A. Bolo, A. Fontaine, G. Hulin, S. Mazet, S. Rassat en 2009 (Inrap, Nord, Picardie) – poster présenté au CAA 2010 de Grenade.

donc à chaque fois d'exemples localisés, pérennes soutenus par des cadres institutionnels avec un territoire bien défini et une constance administrative.

11. Des inconvénients…

La diffusion des logiciels de gestion de bases de données, utilisés comme des outils standard, a ainsi effectivement servi d'appui à un nombre incalculable de constructions. Le point de départ étant, finalement, la transcription "graphique" de l'habituelle fiche d'enregistrement, à laquelle la plupart des modes d'enregistrement se réfère. Traduire ce support papier dans une base de données n'est pas un exercice anodin, et a constitué le point de départ de beaucoup d'expériences et d'apprentissages des logiciels.

Quoi qu'il en soit, institutionnel, intégré ou spontané, très peu d'outils se réfèrent à un quelconque formalisme (Merisse, UML, HDBS, etc…). La plupart des constructions excluent toute documentation, ignorent les métadonnées, s'appuient sur des structurations approximatives et surtout sont bâties sur des outils obsolètes. Des incohérences apparaissent également lors du recours à des langages, *thesaurus* et autres outils documentaires. Enfin, des disparités de conception conduisent à des outils de plus en plus divergents, comme des outils orientés sur les données graphiques, d'autres sur des données textuelles, ou encore fondés sur des données géoréférencées.

Enfin l'absence de recherche d'une durée de vie satisfaisante, de protocoles de préservation des données cohérents pour les outils dont on a mis longtemps à les créer les renseigner, les exploiter font courir de grands dangers de pérennité…

12. … Et quelques avantages?

Toutefois, il est troublant de constater qu'à l'échelle de leur utilisation, les solutions les moins "correctes" fonctionnent! Par sa diffusion et sa facilité d'emploi, FileMaker est ainsi devenu le seul outil qui ait gagné l'adhésion des archéologues bien au delà de l'archéologie préventive et pour lequel il existe une formation affichée dans le plan de formation de l'Inrap. Les autres programmes, 4D, Microsoft ACCESS, MySQL et autres ne sont généralement connus que par quelques agents et restent à un niveau d'utilisation quasi anecdotique[20]. En revanche, ces logiciels qui exigent une plus grande rigueur dans la construction et dans la formalisation de la structuration des données ne sont pour ainsi dire pas généralisés.

[20] La présentation de S. Poignant (Inrap, Centre, Île-de-France) (S. Poignant dans cet ouvrage) illustrant une de ces expériences confidentielles.

Dans leur domaine de diffusion, les différents outils bénéficient de l'assistance du ou de leurs "concepteurs". Ils sont suffisamment simples pour ne pas dépendre d'une infrastructure qui n'est pas toujours disponible et ces outils bénéficient d'une capacité d'adaptation qui, si elle compromet les échanges (mais qui veut échanger quand on doit imprimer à toute vitesse l'inventaire) permet de résoudre immédiatement la question posée.

13. Suggestions pour l'harmonisation des outils

En tant qu'institut national, l'Inrap doit répondre aux exigences légales dans un cadre harmonisé et faciliter la convergence des différents outils. Ils doivent permettre de restituer à la communauté scientifique les données qui ont été recueillies lors des interventions d'archéologique préventive et asseoir les résultats analytiques sur des corpus de documentation cohérents et correctement répertoriés. Il doit aussi faciliter la tâche des ses agents en proposant des solutions adaptées aux différentes contraintes d'intervention.

En arrière plan il faut garder en mémoire que:

1 – l'archéologie est une discipline scientifique: l'enregistrement des données, quel qu'il soit, est l'outil critique par excellence qui permet à quiconque de retrouver les particules élémentaires ayant servi à la construction du discours.
2 – l'archéologie est une discipline qui s'exerce dans un contexte "patrimonial": les outils d'enregistrement doivent produire des inventaires qui relèvent alors du catalogage des ressources culturelles, ils doivent répondre à des normes reconnues.

Or, dans l'activité quotidienne de l'Inrap, cette double exigence s'applique et les outils doivent répondre à l'une et à l'autre des approches, même si elles ne se complètent, ne se superposent, ou ne se rejoignent pas toujours. Difficile de concevoir avec ce double univers et dans la myriade de facettes de la discipline une solution unique et universelle.

14. Harmonisation par le recours à des vocabulaires communs

14.1 *Indexation de la production de l'institut*

Afin de mieux s'intégrer dans les outils d'indexation de la discipline, l'Inrap, dans le cadre de sa politique scientifique a fait le choix de recourir aux thesaurus PACTOLS du réseau Frantiq pour l'indexation des rapports et de la documentation scientifique produite par l'Institut. Le catalogue commun mis en ligne, DOLIA[21], s'appuie donc sur ce travail de description par

[21] http://www.inrap.fr/archeologie-preventive/La-Recherche/Bibliotheque-scientifique/Catalogue-Dolia/p-8626-Presentation-du-catalogue.htm.

mots-clés réalisé dans les centres documentaires des centres archéologiques de l'institut.

14.2 *Utilisation des listes de termes de l'application Patriarche*

L'indexation par l'usage des listes de mots clés de l'application Patriarche du Ministère de la Culture continue à être en vigueur, puisqu'elle répond à la nécessité d'aider à établissement de la carte archéologique nationale.

14.3 *Encouragement à l'émergence de vocabulaires spécialisés partagés*

L'institut, dans sa politique de recherche, favorise aussi l'émergence d'axes de recherches à échelle nationale s'appuyant sur des thématiques chronologiques ou diachroniques. Les équipes de recherche sont inter institutionnelles et ont un domaine d'application ciblé ce qui permet une grande communauté de vue: habitats du second âge du Fer, enquête sur les habitats de l'âge du Bronze et l'enquête funéraire. Pour le propos de leur recherche ils ont établi ou constituent progressivement des listes de vocabulaires appropriés. Ainsi, l'un des résultats de ces enquêtes nationales des axes de recherche est la constitution de corpus documentaires décrits selon un vocabulaire largement partagé du moins moins par les spécialistes de la discipline concernée.

15. Harmonisation par la promotion d'un socle commun

15.1 *Utilisation des inventaires réglementaires obligatoires pour définir un socle commun*

La consultation des fiches d'enregistrement et des outils mis à disposition par les archéologues de l'Inrap durant les déplacements dans les centres archéologiques a permis d'observer un fond commun. Même s'il est difficile de comparer toutes les rubriques de si nombreuses solutions, un grand nombre de champs sont partagés. Cette communauté potentielle entre les différentes formes, avait également été mis en avant dans la thèse d'Anne Chaillou à partir de l'analyse de quelques exemples[22]. Elle est confrontée dans la pratique de l'institut à un effet de masse que la multiplication des variantes et des facettes de la discipline ne fait qu'accroître. Aussi, plutôt que de chercher une solution structurelle unique, il a été préféré de privilégier l'analyse des éléments communs indispensables à une restitution conforme aux exigences réglementaires.

La recherche d'une harmonisation s'est appuyée sur la nécessité de produire, au terme des opérations archéologiques, des inventaires complets

[22] Chaillou 2003; 5 outils "génériques" sont principalement abordés et comparés dans cette étude: SysDa, Syslat, BdB, base DFS, Archéodata?

de la documentation scientifique et du mobilier. Le cadre réglementaire fixe, en effet, depuis 2004, 7 inventaires techniques qui doivent accompagner les rapports de fouille. Le contenu de ces inventaires est sommairement détaillé dans les arrêtés eux-mêmes. Le socle commun à bâtir doit pouvoir permettre de répondre à ces exigences.

Une première étape dans ce sens a été franchie en réalisant un séminaire interne qui a permis de valider les rubriques à mettre en commun, parfois au-delà des champs précisés dans les arrêtés, mais qui serait commune à l'ensemble des opérations. Cela peut constituer une première base pour un cahier de préconisations pour que les différents outils employés puissent être validés grâce à leur aptitude à répondre aux obligations réglementaires. Néanmoins, les exigences de contenu variant d'une région à une autre, la prise en compte de ces diversités risque de ne pas pouvoir être respectée.

15.2 *Participation aux réflexions du Ministère de la Culture sur les Données Minimales d'Échange*

Avant de parvenir à une phase plus active, l'Inrap s'est associé à la démarche similaire conduite par le Ministère de la Culture à une échelle plus générale. Cette mission confiée par le Ministère à Anne Chaillou (Chaillou dans cet ouvrage) allait dans le même sens que les réflexions de la direction scientifique et technique de l'Inrap et poursuivait les réflexions entamées lors du séminaire de 2006[23].

La mission dépassait nécessairement le cadre des simples inventaires obligatoires en archéologie préventive. Cependant le découplage compréhensif, entre les exigences du niveau des échanges entre opérateurs, services de l'État et les autres niveaux (Musées, Centres de Conservation et d'Étude – CCE), ne permet pas de résoudre le problème des divergences régionales ni de l'accroissement des contraintes opérationnelles. En élargissant le champ d'application des données minimales d'échange, avec une structuration très orientée, en les dissociant des inventaires de la 3e section du rapport final d'opération mentionnés par le décret de 2004 et en forçant à l'emploi de nouvelles listes fermées le discours d'harmonisation revêt de nouveau une tonalité directive.

Pour l'instant cette approche combinant les données minimales d'échange reste, pour l'Inrap à niveau très expérimental.

15.3 *Harmonisation par le recours à une ontologie de domaine: la norme ISO 2117:2006 – CIDOC CRM*

Il reste une option, parmi tant d'autres, évoquée assez peu durant ces dernières années, qui permettrait une convergence par le sens et non plus par

[23] Gestion de la documentation scientifique et des mobiliers 2008.

la structure en obligeant à formuler les enregistrements archéologiques de manière explicite dans le cadre d'une ontologie de domaine.

Ce modèle conceptuel de référence, le CIDOC-CRM, est un outil bâti par le centre de documentation (CIDOC) des conseil des musées (ICOM) de l'UNESCO et aujourd'hui validé sous la norme internationale ISO 21117:2006[24] pour traiter l'ensemble des données du monde du Patrimoine Culturel. Ce modèle trouve des domaines d'application dans tout l'environnement archéologique[25]. Il vise à expliciter sans ambiguïté le sens des informations relatives à un "objet de musée" dans l'acception la plus large du terme (œuvre d'art, vestige archéologique tel qu'un clou ou un four à pain, corps momifié, fleur séchée ou animal empaillé, mais aussi quelque chose qu'il est matériellement impossible de conserver à l'intérieur d'un musée mais qu'une institution du patrimoine culturel peut gérer, comme un monument ou un site tel qu'une grotte préhistorique), et ce, quelle que soit la structure des données qui véhiculent ces informations.

Le formalisme orienté objet a été préféré car il permet de donner une vue d'ensemble sans s'encombrer de détails superflus, par le biais du mécanisme des "héritages". Il est aisément gérable et extensible et ne préjuge d'aucun mode d'implémentation concrète, car il est tout à fait possible de construire une base de données relationnelle à partir d'un modèle orienté objet.

Comme modèle sémantique on peut insister sur le fait que le CRM s'attachera à faire émerger la signification réelle de ce qui est "implicite" et "évident". La mention "de domaine" indiquant une restriction, une limitation à cette entreprise ontologique. Elle permettrait ainsi de cibler l'effort pour définir, non pas tout, mais "seulement" tout ce qui présente un caractère de pertinence par rapport à la documentation archéologique.

Le recours à la norme ISO 21117:2006 permettrait d'obtenir une description explicite, grâce à un vocabulaire standardisé, une déclaration formelle des objets conceptuels, d'autres classes d'information et les relations qui les relient. Il nécessite deux opérations de base: définir les concepts qui constituent les classes, et d'identifier les propriétés, à savoir les relations entre celles-ci.

On peut utiliser les modèles des bases de données relationnelles dans cet esprit "orienté objet" en respectant les codes définis par le CRM.

Le cheminement vers une conformité avec cette norme internationale peut être progressif, et comme cette norme n'influe pas sur le contenu des rubriques, la plupart des enregistrements peuvent être progressivement convertis dans ce cadre. Des expériences réalisées dans le cadre du réseau Epoch[26] ont conduit à l'élaboration d'outils (comme notamment l'application MAD

[24] http://www.cidoc-crm.org/.

[25] Les lignes qui suivent s'inspirent notamment à l'article de M. Patrcik Lebeouf disponible dans les sources documentaires du site CIDOC-CRM.

– Managing Archaeological Data) permettant de transcrire certains des systèmes d'information archéologiques comme une ancienne version Hypercard du Syslat (D'Andrea 2006).

16. Conclusion

La multitude d'outils employés au sein de l'Inrap pour effectuer l'enregistrement des données de terrain est le fruit d'une adaptation des méthodes conduite depuis plus d'une vingtaine d'années. La poursuite de la recherche des solutions d'harmonisation de ces outils, outre de fournir un contexte de travail aisément partageable permettrait de reconnaitre l'énorme richesse des données accumulées par les équipes opérationnelles des chercheurs de l'Institut.

Il resterait à savoir quelles pistes peuvent être privilégiées en sachant qu'elles ne sont ni exclusives ni uniques.

Cependant, il ne faudrait pas oublier que les responsables d'opération réalisent souvent seuls et de manière optimale, leurs outils et les font partager au mieux de leurs possibilités à leurs collègues créant un environnement méthodologique commun. Il leur manque plus des solutions pour leur permettre de pérenniser leurs données, les stocker, les partager que de s'assujettir à de nouvelles contraintes.

Pablo Ciezar
Inrap
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Équipe Archéologie de la Gaule

BIBLIOGRAPHIE

Arroyo-Bishop D. 1990, *Le système ARCHEODATA: enregistrement, analyse et conservation du document archéologique européen*, Thèse de doctorat de Préhistoire – Université de Paris I.

Arroyo-Bishop D., Lantada Zarzosa M.T. 1990, *L'informatisation des grandes fouilles urbaines et des chantiers archéologiques de sauvetage*, «Brises – Bulletin de recherches sur l'information en sciences économiques, humaines et sociales», 15, CNRS – INIST, 5-15.

Chaillou A. 2003, *Nature, statut et traitements informatisés des données en archéologie: les enjeux des systèmes d'informations archéologiques*, Thèse de doctorat des mondes anciens – Université Lumière – Lyon 2 – Maison de l'Orient Méditerrannéen (http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00137986/).

CIRAR 2005, *Géomatique, archéologie urbaine, valorisation du patrimoine: autour du projet SIGRem (système d'information géographique de la cité des Rèmes),* journée du 9 Juin 2005 à la Maison de la recherche, université de Reims Champagne – Ardenne, organisée par Centre Interinstitutionnel de Recherches Archéologiques de Reims (Université, Ministère de la Culture, INRAP), document de réunion reprographié.

[26] The European Network of Excellence on ICT Applications to Cultural Heritage: http://www.epoch-net.org/.

D'Andrea A. 2006, *Documentazione archeologica, standard e trattamento informatico*, Strumenti 2, Budapest, 47-52 (http://public-repository.epoch-net.org/publications/andrea/andrea.pdf).

Desachy B. 2008, *De la formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, Thèse de doctorat – Université de Paris I (http://hal-paris1.archives-ouvertes.fr/tel-00406241/en/).

Galinié H., Husi P., Rodier X., Theureau C., Zadora-Rio E. 2005, *ARSOL – la chaine de gestion des données de fouilles du Laboratoire Archéologie et Territoires*, «Les petits cahiers d'Anatole», 17, 2005 (http://www.univ.tours.fr/lat/Pages/F2.htm).

Gestion de la documentation 2008, *Gestion de la documentation scientifique et des mobiliers issus des opérations archéologiques dans le cadre de la réglementation actuelle*, *Actes du séminaire au Centre archéologique européen du Mont-Beuvray Glux-en-Glenne (Nièvre, 25-27 Septembre 2006)*, Paris, Ministère de la culture et de la communication, Direction de l'architecture et du patrimoine, Sous-Direction de l'archéologie, de l'ethnologie, de l'inventaire et du système d'information (http://www.culture.gouv.fr/culture/dp/archeo/pdf/bibracte_2006.pdf).

Lebœuf P. 2003, *Le modèle CRM pour la documentation muséographique: s'attacher au sens pour n'être pas piégé par la forme*, *Journée d'étude organisée par l'ADBS: "La modélisation: pourquoi l'intégrer dans les systèmes d'information documentaire?" (Paris-La Défense, 20 Mai 2003)* (http://www.cidoc-crm.org/docs/adbs_crm.pdf).

Py M. (dir.) 1991, *Système d'enregistrement, de gestion et d'exploitation de la documentation issue des fouilles de Lattes,* Lattara 4, Lattes, A.R.A.L.O.

Py M. (dir.) 1997, *SYSLAT 3.1, Système d'Information Archéologique – manuel de référence*, Lattara 10, Lattes, A.R.A.L.O.

Rouzeau N. 2008, *L'application "DFS", une réponse aux arrêtés des 16 et 27 septembre 2004*, in *Gestion de la documentation* 2008, 50-59.

Speller A., Bellan G., Bryas E., Ciezar P. 2008, *L'INRAP et les nouvelles dispositions relatives à la gestion du mobilier et de la documentation scientifique*, in *Gestion de la documentation* 2008, 106-115.

Pargny D. 2008, *Le SIG (SIGREM et ATLASMED): un outil générateur d'évolution des pratiques en parallèle à la mise en place des projets*, «Archeologia e Calcolatori», 19, 167-172 (http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF19/13_Pargny.pdf).

ABSTRACT

General principles of recording data in archaeology, developed and consolidated during the past thirty years have spawned a multiplicity of conceptual models and robust software solutions.Inrap, as the main actor at the national level, must foster the harmonization of different approaches to the recording of data in order to improve methods of collecting and sharing data. The paper shows the different solutions and main tools for data capture being applied by the excavation team managers of the Institute, considering the particularities of these tools such as origin, method, type of field, and scientific questioning. Moreover, the adjustments to which these tools are being subjected in order to fit different situations are presented. The focus is on an ongoing project to establish progressive convergence among the possible approaches, including the promotion of the development of a conceptual platform shared with the Ministry of Culture, which would allow a "branding" of various databases. The use of a standard like like the CIDOC-CRM, the international standard of reference for the exchange of information on cultural heritage, could serve as a reference.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 229-237

HARMONISATION DES MÉTHODES ET OUTILS POUR L'INFORMATION ARCHÉOLOGIQUE À L'INRAP: CONSTATS, ENJEUX ET PERSPECTIVES POUR UN ÉTABLISSEMENT NATIONAL

1. Introduction

Depuis plus de 30 ans, l'archéologie a multiplié l'usage de méthodes et d'outils pour acquérir, traiter et restituer l'information archéologique sous forme numérique. Cet article vise, d'une part, à présenter une réflexion sur l'expérience à l'Inrap dans ce domaine et d'autre part, à mettre en perspective les actions en cours et projets envisagés, tout en insistant sur les conditions et difficultés pour parvenir à une harmonisation des méthodes et des outils. Cette dernière condition est incontournable pour améliorer les pratiques et l'évolution des métiers et, au-delà, la qualité du raisonnement archéologique au sein de l'institut.

2. L'enregistrement numérique des données archéologiques: une histoire de plus de 30 ans

2.1 *Une histoire accompagnée de l'hétérogénéité des pratiques, des méthodes et des outils mobilisés*

L'évolution des dispositifs techniques adaptés, utilisés ou développés spécifiquement pour les opérations archéologiques et l'exploitation des résultats est d'abord l'histoire d'une très forte hétérogénéité des pratiques, des outils et des méthodes.

Ce constat n'est pas propre à l'Inrap et il peut s'appliquer à l'ensemble de la communauté archéologique française, voire au-delà des frontières. Il s'inscrit dans un cadre général d'un changement profond des pratiques, des méthodes et des outils mobilisés par les archéologues depuis plusieurs décennies (*Carte archéologique du Cher* 1979; Djindjian 1986) parmi lesquels:

– la sériation matricielle, la diagonalisation;
– l'utilisation des calculateurs (statistiques, approches quantitatives);
– le développement de la micro-informatique qui s'est traduit par une démocratisation des accès, une multiplication des progiciels et des développements spécifiques et le plus souvent "artisanaux" et propres aux besoins d'une opération ou d'une thématique particulière, difficilement réutilisables dans d'autres contextes.

Au cours des dernières décennies, force est de constater que l'évolution des activités associées à l'enregistrement et à l'analyse des données archéologiques s'est inscrite dans le cadre d'une évolution très rapide du contexte

technologique où l'informatique a pris une place de plus en plus prédominante (Djindjian 1991; Chaillou 2003; Demoule *et al.* 2009).

On peut retenir de ces divers dispositifs, dont certains sont toujours utilisés aujourd'hui, qu'ils ont eu, en leur temps, leurs défenseurs acharnés, leurs gourous, leurs détracteurs mais aussi une "majorité silencieuse" d'observateurs dubitatifs voire sceptiques et de non-utilisateurs qui ont continué à être adeptes de pratiques et méthodes "traditionnelles". Ne citer que certains de ces dispositifs se fait au détriment d'autres, souvent moins connus et moins utilisés, mais ce qui ne veut pas forcément dire moins pertinents.

La multiplicité des logiciels et des applications développées pour l'enregistrement des données archéologiques s'est doublée d'une hétérogénéité des matériels et systèmes mis en œuvre.

2.2 *Les risques de dérives de l'enregistrement systématique de toutes les données*

Partant de ce constat déjà ancien de l'hétérogénéité des pratiques des concepts mobilisés et des systèmes utilisés, il convient plus que jamais de s'interroger sur une question fondamentale qui est celle de la pertinence de l'enregistrement systématique de toute donnée archéologique. Ce phénomène, renforcé par la démultiplication des systèmes d'enregistrement numérique avec des appareils numériques dont les capacités de stockage en mémoire se multiplient de façon quasi-exponentielle tous les deux ans, est plus le fait d'une facilité d'usage que le résultat d'une réelle démonstration scientifique de la pertinence d'un tel systématisme.

Qu'il s'agisse d'une simple observation en phase de diagnostic, d'un fait archéologique, d'une structure, d'un vestige, etc., est-il toujours pertinent de tout enregistrer avec le même niveau de détail, sans choix méthodologique rigoureux exposé préalablement à une étape de critique et de validation scientifique? Cette question est d'une actualité pressante, et conditionne les capacités du recours à des nouveaux outils comme par exemple les Systèmes d'Information Géographique. L'écueil serait de laisser croire que ces outils à eux seuls puissent permettre d'aider au raisonnement archéologique voire à s'y substituer (Demoule *et al.* 2009). Le risque est grand de confondre moyen et finalité Il convient donc de faire œuvre de prudence et de rigueur méthodologique avant même toute recherche de procédure normative dans l'enregistrement des données archéologiques.

3. Etudes, réflexions à l'Inrap sur l'enregistrement des données archéologiques

3.1 *Etudes et séminaires concernant l'acquisition des données*

A l'Inrap, plusieurs études et séminaires de réflexions ont eu lieu, en particulier depuis 2006, organisés sous l'égide de la Direction Scientifique

et Technique (DST), parmi lesquels on peut retenir, pour le sujet du présent article:

– *Géo-archéologie, paléo-environnement en phase de diagnostic (22-23 mai 2006);*
– *La chaîne graphique (19-20 septembre 2006);*
– *Les inventaires réglementaires. Pour quels objectifs et avec quels outils? (25-27 septembre 2007);*
– *Les relevés assistés par technologies numériques (15-16 juin 2010).*

Parmi les conclusions les plus marquantes ont été pointées:

– les limites des divers systèmes d'enregistrement de données archéologiques, hétérogènes et spécifiques, le plus souvent conçus et développés par certains chercheurs pour répondre à leur propre problématique archéologique;
– la nécessité de parvenir à faire communiquer ces divers systèmes avec la préoccupation d'une harmonisation des pratiques, afin de contribuer à donner de la cohérence à l'exercice de l'archéologie nationale.

Les réflexions conduites au sein de l'Inrap rejoignent très largement d'autres débats organisés dans le reste de la communauté archéologique et dont l'édition 2010 des JIAP a aussi rendu compte. On peut ainsi constater les mêmes dérives des systèmes d'enregistrement de données archéologiques et souligner que l'absence d'interopérabilité est souvent à l'origine des problèmes et limites dans les échanges de données archéologiques entre chercheurs travaillant sur des problématiques proches ou identiques (Chaillou 2003).

3.2 *Etudes et expérimentations récentes*

Par ailleurs, un travail de veille technologique et de réflexion a permis d'aboutir au lancement de diverses expérimentations portant sur l'évolution des pratiques et l'adaptation de la chaîne opératoire en introduisant progressivement des innovations méthodologiques s'appuyant sur des dispositifs technologiques nouveaux comme par exemple les tablettes PC, les stations topographiques totales, les relevés assistés par ordinateur de façon générale.

Parallèlement à ces démarches plusieurs études successives ont été confiées à Xavier Rodier (chercheur au CNRS, UMR L.A.T. CNRS-Université F. Rabelais de Tours) sur les objectifs attendus et les conditions de mise en œuvre d'un déploiement de SIG à l'Inrap (Rodier 2006; Rodier, Moreau 2009a). Ces études ont conduit l'Inrap à considérer d'une part l'échelle de l'opération archéologique comme prioritaire, et d'autre part de la nécessité de préciser l'ensemble des implications, tout particulièrement dans les domaines de l'organisation du travail et des ressources humaines.

Dans ce cadre, une phase d'expérimentation sur le centre archéologique de Tours de l'Inrap a eu lieu (Rodier, Moreau 2009b). Cette expérimenta-

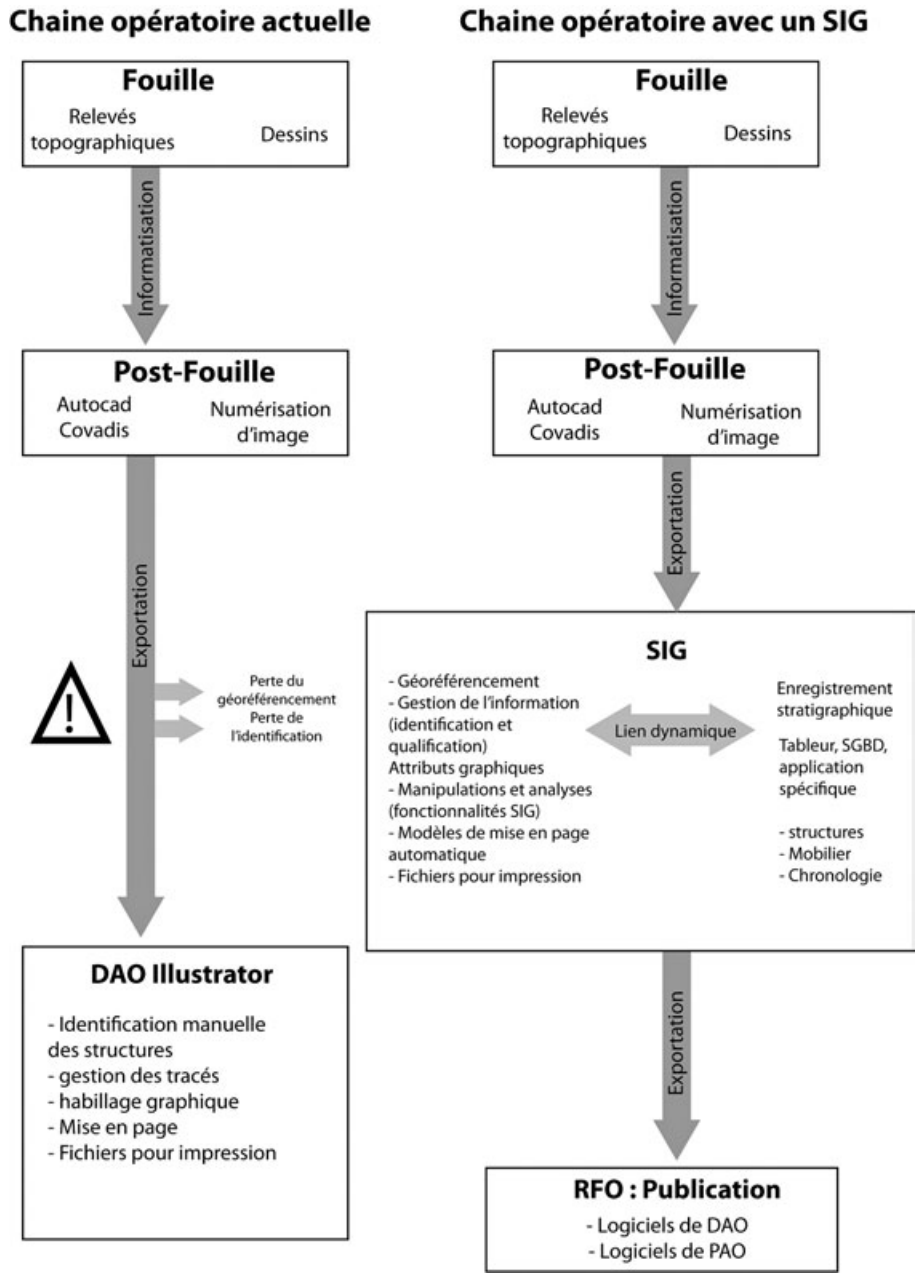


Fig. 1 – Evolution possible de la chaîne opératoire par l'introduction des SIG à l'Inrap (d'après Rodier, Moreau 2009b).

tion a permis, sur la base de plusieurs opérations archéologiques, de mieux cerner, tout particulièrement pour les phases de terrain, l'impact des SIG sur la chaîne opératoire, les pratiques, les métiers… Les compétences à acquérir et donc des besoins en formation et accompagnement des agents concernés par ces dispositifs à cette échelle d'intervention ont également été évalués (Rodier, Ciezar, Moreau 2010).

La Fig. 1 présente une hypothèse de l'évolution des pratiques entraînée par l'introduction des SIG dans la chaîne opératoire, que ce soit en phase de diagnostic ou de fouilles. A ce jour, les modalités de mise en œuvre effective de cette évolution sont en cours d'élaboration Mais sa mise en place s'effectuera obligatoirement selon un processus long de plusieurs années qui demandera des efforts importants en actions de formation et d'accompagnement des agents concernés. Il faudra aussi veiller à ce que l'utilisation des SIG ne devienne pas une spécialité, réservée à quelques agents, mais que l'ensemble des acteurs, à terme, s'approprie ces outils et les données associées à différents niveaux de maîtrise et pour répondre à des besoins très divers: accès aux données géoréférencées et ressources documentaires numériques disponibles, possibilité de les enrichir et de les mettre à jour, possibilité de procéder à l'enregistrement direct de données sur le terrain, fonctionnalités avancées de traitement et d'analyse de données, restitution des données et insertion dans les rapports d'opération..

Il faut noter qu'à l'issue de ces diverses études et expérimentations préalables, l'Inrap a décidé de créer, début 2010, deux postes pour renforcer sa capacité d'expertise, l'un en matière de SIG et l'autre pour les données archéologiques descriptives. Il s'agit d'un investissement important qui témoigne de l'importance accordé par l'institut à ces questions.

4. Principes, enjeux et perspectives de démarches sur l'interopérabilité et l'amélioration de la qualité des données archéologiques

4.1 *Nécessité et exigences d'une démarche d'interopérabilité à l'Inrap*

De façon générale, l'harmonisation des méthodes et des outils pour l'acquisition, la gestion et l'exploitation de l'information archéologique vise trois objectifs majeurs:

– harmoniser et améliorer la qualité des opérations archéologiques, des données et de leurs analyses;
– accompagner les agents dans l'acquisition de nouvelles compétences par une adaptation nécessaire des métiers et d'une éventuelle nouvelle répartition des compétences liées à ces métiers;
– partager les savoirs et les savoir-faire.

Mais harmonisation ne veut pas dire homogénéisation des outils et procédures figées de constitution, traitement, analyse et diffusion des don-

nées.. L'harmonisation respecte des pratiques, prend en compte des solutions techniques pré-existantes et vise à les faire communiquer alors que l'homogénéisation vise à imposer de façon unilatérale un nouveau système qui se veut une solution unique adaptée à toutes les situations. Il n'est pas concevable de faire table rase du passé, des compétences acquises et du capital souvent considérable de données et de compétences acquises antérieurement par les archéologues.

Une démarche d'harmonisation des pratiques et des outils d'enregistrement des données archéologiques implique cependant l'utilisation de normes et de standards publiés ou reconnus (on parle parfois de "standards de fait") pour les formats de données numériques et les protocoles d'échange de ces données. On pense bien évidemment ici de façon prioritaire à l'usage du langage de formalisation XML, langage étendu de balises (Lecomte 2008).

En s'appuyant sur de telles normes et standards, l'interopérabilité doit donc faciliter les échanges de données archéologiques, tant au sein qu'avec l'extérieur de l'établissement, même si ces données ont été ou sont produites, affichées, traitées et diffusées avec des outils et des dispositifs techniques hétérogènes.

Sur le plan interne à l'institut, la démarche visant à l'interopérabilité des systèmes d'enregistrement des données archéologiques doit réduire voire éviter:

– les multiples saisies;
– la multiplication des erreurs de saisie;
– les nombreux import/export;
– les pertes de données lors des transferts;
– des niveaux mal connus de qualité géométrique et sémantique;
– l'absence de traçabilité des données;
– l'absence de métadonnées associées;
– etc.

Sur le plan externe, la "marche vers l'interopérabilité" doit ouvrir de nouvelles opportunités de collaboration et élargir l'horizon des collaborations déjà existantes avec d'autres initiatives en cours comme par exemple:

– le site du Geoportail de l'IGN;
– les liens avec d'autres Infrastructures de Données Spatiales (IDS);
– les liens avec les projets en cours du Ministère de la Culture et de la Communication, et ses services déconcentrés;
– les liens avec les Atlas du patrimoine de certaines collectivités locales comme celui du Département de Seine Saint-Denis;
– les liens avec la mise en œuvre de directives européennes s'appuyant fortement sur les principes de l'interopérabilité des données géoréférencées et des métadonnées associées comme la Directive INSPIRE.

Force est de constater que l'interopérabilité n'est pas un phénomène de mode mais qu'il s'agit désormais d'une nécessité qui se traduit déjà dans la réalité par de nombreuses initiatives en cours en faveur de la mutualisation des données, notamment pour les données géoréférencées (Afigeo 2010).

4.2 *Vers un SIA à l'Inrap?*

L'objectif d'une démarche d'interopérabilité au sein de l'Inrap est de faire émerger progressivement un Système d'Information Archéologique (SIA) pour lequel nous proposons la définition suivante: "Un ensemble organisé de ressources permettant d'acquérir, de stocker, de structurer, de gérer, d'analyser, de publier et d'échanger des informations archéologiques cohérentes de sources, de contenus et de formats variés."

Le SIA viserait en particulier à organiser et à faire vivre les flux d'informations multiples utiles aux divers métiers de l'archéologie préventive, pour les phases de diagnostic, de fouille et de post-fouille, dans un souci d'interopérabilité interne et externe.

Ce SIA s'appuierait sur un ensemble de logiciels scientifiques et techniques, de matériels adaptés, de méthodes prédéfinies, de compétences formées et encadrées, des réseaux d'utilisateurs, d'outils collaboratifs. Les logiciels scientifiques et techniques concernés par le SIA devraient répondre à des exigences d'interopérabilité et, pour cela, devraient avoir fait l'objet d'études, de tests et d'une "labellisation interne" selon des protocoles restant à définir à ce jour.

Enfin, il faut souligner que dans le futur SIA, l'information géoréférencée aurait une place centrale, reconnaissant ainsi le fait que plus de 90% des informations archéologiques produites, exploitées, analysées, diffusées par les agents de l'institut, sont des informations à référence spatiale

Ce SIA serait donc majoritairement constitué d'informations géoréférencées. Dans ce contexte, le recours progressivement généralisé aux SIG revêtirait pour l'institut non seulement un impact sur les métiers mais aussi sur les pratiques internes et externes, comme l'envisage un travail récent qui, dans le cas de l'Inrap, affirme que «Les SIG peuvent dans le domaine de l'archéologie préventive potentiellement amener les acteurs à des formes de dialogue et de négociation sur un plan pluridisciplinaire et pluri-institutionnel qui ont une grande importance sur les questions scientifiques mais aussi parce qu'ils concernent directement les conditions de réalisation des prestations archéologiques en termes de coûts et de délais» (Costa 2009).

Pour être pleinement efficiente, la mise en place d'un SIA devrait être soutenue par une démarche qualité portant non seulement sur les données archéologiques mais sur l'ensemble des démarches scientifiques de l'institut ou dans ses relations avec ses partenaires.

4.3 *Une démarche qualité de la recherche archéologique à l'Inrap*

On entend ici par démarche qualité l'amélioration continue, selon un cadre méthodologique rigoureux, de l'adéquation des moyens mis en œuvre pour répondre à la satisfaction des besoins des usagers tant internes qu'externes (services prescripteurs, autorités de tutelle, autres chercheurs dans toute discipline potentiellement concernée, aménageurs, maîtres d'ouvrage…). Une telle démarche doit être régulièrement évaluée sur la base d'indicateurs objectifs et acceptés.

Il s'agit, à terme, de décliner, dans le contexte de l'organisation qu'est l'Inrap, des principes de la norme ISO9001 que ce soit dans sa version 2000 (Krebs 2007) ou dans sa révision 2008 (Afnor 2008).

Une première cartographie des processus (Fig. 2) a été réalisée afin d'identifier la diversité des acteurs et des flux d'information internes et externes et de faire ressortir les enjeux d'une démarche qualité:

Une telle démarche est complexe et est de nature à se traduire par une évolution en profondeur dans le domaine organisationnel. De ce point de vue,

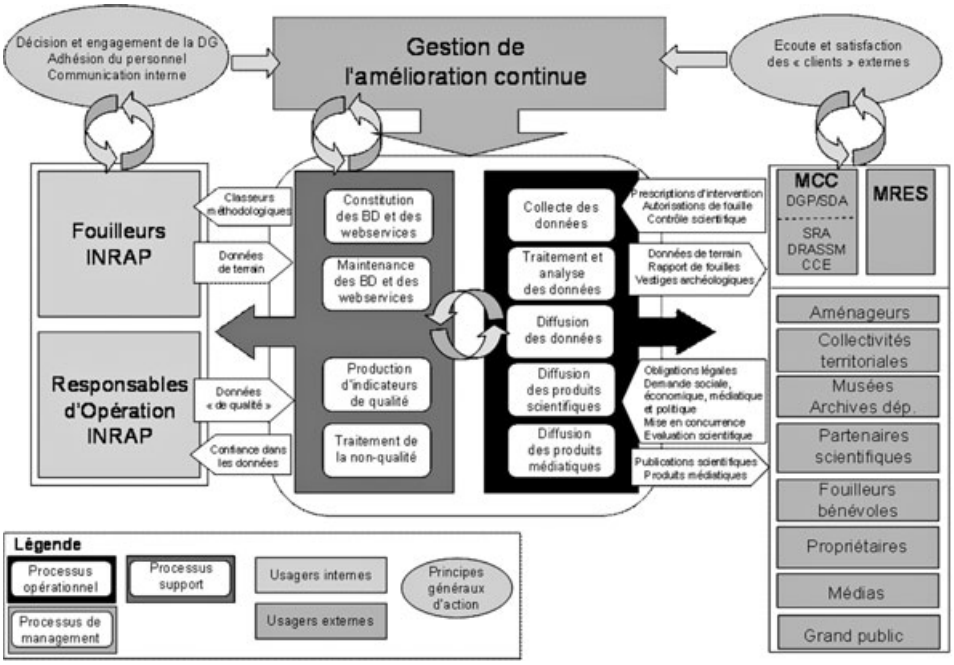


Fig. 2 – Cartographie des processus.

ce constat rejoint certaines des conclusions des travaux récents sur l'impact des approches géomatiques dans les organisations archéologiques déjà cité ci-dessus (Costa 2009) ou dans d'autres domaines d'applications (Pornon 1997).

Une démarche qualité impose, entre autres, le recours à la pratique régulière de l'audit, interne et externe, qui peut poser des problèmes dans le contexte d'un institut et d'une communauté de chercheurs ayant encore du mal à se prêter à ce genre d'exercice.

Le lancement d'une véritable démarche qualité à l'Inrap nécessite aussi de conforter une veille technologique et méthodologique permanente, car aujourd'hui, l'institut se trouve, au moins pour la partie de son activité de fouilles archéologiques, dans un contexte concurrentiel ouvert par la loi modificative de 2003.

5. Conclusion

Cette présentation très succincte n'est qu'un état de l'art, des réflexions en cours et de la volonté de l'Inrap en matière d'interopérabilité des systèmes d'enregistrement, de gestion et d'exploitation des données archéologiques. Elle permet néanmoins de souligner l'importance stratégique tant sur le plan organisationnel, que sur celui de l'évolution en profondeur des pratiques, des métiers et des compétences, qu'implique la mise en place d'une véritable démarche d'amélioration de la qualité des données archéologiques.

Ce genre de démarche impose aussi plusieurs conditions et contraintes, pouvant, dans un premier temps, être ressenties comme lourdes par les archéologues opérationnels concernés.

La nécessité de cette démarche est double. D'une part la nécessité scientifique de faire évoluer ses pratiques et d'autre part celle de devoir s'adapter à un contexte en pleine mutation, notamment sous l'effet de l'introduction de la concurrence en archéologie préventive.

Alain Koehler, Christophe Tufféry
Inrap

BIBLIOGRAPHIE

Afigeo 2010, *Les plateformes de mutualisation à l'heure d'Inspire. 5èmes rencontres des dynamiques régionales en information géographique (La Source-Orléans, 3 et 4 Juin 2010)* (http://www.afigeo.asso.fr/manifestations/201-5eme-rencontres-des-dynamiques-regionales-2010.html).

Afnor 2008, *ISO 9001-2008: anticiper et comprendre (Recueil de normes)*, La Plaine-Saint-Denis, AFNOR.

Chaillou A. 2003, *Nature, statut et traitements informatisés des données en archéologie. Les enjeux des systèmes d'information archéologiques*. Thèse soutenue à Université Lumière, Lyon 2.

Carte archéologique du Cher 1979, *Carte archéologique du Cher: Pour une banque de données des sites archéologiques de la France*, Centre de recherche d'histoire ancienne, Presses universitaires de Franche-Comté, Université de Franche-Comté.

Costa L. 2009, *Impact des approches géomatiques dans les organisations de l'archéologie*, Thèse soutenue à l'Université Paris X Ouest Nanterre La Défense.

Demoule J.-P., Giligny F., Lehoêrff A., Schnapp A. 2009, *Guide des méthodes de l'archéologie*, Paris, Ed. La Découverte.

Djindjian F. 1986, *Apport des techniques statistiques et informatiques aux méthodes et aux théories de l'archéologie,* «Bulletin de la société préhistorique Française», 83, 10, 372-377.

Djindjian F. 1991, *Méthodes pour l'archéologie*, Paris, Armand Colin.

Lecomte S. 2008, *XML par la pratique: bases indispensables, concepts et cas pratiques,* Paris, Lavoisier (2e Ed.).

Pornon H. 1997, *SIG pouvoir et organisations, géomatique et stratégies d'acteurs*, Paris, L'Harmattan.

Recensement des pratiques (à par.), *Recensement des pratiques en matière de production et traitement de la documentation graphique au sein des Centres archéologiques INRAP. Séminaire "Chaîne graphique: de la prise de données sur le terrain au rendu du rapport" ENSG (Marne-la-Vallée – Septembre 2006).*

Rodier X. 2006, *Quel SIG à l'Inrap? Rapport d'étude (Paris, Septembre 2006), Inrap*.

Rodier X., Moreau A. 2009a, *Un grain de SIG dans le processus. Outil d'aide à la recherche pour les opérations d'archéologie préventive à l'Inrap, Rapport d'étude (Tours, Avril 2009), Université Français Rabelais*.

Rodier X., Moreau A. 2009b, *Faire l'expérience des SIG, Bilan du déploiement expérimental du processus SIG au centre archéologique Inrap de Tours en 2009*, Tours, décembre 2009 (inédit).

Rodier X. Ciezar P., Moreau A. 2010, *Using GIS in French rescue archaeology. The choice of Inrap: a tool for research at the scale of excavation,* in CAA'2010, Fusion of Cultures: Computer Applications in Archaeology (Grenade 2010).

SITES WEB

Site Web "Architecture et patrimoine" du Ministère de la Culture et de la Communication: http://www.culture.gouv.fr/culture/inventai/patrimoine/.

Site du Geoportail de l'IGN: http://www.geoportail.fr/.

Site de "L'Atlas de l'Architecture et du Patrimoine" du Conseil Général de Seine Saint-Denis: http://www.atlas-patrimoine93.fr/.

ABSTRACT

The design and progressive implementation of an Archaeological Information System (AIS) at Inrap aims to meet the needs for improving archaeological reasoning as well as regulatory requirements. The term of AIS means here a coherent and organized set of resources (people, data, methods, processes, hardware, software, etc.) to acquire, organize, store, manage, analyze, and publish relevant archaeological information from various forms and sources. The overall objective is to enable Inrap to get consistent and harmonized archaeological information of known quality and managed according to interoperability. This project utilizes several studies and real situation experiments among which those produced for GIS in collaboration with CNRS and University F. Rabelais of Tours (UMR 6173 CITERES).

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 239-245

SIG: UTILISATIONS D'OUTILS GRAND PUBLIC ET INTERACTION AVEC LES APPLICATIONS PROFESSIONNELLES

1. Introduction

Après bientôt 10 ans de travaux autour de différents projets cartographiques qui ont abouti au SIG connecté ou non à une base de donnée documentaire, il est apparu intéressant d'analyser ce que ce type d'activité a apporté sur le plan de l'approche SIG et a permis en tant que ressource pour le laboratoire. Au départ essentiellement axé sur la nécessité de disposer d'une solution de représentation géographique des données des fouilles pratiquées sur les vingt dernières années à Reims, le projet SIGRem et AtlasMed ont permis une appropriation progressive des outils de la famille des SIG (Systèmes d'Information Géographique).

Principalement relevées puis localisées avec des progiciels de DAO ou PAO, les données issues des chantiers concernés n'offraient avant l'utilisation de solutions telles que les SIG, que des possibilités de traitement statique d'une information collectée souvent limitée au rapport de fouille obligatoire.

Les pratiques progressivement mises en place et les méthodologies successives de traitement de l'information ont permis d'aboutir à une approche pragmatique de la mise en carte géoréférencée de données hétérogènes de façon simple et efficace pour la majorité des besoins

2. Une application structurée: GISSAR

2.1 *Projets SIGRem/AtlasMed*

Dans le cadre des projets SIGRem et AtlasMed et des travaux des équipes universitaires, deux démarches ont été développées pour exploiter des données spatialisables d'origines variées (Archéologiques, Géographiques, Historiques, …) avec un Système d'Information Géographique.

2.2 *Application GISSAR (Geographic Infomation System for Spatial Archaeology Research)*

Une structure de base de données globalisante, BDRem (dorsale sous ACCESS Microsoft), gérée par une application documentaire frontale, GISSAR, est associée à un SIG (ArcGIS ESRI). Cet ensemble a été mis en chantier dès 2003 afin de permettre le regroupement et l'exploitation de sources d'informations géolocalisables ou géolocalisées provenant de métiers différents mais complémentaires, initialement liés à l'archéologie.

2.3 *Applications Satellites*

L'application GISSAR dont le cahier des charges et le Modèle Conceptuel ont été écrit initialement pour et grâce à la collaboration des archéologues a montré sa pertinence pour son objectif premier qui consistait en l'exploitation des données brutes des chantiers, mais a vite mis en évidence la nécessité d'associer des données complémentaires pour répondre à un besoin de précision dans les thématiques métiers plus pointues, comme la céramologie, la parasitologie ou autres spécialités associées aux projets. Ces données complémentaires spécifiques font donc l'objet d'extensions gérées dans GISSAR, selon les mêmes critères d'harmonisation et utilisant le même vocabulaire de base, lequel est augmenté de la terminologie métier mise en œuvre au niveau du satellite.

2.4 *Intégration de données*

L'application GISSAR a, dès le départ, été volontairement ouverte à l'intégration de données de sources hétérogènes, afin de ne pas limiter son application aux seules activités locales. Cette ouverture permet également d'enrichir les listes typologiques ce qui augmente la qualité du traitement et de la gestion des données. Il existe une grande proximité entre les données issues des logiciels de type tableur ou les outils de gestion de fichiers couramment utilisés par les archéologues et les tables exploitées par l'application GISSAR.

2.5 *Liaisons SIG*

L'architecture de la base de données BDRem dispose d'un ensemble d'informations spécifiques, commun à tous les modules, dont une partie est consacrée au positionnement des éléments localisables. Une liaison directe avec ces éléments géoréférencés complétée par des jointures opportunes permettra la spatialisation des informations archéologiques (Objets, Eléments architecturaux, Faits, Unités stratigraphiques, Prélèvements, …) ou plus largement documentaires (Archives, Photos, Relevés, Croquis, …).

2.6 *Partage des résultats et webmapping*

Disponible sur un outil de bureau, il était important pour nos partenaires collaborant aux recherches ou alimentant la base de données de pouvoir accéder au résultat mis en valeur par le SIG sans être obligé de se doter d'un équipement informatique lourd, c'est pourquoi nous nous sommes tournés vers des solutions consultables sur la toile Internet (ArcIMS ESRI) sans être dépendant d'un façonnier informatique. Nous avons également souhaité

explorer les solutions légères en open source afin de pouvoir restituer nos productions sur des outils de visualisation bon marché. Nous avons exploré différentes voies, l'une correspondant à exporter notre travail sur des logiciels de visualisation du même fournisseur que notre outil de production (ArcExplorer ESRI), l'autre capable de ré exploiter les couches produites sur des logiciels libres téléchargeables et une troisième consistant à exporter les entités spatiales dans un format (kml) exploitable sur des plateformes publiques (Google Earth, Géoportail IGN, …).

3. Des projets non structurés

Disposant d'une approche basée sur les projets structurés, nous avons souhaité prendre le contre pied en orientant notre méthodologie de production vers des solutions plus simples à mettre en œuvre et moins gourmandes en moyens logistiques. Une méthodologie de travail a été mise au point afin de permettre facilement l'exploitation et la valorisation de séries de données pouvant être complémentaires et de sources souvent hétérogènes (étudiants, chercheurs, …). Par ailleurs, ce rassemblement de fichiers de données numériques (photos, plans, cartes, textes, tableaux, couches, …) de toutes natures a obligé une réflexion sur un mode de gestion, et de mise à disposition en ligne ou en téléchargement. Pour cela, des solutions d'échanges de fichiers (format KML avec Google) ou de gestion SIG en Open Sources (MapWindow de MOST, QGIS en GNU, …) ont été essayées.

3.1 *Pour les étudiants*

Le principal besoin des étudiants qui souhaitent réaliser des cartes réside généralement dans la capacité à localiser des points et de les organiser selon une représentation thématique.

Les documents produits ont habituellement deux destinations, les uns sont destinés à être insérés dans le mémoire, et les autres à faire partie d'un diaporama présenté en jury.

Ce sont donc des documents définitifs dont les données ne nécessiteront pas de mise à jour

3.2 *Pour les chercheurs*

Dans le cadre des projets de recherche, les cartes font partie de l'analyse et sont un élément de réflexion dynamique. Les cartes doivent être évolutives dans leur présentation et dynamiques pour s'adapter aux apports de données nouvelles.

Dans de nombreux cas, le recours à la modélisation fait partie intégrante du projet.

3.3 *Pour la préparation de sortie terrain*

Que ce soit pour servir de fond à un GPS-Pad ou de document de travail lors d'une sortie de terrain, les outils SIG permettent d'assembler des documents cartographiques sous forme de millefeuilles de couches géoréférencées lesquelles peuvent fournir les moyens d'une ou plusieurs hypothèses à vérifier en situation.

4. Approche méthodologique

4.1 *Projets structurés*

Pour ce qui concerne les projets structurés, le fait qu'ils font l'objet d'une analyse approfondie et d'un cahier des charges détaillé, a permis de déterminer avec précision la nature de l'information alimentant les bases, et on aura défini avec autant de précision les attendus cartographiables à fournir, que ce soit sur des supports traditionnels (papier, …) ou des média plus récents (documents électroniques ou mise en ligne Internet).

L'analyse aura également dimensionné le niveau et les moyens à mettre en œuvre.Cette approche rigoureuse est d'une grande efficacité, d'une grande fiabilité et d'une grande précision, mais comme toute approche méthodologique prospective très gourmande en temps, notamment pour les petits projets.

4.2 *Projets non structurés*

Par contre lorsque l'on est face à un petit projet, soit par le faible volume de données traitées, soit par ses objectifs de restitution, par exemple quand il s'agit uniquement de faire de la localisation de points, il n'apparaît pas nécessaire de lancer la cavalerie lourde. Souvent une analyse sommaire et une bonne définition des vues à restituer suffit à définir le cadre du projet.

Ensuite il faut impliquer le plus loin possible le demandeur dans la production de ses données et de la qualité de l'information qu'elles représentent. Le rôle de l'outil se limite souvent essentiellement à sa capacité à fournir dans des délais souvent courts, la représentation la plus proche de l'objectif visé sans autre forme de traitement (majoritairement une simple localisation des points), ce qui permet d'associer une fois de plus directement le demandeur à la mise en forme finale afin qu'il prenne parfaitement conscience de la quantité de travail nécessaire à cette phase de finition.

5. Approche opérationelle

5.1 *Partie amont: collecte des données* (Fig. 1)

Cette phase se déroule en plusieurs rencontres de travail, destinées à assurer la mise en forme la plus facilement exploitable des données brutes:

– Définition des formats d'exploitation de l'information amont, des supports permettant les d'échanges et des outils utilisables par le fournisseur des données.
– Création des objets graphiques, semis de points, polylignes ou polygones, sur un portail public afin de fournir un fichier exploitable ultérieurement (par exemple: sauvegarde au format kml sur Google Earth).
– Création d'un tableau de données en correspondance avec les objets graphiques contenant les informations dont la représentation thématique, sera assurée ultérieurement.

A l'issue de cette étape, l'ensemble des données pourra être importé et mis en forme dans un projet SIG.

Après intégration dans le SIG, la mise en forme se fait avec le demandeur afin de lui fournir le résultat le plus proche de ce qu'il souhaite (et qu'il avait défini en amont)

5.2 *Partie aval: fourniture des documents cartographiques* (Fig. 2)

Une fois la mise en forme terminée, il reste à livrer une ou plusieurs épreuves du produit final. Cette restitution peut prendre plusieurs formes:

– un document papier ou assimilé (transparent, photo, …),
– un document sous forme de fichier numérique dans un format lisible par le destinataire,
– un projet SIG lisible sur une plateforme équivalente ou compatible avec les solutions d'export exploitable par le destinataire.

Pour le cas d'une autre plateforme SIG il sera nécessaire d'être vigilant sur la qualité de l'export (ex: systèmes de coordonnées enregistrés en dur) afin que l'exploitation ultérieure ne soit pas trop contraignante.

Quant à l'export vers un portail (par exemple: export au format kml pour Google Earth), il est important de bien caler le système de coordonnée, afin d'assurer un bon géoréférencement en sortie.

Les exports vers des formats de type pdf devront anticiper le désir d'agrandissement que pourra souhaiter le destinataire final afin d'éviter la pixellisation en fonction des facteurs d'échelle appliqués.

6. Conclusion

Au niveau de notre laboratoire, le géomaticien que je suis, est une personne ressource intervenant notamment:

– pour mettre à disposition les bases de données dont nous avons fait l'acquisition (ou dont nous disposons des droit adaptés) et en faciliter l'utilisation,

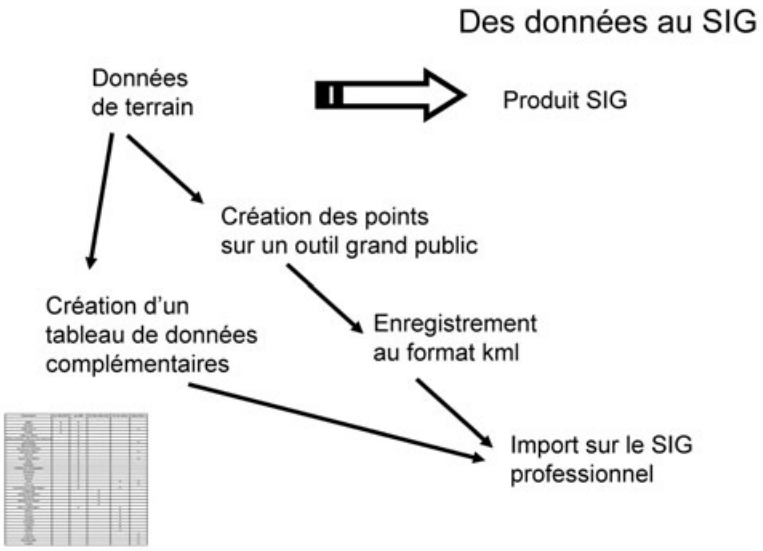


Fig. 1 – Schéma de collecte des données dans le SIGRem.

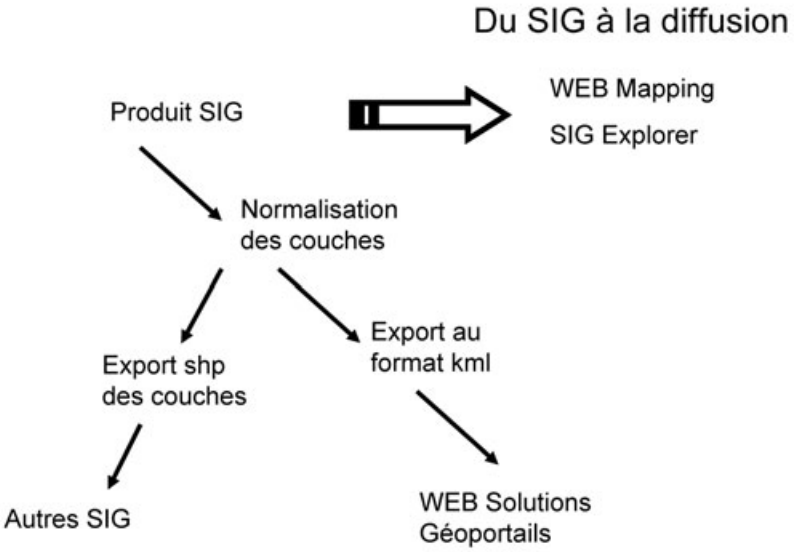


Fig. 2 – Schéma de réalisation des documents cartographiques dans le SIGRem.

– assister les chercheurs dans le choix, la mise en œuvre et l'exploitation des outils SIG, en particulier ceux que nous utilisons,
– permettre aux étudiants de valoriser leurs données en offrant une compétence mais pas une prestation,
– réaliser des productions spécifiques (statiques ou dynamiques) dans le cadre de projets conduits par le laboratoire,
– exercer une veille technologique permettant de se maintenir à un niveau technique et méthodologique adapté aux attentes et aux activités développées.

Dans ce cadre nous mettons au point des méthodes ou des outils destinés à améliorer la capacité à produire une réponse adaptée aux besoins soumis dans le meilleur rapport délais – efficacité – qualité.

Dominique Pargny
GEGENAA – URCA
Groupe d'Étude sur les Géomatériaux et Environnements
Naturels Anthropiques et Archéologiques
Université de Reims Champagne-Ardenne

BIBLIOGRAPHIE

Pargny D. 2008, *Le sig (SIGRem et Atlasmed): un outil générateur d'évolution des pratiques en parallèle à la mise en place des projets*, in F. Djindjian *et al.* (eds.), *Webmapping dans les sciences historiques & archéologiques, Actes du Colloque international (Paris 2008)*, «Archeologia e Calcolatori», 19, 167-172.

ABSTRACT

When the Reims team presented the first results of its SIGRem project in 2006 our major concern was presenting the available data collection and supporting documents regarding the archeological excavations conducted in the last 20 years in the City of Reims. The integration of GIS into the daily university context required a process directed resource to make a simple tool allowing the specialization of searches available to researchers and students. The geogates provide an easily accessible working space and the fact that some gates have free access means that they are used by an increasing number of people, thus augmenting their potential value. After exploring professional solutions, we now wish to provide a simple and easily accessible technology. To reach this goal, we have attempted to find and develop suitable processes and tools. Our process is founded on a double approach. The student/researcher, using common office automation and web tools, will be able to collect and locate data of interest. The laboratory will use more complex resources to provide more detailed analysis and formatting. Results will then be restated and shared on a geogate allowing private or public access to the search data.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 247-263

L'ÉCHANGE NUMÉRIQUE DE DONNÉES D'INVENTAIRE ENTRE ACTEURS DE L'ARCHÉOLOGIE: UNE RÉFLEXION EN COURS

1. Introduction

En 2007, la sous-direction de l'archéologie, direction générale des patrimoines, ministère de la Culture et de la Communication, a lancé une réflexion sur l'échange de données dans le processus de gestion du mobilier et de la documentation scientifique, entre les différents acteurs de l'archéologie. Cette réflexion a été menée dans le cadre d'un contrat d'étude du ministère en charge de la Culture[1]. Elle a duré douze mois et demi sur une période de deux ans. Cette première étape a pris fin en décembre 2009 avec le rendu de documents de synthèse par les organismes ayant pris part à une première phase de tests.

2. Initiation et objectifs de la réflexion

Le besoin concret d'échange d'informations sur le mobilier archéologique et la documentation scientifique entre les différents acteurs de l'archéologie en France a été affirmé lors de la table ronde[2] organisée par le ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'architecture et du patrimoine, à Bibracte, Centre archéologique européen, en septembre 2006, lors de la présentation de plusieurs applications et procédures élaborées en régions.

Le souci pratique exprimé lors de cette table ronde est de pouvoir faire circuler l'information numérique liée aux inventaires du mobilier et de la documentation scientifique produits par les opérations archéologiques, sans que les divers acteurs impliqués: services régionaux de l'archéologie (SRA), département des recherches archéologiques subaquatiques et sous-marines (DRASSM[3]), gestionnaires de centre de conservation et d'études[4] ou de dépôt de fouille, musées dépositaires du mobilier… soient obligés de ressaisir ces informations sur leurs propres systèmes informatiques, lors du passage de relais d'un acteur à un autre. Or, la forme et le fond de l'information sur le mobilier et la documentation scientifique, même s'ils sont précisés par la réglementation, sont variables d'une étape à l'autre du processus: un inventaire

[1] Je tiens à remercier le sous-directeur de l'archéologie pour m'avoir autorisé à publier cet article et les agents du ministère en charge de la Culture qui m'ont apporté leur concours.

[2] http://www.culture.gouv.fr/culture/dp/archeo/pdf/bibracte_2006.pdf.

[3] Dans la suite du document, le DRASSM sera systématiquement associé aux SRA.

[4] Les centres de conservation et d'étude, CCE, sont définis comme des unités de traitement et de gestion destinées à répondre aux besoins des archéologues et des musées en organisant une mutualisation des moyens et des compétences, en termes de conservation préventive, d'accessibilité, de valorisation scientifique des collections et du produit des opérations archéologiques, ainsi que de médiatisation auprès du grand public.

archéologique de mobilier de fouille diffère d'un inventaire des biens affectés aux collections d'un musée, même si ce dernier prend le premier pour base.

En conséquent, la réflexion avait pour objectif de définir de façon homogène les données d'échange des inventaires informatisés du mobilier et de la documentation scientifique archéologiques qui sont nécessaires à la transmission de l'information, sans ressaisies, d'un acteur à l'autre, d'une application informatique à l'autre depuis l'opération archéologique jusqu'au lieu de dépôt final du mobilier et de la documentation scientifique.

Un même acteur peut à la fois être producteur d'informations dont un ou plusieurs acteurs du processus ont besoin ultérieurement, et utilisateur d'informations produites à une étape précédente du processus. Les données sont définies en fonction des besoins de l'acteur, par rapport à l'étape du processus dans laquelle il se situe ainsi que ceux des acteurs avals et finaux.

Les obligations induites par le dernier état de la réglementation structurent l'ensemble.

3. Structure réglementaire de la réflexion

Les données d'échange sont définies pour toute l'archéologie française, qu'elle soit préventive ou programmée, lorsqu'il y a production de mobilier et/ou de documentation scientifique.

Trois types d'opérations ont parfois été distinguées du fait de leurs spécificités:

– L'opération préventive qui est encadrée par des arrêtés précisant son organisation et les devoirs de ses acteurs.
– L'opération programmée exécutée par l'État pour laquelle le SRA doit effectuer un partage du mobilier à parts égales entre le(s) propriétaire(s) des terrains et l'État.
– L'opération programmée autorisée par l'État pour laquelle a été proposé un minimum de préconisations pour permettre un échange de données entre ses acteurs.

4. Approche retenue

Les acteurs de ce processus ont des rôles différents, des niveaux d'équipement informatique dissemblables et surtout proviennent d'institutions diverses: services de l'État, collectivités territoriales, opérateurs archéologiques publics et privés… La solution du développement d'une application informatique unique, censée répondre aux besoins de tous les acteurs, de l'opération archéologique à la gestion des collections archéologiques dévolues aux musées, a été écartée. En effet, s'il existe une information commune à transmettre tout au long du parcours

du mobilier et de la documentation scientifique, les acteurs intervenant dans ce parcours ont des rôles différents, et ils modifient l'état de cette information en fonction de leur rôle. Les besoins d'exploitation et de présentation de cette information sont différents. Liés à des métiers différents, ils entraînent la mise en œuvre de systèmes d'informations aux caractéristiques nécessairement diverses.

L'approche retenue est donc celle d'une normalisation de la transmission de l'information d'un acteur à l'autre et d'une application à l'autre, et non d'une standardisation des applications produisant ou gérant cette information.

Plus précisément, il s'agit d'une normalisation de la structure de l'information contenue dans les inventaires informatisés afin de permettre une transmission numérique sans ressaisies d'un acteur à l'autre au cours du processus de gestion du mobilier et de la documentation scientifique; à charge, pour les acteurs ayant déjà développé leurs propres applications informatiques, de mettre celles-ci en conformité pour les rendre capables d'importer et d'exporter la transmission correspondante.

Cette normalisation porte sur les données qui sont indispensables à chacun des acteurs. Elle s'inscrit dans un processus, où les données sont saisies par celui qui a la charge de leur production (dans sa propre application informatique), puis éventuellement complétées par l'acteur suivant en fonction de son rôle dans le processus (là encore dans sa propre application informatique). Par rapport aux documents et inventaires que doit produire chacun des acteurs dans des formes propres, fixées par les différentes réglementations, et qui livrent l'état des données à une étape définie du processus (par exemple les inventaires de la troisième section du rapport final d'opération, ou l'inventaire dix-huit colonnes des musées), cette transmission numérique des données ne constitue donc pas un double travail: au contraire, elle est destinée à fournir le matériau – les données de base – permettant de générer ou compléter ces inventaires sans ressaisie inutile.

La structure d'information normalisée proposée est un plancher et non pas un plafond. Il est très clairement affirmé que l'existence de cette norme n'est en aucun cas un motif pour limiter la description et la caractérisation scientifique des mobiliers et des contextes aux seuls champs proposés. Des descriptions, des caractérisations et des identifications plus précises et détaillées, faisant appel à des systèmes descriptifs ou des vocabulaires spécialisés, générant des champs supplémentaires, peuvent et doivent être opérées si cela est scientifiquement utile. Le degré de précision des inventaires peut et doit varier suivant les cas.

5. Transmissions définies

Le processus de l'archéologie en France comportant de nombreux acteurs et diverses étapes, plusieurs transmissions de données ont été définies.

Elles sont au nombre de sept. Leur numérotation tient à la fois d'une logique de cheminement et d'un regroupement par type d'échange avec déclinaison

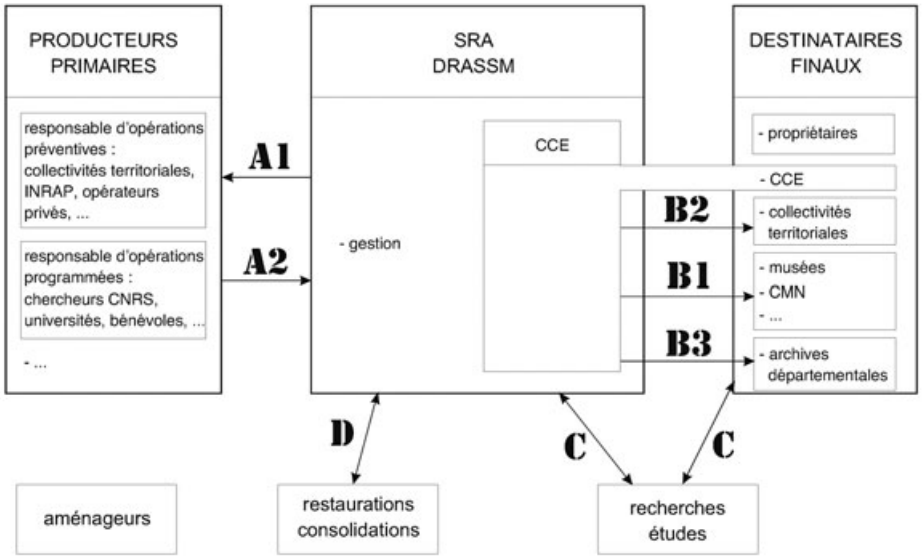


Fig. 1 – Processus de transmission des données archéologiques.

dans le type: type échange A entre le SRA et le responsable de l'opération[5], type B entre le SRA et les destinataires finaux du matériel archéologique…

5.1 *Transmission A1 entre le SRA et le responsable de l'opération*

Cette transmission permet au SRA de faire parvenir au responsable de l'opération (opérateur, chercheur CNRS…), sous format numérique normalisé, toutes les données dont il a besoin (ainsi que sur les opérations qui peuvent y être liées). Elle est à la fois la carte d'identité de l'opération (numéro, type, intitulé, toutes données administratives…) et son positionnement géographique du département à la parcelle.

Ces classeurs seront à transmettre avec l'arrêté de désignation du responsable d'opération pour les opérations préventives (et en tout cas avant le début de l'opération), et avec l'autorisation de fouille pour les opérations programmées.

Ce classeur de transmission est composé de 4 feuilles: 1 Feuille Opération Archéologique /2 Feuille situation Opération Archéologique /3 Feuille Opérations Archéologiques liées /4 Feuille état propriété.

[5] Responsable de l'opération: opérateurs agréés (INRAP, collectivités territoriales, entreprises privées), chercheurs CNRS, universitaires, bénévoles,…

5.2 *Transmission A2 entre le responsable de l'opération et le SRA/CCE*

Cette transmission permet au responsable de l'opération (opérateur, chercheur CNRS…) de faire parvenir au SRA, sous format numérique normalisé, toutes les données qui ont été mises au jour ou créées lors de l'opération. Le classeur de transmission A2, avec le mobilier, la documentation scientifique et le rapport final d'opération est la mémoire de l'opération. C'est le fichier de référence de l'opération[6].

Cette transmission va, entre autres, permettre aux agents du SRA d'assurer l'envoi des inventaires correspondant à chaque propriétaire et la gestion du mobilier en cas de partage pour les opérations préventives ou celles exécutées par l'État. Les agents du SRA y trouveront des informations sur les changements de propriétaire au cours de l'intervention sur le terrain, le positionnement des unités d'enregistrement et par extension des objets ou des lots d'objets par rapport aux parcelles, et pourront faire une sélection rapide entre mobilier et matériaux naturels et de nature biologique (mnnb)[7]…

Le classeur A2 est à transmettre en même temps que les exemplaires du rapport final d'opération, du mobilier et de la documentation scientifique au SRA pour les opérations préventives. Il sera à transmettre avec le rapport final pour les opérations programmées.

Il est composé de 12 feuilles (dont 3 consacrés aux liens entre données): 1 Feuille Opération Archéologique /2 Feuille situation Opération Archéologique /3 Feuille Opérations Archéologiques liées /4 Feuille état propriété /5 Feuille Unité d'Enregistrement /6 Feuille relation UE /7 Feuille mobilier, matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) /8 Feuille prélèvement / 9 Feuille étapes des traitements mobilier, mnnb et prélèvement /10 Feuille

[6] Les champs définis dans cette transmission sont hiérarchisés sur quatre niveaux pour permettre une saisie raisonnée en fonction du type de l'opération. Ces quatre niveaux de hiérarchisation sont les suivants:
– les champs qui ne doivent jamais être vides;
– les champs à renseigner obligatoirement si l'information correspondante a été acquise durant l'opération;
– les champs à renseigner uniquement lorsqu'il y a risque de changement de propriétaire;
– les champs optionnels.

Par exemple, pour un diagnostic sans suite, le nombre de champs composant le classeur de transmission A2 sera le suivant:
– 14 champs à saisir.
– 13 champs à copier depuis le classeur de transmission A1.

Pour une fouille, le nombre de champs composant le classeur de transmission A2 sera le suivant:
– 64 champs minimums à 100 champs maximums (dont 26 optionnels) à renseigner en fonction des études spécialisées menées au cours de la post-fouille.
– 10 champs à saisir en plus s'il y a changement de propriétaire (dont 1 optionnel).
– 18 champs à copier depuis le classeur de transmission A1.

[7] Matériaux naturels et de nature biologique (mnnb): mobilier organique non travaillé, écofact. Tout objet organique brut: os humain, reste de boucherie, graine, coquillage, corne…

documentation scientifique hors mnnb /11 Feuille liens documentation – UE /12 Feuille liens documentation – mobilier, mnnb et prélèvement.

5.3 *Transmission B1 entre le SRA et les destinataires finaux du matériel archéologique hors collectivités territoriales en charge du matériel archéologique mis au jour lors d'opérations effectuées sur leur territoire*

Cette transmission permet au SRA, ou au CCE, de faire parvenir aux destinataires finaux du mobilier hors collectivités territoriales, sous format numérique normalisé, toutes les données nécessaires pour renseigner leur base de données de gestion du mobilier et des collections. Ce classeur donne des informations sur l'opération, le mobilier, les moulages et empreintes et les traitements (consolidation…) que le mobilier a subi.

Pour les musées, ces données permettront aux conservateurs de renseigner leur inventaire des collections et de constituer simplement le sous-inventaire. Il suffit pour cela de rajouter une colonne dans la feuille 7 – mobilier et matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) du classeur transmis pour pouvoir insérer le numéro d'inventaire du musée puis d'imprimer la feuille.

Cette transmission concerne les opérations préventives et les opérations exécutées par l'État ainsi que les opérations programmées autorisées par l'État lorsque du mobilier a été revendiqué par l'État.

Ce classeur est à transmettre avec le mobilier. Une copie du classeur A2 de l'opération sera remis à l'acteur pour lui permettre d'avoir des informations complémentaires sur l'opération et de connaître toute la documentation scientifique attachée à chaque objet, que celui-ci fasse partie du versement, qu'il fasse partie de la dévolution au(x) propriétaire(s) de la ou des parcelles sur lesquelles l'opération a eu lieu ou qu'il reste au CCE.

Ce classeur de transmission est composé de 5 feuilles: 1 Feuille Opération Archéologique /2 Feuille situation Opération Archéologique /7 Feuille mobilier et matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) /9 Feuille étapes des traitements mobilier et matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) /10 Feuille documentation scientifique, catégorie "moulages et empreintes".

5.4 *Transmission B2 entre le SRA et les collectivités territoriales en charge du matériel archéologique mis au jour lors d'opérations effectuées sur leur territoire*

Cette transmission permet au SRA, ou au CCE, de faire parvenir à la collectivité territoriale destinataire du mobilier de l'opération, sous format numérique normalisé, toutes les données sur le mobilier et la documentation scientifique dont elle a besoin pour en assurer la conservation et les mettre à la disposition des chercheurs. En effet, les collectivités territoriales en charge du matériel archéologique mis au jour lors d'opérations effectuées sur leur

territoire sont destinataires du matériel archéologique revenant à l'État (s'il ne peut pas être déposé dans un musée), de la documentation et de toutes données permettant aux chercheurs de poursuivre leurs recherches.

Cette transmission concerne les opérations préventives et les opérations exécutées par l'État ainsi que les opérations programmées autorisées par l'État lorsque du mobilier a été revendiqué par le SRA.

Le classeur de transmission B2 est à transmettre avec le mobilier et la documentation scientifique.

Ce classeur de transmission est composé de 11 feuilles: 1 Feuille Opération Archéologique /2 Feuille situation Opération Archéologique /3 Feuille Opérations Archéologiques liées /5 Feuille Unité d'Enregistrement /6 Feuille relation UE /7 Feuille mobilier, matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) /8 Feuille prélèvement /9 Feuille étapes des traitements mobilier, mnnb et prélèvement /10 Feuille documentation scientifique hors mnnb /11 Feuille liens documentation – UE /12 Feuille liens documentation – mobilier, mnnb et prélèvement.

5.5 Transmission B3 entre le SRA et les archives départementales

Cette transmission permet au SRA de faire parvenir aux archivistes départementaux, sous format numérique normalisé, toutes les données sur les opérations composant le versement dont ils ont besoin pour constituer les notices détaillées liées au versement.

Le tableau d'archivage de l'instruction n° 2004/024 du 21 septembre 2004 relative au tri et à la conservation pour les archives produites et reçues par les directions régionales des affaires culturelles donne des consignes sur les versements de la documentation. Néanmoins, la terminologie utilisée dans ce tableau n'est pas très explicite: «archives liées aux objets de fouilles (notes sur les objets)», «archives de fouilles hors objets», et ne permet pas de déterminer explicitement ce qui doit être versé et quand. Les acteurs de cette transmission, SRA, collectivités territoriales, archives départementales et même musées, ne sont pas toujours d'accord sur la destination finale de la documentation scientifique (hors catégorie "moulages et empreintes"). Un bon compromis pourrait être l'archivage de la documentation dans les CCE, les locaux de services archéologiques de collectivités territoriales ou les musées avec les conseils techniques et spécialisés des archives départementales pour en assurer une bonne conservation.

Dans l'attente d'une réflexion plus approfondie, cette transmission a été traitée pour répondre aux besoins des archives départementales en fonction des informations en possession des SRA.

Le classeur de transmission B3 est un complément au bordereau de versement. Il doit permettre d'aider les archivistes à constituer les notices détaillées liées à celui-ci.

Le classeur de la transmission B3 est composé de 3 feuilles: 1 Feuille Opération Archéologique /2 Feuille situation Opération Archéologique /10 Feuille documentation hors catégorie "moulages et empreintes".

5.6 Transmission C entre le SRA ou les collectivités territoriales en charge du matériel archéologique mis au jour lors d'opérations effectuées sur leur territoire et les chercheurs[8]

Cette transmission permet au SRA ou à la collectivité territoriale en charge du matériel archéologique de l'opération de fournir aux chercheurs, sous format numérique normalisé, toutes les données sur l'opération dont ils ont besoin lorsqu'ils souhaitent effectuer une étude sur tout ou partie des objets ou des lots d'une opération.

Le chercheur peut ainsi transférer ces données dans sa propre base de données sans avoir à les ressaisir et effectuer les analyses nécessaires.

Une fois son étude achevée, le chercheur transmet au SRA ou à la collectivité territoriale en charge du matériel archéologique de l'opération, une copie de la documentation réalisée lors de son étude (rapport, mémoire, dessins d'objet, analyses…) ainsi que le classeur de transmission C mis à jour avec les nouvelles données: nouveaux objets individualisés, nouvelles étapes de traitement, nouvelle documentation, modification des déterminations du mobilier,… Les objets ou lot nouvellement identifiés et la documentation créée lors de cette étude devront être intégrés dans le classeur C en utilisant la numérotation des identifiants mise en place lors de cette opération. Ces mises à jours seront notées en rouge pour permettre au SRA ou à l'acteur destinataire final de les visualiser facilement et les intégrer dans sa ou ses bases de données de gestion.

Cette transmission est donc en fait plus un échange de données.

Ce classeur de transmission est composé de 11 feuilles: 1 Feuille Opération Archéologique /2 Feuille situation Opération Archéologique /3 Feuille Opérations Archéologiques liées /5 Feuille Unité d'Enregistrement /6 Feuille relation UE /7 Feuille mobilier, matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) /8 Feuille prélèvement /9 Feuille étapes des traitements mobilier, mnnb et prélèvement /10 Feuille documentation scientifique hors mnnb /11 Feuille liens documentation – UE /12 Feuille liens documentation – mobilier, mnnb et prélèvement.

5.7 Transmission D entre le SRA et les acteurs-restaurateurs[9]

Cette transmission permet au SRA de faire parvenir à l'acteur-restaurateur, sous format numérique normalisé, toutes les données sur l'objet à traiter

[8] Sous ce terme de "chercheurs", il faut comprendre: chercheur, étudiant, opérateur (études complémentaires effectuées après la dévolution du mobilier par l'opérateur), bénévole…

[9] Acteurs-restaurateurs dans un sens général: toute intervention sur l'objet, de la plus légère à la plus lourde.

dont il a besoin. Et inversement, cette transmission permet à l'acteur-restaurateur de communiquer au SRA des informations sur les traitements que le matériel archéologique a reçus.

Cette transmission devrait plutôt s'appeler un échange de données.

Les données transmises à l'acteur-restaurateur concernent l'objet, sa matière, son type, son état sanitaire mais aussi les traitements antérieurs qu'il a subis. La conservation préventive se déroulant au moment de l'intervention sur le terrain et/ou de la post-fouille, donc avant l'échange entre le responsable de l'opération et le SRA, fait partie des informations qui apparaissent dans la transmission A2, feuille 9 – étapes des traitements mobilier, mnnb et prélèvement.

Une fois l'intervention sur l'objet effectuée, l'acteur-restaurateur transmettra au SRA son rapport et le classeur de transmission D auquel il aura rajouté une nouvelle étape de traitement.

Ce classeur de transmission est composé de 3 feuilles: 1 Feuille Opération Archéologique /7 Feuille mobilier et matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) /9 Feuille étapes des traitements mobilier et matériaux naturels et de nature biologique (mnnb).

5.8 *Informations complémentaires*

Les transmissions définies sont au nombre de sept, mais un acteur peut très bien mettre en place d'autres transmissions avec des acteurs qui n'ont pas été pris en compte, en fonction de ses besoins, dans l'esprit de la transmission d'échange D entre le SRA et les acteurs-restaurateurs.

Pour chaque transmission, les éléments suivants ont été définis:

– Les acteurs concernés.
– Les documents composant la transmission.
– Les catégories d'information décrites par les données d'échange (le mobilier, les matériaux naturels et de nature biologique, les documents graphiques ou photographiques, mais aussi les contextes de provenance – unités stratigraphiques ou structures archéologiques, les propriétés foncières concernées par l'opération – pour les droits de propriété du mobilier…).
– Les champs contenant les données et leurs descriptions.
– Les listes de termes de vocabulaire pour renseigner certains de ces champs (matière ou type des objets ou des lots par exemple).
– Les liens entre ces catégories (liens entre objets et contextes, objets et documentations…).

6. Support numérique de transmission

Le support numérique retenu pour la transmission des données d'échange est un classeur – fichier produits par les logiciels de type tableur – au format .xls.

Ce format de fichier est une solution pragmatique, économique et compatible avec tous les niveaux d'équipements informatiques. Il est en effet très largement reconnu et utilisé, y compris par les acteurs qui n'utilisent pas d'application évoluée de gestion de bases de données et se limitent à des produits de bureautique courante. Lu et écrit par la plupart des logiciels de gestion de données (en particulier par les tableurs Microsoft Excel et Open Office Calc, les logiciels de base de données comme Filemaker et Access…), il est actuellement un standard de fait et offre donc les meilleures garanties de durabilité et de récupération ultérieure des données[10].

Cette solution très simple répond de façon adéquate aux besoins d'échange de données. Un classeur permet de stocker et de transmettre les données provenant – ou destinées à – d'applications de bases de données, y compris lorsqu'elles sont structurées suivant un modèle relationnel complexe, à condition que les colonnes et les feuilles du classeur soient identifiées de façon à correspondre aux champs et tables définissant le modèle de données.

Chaque classeur de transmission est composé de feuilles qui sont identifiées par un numéro. Le choix d'un numéro plutôt que d'un titre, même s'il est moins explicite, permet d'éviter tout risque d'erreur de frappe, d'accentuation… qui pourrait poser problème lors de l'import-export de données dans les bases de gestion. Le numéro des feuilles est défini pour toutes les transmissions et reste fixe. Lorsqu'une feuille ne contiendra pas de données, elle n'aura pas à être créée.

Chaque feuille correspond à un type de données ou à des liens entre données. Chaque feuille est constituée de lignes et de colonnes. Les têtes de colonnes reprennent les noms des champs définis pour chaque transmission. Ces noms de champs doivent être reproduits à l'identique, sans accents ni signes de ponctuation pour éviter tout problème de compatibilité avec les bases de données et dans le même ordre que dans le descriptif de chaque transmission. Une colonne sans information doit être créée. Ces feuilles devront contenir seulement des valeurs, et être dépourvus de formules, macro-commandes ou tout autre adjuvant, ceci afin de conserver une capacité maximale de lisibilité avec des logiciels différents.

Pour certains champs, des listes de termes de vocabulaire sont proposées. Ces listes sont fixes (fermées) ou modifiables (ouvertes). Elles sont proposées pour aider à la saisie des données correspondantes et pour assurer

[10] Avec le recul aujourd'hui offert par trois décennies d'utilisation massive de l'informatique, le constat qui s'impose est qu'un format de fichier (et donc les informations qu'il contient) est assuré d'une certaine durabilité si, à un moment donné, il est employé par une majorité d'utilisateurs et utilisé pour la majorité des données de son domaine d'application, et cela indépendamment du logiciel d'origine qui produisait ce format. Le format de classeur .xls est ainsi incontournable, car il est dominant depuis quinze ans et plus. Compte tenu de l'immense quantité de documents au format .xls déjà produits et utilisés, les logiciels de bureautique ouverts actuels et futurs (pour vraisemblablement au moins les dix prochaines années), doivent offrir la lecture et l'écriture au format .xls s'ils veulent trouver des utilisateurs. Le choix de ce format est donc celui du moindre risque. Si, à l'avenir, un de ces formats ouverts réussit à sortir de sa position minoritaire pour accéder à une position dominante, alors son utilisation comme support d'échange de données entre applications diverses sera à envisager.

l'homogénéité de vocabulaire entre les différents acteurs. Cette homogénéité est nécessaire pour permettre des requêtes, des comptages et des statistiques fiables au niveau régional et national. L'usage de listes de termes de vocabulaire pour la transmission de données n'implique pas forcément la modification des listes de termes de vocabulaire déjà utilisées par les différents acteurs. L'acteur amont peut continuer à utiliser sa base de données avec ses propres listes de termes de vocabulaire. Lors de l'export de sa base pour concevoir un classeur d'échange, il devra simplement convertir ses termes avec ceux définis. Lorsque l'acteur aval souhaitera intégrer les données transmises dans sa base de données, il aura simplement à convertir les termes de vocabulaire transmis avec ceux de ses propres listes. Ces conversions passent par des automatismes qui sont à mettre en place lors du premier export ou import.

Chaque donnée doit avoir un identifiant unique dans son type (mobilier, unité d'enregistrement, document, prélèvement…). Cet identifiant, qu'il soit numérique ou alphanumérique, doit permettre d'accéder à l'objet physique (document ou objet) et à l'ensemble de l'information le concernant. Le code n'a pas l'obligation de synthétiser toute l'information sur le mobilier ou la documentation, il permet seulement de retrouver la ligne de la feuille dans laquelle l'information se trouve. Cet identifiant associé au code de l'opération archéologique rend la donnée correspondante unique dans son type au niveau national.

Le support numérique de transmission des données d'échange peut différer du classeur d'échange au format .xls si des acteurs ont déjà mis en place un système de transmission de données sous format numérique: par exemple un opérateur de collectivité territoriale qui utilise des masques de saisie de la base de données du SRA pour saisir ses données de fouille. Toutefois ce support numérique doit prendre en compte toutes les données définies pour la transmission correspondante. Le SRA ne peut pas imposer ce support numérique d'échange à tous les opérateurs ou responsables scientifiques travaillant sur son territoire. Sa ou ses bases de gestion doivent donc être capables d'importer des données provenant d'un classeur d'échange au format .xls.

7. Extraits, pour exemple, des feuilles du classeur de transmission A2 suite aux tests réalisés à Bibracte, centre archéologique européen en juin 2009

Feuille 1: Opération Archéologique										
code OA	region	type operation	intitule operation	operateur	responsable operation	date debut terrain	date fin terrain	chronologie generale	identifiant document georeferencement	notice scientifique
04801	Bourgogne	Fouille programmée	oppidum de Bibracte	EPCC Bibracte	Guichard Vincent	2006/05/22	2008/12/31	Age du Fer & Gallo-Romain	GF7BR 2008	GF7BR 2008

Feuille 2: situation Opération Archéologique								
code OA	identifiant parcelle	numero parcelle	section cadastre	annee cadastre	nom commune	numero INSEE commune	nom departement	lieu dit adresse
04801	7				Glux-en-Glenne	58128	Nièvre	Parc aux Chevaux (Le), domus PC1
04801	9				Saint-Léger-sous-Beuvray	71440	Saône-et-Loire	Pâture du Couvent (La), hors couvent
04801	32				Glux-en-Glenne & Saint-Léger-sous-Beuvray	58128 & 71440	Nièvre & Saône-et-Loire	Côme Chaudron (La)
04801	34				Glux-en-Glenne	58128	Nièvre	Parc aux Chevaux PC 14
04801	36				Glux-en-Glenne & Saint-Léger-sous-Beuvray	58128 & 71440	Nièvre & Saône-et-Loire	Les Barlots
04801	38				Glux-en-Glenne	58128	Nièvre	Theurot de la Wivre
04801	39				Saint-Léger-sous-Beuvray	71440	Saône-et-Loire	La Pâture des Grangerands
04801	40				Glux-en-Glenne	58128	Nièvre	Theurot de la Roche

Feuille 5: Unité d'Enregistrement (extrait)											
code OA	identifiant UE	type	description	interpretation	date ouverture	date fermeture	identifiant parcelle	identifiant document georeferencement	commentaire	nature	chronologie
04801	2006-7-7473	UF positive	Nature de la matrice: mortier de chaux & Couleur de la matrice: jaune & Constituants grossiers: moellons de rhyolite et granite	PA30 – Maçonnerie, mur			7	205-623-1	Mur Est de la pièce BM qui a été restauré après fouille en 2004		
04801	2006-7-7474	UF positive	Nature de la matrice: mortier de chaux & Couleur de la matrice: jaune blanc & Constituants grossiers: moellons de rhyolite et granite	PA30 – Maçonnerie, mur			7	205-623-2	Mur Sud de la pièce BM; angle Sud-Est reconstruit en 2004		
04801	2006-7-7475	UF positive	Nature de la matrice: mortier de chaux & Couleur de la matrice: jaune clair & Constituants grossiers: moellons de rhyolite et granite	PA30 – Maçonnerie, mur			7	205-623-1	Mur Nord de BM; angle Nord-Est reconstruit en 2004		
04801	2006-7-7476	UF positive	Nature de la matrice:? & Couleur de la matrice:? & Constituants grossiers:?	PT1 – Nettoyage			7		Nettoyage après décapage (cfr. P. Paris).		
04801	2006-7-7477	UF positive	Nature de la matrice: TCA & Couleur de la matrice: rouge orangé &	PA73 – Foyer simple			7	205-623-1	Foyer quadrangulaire en TCA La sole Est constituée d'une seule plaque foyaire (dalle d'hypocauste?), de 68 x 68 cm. Apparemment, seule occurrence connue sur PC1 (cfr. Paunier, Luginbühl 2004, 168-169).		

Feuille 6: relation UE			
code OA	identifiant UE 1	type relation	identifiant UE 2
04801	2000-32-2490	est recoupé par	2000-32-2739
04801	2000-32-2653	identique à	2000-32-2729
04801	2000-32-2662	est recoupé par	2000-32-2734
04801	2000-32-2662	relation incertaine avec	2000-32-2741
04801	2000-32-2663	est recoupé par	2000-32-2750

Feuille 7: mobilier, matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) (extrait hors champs optionnels)																	
code OA	identifiant materiel	objet lot	partage	composite	matiere	type	determination	numero contenant	nombre fragment	poids	unite poids	identifiant UE	date decouverte	identifiant parcelle	etat sanitaire	type preservation a envisager	commentaire
04801	2008-40-49-fer clous	lot	oui		métal	métal ferreux			4	28	g	2008-40-49		40			
04801	2008-40-49-fer clous	lot	oui		métal	métal ferreux			2	5,4	g	2008-40-49		40			
04801	2008-40-49-céramique amphore rejetée	lot	non		terre cuite	céramique			7	380	g	2008-40-49		40			
04801	2008-40-49-céramique vaisselle	lot	oui		terre cuite	céramique			7		g	2008-40-49		40			
04801	997-9-4337-2	objet	oui		métal	métal ferreux	Quincaille Clou à tête plate		1		g	997-9-4337		9			Quatre clous en très bon état tête en 8. ;
04801	997-9-4361-1	objet	oui		métal	métal ferreux	Quincaille Clou à tête plate		1		g	997-9-4361		9			Un clou tête en 8. ;
04801	997-9-4367-5	objet	oui		terre cuite	céramique	C2Lampe		1		g	997-9-4367		9			Fragment de lampe. ;
04801	997-9-4377-2	objet	oui		terre cuite	céramique			1		g	997-9-4377		9			Graffite. TIAC. ;

Feuille 8: prélèvement (extrait)					
code OA	identifiant prelevement	nature	identifiant UE	identifiant materiel	commentaire
04801	2006-9-9612-11	Prélèvement Botanique	2006-9-9612		25 litre
04801	2006-9-9629-42	Prélèvement Botanique	2006-9-9629		10 litre
04801	2006-9-9676-3	Prélèvement Botanique	2006-9-9676		10Litre
04801	2006-9-9734-1	Prélèvement Botanique	2006-9-9734		10 litre
04801	2006-9-9762-1	prélèvement	2006-9-9762		Mortier de maçonnerie. Réf. étude: MB 08-25.; Parement Ouest de l'élévation au niveau de la pièce 10050.;
04801	2006-9-9858-1	prélèvement	2006-9-9858		Mortier de maçonnerie. Réf. étude: MB 08-10.;
04801	2006-9-9881-1	prélèvement	2006-9-9881		enduit. Mortier de jonction de tégula et d'imbrex
04801	2006-36-340-5	Prélèvement Botanique	2006-36-340		charbon de bois; remplissage du haut du fossé Ouest enclos 2

Feuille 9: étapes des traitements mobilier, mnnb et prélèvement (extrait)									
code OA	identifiant materiel	identifiant prelevement	type traitement	date debut	date fin	lieu	nom responsable	identifiant rapport	commentaire
04801	986-7-7474-céramique amphore rejetée		rejeté						
04801	986-7-7475-céramique amphore rejetée		rejeté						
04801	986-7-7476-céramique amphore rejetée		rejeté						
04801	986-7-7478-céramique amphore rejetée		rejeté						

Feuille 10: documentation scientifique hors mnnb (extrait)											
code OA	identifiant documentation	type	nature support	nombre element	auteur	annee	format	description legende	type contenant	numero contenant	commentaire
04801	205-622-2	coupe	polyester millimétré	1	O. Urban (Université de Vienne)	2006	A2				
04801	205-623-1	plan	polyester millimétré	1	A. Mirimanoff; P.Paris (CAE)	2006	A2				Quart Nord-Est de la pièce BM
04801	205-623-2	plan	polyester millimétré	1	A. Mirimanoff; P.Paris (CAE)	2006	A2				Quart Sud-Est de la pièce BM
04801	205-624-9	coupe & plan	polyester millimétré	1	J.-P. Guillaumet (CNRS, UMR, Dijon), L. Dhennequin (univ. Paris 1)	2006	A2				

8. Les tests réalisés en 2009

8.1 *Testeurs ayant rendu un document de synthèse*

Le liste des testeurs est la suivante:

– Guillaume Varennes (SRA Rhône-Alpes). Test effectué sur une opération programmée ancienne.
– Catherine Argant (Archeodunum). Test effectué sur une opération préventive en cours.
– Raphaël Moreau (Bibracte). Test effectué sur l'ensemble des données du dernier triennal (2006-2008) saisie dans la base de données bdB.
– Marielle Doridat-Morel (SRA Lorraine). Test effectué sur la documentation d'une opération préventive déjà versée au SRA.
– Dominique Joly (Service archéologique municipal de la ville de Chartres). Test effectué sur une opération préventive ancienne.
– Anne Speller, Pablo Ciezar, Florent Mercey (INRAP). Test effectué sur une opération préventive en cours.

8.2 *Compte-rendu des commentaires transmis*

La plupart des tests ayant été effectués sur des opérations anciennes (ce qui lorsque les données d'échange seront mises en place ne sera qu'une infime partie des échanges, le travail de gestion du passif ne pouvant pas

être imposé aux responsables des opérations), il faut dans les commentaires transmis relativiser les problèmes liés à la saisie des données qui n'étaient pas prévues pour une transmission.

Dans l'ensemble les retours sur les tests ont été positifs. Les testeurs n'ont pas rencontré de grosses difficultés pour remplir les champs, la plupart des données faisant partie des données forcément recueillies ou créées lors d'une opération.

Les difficultés rencontrées ont surtout porté sur des données d'ordre administratif qui ne sont pas toujours transmises comme il se devrait: le code OA de l'opération que le SRA ne fournit pas encore systématiquement et les données sur les propriétaires des terrains sur lesquels les responsables de l'opération interviennent que l'aménageur doit normalement fournir.

De même, les champs demandés dans la feuille 7- mobilier, matériaux naturels et de nature biologique (mnnb) ne sont pas tous renseignés par les spécialistes, alors qu'ils correspondent aux données minimales nécessaires pour assurer la gestion de ceux-ci. Un travail de concertation sera donc à mener entre les responsables d'opérations et les spécialistes.

Une conséquence non attendue de ces tests a été l'appropriation du principe des données d'échange et des champs définis par les testeurs pour développer leurs propres systèmes et revoir leur méthode de travail.

Les classeurs représentent un cadre d'homogénéisation de la structuration des données sur l'ensemble du territoire français.

Le classeur A2 oblige une vérification complète de l'enregistrement de la documentation et du mobilier. Un jour de préparation étant toujours prévu pour une opération, il serait judicieux d'introduire un jour de "clôture" comprenant le conditionnement et la vérification des inventaires. Le classeur permet de vérifier que l'ensemble des numéros d'inventaire ont été correctement attribués (doublons…), de vérifier les lieux de stockages et les étapes de traitement.

L'intégration de ce classeur dans les pratiques quotidiennes permettra au SRA d'être en possession d'un inventaire complet, systématique et normalisé sur lequel la question de la propriété des objets peut être abordée avec le (co-)propriétaire du terrain.

Par les contraintes qu'il impose, la normalisation des données, le classeur représente une protection contre les dérives possibles liées à la multiplication des intervenants, dans le cas d'opérations longues, en préventive comme en programmée. Le classeur A2 va permettre aux responsables d'opération de structurer le travail d'enregistrement des données et de transmettre à chacun des spécialistes une grille de travail claire pour les inventaires qu'ils doivent fournir.

De même, ce cadre parfois contraignant peut représenter un fil pour remettre à flot une documentation ancienne qu'il faut sauver.

Les bases de données relationnelles actuellement en service, comme SysDa, Syslat ou bdB, permettent de créer sans trop d'interventions sur leur structure, le classeur d'échange A2. Pour bdB, le testeur a estimé que pour mettre en place les automatismes d'export pour constituer le classeur de transmission A2 à partir des données saisies, cinq jours sont nécessaires. Ces automatismes, mis en place une fois pour toute, permettent par la suite de réaliser ce classeur en moins d'une heure.

Ces tests ont même permis de développer plus facilement des points encore peu exploités dans certaines bases de données relationnelles et de mettre en place des protocoles de collectes de données similaires aux classeurs d'échange développés.

9. Les dernières étapes avant la mise en place effective des données d'échange

Une nouvelle phase de test a été lancée en juillet 2010. Elle porte cette fois-ci sur l'ensemble des transmissions et de la chaîne opératoire en archéologie, de la fouille au lieu de conservation pérenne (CCE ou musée), pour poursuivre la critique objective de ce projet et lui apporter tout perfectionnement utile.

Les classeurs expérimentaux de transmission des données d'échange sont disponibles à la sous-direction de l'archéologie, direction générale des patrimoines, ministère de la Culture et de la Communication (anne.chaillou@culture.gouv.fr).

Cette nouvelle phase d'expérimentation servira de préliminaire à un groupe de travail destiné à la validation du système.

Anne Chaillou
Sous-direction de l'archéologie
Direction générale des patrimoines
Ministère de la Culture et de la Communication

ABSTRACT

The purpose of the project led at the present time by the sub-direction of archaeology (Ministère de la Culture) is to organize the data transmission under IT format from one actor to another in the archaeological process of artifact management and documentation. This would mean that the diverse actors involved – regional services of the archaeology, department of the underwater and submarine archaeological researches, operators, administrators of preservation and studies centers, excavation warehouses, or museums agents responsible for archaeological collections – would not be obliged to collect this information again on their own computer systems, during the relay passage between actors.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 265-277

LA MISE EN PLACE D'UN OBSERVATOIRE DES PRATIQUES GÉOMATIQUES DANS LES ORGANISATIONS DE L'ARCHÉOLOGIE

1. Introduction

L'utilisation des SIG est devenue courante en archéologie mais leur impact sur notre travail quotidien est peu lisible. C'est pourquoi il devient nécessaire d'observer, pour les comprendre et les contrôler, les mutations technologiques qui se développent au sein de notre discipline. C'est ce que nous avons cherché à faire à l'occasion d'une thèse de doctorat dans laquelle nous nous sommes efforcés de comprendre les enjeux associés à la mise en œuvre des systèmes d'information géographique (SIG) en archéologie[1].

L'archéologie est vue dans ce travail comme un ensemble d'organisations (organismes, institutions, structures informelles..) qui poursuivent leurs propres objectifs selon des modalités qui leurs sont spécifiques. Il n'y a alors plus «une archéologie» mais «des cadres d'exercice qui permettent de faire de l'archéologie» qui s'interconnectent pour former une discipline. Dans ce contexte, les outils, particulièrement les SIG, traduisent non seulement les logiques propres de la discipline mais répondent aussi aux besoins et aux contraintes des organisations. Ils déterminent autant qu'ils en sont issus les processus de recherche.

Notre objectif a été de faire un premier état des lieux de la mise en œuvre des SIG dans différentes organisations de l'archéologie afin de mettre au jour d'une part des lignes directrices collectives et d'autre part les différences profondes et structurelles, tant au niveau des techniques et des méthodes de développement des projets, des infrastructures matérielles, des objectifs ou des résultats attendus.

Il s'agissait de développer une vision qualitative et descriptive d'unités d'action nommées projets, en tenant compte des différents aspects qui les composent: les objectifs scientifiques tels qu'ils peuvent être lus à la lumière de la documentation disponible, les organisations qui accueillent et participent à ces projets, les acteurs qui les mettent en œuvre et les technologies qui rentrent en jeu (Fig. 1).

Au final, presque 100 projets ont été identifiés et examinés. 4 grands contextes ont été distingués: les collectivités territoriales (département, municipalités), le ministère de la Culture (DAPA, SRA), l'Afan/Inrap et les organismes de recherche et d'enseignement supérieur (UMR, CNRS – Universités, Instituts Français à l'étranger, Ecoles Françaises). Notons dès à présent que

[1] Cet article est le résumé de la première partie d'une thèse de doctorat soutenue en Janvier 2010 à l'Université de Paris Ouest sous la direction de Anne-Marie Guimier-Sorbets. On pourra consulter l'intégralité de ce travail à l'adresse: http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00448490/fr/.

FICHE PROJET OBSERVATOIRE

(1) CONTEXTE

TITRE ABRÉGÉ :

TITRE DÉVELOPPÉ DU PROJET

Série : *Ensemble institutionnel d'appartenance du projet. Les ensembles sont :* • *Recherche* • *Culture* • *Collectivités* • *AFAN/INRAP* • *Autre*	Organisme support : *Organisation support prenant en charge la gestion effective du projet (financière administrative et ou scientifique).*	Type : *Typologie de projet (PCR, ANR, Thèse...)*
Localisation : *Localisation administrative du projet.*	Organisme(s) partenaire(s) : *Organismes associés à l'organisme support.*	Mode d'observation : *Modalités de connaissance du projet : Bibliographique /Directe.*
Echelle d'approche : • *Echelle régionale* • *Micro-régionale* • *Echelle locale* • *Echelle urbaine* • *Echelle site*		Niveau d'information : *Evaluation du niveau de connaissance du projet :* *1 - Satisfaisant* *2 - Médiocre* *3 - Insatisfaisant*
Contact(s) : *Noms des membres de l'équipe projet.*		
Début des travaux et état du projet : *Eléments permettant d'apprécier les modalités de déroulement du projet.*	Chronologie dominante de l'équipe : *Chronologie dominante des travaux des acteurs de l'équipe mettant en œuvre le projet.*	Chronologie dominante projet : *Chronologie dominante des données prises en charge dans le cadre du projet.*

(2) SOURCES :

Bibliographie :

Références bibliographiques rattachées au projet

Interventions, conférences, entretiens et autres ressources :

Références des manifestations formelles ou informelles (rencontres, réunions, entretiens...) ayant été utilisées pour la rédaction de la fiche.

(3) DESCRIPTION SOMMAIRE DU PROJET :

Description sommaire des attendus du projet, des acteurs, du contexte, des modalités de mise en œuvre, des technologies et des bases de données constituées (inférieure à 2 pages)

(4) FICHE ANALYTIQUE :

SERIE :		TYPE :
TITRE		
PROJET ET ASPECTS ORGANISATIONNELS		
1. Nombre de participants au projet : *Estimation du nombre de participant au projet sous la forme de Inf. 10, Sup. 10, Sup. 20 ...etc. Donnant une idée de la dimension organisationnelle du projet.*	**2. Etat du projet :** *1 - Etat de développement du projet :* *2 - En gestation* *3 - En cours de développement* *4 - En phase d'exploitation* *5 - En phase de sommeil* *6 - En phase d'abandon*	**3. Budget global du projet :** *Eléments permettant d'apprécier la masse financière mobilisée pour le projet.*
4. Spécialités représentées dans le projet : *Enumération des spécialités disciplinaires représentées dans le projet.*	**5. Equipe constituée ou équipe projet :** *Projet développé sur la base du fonctionnement récurent des équipes ou sur la base de la composition d'une équipe projet.*	**6. Direction et organisation hiérarchique de rattachement :** *Rattachements organisationnels des membres de l'équipe ou du projet permettant d'apprécier la structure hiérarchique, administrative et financière du projet.*
Observations : *Tout élément non précisé ci-dessus permettant d'apprécier le dispositif organisationnel du projet.*		
SYSTÈME D'INFORMATION		
1. Outils informatiques utilisés dans le projet : *Enumération des outils utilisés ou développés dans le cadre du projet.*	**2. Contexte et niveau d'informatisation** *Eléments permettant d'apprécier les modalités d'informatisation.*	**3. Orientation de l'outil :** *Eléments permettant d'apprécier les objectifs de l'outil, à savoir : la gestion, la modélisation... etc.*
4. Nombre et type des utilisateurs : *Eléments permettant d'apprécier le nombre d'utilisateurs des outils.*	**5. Structure générale du système :** *Description de la structure physique du système d'information :* • *Système mono-poste* • *Système réseau* • *Système mobile... etc.*	**6. Niveau intégrés dans le SIG :** *Description des modalités d'organisation et d'administration du SIG : types et niveaux d'utilisation du système.*
7. Information et données du SI : *Description sommaire des grands types de données intégrées dans le système d'information : Données environnementales, données historiques... etc.*		**8. Origine des informations :** *Sources et modalités d'acquisition de la donnée : acquisition à titre onéreux auprès d'un organisme de production (IGN – BRGM), conventionnement, production en propre... etc.*
Observations : *Tout élément non précisé ci-dessus permettant d'apprécier le dispositif technologique et le corpus de données du projet.*		

Fig. 1 – Exemple d'une fiche descriptive de projets géomatiques.

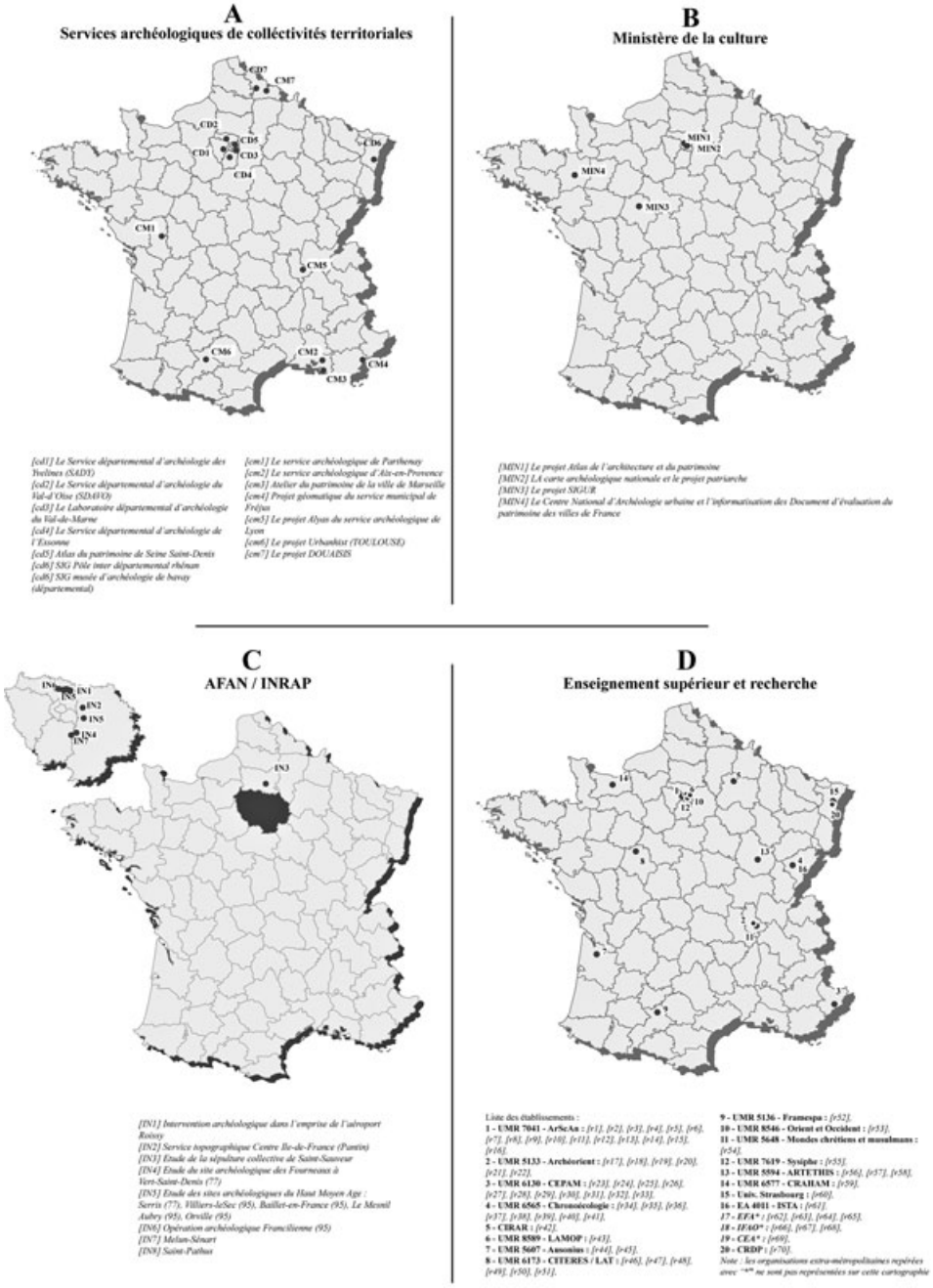


Fig. 2 – Cartographie générale des projets et des organisations représentées dans l'Observatoire. Les numéros figurant sur les cartes a, b, c renvoient à la liste des projets de l'observatoire. Pour la carte c, recherche et enseignement supérieur, une institution étant porteuse de projets qui peuvent être très variés dans leurs formes et leurs localisations géographiques, nous avons préféré proposer une cartographie des institutions localisées en métropole. Les institutions représentées par les numéros 17, 18 et 19 étant localisés à l'étranger, elles n'apparaissent pas sur cette carte. On trouvera un peu plus loin dans ce texte une cartographie des projets.

nous avons interrompu notre enquête en septembre 2009; ce sont donc les résultats à cette date que nous livrons (Fig. 2).

2. Premiers Resultats de l'observatoire

2.1 *Les services archéologiques des collectivités territoriales*

Contrairement aux services de l'Etat ou à l'Inrap qui ont des missions définies par des textes législatifs, les collectivités locales n'ont pas d'obligations légales. Leurs missions dépendent en conséquence de la politique de la collectivité en matière de culture et d'aménagement et de l'idée que se font ces institutions du rôle que peut avoir l'archéologie dans la vie des territoires

Sur la question des systèmes d'information, les services de collectivité ont développé des outils souvent originaux qui disposent souvent de l'appui logistique de services informatiques et parfois des moyens financiers et humains importants (cfr. [cd02] – Val-d'Oise, [cd03] – Seine-Saint-Denis).

Le premier élément qui permet de comprendre les systèmes d'information des collectivités est leur accroche territoriale. Le territoire au sens administratif du terme est le cadre d'action obligatoire et spécifique de ces équipes. Il sous-tend une certaine pérennité et intensité d'action que les autres organisations de l'archéologie ne possèdent pas. En outre les services archéologiques de collectivités bénéficient de leur intégration au sein de la communauté plus large qu'est la collectivité territoriale ce qui leur donne accès à un soutient logistique plus important et leur permet d'envisager des mises en œuvre globalement plus lourdes en termes d'infrastructure.

2.1.1 Le corpus retenu

Nous avons au final examiné 14 projets qui nous ont semblés représentatifs des différents types de développement de SIG archéologiques au sein des collectivités. Sept sont issus d'une institution départementale ou assimilée (dont une est une institution de type établissement public inter-départemental: Pôle d'Archéologie Interdépartemental Rhénan – PAIR) et sept d'une structure municipale ou assimilée (une structure intercommunale: pôle archéologique du Douaisis).

2.1.2 Un SIG pour un service archéologique de collectivité?

Du point de vue technique et organisationnel, les projets des collectivités sont d'abord des projets développés sur du long terme (plus de 10 ans) ce qui leur permet de disposer d'importants corpus d'informations notamment sur les questions des cartes archéologiques ou encore des cartes anciennes. Ces systèmes sont clairement conçus pour organiser et gérer une documentation importante en en administrant l'accès.

Plus que de l'échelle de référence de l'organisme, leur structuration technique, le type d'information intégrée ou encore leur niveau de dévelop-

pement dépend des missions attribuées aux services, de ses moyens et de ses ressources humaines. En revanche, là où ils existent, ces systèmes constituent un élément structurant pour l'action des équipes départementales à toutes les étapes du travail et cela quelle que soit l'échelle (de la fouille au territoire).

En outre, il faut aussi noter qu'un des grands apports des SIG pour les services archéologiques de collectivités territoriales est de multiplier les perceptions/représentations que l'on peut avoir d'un territoire et par cette façon de pouvoir confronter les différents points de vue que privilégient chaque compétence métier aux regards des enjeux qui lui sont propres à l'intérieur et à l'extérieur de l'institution.

2.2 *L'Institut National de Recherches Archéologiques Préventives*

Suite à la loi du 17 Janvier 2001 l'Association pour les Fouilles Archéologiques Nationales (AFAN), crée en 1973, a été transformée en un Institut National de Recherches Archéologiques Préventives (Inrap), établissement public sous la double tutelle des ministères de la Culture et de la Recherche dont les missions sont essentiellement liées à la réalisation des opérations d'archéologie préventive.

Sur la question des systèmes d'information, l'AFAN dont les actions étaient par nature ponctuelles, segmentées dans le territoire et dans le temps se définissait par son absence de politique générale en la matière et par une nette prédominance des outils DAO sur les outils de type SIG.

2.2.1 Le corpus retenu

Nous avons retenu sept projets dont plus de la moitié ont été développés avant la mise en place de l'Inrap durant la période AFAN. Ils sont donc pour la plupart anciens et peu d'entre eux ont été poursuivis sur la longue durée. Ils donnent cependant un aperçu assez représentatif de ce qui peut être fait dans l'institution Inrap qui reste l'héritière de l'AFAN tant au niveau des personnels que des pratiques antérieures.

On a distingué les projets liés à la gestion d'un site (IN3, IN4, IN5) de ceux liés à la gestion d'une opération composée d'une collection de sites (IN1: ROISSY, IN6: FRANCILIENNE, IN7: MELUN SENART).

2.2.2 Un SIG pour l'Inrap?

Le développement des SIG au sein de l'Inrap a donc longtemps été lié aux initiatives de ses personnels qui jusqu'alors n'avaient pas été relayées au niveau institutionnel. Les outils étaient clairement orientés vers la gestion et l'analyse des données à l'échelle de la structure archéologique et de la fouille et étaient généralement développés dans le but de produire des plans par phases destinés aux DFS.

On peut noter que des études sont en cours (Rodier 2006; Moreau, Rodier 2009) et que la question des SIG au sein de l'Inrap est d'actualité comme l'atteste le recrutement récent (en 2010) au sein de la Direction Scientifique et Technique (DST) de deux chargés de projet l'un pour les bases de données l'autre pour les SIG.

En outre, le développement d'une politique scientifique propre (notamment avec les projets d'action scientifique – PAS) et le rattachement de plus en plus important des personnels de l'institut aux équipes et aux programmes de recherches des UMR leur permet (théoriquement) de se dégager partiellement des logiques strictement opérationnelles[2]. Sur ce dernier point, pour pondérer cette apparente pauvreté de projets, nous avons relevé au moins dix projets mentionnés au chapitre 2.4, dans lesquels les personnels de l'Inrap sont partie prenante (R1: Archéologie du Bassin Parisien, R16: Vallée de l'Aisne, R17: Dynarif, R23: Argonne, R26: Crémieu, R27: Haut-Rhône, R36 – 37 – 38: Archaeomedes, R41: SIGRem, R42: Alpage, R53: Berry, R60: Roussillon).

2.3 *Le Ministère de la Culture*

Le Ministère de la Culture est organisé selon un double schéma: à côté des services centraux généralement basés à Paris qui fixent les grands éléments d'orientation de la politique culturelle du ministère, existent des services dit déconcentrés rattachés aux Directions Régionales des Affaires Culturelles (DRAC) qui prennent en charge le développement des procédures et la gestion opérationnelle des dossiers. Pour l'archéologie, ce sont les SRA qui tiennent ce rôle. En matière de systèmes d'informations, c'est dans les différents services répartis en régions que sont enrichies les bases de données qui sont les outils opérationnels des services.

En archéologie, c'est l'application PATRIARCHE qui cherche à répondre aux besoins de gestion des procédures administratives liées essentiellement à l'archéologie préventive. Cette application est architecturée sur une plateforme informatique qui couple un système de gestion de base de données (SGBD: Oracle), un système d'information géographique (Arc-view) et un outil de requêtes (Business Object). La base de données est structurée selon cinq ensembles en inter-relation permanente: les entités archéologiques sont la nouvelle unité de travail; les opérations archéologiques et les protections composent le volet administratif du système; les sources documentaires et le répertoire regroupent les informations documentaires (bibliographie, fichier d'adresse).

[2] En 2008, sur la question de la recherche l'INRAP affichait dans son bilan les chiffres suivant: 17242 journées consacrées à la recherche, 9 axes de recherches propres définis pour 2005 -2009, 254 archéologues participent à 28 UMR.

2.3.1 Un SIG Culture?

Le système PATRIARCHE représente une notable amélioration pour les services par rapport aux systèmes précédents. La nouvelle interface rend l'outil plus accessible, l'architecture informatique est plus souple et plus évolutive; la conception générale semble plus cohérente avec les besoins des services. Autant d'éléments propres à favoriser la diffusion dans les services de ce nouveau produit. Il est par ailleurs devenu le nouvel élément de référence pour la communauté archéologique.

En revanche, si l'outil dans sa version actuelle résout les problèmes que pouvaient poser le précédent système (DRACAR/SIGAL), la question des échanges avec les autres institutions (collectivités, Inrap, CNRS et université) reste entière. Les relations jusqu'ici difficiles entre les systèmes existant sont contradictoires avec un contexte où l'association entre institution devient la règle et où l'ouverture des systèmes devient la norme. Cette question, loin d'être résolue, est d'autant plus sensible que la carte archéologique est au cœur de la nouvelle législation sur l'archéologie préventive. La coexistence des projets et leur multiplication, quelque soit l'institution, imposent de réfléchir aux modalités de l'échange.

2.4 *La recherche et l'enseignement supérieur: les UMR, les Universités, les Grandes Ecoles et les Instituts français a l'étranger*

Aborder la question de la pratique des SIG dans le monde de la recherche archéologique française et de l'enseignement supérieur relève d'une certaine gageure. Gageure, parce que le monde de la recherche archéologique possède une grande complexité organisationnelle avec une succession d'organismes en relations intimes les uns avec les autres.

Si tous relèvent du secteur public, chacun possède des spécificités en termes de financements, de modalités de travail et de missions. Ce fonctionnement institutionnel est complété par un agencement encore plus ouvert qui permet de constituer des équipes pluri-institutionnelles. Leur forme peut être variée: Unités Mixtes de Recherche (UMR), Projets collectifs de recherche (PCR), Groupement de Recherche (GDR), Actions Concertées Incitatives (ACI), programme ANR… constituent quelques unes des modalités d'organisation possibles des programmes de recherche archéologique. Ils correspondent à des niveaux de projet, des implications d'acteurs, des financements, des inscriptions dans le temps et des formalismes différents. Aussi le point important à retenir est que même si certaines structures sont plus pérennes que d'autres, aucune de ces équipes n'à vocation à la très longue durée ce qui de fait détermine les possibilités de développement des systèmes.

Retenons cependant que dans cet arsenal foisonnant, l'Unité Mixte de Recherche (UMR), reste le principal dispositif opérationnel de la recher-

che française, en archéologie comme dans d'autres disciplines. On compte aujourd'hui plus de 120 UMR différentes pour les sections 31 et 32 du Comité National de la Recherche Scientifique ou les sections 20 et 21 du Conseil National des Universités (CNU), auxquelles il faut ajouter, entre autre, les équipes universitaires, les équipes des Grandes Ecoles et celles des Instituts Français à l'étranger.

2.4.1 Aperçu général du corpus

Nous avons retenus 70 exemples issus de 20 organisations différentes. Le plus grand nombre de ces exemples (59 sur 70) est le produit des UMR (13 sur 20). On retrouve ensuite les grandes Ecoles et les Instituts du Ministère des Affaires Etrangères.

2.4.2 Les projets géomatiques dans les organisations de la recherche…

Ce qu'on peut retenir sur la question technique, c'est que la plupart des projets liés aux organisations de la recherche sont basés sur des infrastructures techniques légères mais conceptuellement robustes. Une très nette préférence est donnée aux applications monopostes facilement contrôlables et ne faisant pas appel à des ressources ou à des compétences techniques extérieures. Ces projets sont plutôt développés sur des durées moyennes (de trois à cinq ans) et les équipes de recherche qui s'investissent dans des projets géomatiques sont généralement constituées dans le cadre spécifique du projet. Développés autour d'une période chronologique donnée, ils regroupent toujours des spécialistes de thématiques assez variées issus d'équipes de recherche différentes. Le nombre et les types de données gérés dans les applications examinées sont très variables et aucun schéma de référence ne peut être dégagé tant la diversité des projets est grande. Même si ce sont les petites échelles qui sont les mieux représentées, toutes apparaissent (de la gestion des traces jusqu'à l'analyse des territoires) avec des organisations qui peuvent être très différentes et des expressions d'objets qui peuvent varier fortement d'une base de données à l'autre. On retrouve cependant les modalités d'expression graphique les plus classiques: l'artefact, les structures archéologiques ou le site (exprimé sous la forme d'une entité complexe composée de structures archéologiques ou sous la forme d'un ponctuel associé aux analyses territoriales ou régionales).

Enfin, dans la majeure partie des cas de figure, les attentes liées aux SIG sont associées à la gestion *stricto-sensu* de la dimension spatiale de l'information et à la possibilité qu'offrent ces outils de disposer d'outils d'interrogation et de manipulation (approches exploratoires) pour au final produire des cartes. Les approches modélisatrices sont peu représentées et l'examen plus détaillé des modèles utilisés relève en toute logique des modèles géographiques (Thiessen, places centrales…).

3. Vers la proposition d'un panorama géomatique des organisations de l'archéologie

Ces premières observations nous permettent de dresser ce que nous avons désigné comme "un panorama géomatique". Le terme panorama est ici particulièrement justifié, parce que notre démarche d'observatoire n'est pas construite dans le but d'être exhaustive, mais bien dans l'idée de proposer une vision synoptique de ce que sont les pratiques quotidiennes liées aux SIG en archéologie au sein de nos organisations.

Plusieurs constats peuvent être faits:

1) En terme de développement de projets d'abord, l'examen des dates créations des projets nous a permis de dégager au moins trois phases correspondant chacune à une périodicité d'une dizaine d'années environ:

– la première correspondant à la mise en œuvre pionnière de ces outils entre 1985 et 1995;
– la deuxième correspondant à leur diffusion massive entre 1995 et 2005,
– la troisième, dans laquelle nous sommes aujourd'hui, correspond si ce n'est à une phase de décroissance, tout du moins à une phase de stabilité et d'intégration beaucoup plus forte de ces technologies dans nos pratiques.

A cela, on peut donner deux types d'explication:

– le premier se rapporte aux logiques d'insertion d'une technologie dans une discipline: suite à la phase de développement, on a classiquement une phase de maintenance et d'exploitation des systèmes et des applications qui suit. Si on considère que cette phase possède la même temporalité que les deux précédentes (env. 10 ans), nous n'en sommes alors qu'à mi parcours. On peut donc imaginer que nombre de résultats devraient sortir de l'exploitation des systèmes.
– la deuxième se rapporte à la liaison entre la discipline et ces outils: ce qui caractérise les SIG chez les archéologues aujourd'hui, c'est qu'ils sont passés du domaine de l'exception à celui du quotidien. Il n'est pas complexe aujourd'hui – ni techniquement, ni financièrement – de se procurer et de mettre en œuvre des outils parmi les plus pointus. Le développement d'un SIG rentre donc dans le domaine du "commun". D'ailleurs, la plupart des doctorants sont aujourd'hui formés à ce type d'outils et les mobilisent dans le cadre de leurs travaux. C'est là un point important, parce qu'en étant sous-jacent, ces systèmes deviennent encore plus structurants pour nos pratiques. C'est d'ailleurs un des aspects qui en rend l'examen et l'analyse complexes[3].

[3] A ce titre, la mise en place (en cours) par le réseau des Maisons des Sciences de l'Homme (MSH) d'une convention destinée à équiper tous les sites du réseau de "licences site" (GIS – MSH – accès à des produits ESRI) montre bien que la diffusion des outils est aujourd'hui à l'aube d'un saut quantitatif et d'une vulgarisation qui rappelle celui des bases de données durant les années 90.

Les SIG ont donc encore de “beaux jours” devant eux, et la diffusion plus massive que jamais de ces technologies aura tendance à s’intégrer plus profondément à tous les programmes de travail. Cette tendance est encore plus marquée avec l’apparition des technologies *Open Source* ou la diffusion régulière mais inéluctable de géo-services tels que Google Earth, Virtual Earth, le géoportail … qui poussent encore en ce sens.

2) En termes de types d’applications ensuite, on peut distinguer des niveaux de structuration différents qui déterminent en partie la pérennité du projet et le niveau d’appropriation par les publics potentiels:

– *Les systèmes individuels associés à un individu voire à un programme de recherche.* Ces systèmes disposant de peu de moyens, sont généralement peu évolués du point de vue de l’infrastructure technique et des interfaces. Elles sont généralement associées à des corpus de données eux aussi peu développés. Dans la majeure partie des cas de figure, ce type de projet est associé à la réalisation d’un diplôme ou d’une étude très ponctuelle (master, DEA, Thèse, fouilles archéologiques préventives…). Ici le chef de projet possède tous les rôles, il est contributeur, utilisateur, administrateur et la base de données n’a de pérennité que celle que le chef de projet veut bien lui donner.
– *Les systèmes centrés autour du programme scientifique d’une équipe.* Ici, on a généralement un individu, le chef de projet qui est pérenne dans ses fonctions et qui a en charge l’administration générale de l’application. Il répond aux besoins des membres de l’équipe. Les corpus de données sont alors plus variés et le chef de projet joue le rôle d’interface entre le système et les besoins exprimés par les chercheurs. Cette configuration est celle de la majorité des projets de recherche. Les moyens sont ici plus importants et l’effort porte généralement sur un plus long terme (5 à 10 ans).
– *Les systèmes d’équipes structurés autour d’un projet fédérateur:* plus ambitieux techniquement, les questions de la structuration technique et celles des interfaces sont ici centrales. Le développement de ces systèmes repose sur une répartition des tâches d’enrichissement, de gestion et d’exploitation entre un administrateur qui gère le projet dans sa globalité et des utilisateurs/contributeurs qui enrichissent et exploitent le système. Les projets de recherche disposant de moyens plus importants ou encore les politiques de service ayant la possibilité d’investir sur le moyen voire sur le long terme bien au-delà de la logique opérationnelle sont de cet ordre.
– *Les systèmes fédérateurs:* ce sont les systèmes les plus structurés techniquement. Ils dépassent la durée de vie d’un projet classique et ne sont généralement pas liés à un individu spécifique mais sont intégrés à une dynamique institutionnelle qui les porte et leur assure une grande pérennité. Les corpus de données sont alors très riches. On voit souvent ce type d’application dans les organisations liées à la gestion territoriale quel que soit l’étendue du territoire.

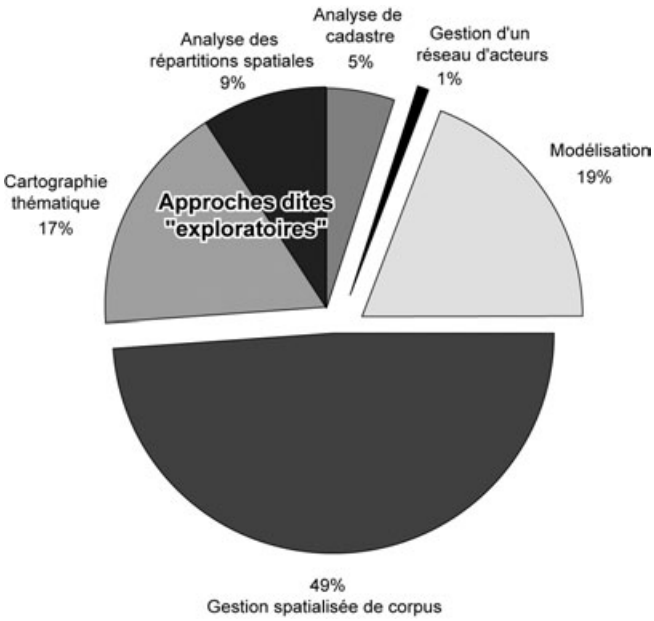


Fig. 3 – Graphique de répartition des orientations-types des projets.

3) Les objectifs qu'on assigne à ces systèmes déterminent globalement le niveau et le type d'information qui sont intégrés (Fig. 3).

– *Une logique basée sur l'efficacité opérationnelle*. Les projets inscrits dans cette logique d'objectifs développent des perspectives fortes en termes d'acquisition et de gestion des données archéologiques et entretiennent une relation intime avec l'acte de fouille. Ils sont liés aussi généralement à une production documentaire précise (plans, atlas, collection de cartes…)

– *Une logique focalisée sur des objectifs de coordination et de fédération de l'information et des initiatives au niveau de l'acquisition et de la gestion de l'information*. Au besoin strict de gestion opérationnelle est souvent associé un besoin de communiquer avec d'autres organismes[4].

– *Une logique de type exploratoire*. Ici, la priorité est donnée à l'interrogation. Ce sont les cas de figure les plus représentés dans nos organisations. Les SIG sont perçus comme des outils d'exploration de données multiformes dont la forme, le nombre et la masse rendaient difficile voire impossible l'exploitation directe.

[4] Un cas exemplaire a été observé avec le service archéologique de la municipalité d'Aix-en-Provence où le SIG est l'outil qui permet non seulement de partager avec les autres services municipaux, mais aussi d'inscrire l'archéologie dans les procédures d'urbanisme.

– *Les logiques modélisatrices*. Ici, SIG se confond avec analyse spatiale au sens strict du terme. A partir d'une base de faits établie selon différentes méthodologies (prospection, fouille, analyse documentaire), est appliqué un processus de modélisation généralement issu de la géographie et qui peut être soit social (Thiessen, Christaller) soit topométrique (coût/distance). C'est ensuite l'écart par rapport au modèle théorique qui est analysé pour aboutir à un discours archéologique. Si les modèles en eux-mêmes ne sont pas nouveaux (puisque développés pour certains dès les années 30), les quantités de données mobilisées ont pour effet la production de résultats innovants.

4. Bilan: au final quels impacts pour nos organisations?

Au final quel constat tirer de ce premier niveau d'analyse des projets? Peut-on dégager des éléments permettant de comprendre les impacts des SIG sur les organisations de l'archéologie?

Le point essentiel à souligner est d'abord celui du seuil quantitatif que nous avons franchi ces dernières années au niveau d'une part, de la diffusion des outils, mais aussi des possibilités de traitement. Qui s'étonne aujourd'hui de gérer plusieurs milliers, voire millions d'objets et de pouvoir y accéder partout dans le monde ou de disposer de formidables bases de données de références géographiques (Google Earth, le Géoportail)? Tout comme ces nouvelles possibilités nous ouvrent de nouveaux champs de pratiques, elles conditionnent ce que nous sommes en mesure de proposer et de découvrir et posent de nouvelles questions notamment en termes d'échange et de pérennité des données.

Enfin, ce ne sont pas tant les SIG eux-mêmes que ce que deviennent les SIG dans le contexte plus général des systèmes d'information (avec les questions du Webmapping et de l'Open-Source) qui est aujourd'hui au centre des enjeux et qui interrogent nos manières de produire de la connaissance archéologique: comment gérer ce flux permanent d'informations et de services qui foisonne aujourd'hui en tous sens? Comment proposer une organisation des projets et des données suffisamment rigoureuse et souple permettant de faire face aux évolutions technologiques incessantes?

Une part de la réponse est induite par le contexte organisationnel dans lequel on se trouve. Les organisations possèdent des cultures, des manières de faire constituées d'outils matériels, de procédures, d'histoires et de pratiques qui conditionnent en partie le développement des projets.

Les logiques d'instrumentation sont aujourd'hui fondamentales dans nos disciplines. Elles sont basées sur des standards dont les développements ne dépendent pas de l'archéologie et qui, de fait, conditionnent nos potentiels de recherche. Très concrètement, chacun utilise des bases de données géographiques développées par d'autres, chacun utilise des outils dont les fonctionnalités ont été développées par et pour d'autres (le GPS notam-

ment…). L'inscription sociale de nos organisations est donc un effet majeur de l'utilisation de plus en plus marquée des SIG dans la pratique de l'archéologie et des archéologues.

Laurent Costa
UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Équipe Monde grec, monde grec archaïque

BIBLIOGRAPHIE

Costa L. 2010, *Impact de la géomatique dans les organisations de l'archéologie*, Université de Paris X, Thèse de doctorat sous la direction de A.-M. Guimier-Sorbets, Nanterre.

Guimier-Sorbets A.M. 1999, *Des bases de données à la publication électronique, une intégration des données et des outils de recherche,* «Archeologia e Calcolatori», 10, 101-115.

Rodier X. 2006, *Quel SIG pour l'Inrap? Rapport d'expertise d'utilisation des SIG à l'Inrap*, Paris, Inrap.

Moreau A., Rodier X. 2009, *Un grain de SIG dans le processus, outil d'aide à la recherche pour les opérations d'archéologie préventive à l'Inrap*, *Rapport d'expertise, Avril 2009*, Tours, Université François Rabelais.

ABSTRACT

This study deals with the impact of the Geographical Information Systems (GIS) on the French institutions for archaeological research. The practices of GIS follow a global evolution. With the dematerialization of the data and the systems, we are actually in a process which proposes new modes of data management and new working processes. On the occasion of a PhD research at the University of Paris Ouest-Nanterre, we conducted an examination of projects drawn from various contexts of French archaeology: archaeological services of regions with a measure of autonomy, national institute of preventive archaeological research (Inrap), Ministry of Cultural Heritage, University and institutes of research. It gave us the opportunity to analyze the peculiarities and durability of the practices connected to GIS. This double initiative shows us that the relevance of questioning the format techniques and the methods by which their tolls are implemented, in order to take into account the specificities of the technology and the differences in rationalities and perceptions of the archaeologists, highlights. It highlights the strategic aspect of mutualization and sharing of equipment, data and skills.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 279-297

L'APPROCHE PAR LES PROCESSUS EN ARCHÉOLOGIE

1. Introduction

De 1950 à 1990, l'application des statistiques et de l'informatique en archéologie a consisté essentiellement à enregistrer et stocker les données archéologiques ("banque des données"), à y effectuer des recherches documentaires, puis à quantifier et à effectuer des traitements statistiques simples puis de plus en plus sophistiquées. Ces données provenaient principalement d'enregistrement des données de prospection et de fouilles, de comptages d'objets d'ensembles clos, de mesures issues de la description d'objets, de leurs distributions spatiales ou de leur caractérisation physico-chimique: classification des objets archéologiques ou typométrie, identification des cultures matérielles, sériation, analyse spatiale intrasite, échantillonnage en prospections et fouilles, archéométrie, stratigraphie, démographie, traitements des données de l'archéozoologie, de l'archéobotanique et de la géoarchéologie, reconstitutions environnementales et climatiques, études du peuplement des territoires et de l'aménagement des paysages, etc.

Outre le fait d'avoir été un des principaux moteurs de l'innovation archéologique pendant ces années, le développement de cette archéologie quantitative a permis d'avancer en outre sur la formalisation des méthodes archéologiques (Djindjian 1991) et sur les fondations théoriques des méthodes archéologiques (Gardin 1979; Djindjian 2002). A partir des années 1990, vingt ans après les débuts de la révolution de l'analyse des données multidimensionnelles et de ses applications en Archéologie (Hodson, Kendall, Tautu 1971; Doran, Hodson 1975; Orton 1980; Djindjian 1991), l'archéologie a orienté le projecteur vers l'informatique: enregistrement et gestion des données de fouilles et de prospections, systèmes documentaires, Systèmes d'Information Géographique, réalité virtuelle, diffusion de l'information archéologique, gestion du patrimoine culturel (CRM), faisant resurgir longtemps après l'archéologie "processuelle", l'importance de l'approche par les processus dans la recherche archéologique

2. Les processus archéologiques

2.1 *Introduction*

La révolution de la *New Archaeology* et le succès du mot, a occulté l'autre nom de ce mouvement scientifique majeur en archéologie: "archéologie processuelle". Bien qu'il y ait peu de littérature sur l'explication du choix de ce mot, il est possible d'y trouver un mélange hétérogène et parfois contra-

dictoire de plusieurs approches scientifiques. L'approche formelle est fondée sur un positivisme logique, le recours aux modèles hypothético-déductifs et l'utilisation systématique des données quantitatives. Les paradigmes préférés des adeptes de la *New Archaeology* sont l'anthropologie ("l'Archéologie est Anthropologie ou rien"), l'évolutionnisme culturel, le fonctionnalisme (Binford), l'écologie culturelle (Steward), la théorie des systèmes (Flannery), la "*Middle Range Theory*" (du sociologue R.K. Merton et sa tentative d'application à l'archéologie par L. Binford). Cette nouvelle approche permettrait donc d'identifier des processus culturels, à l'origine du mot, qui auraient une valeur universelle ou locale.

De cette rencontre de mouvements scientifiques divers nés du dynamisme exceptionnel d'après-guerre des universités américaines, aurait pu naître réellement une nouvelle archéologie si la jeune génération d'anthropologues qui l'avait prônée, n'avait eu une formation scientifique insuffisante les limitant à l'ivresse dans l'utilisation de concepts et de mots mal compris, et à des résultats caricaturaux faisant la joie des archéologues restés classiques. La réaction à la *New Archaeology* est à l'origine de l'archéologie post-processuelle ou post-moderne, qui a malheureusement fait plonger l'Archéologie dans l'enfer de l'herméneutique. Cependant, les objectifs scientifiques d'une *New Archaeology* restent d'actualité à condition de la débarrasser de paradigmes devenus inutiles, d'une approche formelle néopositiviste irréaliste et trop rigide pour des Sciences humaines, et de la replacer dans le cadre de la théorie des systèmes, où l'approche par les processus peut prouver toute son efficacité. Il reste cependant à rectifier le concept fourre-tout du "processus culturel", en essayant de le définir plus précisément.

2.2 *Définition d'un processus*

Selon Wikipédia, «le mot processus désigne une suite d'états ou de phases de l'organisation d'une opération ou d'une transformation. Un processus peut être considéré comme un système organisé d'activités qui utilise des ressources (personnel, équipement, matériels et machines, matière première et informations) pour transformer des éléments entrants en éléments de sortie dont le résultat final attendu est un produit. En informatique, un processus est une tâche en train de s'exécuter; un processus métier est une suite d'opérations normalisées effectuées par toute ou partie des employés pour effectuer une tâche donnée.».

2.3 *Les processus en Archéologie*

L'évolution des méthodes en archéologie a progressivement fait apparaître l'importance du rôle des processus et a mis en évidence la relation processus/données qui est si fondamentale en Informatique pour la gestion des processus métiers du monde socio-économique contemporain.

L'approche par les processus concerne de nombreux domaines de l'archéologie, par exemple:

– les processus métiers de l'archéologie, qui formalisent et organisent l'administration du patrimoine culturel et la recherche archéologique;
– les processus taphonomiques au sens large, qui mettent en relation les données provenant des acquisitions archéologiques sur le terrain avec les données archéologiques réelles: processus d'abandon des sites, processus de conservation des sites et des objets archéologiques, processus post-dépositionnels, processus taphonomiques en archéozoologie et en archéobotanique, etc.;
– les processus majeurs qui sous-tendent les systèmes socio-culturels, comme:
  – les processus de fabrication,
  – les processus économiques,
  – les processus de changement culturel,
  – les processus d'adaptation à l'environnement,
  – les processus fonctionnels,
  – les processus comportementaux (attitudes sociétales, gouvernance, organisation) qui régissent les règles de fonctionnement d'un groupe humain.

3. Le Système d'Information Archéologique

L'introduction de l'informatique en archéologie, qui débute à la fin des années 1960 avec des projets de recherche ambitieux comme ceux de J.-Cl. Gardin que l'on pourrait classer dans les applications de l'Intelligence artificielle en archéologie ou ceux du début des années 1970 de F. Djindjian dans les applications de l'analyse des données en archéologie, s'est ensuite démocratisée dans le contexte général de l'évolution des techniques logicielles et de l'apparition de produits logiciels et matériels utiles aux archéologues pour les aider dans leurs tâches quotidiennes: bureautique, statistiques, bases de données, cartographie, aide à la publication. Dans les années 1990, la performance des microordinateurs et des outils bureautiques, la disponibilité de produits logiciels, l'apparition des Systèmes d'Information Géographiques, le développement de l'Internet, vont révéler toute la diversité et donc la complexité des applications informatiques en archéologie, à l'origine de problèmes inextricables comme la redondance de données (et donc la nécessité de saisies multiples), le manque d'interfaces entres logiciels, l'incohérence entre des versions de niveaux différents.

En 1993, je publiai dans la revue «Archeologia e Calcolatori», un article *Les systèmes d'informations en Archéologie* mettant en relation l'organisation par étapes des fonctions de l'archéologie (activités de terrain, travaux de laboratoire, diffusion des résultats et conservation), les principales applica-

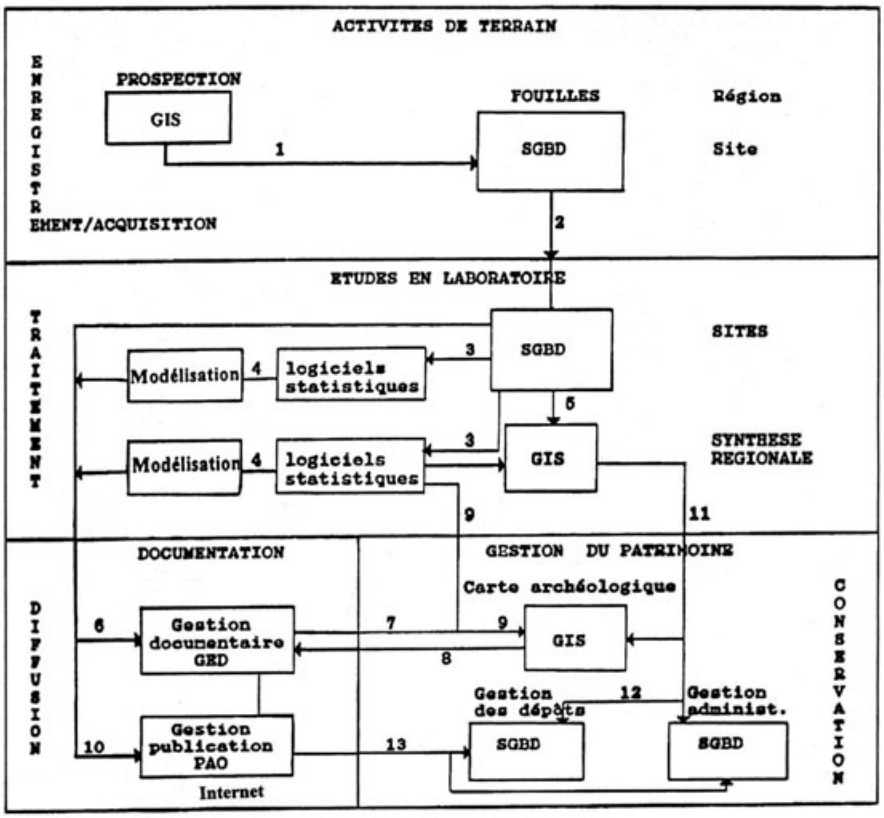


Fig. 1 – Système d'Information Archéologique (d'après Djindjian 1993).

tions informatiques et leurs logiciels associés, s'enchainant et s'interfaçant. Je montrai également la possibilité de concevoir une architecture fonctionnelle et applicative unique et globale pour l'archéologie, en d'autres termes un Système d'Information Archéologique générique, dont chaque application n'est qu'un cas particulier personnalisé pour des besoins appropriés (Fig. 1). Il s'agissait de la première publication proposant la formalisation d'un Système d'Information Archéologique (SIA) générique et de son urbanisation, avant le succès du mot dans le monde informatique.

Par définition, un Système d'Information (SI) est constitué d'un ensemble d'objets métiers, de fonctions, d'informations et de règles de gestion, utilisés par les métiers et les processus mis en œuvre par une même entité organisationnelle. Dans cette article, je définissais également les objets (archéologiques, méthodologiques), les informations (intrinsèques, extrinsèques, de référence, administratives) et les fonctions.

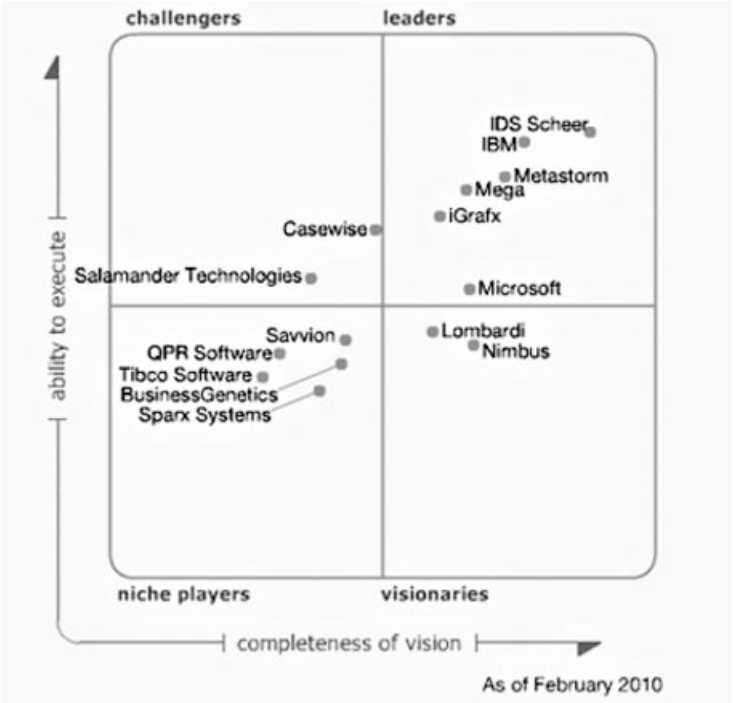


Fig. 2 – Quadrant des produits d'urbanisation (source Gartner Group 2010).

4. L'urbanisation d'un Système d'Information

Le terme d'*Urbanisation* d'un Système d'Information apparaît à la fin des années 1990 pour désigner la volonté de gérer l'architecture fonctionnelle et applicative d'un système d'information comme l'urbanisation d'une ville (club URBA-SI, 2003) facilitant l'interfaçage des logiciels et donc la rénovation ou le remplacement des applications obsolètes. Le terme anglo-saxon équivalent est *IT City Planning* ou *Urbanizing* (92 millions de références Google). L'urbanisation d'un Système d'Information implique la mise en œuvre d'un projet en plusieurs étapes:

a. Définition des processus métiers, en utilisant la formalisation et un outil de gestion des processus métiers (en anglais, *Business Process Management* ou BPM);
b. Conception d'une architecture fonctionnelle du SI;
c. Conception d'une architecture applicative du SI, implémentant des blocs fonctionnels;

d. Réalisation d'une architecture logicielle, en choisissant et interfaçant des produits logiciels implémentant des blocs applicatifs fonctionnellement homogènes.

Il existe sur le marché des produits logiciels dont les plus utilisés sont Aris d'IDS Scheer et Mega de Mega International que la société Gartner Group a positionné dans ses fameux quadrants (Fig. 2). Il faut noter que le Ministère de la Culture a installé en 2009 à Paris plusieurs postes équipés du logiciel Aris pour les mettre à disposition des différentes directions et des formations au produit ont été effectuées.

5. Les processus metiers de l'administration de l'Archeologie

L'Archéologie est un métier qui ne s'est professionnalisé que depuis une vingtaine d'années. Aussi, l'identification et la caractérisation des processus métiers de l'archéologie est-elle encore à réaliser. Ces processus métiers concernent la gestion des autorisations de fouilles archéologiques, la gestion des

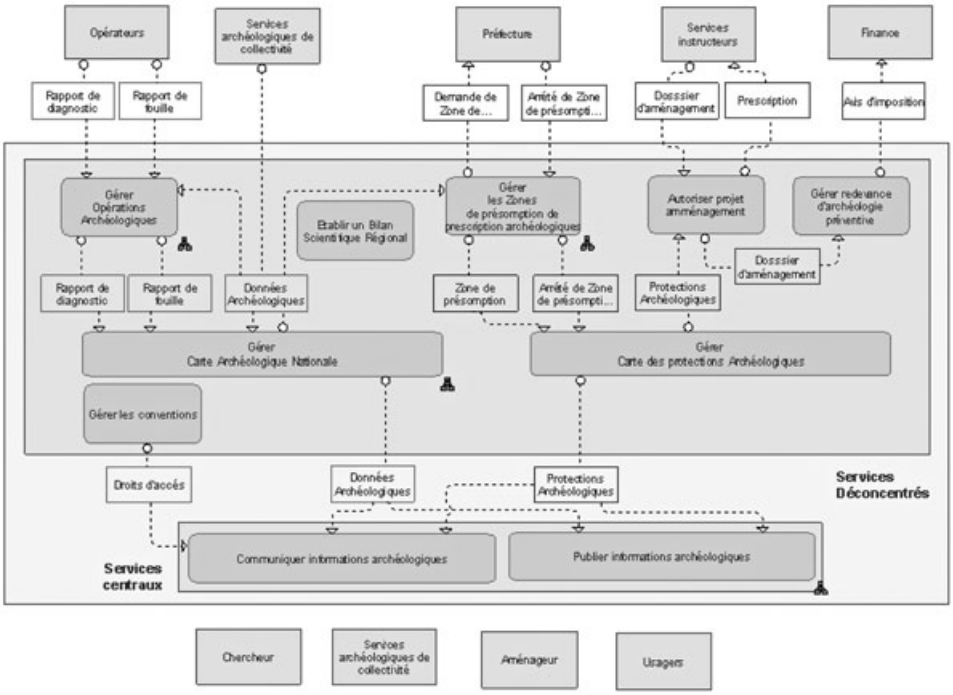


Fig. 3 – Un exemple de formalisation des processus métiers de l'administration de l'Archéologie *(blocs roses: processus; blocs verts: acteurs; blocs blancs à liseré rouge et bleu: données en entrée et en sortie des processus)*. Voir Pl. IX, a.

zones à forte probabilité de présence de sites archéologiques, la conservation du patrimoine culturel, l'acquisition des données qui alimentent la carte archéologique, le contrôle de l'état de l'art (standards, directives, métadonnées, rapports, enregistrement, archivage), la gestion des redevances de l'archéologie préventive, la gestion des opérations. Ils concernent en France les tâches administratives des DRAC (Directions régionales des affaires culturelles) en charge de la gestion du patrimoine culturel, mais aussi les diagnostics et les opérations de l'Inrap, les opérations des collectivités territoriales ou des bureaux d'études privés de l'archéologie préventive. Ils concernent aussi les tâches administratives de la recherche archéologique (CNRS, Université) dans l'attribution et la gestion des moyens et dans la justification des résultats de la recherche (Fig. 3, Pl. IX, a). Le tableau de la Fig. 3 n'est que l'illustration d'un premier schéma global des processus qui nécessite une décomposition de chaque processus en phase ou étape, tâche et sous-tâche.

6. Les processus métiers de la recherche archéologique

La définition des processus métiers de la recherche archéologique est liée à l'urbanisation du Système d'Information Archéologique (SIA). On distingue, de façon classique (Djindjian 1993), plusieurs grandes étapes dans l'organisation générale de la recherche archéologique:

1. Recherche documentaire;
2. Prospection de terrain;
3. Fouilles de sites archéologiques;
4. Etudes en laboratoire;
5. Etudes de synthèse des données archéologiques, analyse quantitative et spatiale, traitements statistiques et modélisation;
6. Conservation/restauration des sites archéologiques et des biens culturels,
7. Muséographie: musée de site et musée virtuel;
8. Publication et diffusion par Internet des résultats pour la communauté scientifique et le grand public.

Chacun de ces grands processus généraux doit être détaillé. Un exemple (Fig. 4) est donné pour l'étape de prospection archéologique qui ne se veut pas être une standardisation du processus métier de la prospection archéologique mais qui n'a pour objectif que d'illustrer notre propos.

Un domaine particulier concerne les applications archéologiques basées sur des services Internet et qui correspondent à des processus métiers entièrement automatisés:

– Extranet dans la gestion du patrimoine culturel dans le cadre de la dématérialisation des processus administratifs (demandes d'autorisations et de subventions, réponses aux appels d'offres, etc.);

Processus Phase Etape Tâche Sous-tâche

PROSPECTION

- **Opération**
  - **Spécifier l'opération**
    - **Préciser le périmètre de l'opération**
    - **Collecter les cartes détaillées de la zone**
    - **Effectuer une reconnaissance visuelle de la zone**
    - **Consulter la carte archéologique (Patriarche)**
    - **Inventorier les objets archéologiques découverts sur la zon**
  - **Définir les contraintes diverses s'exerçant sur la zone**
    - **Politique, Budgétaire, Calendrier, Accessibilité**
    - **Réaliser un zonage préalable**
    - **Valider le budget préalable**
    - **Réaliser un calendrier détaillé**
    - **Affecter les moyens (ressources, compétences, etc.)**
  - **Documenter l'opération**
  - **Mettre en place la logistique de l'opération**
  - **Mettre en œuvre le Système d'Information Géographique**
  - **Recruter une ressource expérimentée SIG**
    - **Préparer l'équipement informatique**
    - **Récupérer des cartes**
    - **Numériser des fonds de cartes**
  - **Modèle des données**
  - **Importer les données existantes**
    - **Enregistrer le DEM (courbes de niveaux)**
    - **Zonage détaillé, balisage**
    - **Plan d'échantillonnage**
    - **Enregistrement des données documentaires**
    - **Enregistrement des données de prospection**
    - **Installation logiciels : lissage, krigeage, etc.**
    - **Établir le plan de prospection**
  - **Établir le plan de prospection**
    - **Zoner**
      - **Les zonages à contraintes d'accès**
      - **Les zones de bâtis**
      - **Les zones agricoles aménagées**
      - **Les zones naturelles**
      - **Les zonages géomorphologiques**
      - **Les zonages artificiels**
    - **Baliser les zones**
      - **Trouver des repères : bornes, pylônes, amers**
      - **Calculer des repères libres : triangulation, GPS**
  - **Choisir les techniques de prospection**
    - **Prospection aérienne,**
    - **Prospection géophysique,**
    - **Ramassages de surface,**
    - **Coupes stratigraphiques et Carottages,**
    - **Sondages manuels (carrés)**
    - **Sondages par engins mécaniques (Transects)**
  - **Définir un plan d'échantillonnage par zone**
    - **Plan probabiliste, Krigeage, Modèle prédictif**
  - **Intégrer les plans successifs**
  - **Réaliser le plan de prospection**
  - **Enregistrer les données de prospection dans le SIG**
  - **Étudier le matériel archéologique collecté**

Fig. 4 – Formalisation du sous-processus Prospection d'une opération d'archéologie préventive.

– Modèles prédictifs pour l'archéologie préventive;
– Projets collaboratifs de recherche;
– Banque de données partagées sur Internet: carte archéologique, atlas, Web-mapping, bases de données diverses d'objets ou d'inscriptions archéologiques, etc.;
– Calculs en ligne (calibration ^{14}C, déterminations, etc.);
– Diffusion de l'information (sites archéologiques virtuels, musée virtuel, édition virtuelle).

7. Les processus de la méthode archéologique

7.1 *Les processus post-dépositionnels*

L'étude de la sédimentation des sites archéologiques, préservés jusqu'à nous, fait partie de la géoarchéologie (Cremaschi 2000). On distinguera ici les processus d'origine naturelle et les processus d'origine anthropique. Les processus d'origine naturelle concernent aussi bien la sédimentation que l'absence de sédimentation ou l'érosion, à l'origine de lacunes; ils peuvent être continus (avec une vitesse de sédimentation variable parfois très faible ou à l'opposé très rapide) ou discrets (événementiels). Dans les années 1970-80, les remplissages de grottes ou d'abris sous roche ont fait l'objet d'une étude par les données supposant implicitement l'existence de processus de sédimentation continus marquant des effets climatiques généraux. Cette approche a été remise en cause dans les années 1990 par des propositions de processus discrets, évènementiels et lacunaires, marquant des effets météorologiques ou mécaniques locaux. Quelle que soit l'ampleur de cette remise en cause, le remplacement de l'approche de description des strates par les données par une approche de recherche des processus dynamiques à l'origine des remplissages, est un apport majeur en géoarchéologie.

L'étude des processus post-dépositionnels, qui affectent les remplissages sous l'effet de l'eau (ruissellements, érosion, percolations), du froid (cryoturbation, solifluxion, fentes de gel, etc.), des altérations ou des actions animales (fouisseurs, insectes, etc.) est devenu un passage obligé dans la fouille archéologique moderne. L'identification de ces processus et de leur énergie implique des études quantitatives faisant appel à tout l'arsenal des techniques statistiques (par exemple Bertran, Lenoble 2002; Lenoble *et al.* 2003).

Les processus géoarchéologiques d'origine anthropique sont le résultat d'actions humaines de sédimentations ou d'enlèvements dans les milieux plus anciens sous-jacents: destructions, remblaiements, déblaiements, creusements, nivellements, fosses, fondations, etc. Ils sont bien sûr les plus importants et les plus spectaculaires en archéologie urbaine. Mais ils existent dans tous

les sites archéologiques à l'occasion d'opérations de d'aménagements, de nettoyages et de réaménagements de l'habitat. Dans ce contexte, l'utilisation de la méthode du diagramme de Harris est devenue aujourd'hui un standard (Harris, Brown, Brown 1993). Ce diagramme n'est-il pas en fait l'enregistrement du processus anthropique à l'origine de la stratigraphie observée par la réalisation d'une tranchée en continu? Les traitements du diagramme de Harris pour obtenir une périodisation de l'occupation du site sont complexes et font appel à des algorithmes d'analyse des données (Desachy, Djindjian 1990; Desachy 2009) et à des logiciels spécifiques (par exemple *Le Stratifiant*: Desachy 2009).

7.2 *Les processus taphonomiques*

La taphonomie est l'étude des processus que suit une entité biologique depuis la biosphère, de son vivant, jusqu'à la lithosphère au moment de sa découverte à l'état fossile (Chaix, Meniel, 2001):

- processus d'origine des accumulations d'ossements, unique ou répété:
  - naturel (point de rassemblement, piège, catastrophe naturelle),
  - anthropique (chasse, piégeage, feu, etc.)
- processus de dépeçage des animaux (boucherie),
- processus de transport de parties de carcasse,
- processus d'exploitation des carcasses (fragmentation, matériaux de construction, fabrication d'objets, combustible),
- processus d'altération à l'air libre,
- processus d'actions des carnivores,
- processus d'enfouissement
- processus de fossilisation,
- processus de découverte des sites.

L'étude des taphocénoses d'ossements dans les sites archéologiques a pour objet d'identifier les processus ayant affecté la conservation des animaux et d'en déterminer les caractéristiques par l'acquisition de données pertinentes sur les ossements et de traitements quantitatifs variés depuis les comptages et les statistiques élémentaires jusqu'à l'analyse des données et la simulation de modèles mathématiques permettant de reconstituer le système de gestion alimentaire dans le cycle annuel.

8. Les principaux processus rencontres dans l'etude des systèmes archéologiques

Nous avons souvent insisté que le but de l'archéologie, la redécouverte du passé, n'était autre que la reconstitution des systèmes que sont les sociétés du passé, que nous étudions. Ces systèmes sont définis et caractérisés par des

processus, dont les plus déterminants nous intéressent en priorité, et parmi ceux-ci, ceux qui ont laissé suffisamment de vestiges matériels permettant de les reconstituer:

– processus de fabrication (systèmes techniques),
– processus économiques (systèmes d'échanges/systèmes commerciaux),
– processus de gestion des ressources alimentaires,
– processus de construction des bâtis,
– processus d'occupation du territoire,
– processus de changement culturel,
– processus d'adaptation au changement d'environnement,
– processus fonctionnels,
– processus de sacralisation (religions et croyances),
– processus d'attitude sociétale,
– processus de gouvernance.

L'approche par les processus apparaît donc comme une véritable révolution des idées, sur le plan méthodologique, en remettant le projecteur sur l'approche système dans laquelle les données ne sont prises en compte qu'en entrée ou en sortie de système pour identifier les processus du système et non en tant que donnée indépendante des systèmes.

9. Les processus de fabrication des systèmes techniques

9.1 *Conceptualisation d'un processus générique*

Faute de place, nous allons nous limiter à l'étude d'un seul de ces processus, qui appartient aux systèmes techniques, le processus de fabrication.

L'étude d'un processus (ou procédé) de fabrication, improprement appelé "chaîne opératoire", met en œuvre les étapes méthodologiques suivantes:

– Description par identification de la séquence des gestes élémentaires de l'artisan,
– Élaboration d'un vocabulaire décrivant le résultat d'un geste élémentaire sur la pièce,
– Représentation du processus par un graphe
  – graphe de décomposition arborescente (Robertson, Seymour1983) ou
  – graphe de réseau de Pétri (David, Alla 2005).
– Simplification du graphe par regroupement des occurrences rares,
– Quantification du graphe par construction d'une matrice d'occurrence, un tableau de Burt,
– Traitements statistiques d'analyse des données sur le tableau de Burt.

Un processus générique de fabrication peut être décrit avec la terminologie suivante:

– Phase (Ph)
  – Etape (E)
    – Tâche composite unique (Tc) ou répétitive (Tcr)
      – Tâche élémentaire unique (Te) ou répétitive (Ter)

Ainsi, la tâche la plus élémentaire correspond au geste Te. Le même geste pourra être effectué de façon répétitive Ter. Une séquence de gestes sera composite Tc, et sa répétition Tcr. Il est ainsi possible, par agrégation successive, de proposer l'équivalence suivante:

– Geste	Tâche élémentaire (Te)
– Séquence de gestes répétitifs	Tâche élémentaire répétitive (Ter)
– Séquence des gestes différents	Tâche composite (Tc)
– Séquence de gestes différents répétitifs	Tâche composite répétitive (Tcr)
– Tâches agrégées	Etape (E)
– Etapes agrégées	Phase (P)

Tout processus peut être représenté par un graphe (théorie des graphes). Il peut être représenté par un graphe de décomposition arborescente (Robertson, Seymour 1983), qui sera quantifié par une matrice d'adjacence. En archéologie, l'identification d'une "chaîne opératoire" nécessite la multiplication des remontages ou la reconstitution de l'historique des vestiges de négatifs d'enlèvements qui vont révéler les répétitions et les constantes dans la succession des gestes techniques, formalisant ainsi une intention des tailleurs. La multiplication des matrices d'adjacence nécessaire pour chaque objet ne permet pas aisément les traitements statistiques multidimensionnels. Une autre approche est donc de représenter une chaîne opératoire par un réseau de Pétri (David, Alla 2005). Le graphe du réseau de Pétri visualise en un seul graphe (ici arborescent) l'ensemble des séquences observées ou théoriquement observables, avec un marquage quantitatif de chaque état. La répétition statistique peut mettre alors en évidence les cheminements les plus fréquents, révélant l'intention. Le processus doit être représenté sous une forme générique à tous les objets. La mise en tableau d'un réseau de Pétri se fait en construisant un tableau d'adjacence, qui compte les relations entre les différents sous-processus du processus global. Dans le vocabulaire de l'analyse des données, il s'agit d'un tableau de Burt, tableau symétrique de contingence qui croise les sous-processus entre eux, ou leur description quantifiée et codée par un codage disjonctif complet (Djindjian 1991).

9.2 *Exemples d'application*

Par exemple, le processus de fabrication d'un burin peut être décomposé de la façon suivante:

– Phase 1 Réalisation d'un support,

– Phase 2	Réalisation d'un burin
– Etape 1	Réalisation d'un plan de frappe
– Etape 2	Préparation et obtention des chutes de burin
– Tâche composite 1	Chute première de burin
– Tâche composite 2	Chutes de burin suivantes (répétitive)
– Etape 3 (équivalent à 1)	Ravivage du plan de frappe
– Etape 4 (équivalent à 2)	Préparation et obtention des chutes de burin
– Tâche composite 1	Chutes de burin suivantes (répétitive)
– Etape 5	Modification du biseau
– Tâche élémentaire R	Retouches répétitives
– Phase 3 (équivalente à 2)	Réalisation d'un autre burin sur le support
– Etc.	
– Phase 5 (équivalent à 1)	Réemploi de l'objet.

Le processus de fabrication d'un grattoir retouché peut être décomposé de la façon suivante:

– Phase 1	Réalisation d'un support
– Phase 2	Réalisation d'un grattoir
– Etape 1	Régularisation du front
– Tâche élémentaire 1	Retouche écailleuse du front (Ter)
– Tâche élémentaire 2	Retouche marginale du front (Ter)
– Phase 3 (équivalente à 2)	Réalisation d'une retouche latérale
– Etape 1 Régularisation du bord droit	
– Tâche élémentaire 1	Retouche écailleuse partielle (Ter)
– Tâche élémentaire 2	Retouche marginale partielle (Ter)
– Etape 2 Régularisation du bord gauche	
– Tâche élémentaire 1	Retouche marginale totale (Ter)
– Phase (équivalente à 1)	Modification du support (cassure)

9.3 *Processus et vocabulaire*

D'une façon générale, la décomposition possède la propriété d'être décrite par un vocabulaire précis et caractéristique. Chaque *Tâche élémentaire* est décrite par un vocabulaire et fait l'objet d'une caractérisation. Chaque *Etape* est une séquence caractéristique de tâches caractéristiques. Chaque *Phase* est une séquence caractéristique d'étapes caractéristiques. La caractérisation des tâches, étapes et phases repose sur une identification et une caractérisation utilisant le vocabulaire d'une sémiologie morpho-technique de la taille taillée. Nous retrouvons ici l'approche sémiologique, que l'on connaît dans la typologie analytique de Georges Laplace (1966), dans l'"*Attribute analysis*" de H.M. Movius (1968), dans "les tableaux de morphologie descriptive" d'A. Leroi-Gourhan (1968) ou dans le chapitre "Technologie" de Djindjian, Kozlowski, Otte (1999). Il est important de noter ici que l'objet étudié n'est

pas obligatoirement l'artefact, mais il peut être, au gré de l'analyse et de sa problématique, un des processus de fabrication présent sur l'artefact. Les artefacts lithiques ont en effet un degré de multiplicité qui dépend souvent de la rareté de l'approvisionnement en matière première. Les listes typologiques gèrent mal cette difficulté en multipliant dans les listes des types d'"outils multiples", le plus souvent rares, et qui n'ont guère de sens.

9.4 *Graphe de fabrication par un réseau de Pétri*

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe d'autres façons de représenter un processus de fabrication par un graphe arborescent. L'une de celle-ci, est le réseau de Pétri. Il est plus complexe à mettre en œuvre mais plus simple à représenter sous forme d'une table quantifiée traité par des programmes statistiques d'analyse des données. Il implique de représenter le processus sous une forme générique propre à tous les objets: une céramique, un nucléus, une armature. Il implique préalablement d'avoir décrit et caractérisé chacune des tâches élémentaires, des tâches composites et des étapes du processus général. La mise en tableau d'un réseau de Pétri s'effectue en construisant un tableau d'adjacence, qui compte les relations entre les différents sous-processus du processus global. Dans le vocabulaire de l'analyse des données, il s'agit d'un tableau de Burt, tableau symétrique de contingence qui croise les sous-processus entre eux, ou leur description quantifiée et codée par un codage disjonctif complet (Djindjian 1991). Il est en outre très utile de rajouter des éléments dans le tableau, qui pourront être traités en analyse des données en éléments supplémentaires: ainsi chaque processus identifié en codage (0,1) est ajouté en ligne supplémentaire. Des sous processus caractéristiques, résultant de l'agrégation de processus élémentaires, peuvent être définis, à partir des données de l'expérimentation, des remontages et des résultats de l'analyse des données. Ils seront également traités en éléments supplémentaires de façon itérative.

9.5 *Procédé de fabrication, graphe et tableau de Burt*

Relisant la thèse que j'ai soutenue en 1980 à l'Université de Paris 1 Panthéon Sorbonne, finalisant des recherches effectuées entre 1974 et 1980, sous le titre: *Construction de systèmes d'aide à la connaissance en Archéologie préhistorique*, je redécouvre cette phrase (Djindjian 1980, volume 1, 46): «La description du burin doit traduire la variabilité de la technique de fabrication. La solution la plus systématique, aussi la plus complexe, oblige à suivre les gestes du tailleur». De la page 46 à la page 68, s'ensuit une formalisation technique de la description des burins, un vocabulaire, un modèle logique d'un burin, et la transformation de ce modèle logique arborescent sous la forme d'un tableau quantitatif transformé en tableau de Burt, qui

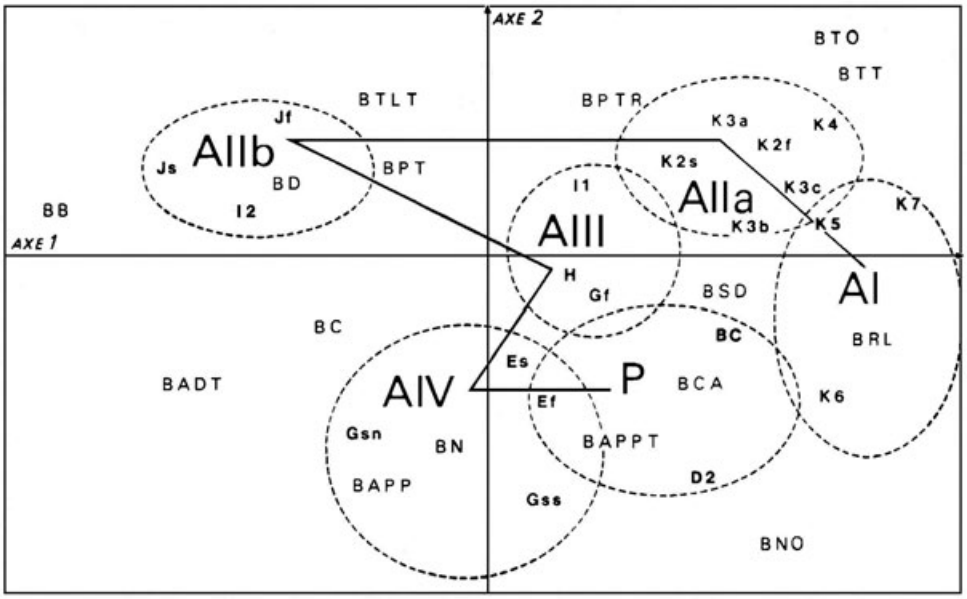


Fig. 5 – Changements dans les procédés de fabrication des burins de la séquence du Paléolithique supérieur ancien de La Ferrassie (Périgord).

a été traité par analyse des données (analyse des correspondances, classification ascendante hiérarchique). Les résultats obtenus mettent en évidence six processus de fabrication de burins et leurs changements des débuts de l'Aurignacien à la fin du Gravettien (Fig. 5). Aucune typologie n'a été proposée, la méthode allant directement d'une description formalisée du geste de taille à l'identification de processus de fabrication puis à l'identification des technocomplexes permettant de mettre en évidence les changements et de les expliquer en termes techniques (voir également des résumés de cette méthode dans Djindjian 1996).

10. Les processus de changement culturel

Les études de changement culturel intéressent l'archéologue à plusieurs titres:

– Par la mise en évidence de changements, à partir d'une approche diachronique des informations à sa disposition sur les cultures matérielles,
– Par l'explication de ces changements.

Ce deuxième point est naturellement le plus délicat; et compte tenu des informations toujours insuffisantes fournies par l'archéologue pour résoudre

ce type de questions, il a donné lieu à des débats fondamentaux entre les partisans de changements dus à des mouvements de populations (invasion, migration, colonisation) et les partisans de changements dus à une modification rapide du système socio-culturel, sans mouvement de population. Ces derniers se divisent, entre deux positions extrêmes définies par une adaptation à un déséquilibre écologique, c'est-à-dire un déterminisme externe et une adaptation à un déséquilibre social (la pression démographique étant souvent utilisée comme élément de causalité), c'est-à-dire un déterminisme interne.

Depuis les années 1970, les études de changement culturel ont fait l'objet d'applications de techniques de modélisation mathématique comme la dynamique des systèmes (Forrester), la théorie des catastrophes (Thom), les systèmes non linéaires (Prigogine), les mathématiques fractales (Mandelbrot) et récemment les systèmes multi-agents (Kohler, Gumerman 2000) que Doran avait introduit en archéologie au début des années 1980 (Doran 1982, 2000).

Un système multi-agent (SMA) est un système composé d'un ensemble d'agents situés dans un certain environnement et interagissant selon certaines règles. Les agents sont des processus dotés de mécanismes de décision et de planification, d'un mécanisme cognitif (connaissances et perceptions de l'environnement x objectifs = intentions transformées en actions) et d'un mécanisme de communication. Les applications des systèmes multi agents sont connus en physique des particules (agent = particule élémentaire), en chimie (agent = molécule), en biologie cellulaire (agent = cellule), en éthologie (agent = animal), en sociologie/ethnologie /archéologie (agent = être humain).

La difficulté de son application en archéologie provient de la multiplicité des processus concernés, notamment de ceux qui ne laissent pas de traces matérielles:

– changement climatique,
– modification environnementale,
– économie des ressources alimentaires,
– économie de la production et du commerce,
– structure sociale,
– croyances,
– attitude sociétale,
– gouvernance.

La difficulté pour l'archéologie se situe dans la formalisation des processus de structure sociale, de croyances, d'attitude sociétale et de gouvernance:

– Structures sociales
  Familles, clans/lignées, castes, groupes religieux, classes sociales, réseaux d'influence, classes politiques, Corporatisme, communautarisme, alliances, etc.

– Croyances
Religieuses, morales, politiques, tabous, rites initiatiques, esprits, etc.
– Attitudes sociétales
Ouverture (flexibilité) versus Conservatisme (rigidité)
Mobilité versus Sédentarité
Innovation versus Tradition
Epargne versus Investissement
Tolérance versus Intolérance
Entraide versus Individualisme
Domination versus Cohabitation
Uniformisation versus Diversité
Etc.
– Gouvernance et équilibre des pouvoirs
Groupes, tribus, chefferies, démocraties, république, cités-états, oligarchie, théocratie, monarchies, dictature, totalitarisme, etc.
L'approche par les processus, qui est de nature systémique et explicative, apparaît ici comme une approche beaucoup plus potentielle ("les mêmes causes entraînent les mêmes effets") que l'approche par les données (c'est-à-dire par l'Histoire) qui est évènementielle et non explicative ("l'Histoire ne se répète pas").

11. Conclusions

L'approche par les processus en Archéologie concerne des problématiques variées:

– Les processus métiers de l'administration et de la recherche archéologique, dont la cartographie permet d'urbaniser le Système d'Information Archéologique (SIA): architecture fonctionnelle, architecture applicative, architecture logicielle,
– Les processus associés à la méthode archéologique, comme les processus post-dépositionnels ou les processus taphonomiques, dont l'étude permet de mettre en relation les données enregistrées par l'Archéologie avec les données réelles produites par les sociétés étudiées, et donc d'en déduire la valeur relative de reconstitution,
– Les processus systémiques des sociétés étudiées, dont nous avons détaillé plusieurs ici avec les techniques quantitatives qu'elles utilisent, comme les processus de fabrication des systèmes techniques (analyse des données), les processus de gestion des ressources alimentaires (optimisation par la recherche opérationnelle) ou les processus de changement culturel (modélisation mathématique et systèmes multi-agents).

La maturité méthodologique de l'Archéologie permet aujourd'hui de basculer de l'approche par les données à l'approche par les processus sur

beaucoup de problématiques. Elle a permis de nombreuses avancées, notamment en géoarchéologie et en taphonomie (au sens large). Elle apporte une méthode dans les problématiques pour lesquelles l'approche par les données avait échoué, notamment dans l'étude des systèmes techniques, des systèmes économiques et du changement culturel. Elle est enfin indispensable dans la formalisation et l'organisation du métier de l'Archéologie, et tout particulièrement dans le domaine de l'Archéologie préventive, où la professionnalisation exige le professionnalisme.

François Djindjian
Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
CNRS UMR 7041 Archéologies et Sciences de l'Antiquité

BIBLIOGRAPHIE

Bertran P., Lenoble A. 2002, *Fabrique des niveaux archéologiques: méthode et premier bilan des apports à l'étude taphonomique des sites paléolithiques*, «Paleo», 14, 13-28.

Chaix L., Meniel P. 2001, *Archéozoologie*, Paris, Errance.

Club URBA-SI 2003, *Pratiques de l'urbanisme des systèmes d'information en entreprises*, Paris, Publibook.

Cremaschi M. 2000, *Manuale di geoarcheologia*, Milano, Laterza

David R., Alla H. 2005, *Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets*, Berlin, Springer-Verlag.

Desachy B. 2009, *Formalisation du traitement des données stratigraphiques en archéologie de terrain*, Thèse Université Paris 1 Panthéon Sorbonne.

Desachy B., Djindjian F. 1990, *Sur l'aide au traitement des données stratigraphiques des sites archéologiques*, «Histoire et mesure», 5, 1-2, 51-88.

Djindjian F. 1980, *Faciès chronologiques aurignaciens et périgordiens à La Ferrassie (Dordogne)*, in *L'analyse des objets archéologiques et les procédés statistiques d'interprétation*, «Les Dossiers de l'Archéologie», 42, 70-74.

Djindjian F. 1991, *Méthodes pour l'Archéologie*, Paris, Armand Colin.

Djindjian F. 1993, *Les systèmes d'informations en Archéologie,* «Archeologia e Calcolatori», 4, 9-26.

Djindjian F. 1996, *Histoires de burins,* «Bulletin du Centre Genevois d'Anthropologie», 1993-4, 3-21.

Djindjian F. 2002, *Pour une théorie générale de la connaissance en Archéologie*, «Archeologia e Calcolatori», 13, 101-117.

Djindjian F. 2009, *The golden years for mathematics and computers in archaeology (1965-1985)*, in P. Moscati (ed.), *La nascita dell'informatica archeologica, Atti del Convegno Internazionale (Roma 2008)*, «Archeologia e Calcolatori», 20, 61-73.

Djindjian F., Kozlowski J., Otte M. 1999, *Le Paléolithique supérieur en Europe*, Paris, Armand Colin.

Djindjian F., Moscati P. (eds.) 2002, *Proceedings of the Commission 4 Symposia, XIV° UISPP Congress (Liege 2001)*, «Archeologia e Calcolatori», 13.

Doran J. 1982, *A Computational model of sociocultural systems and their dynamics*, in C. Renfrew, M.J. Rowlands, B. Abbott Segrave (eds.), *Theory and explanation in archaeology*, New York, Academic Press, 375-388.

Doran J.E. 2000, *Prospects for Agent-Based Modelling in Archaeology,* «Archeologia e Calcolatori», 10, 33-44.

Doran J.E., Hodson F.R. 1975, *Mathematics and Computers in Archaeology*, Edinburgh, Edinburgh University Press.

Harris E.C., Brown M.R. III, Brown G.J. (eds.) 1993, *Practices of Archaeological Stratigraphy*, London, Academic Press.

Hodson F.R., Kendall D.G., Tautu P. 1971, *Mathematics in the Archaeological and Historical Sciences: Proceedings of the Anglo-Romanian Conference (Mamaia 1970)*, Edinburgh, Edinburgh University Press.

Gardin J.-Cl. 1979, *Une archéologie théorique*, Paris, Hachette.

Jochim M.A. 1976, *Hunter-gatherer Subsistence: A Predictive Model*, New-York, Academic Press.

Kohler T.A., Gumerman G.J. 2000 (eds.), *Dynamics in Human and Primate Societies: Agent-Based Modelling of Social and Spatial Processes*, Oxford, Oxford University Press.

Laplace G. 1966, *Recherches sur l'origine et l'évolution des complexes leptolithiques*, Paris, de Boccard, Mélanges d'archéologie et d'histoire, École Française de Rome, Suppléments, 4.

Lenoble A., Bertran P., Bourguignon L., Lacrampe F., Detrain L. 2003, *Impact de la solifluxion sur les niveaux archéologiques: simulation à partir d'une expérience en milieu actif et application à des sites paléolithiques aquitains*, «Paleo», 15, 105-122.

Leroi-Gourhan A. 1968, *Tableaux de morphologie descriptive*, in *La Préhistoire*, nouvelle Clio, Paris, PUF.

Movius H.L., David N.C., Bricker H.M., Clay R.B. 1968, *The analysis of certain major classes of Upper Palaeolithic tools*, «Bulletin of the American School of Prehistoric Research», 26, Peabody Museum, Havard.

Orton Cl. 1980, *Mathematics in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

Robertson N., Seymour P. 1983, *Graph Minors II. Algorithmic aspects of tree-width*, «Journal of Algorithms», 7, 3.

ABSTRACT

The introduction of the concept of the Archaeological Information System (AIS) made it possible to propose the existence of an integrated generic applicative architecture, computerizing the functions of archaeological practice (Djindjian 1993). It also allowed us to rationalize the software architecture of the AIS, by limiting the amount of useful software for the archaeologists and by simplifying the interfaces between products. The following step, proposed here, is urbanizing the AIS, by defining precisely all the business processes of archaeological research and management, defining an organization of an archaeological professionalization and a more rational and interchanging realization of the AIS applicative and software architecture. Business processes are not the only processes encountered in archaeology. There are also: the processes of the archaeological method, which allow us to control the links between the recorded archaeological data and the target data of the society to be reconstituted; the systemic processes which are running the operations of the societies which the archaeologist is trying to reconstitute: technical systems, economical systems, culture change, etc. The progressive development of the process approach, will constitute a significant evolution in archaeology, not only for the archaeologist business and archaeological methods, but also for the systemic reconstitution capabilities of past societies.

III. DU PLAN AU VOLUME: APPLICATIONS DE LA 3D À L'ARCHÉOLOGIE

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 301-311

RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES ET MODÉLISATIONS 3D DES PARTIES HAUTES DE LA CATHÉDRALE NOTRE-DAME DE CHARTRES

1. Introduction

La cathédrale Notre-Dame de Chartres a fait l'objet de très nombreuses études architecturales, artistiques, historiques et archéologiques depuis plusieurs siècles, probablement même depuis que ses ombres monumentales dominent la ville. Son histoire mouvementée a construit un monument complexe et gracieux où les styles s'entremêlent et se complètent pour finalement cacher sa structure architecturale. Ainsi, malgré la richesse de la bibliographie, de nombreuses parties du monument sont encore à étudier.

La campagne 2009 de restauration des enduits du XIIIe siècle pour les parties hautes du chœur de la cathédrale fut l'occasion, pour le service Archéologie de Chartres, de mener une opération de relevés archéologiques sous la direction de Jérémie Viret. L'échafaudage, mis en place pour la restauration, a permis à notre équipe d'effectuer des observations sur la voûte et sur les fenêtres hautes habituellement inaccessibles. Ce travail avait pour objectif de documenter tous les éléments susceptibles d'apporter des informations sur la construction de cette partie du monument: techniques, phasage et datations. Nos observations ont principalement porté sur les percements de la voûte et sur les trous de boulin, en grande partie recouverts par les enduits des XVe et XVIIIe siècles. Une campagne de relevés topographiques a été mise en place afin d'intégrer l'ensemble de ces informations aux relevés architecturaux existants et de proposer différents documents pour la compréhension de ces éléments: échafaudage, utilisations des percements pour la construction et l'aménagement, utilisations liturgiques. Après un bref rappel historique et une présentation de la méthode et des sources employées, nous développeront l'intérêt de la conception d'un modèle en 3D pour l'étude archéologique de la cathédrale.

2. Rappel historique

Les origines du monument sont mal connues et restent encensées de légendes faisant remonter sa construction au Ier ou au IIe siècle de notre ère[1]. La bibliographie, depuis le XIXe (Prache 2000; Durand 2006) siècle pro-

[1] Les sources du XIXe siècle sont très nombreuses voir par exemple: Bulteau 1850; Durand 1881.

pose généralement la construction de la première cathédrale à l'emplacement actuel au cours du IVe siècle. Des observations[2] stratigraphiques de l'insertion de l'édifice dans les niveaux de la ville antique sont utilisées pour étayer cette datation, sans toutefois pouvoir préciser les relations du bâtiment avec ces niveaux. Plusieurs textes mentionnent la présence d'un évêque à Chartres (de Lépinois, Merlet 1862-1865) dès le début de l'ère chrétienne, en tout cas certaine à partir du VIe siècle. Cependant, même si une église devait servir de siège épiscopal rien ne nous permet d'affirmer qu'elle fut située à l'emplacement de l'actuelle cathédrale. La première mention directe de la cathédrale est faite dans un manuscrit du IXe siècle au sujet de sa destruction en 743[3]. De nombreuses destructions et reconstructions du monument sont relatées par la suite (Prache, Jouanneaux 2000). Après l'incendie de 1020 l'évêque Fulbert fait construire une cathédrale ambitieuse pour l'époque, et dont les proportions sont conservées par le bâtiment actuel. L'incendie de 1134 détruisit les maisons canoniales et l'hôtel-Dieu au pied de la cathédrale sans pour autant l'atteindre. La façade actuelle est alors construite devant l'église romane et flanquée des deux tours clochers, au moins à partir de 1145. En 1194 un incendie détruit à nouveau l'édifice dont ne subsiste plus que la crypte et la récente façade occidentale. Les travaux de réédification sont immédiatement entrepris et dès 1221 le nouveau chœur est fonctionnel, couvert, cette fois-ci, d'une voûte de pierre. Nous passons sur les différentes étapes de constructions du reste du monument, l'objet de notre étude n'ayant pas reçu d'autres modifications architecturales. Le dernier incendie du monument détruisit en 1836 l'intégralité de ses charpentes et de ses toitures, remplacées depuis 1841 par une charpente métallique et une couverture en cuivre.

Différentes campagnes de nettoyage et de réfection des enduits de la voûte ont eu lieu au cours des siècles. Au moins trois enduits successifs ont pu être identifiés lors de la restauration du chœur en 2009: l'enduit initial du XIIIe siècle, un enduit du XVe siècle et autre du XVIIIe siècle. Ces trois enduits portent un décor de faux joint donnant l'illusion que les pierres de la voûte sont visibles.

3. Méthode et sources

Afin de pouvoir situer nos observations à l'échelle du monument nous avons mené une campagne de relevés topographiques visant à géo-référencer nos documents, à établir un système dans lequel les observations postérieures

[2] Fouilles de Lassus en 1849 sous la nef, fouilles du parvis en 1991 et 1992, observations de murs dans la crypte dont l'appareil est attribué à l'époque antique.

[3] Communication orale L. Coulon: Gauthier, Picard (dir.) 1992, 39: "Ecclesia episcopali quae honorem sanctae Dei genitricis Mariae".

Fig. 1 – Relevés topographiques et manuels sur l'échafaudage (photographie J. Viret).

pourraient être coordonnées, et à rapprocher les nouvelles données collectées des relevés existants. Un cheminement polygonal a été construit, allant de l'extrados de la voûte à la rue du Cloître Notre-Dame, en passant à la fois par le triforium et par le sol actuel. A partir de ce cheminement, trente stations[4] ont été créés sur l'échafaudage (Fig. 1), dans le triforium, dans les combles et sur le dallage du chœur et du transept. Cette méthode nous a assuré un polygone ayant une fermeture planimétrique de quatre centimètres et altimétrique de trois centimètres. Ces résultats sont fortement influencés par le stationnement sur l'échafaudage et l'utilisation de deux descentes d'orientation (l'une entre les combles et l'échafaudage, et l'autre entre l'échafaudage et le sol). La vérification de nos mesures par points visés de plusieurs stations nous a permis d'obtenir une précision de 2 cm pour l'ensemble des points relevés. Toutes les stations ainsi que les 8614 points de détail ont été géo-référencés dans les systèmes nationaux actuellement en vigueur: en RGF 93 pour la planimétrie et en NGF 69 pour l'altimétrie. Enfin, cette campagne topographique a été complétée par des relevés manuels s'appuyant sur les points de détail précités et par des photographies redressées et géo-référencées. L'ensemble de la documentation de la campagne est donc coté en dans trois dimensions et dans le même système topographique.

[4] Ces stations n'ont pas toutes été matérialisées mais elles ont toutes été repérées sur un schéma éventuellement complété par une photographie.

Replacer ces informations sur les relevés existants a cependant posé quelques problèmes. Chaque ouvrage traitant de la cathédrale de Chartres possède au moins un plan, et parfois des dessins d'élévations. Les sources de ces plans ne sont pas toujours citées, ils ne sont pas toujours publiés avec une échelle et ne sont jamais géo-référencés. Des cotes sont parfois données, mais la méthode de prise mesure utilisée n'est jamais exposée; il doit s'agir généralement de mesures effectuées sur plan. Nous avons essayé de retrouver les documents ayant servi à l'élaboration de ces plans.

Tous les auteurs s'appuient principalement sur la même source: les relevés architecturaux effectués par J.-B. Lassus entre 1838 et 1857 (Lassus, Amaury Duval, Didron 1872). Ces relevés, commandés par le Ministère de l'Instruction Publique, devaient être accompagnés d'une description des planches, d'une présentation historique du monument et de plusieurs dessins artistiques. Le projet gigantesque n'a jamais abouti. Seules soixante-douze planches grand *in-folio* ont été publiées entre 1842 et 1867 présentant les plans, les élévations et des dessins des sculptures et des vitraux effectués sous la direction de Lassus[5].

Parmi ces documents, deux planches concernent les parties hautes du chœur. Le premier est la planche n° II qui est un plan de l'ensemble du monument au niveau des galeries (Fig. 2[6]). Elle est toujours reproduite sans échelle et sans orientation. Le document original (Lassus 1872) en comporte pourtant une: «Echelle de 0,005 pour mètre» soit au 1/200e, que l'on peut d'ailleurs vérifier grâce à l'échelle graphique, elle non plus jamais reproduite. Ce dessin rassemble plusieurs éléments qui ne se trouvent pas en réalité au même niveau. Les colonnettes du triforium sont visibles ainsi que les arcs et les clés de voûte. Les toitures des bas côtés sont aussi représentées alors que les portes menant à ces bas côtés ne sont pas dessinées sur le plan. Le deuxième document (planche n° XXXV) est une coupe longitudinale de la cathédrale (Fig. 3). Ce dessin n'a pas été réalisé directement par Lassus mais par un certain Adams. Cependant, il s'appuie en grande partie sur le relevé de la façade méridionale dessiné par Lassus (planche n° X), et les deux dessins sont superposables. La coupe longitudinale ne comporte pas d'échelle, mais le dessin de la façade Sud nous indique une échelle du1/200e, encore une fois vérifiée par son échelle graphique. Cette planche représente pour le chœur, sur la même coupe, les pans de la toiture, les murs présents dans les combles, la voûte et ses clés, les fenêtres hautes, tous les arcs doubleaux, le triforium, les arcades des bas côtés et les fenêtres des bas côtés. Ce document a été repris,

[5] Ces planches ont été rapprochées du texte de P. Durand par J.-M. Leniaud dans Durand, Lassus, Leniaud 2006.

[6] Nous publions ici un extrait de ce plan publié dans Durand 2006.

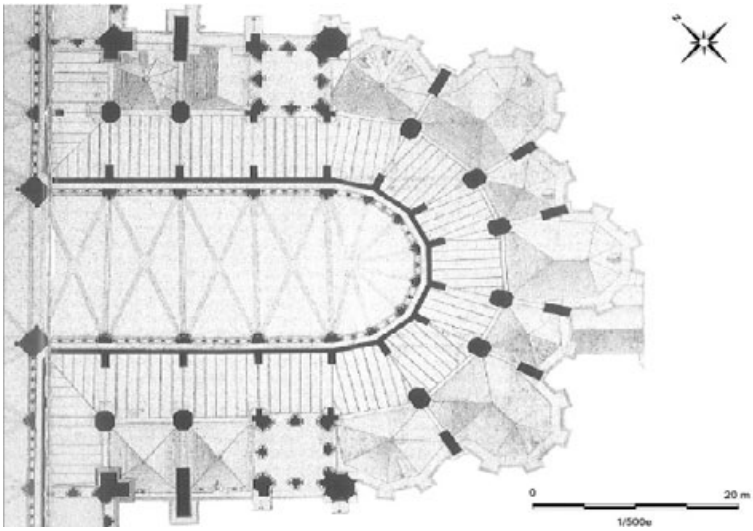


Fig. 2 – Extrait du plan au niveau de la galerie mis à l'échelle 1/500e, d'après la planche de J.-B.-A. Lassus reproduite en 2006 par Durand, Lassus, Leniaud, 3.

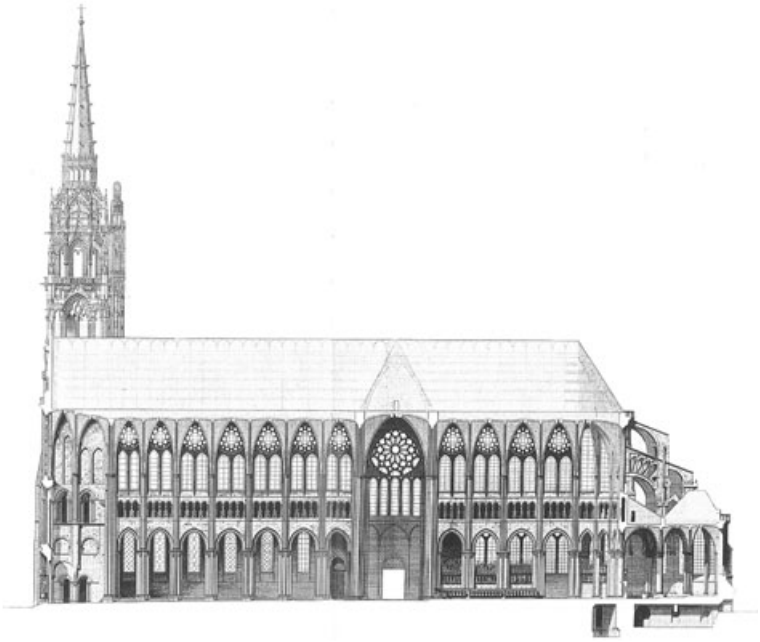


Fig. 3 – Coupe longitudinale de la cathédrale d'après la planche de J.-B.-A. Lassus reproduite en 2006 par Durand, Lassus, Leniaud, 3, sans échelle.

une première fois par G. Nicot afin de rajouter le décor du XVIIIe siècle de la clôture du chœur, puis une deuxième fois lors d'une campagne de photogrammétrie des parties basses réalisée par la société GRAPHIM en 2002.

Nous pouvons d'abord remarquer que ces documents visent à synthétiser de nombreuses informations afin de présenter une vue de la cathédrale la plus complète possible. Nous pouvons y voir un réel besoin de représentations en trois dimension, et la solution technique adoptée a été la création de vues sous des angles différents comportant différents niveaux de profondeur. Ces vues sont orthogonales et permettent d'effectuer quelques mesures.

4. Modélisation 3D

Un modèle en 3D a été conçu à partir de nos relevés topographiques. La modélisation a été volontairement modeste afin d'obtenir rapidement un modèle clair et facilement exploitable. Elle a consisté essentiellement à la mise en volume des lignes architecturales maîtresses relevées au tachéomètre. A partir de ce modèle 3D, nous avons créé les mêmes documents que ceux produits par Lassus: un plan des parties hautes du chœur cumulant sans distinction les informations récoltées (Fig. 4) et une coupe longitudinale de la voûte du chœur (Fig. 5). Le modèle 3D nous a aussi permis de créer des profils en travers comme par exemple celui entre les deux premières travées du chœur (Fig. 6), et enfin des vues en perspective selon différents angles souhaités (Figs. 7, 8 et 9). La manipulation aisée du modèle permet à la fois d'intégrer tous les éléments observés, de les représenter avec clarté et précision, et de les utiliser afin d'analyser la structure du monument. Il est ainsi possible par exemple de mesurer l'épaisseur de la voûte couvrant le chœur, comprise entre quatorze et trente deux centimètres, ou encore de comparer les altitudes des trous de boulins. Enfin, grâce à cet outil, différentes hypothèses peuvent être formulées graphiquement sur le même document. Nous pouvons alors parler au sens propre de document de synthèse.

À partir de ce document nous avons essayé de faire concorder nos données avec les relevés architecturaux du XIXe siècle (Fig. 10). Nous avons ainsi pu mettre en évidence quelques erreurs présentes sur ces plans. Nous obtenons ainsi une différence de quinze centimètres pour la hauteur du mur représenté sur la coupe longitudinale, mesure prise du haut du mur dans les combles jusqu'au sol à l'intérieur du chœur. Nous obtenons aussi une différence de quarante centimètres pour la longueur du chœur sur ce même document. Cependant cette erreur ne semble pas uniforme car la différence dans le placement des clés de voûte entre nos relevés et ceux de Adams peut aller jusqu'à un mètre. Cette erreur est d'ailleurs visible au niveau du triforium, où cinq colonnettes sont représentées pour chaque travée alors qu'en réalité les trois dernières travées en comportent six. Nous pouvons enfin remarquer

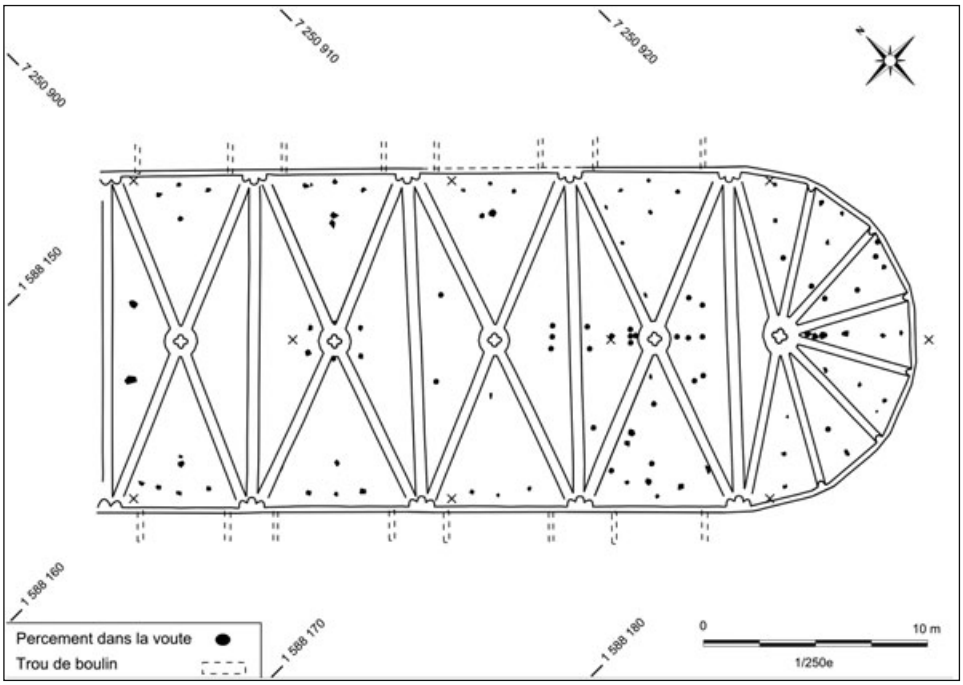


Fig. 4 – Relevé planimétrique des trous de boulin et des percements dans les parties hautes du chœur; échelle au 1/250e.

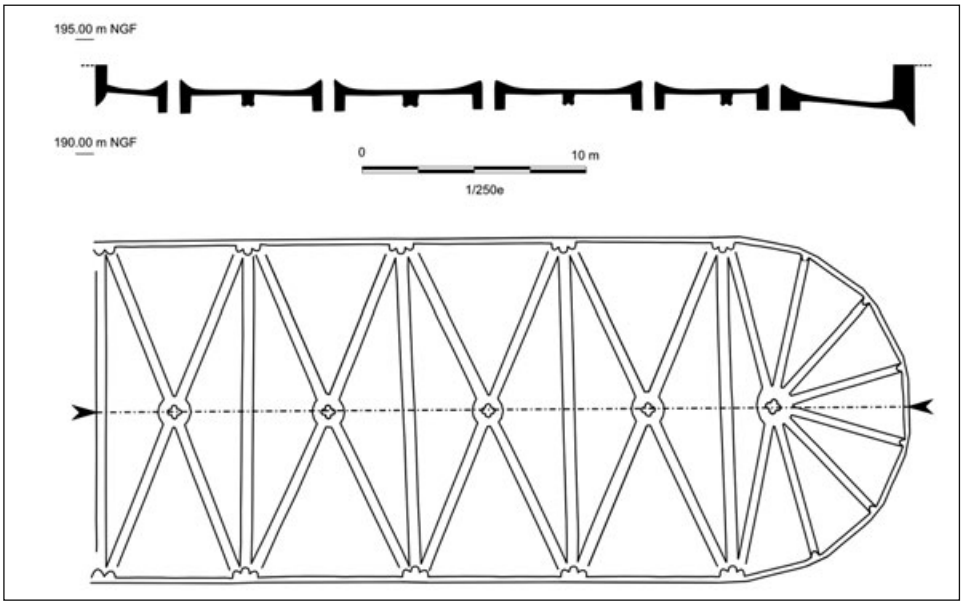


Fig. 5 – Profil en long du sommet de la voute du chœur; échelle 1/250e.

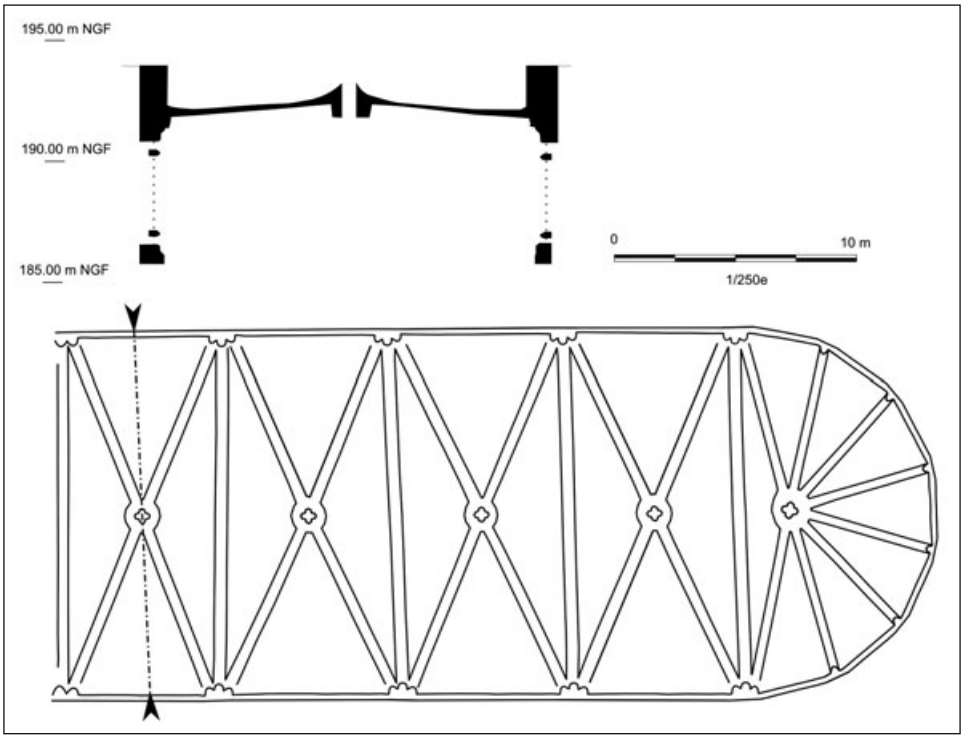


Fig. 6 – Profil en travers de la voute au milieu des deux premières travées du chœur; échelle 1/250e.

les différences dans le profil de la voûte: le profil dessiné par Adams souligne la courbure des voutains, courbure qui en réalité n'est pas visible au sommet de la voûte. Ce document très détaillé nécessiterait donc une campagne de relevés complémentaires afin de compenser ces erreurs. Nous souhaitons aussi scanner ces planches dans un format haute résolution en utilisant un scanner à plan afin d'éviter un travail d'assemblage qui pourrait être une source d'erreur.

5. Conclusion

D'autres plans[7] de la cathédrale n'ont pas été cités jusqu'ici car ils ne concernent que le sol de l'édifice. Ces plans mériteraient aussi d'être vérifés et géo-référencés afin de pouvoir facilement leur intégrer les nouvelles obser-

[7] Entre autres le plan dit Félibien, le plan de Daniel Ramée ou encore celui de Lassus.

Fig. 7 – Vue en perspective du modèle 3D des parties hautes du chœur.

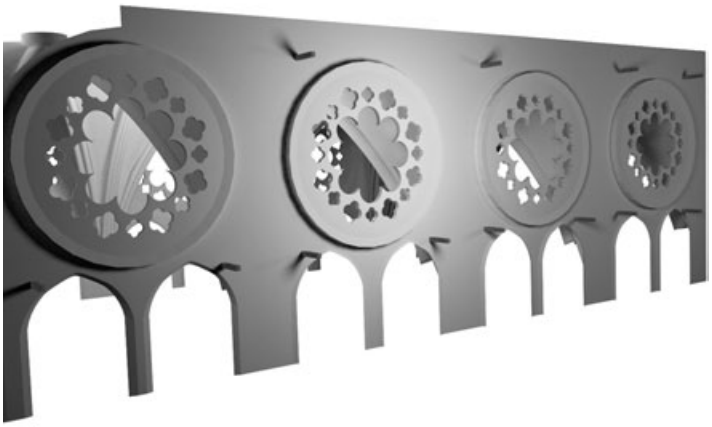


Fig. 8 – Vue en perspective de l'emplacement des trous de boulins sur la façade extérieure Nord du chœur. Des relevés complémentaires permettraient d'obtenir l'épaisseur du mur et de confronter la position de ces trous avec ceux visibles depuis l'extérieur.

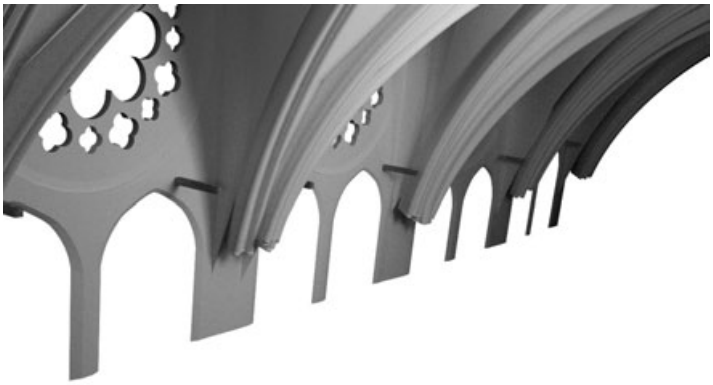


Fig. 9 – Vue en perspective de l'emplacement des trous de boulins depuis l'intérieur du chœur.

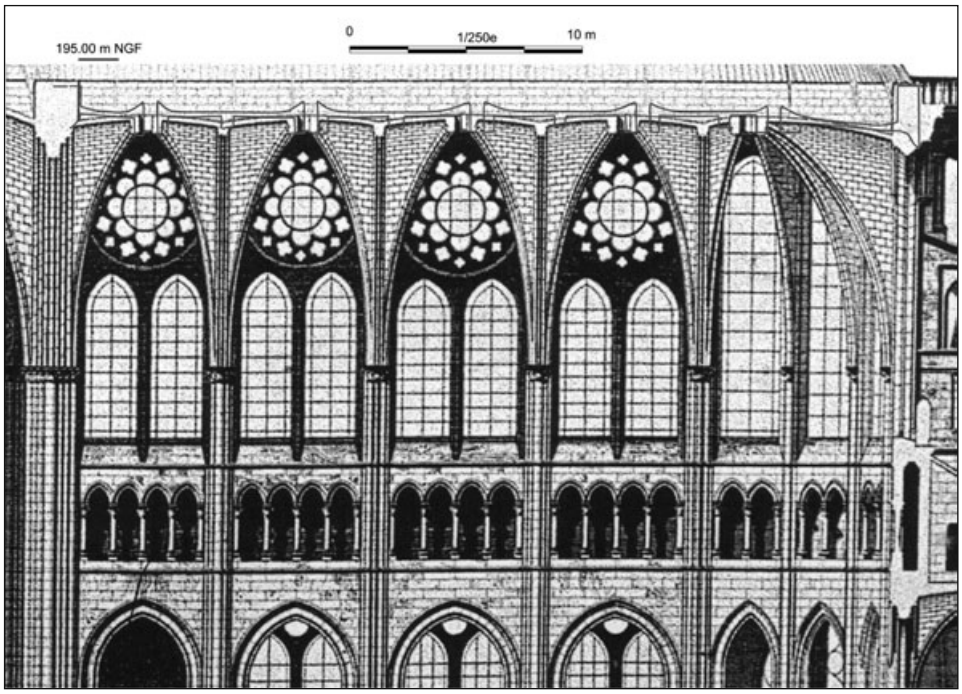


Fig. 10 – Comparaison du profil en long de la voute avec la coupe longitudinale de J.-B.-A. Lassus.

vations. L'utilisation des outils de modélisation 3D et de géo-référencement des observations archéologiques devient essentielle pour la compréhension d'un monument tel que la cathédrale de Chartres. Plusieurs techniques sont maintenant mises en œuvre pour l'acquisition du maillage de points. Ces techniques permettent l'acquérir des modèles de plus en plus fin et complets et semblent bien adaptées à des monuments complexes tel que la cathédrale Notre-Dame. Cependant nous nous interrogeons sur la possibilité d'obtenir un modèle complet de l'édifice, et surtout de sa maniabilité pour l'analyse, la valorisation et la conservation. Différents programmes de numérisations 3D ont déjà été réalisés sur des monuments historiques, mais aucun n'a été effectué, à notre connaissance, sur la totalité d'un monument aussi riche en détails que la cathédrale de Chartres.

François Fouriaux
Service archéologie de la ville de Chartres

SOURCES IMPRIMÉES

Lassus J.-B.-A., Amaury Duval A., Didron A.N. 1872, *Monographie de la cathédrale de Chartres,* Paris (seconde édition).

Durand P. 1881, *Monographie de la Cathédrale de Chartres, explication des planches*, Paris.

BIBLIOGRAPHIE

Bulteau M. 1850, *Description de la cathédrale de Chartres*, Chartres.

Durand P., Lassus J.-B., Leniaud J.-M. 2006, *Notre-Dame de Chartres*, Paris, Editions Molière.

Favier J. 1988, *L'Univers de Chartres,* Bordas, Paris.

Gauthier N., Picard J.-Ch. (dir.) 1992, *Topographie chrétienne des cités de la Gaule au milieu du* VIII*e siècle*, t.8, «Province écclésiastique de Sens (Lugdunensis Segonia)», Paris, Ed. de Boccard.

Hoyer R. 1988, *Documents primordiaux à l'archéologie chartraine: les plus anciens plans connus de la cathédrale Notre-Dame*, «Bulletin de la Société Archéologique d'Eure-et-Loir», 19, 1-58.

James J. 1982, *Chartres, les constructeurs*, 3 vol., Chartres, Société Archéologique d'Eure-et-Loir.

de Lépinois E., Merlet L. 1862-1865, *Cartulaire de l'église Notre-Dame de Chartres*, 3 vol., Chartres, Garnier.

Lévis-Godechot N. 1987, *Chartres, révélée par sa sculpture et ses vitraux*, La Pierre-qui-Vire, Éditions Zodiaque.

Musée des Beaux Arts de Chartres 1994, *La cathédrale dans les collections du musée de Chartres,* Chartres, Musée de Chartes.

Prache A., Jouanneaux F. 2000, *Chartres, la cathédrale Notre-Dame*, in *Cathédrales de France* col., Paris, Édition du patrimoine.

Prache A. 1993, *Notre-Dame de Chartres, image de la Jérusalem céleste,* Paris, CNRS/CNMHS.

Souchet J.-B. 1867, *Histoire du diocèse et de la ville de Chartres*, Société Archéologique d'Eure-et-Loir, Chartres.

ABSTRACT

During the restoration work conducted on the original decoration in the heart of the cathedral of Chartres, the archaeological service of the city of Chartres conducted a series of surveys and made a study of the evidence left from the various phases of construction. A general overview of the masonry (vaults, high windows, and triforium) was completed by means of a research project and precise survey of the location of the putlog holes and the holes in the vault. From the detailed manual survey it was possible to create a complete three dimensional topographical plan and thanks to this data, to create a precise model of those parts of the cathedral showing the irregularities in construction like the width of the bays, the height of the vaults, the diameters of the rosettes, the height of the lancet windows. This set of information was georeferenced and compared to the architectural plan that had been drawn by J.-B.-A. Lassus (1807-1857) and published in 1842. This method allowed us to define and correct this latter document which turned out to be more a stylistic analysis than a precise topographical survey. The final report on this operation has not yet been completed but in this article we are offering a presentation of the methodology applied and the first results.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 313-327

L'UTILISATION DE LA RESTITUTION EN TROIS DIMENSIONS AU SERVICE ARCHÉOLOGIQUE DE LA VILLE DE CHARTRES

1. Introduction

Le service municipal d'archéologie de Chartres a été créé en 2005, mais une forte activité archéologique existait, dans cette ville, depuis les années soixante-dix. Rapidement les archéologues locaux ont cherché à valoriser les résultats de leurs fouilles en proposant au public chartrain et aux touristes des expositions, des panneaux et des ouvrages de vulgarisation.

Aujourd'hui le service dispose d'employés affectés exclusivement à la médiation vers le public adulte et les scolaires. Il est aussi associé à des manifestations culturelles telles que la Fête du Patrimoine, les Journées de la Science, etc. Les informations sont diffusées *via* le journal d'informations mensuel de la mairie («Votre ville») et grâce à l'édition irrégulière d'une plaquette spécialisée («Le petit journal de fouille»). Il s'avère que le public est très amateur de restitutions en trois dimensions, bien plus édifiantes que les documents produits lors des fouilles (plans, coupes stratigraphiques et photographies), notamment dans le cadre d'une archéologie rurale concernant essentiellement des structures en creux. Les services de la mairie, affectés au patrimoine ou à la communication ne s'y sont pas trompés et nous incitent de plus en plus à concevoir des restitutions 3D. Dans certains cas, la restitution a aussi des objectifs scientifiques

Cette présentation est découpée en quatre parties: la première dresse les différents moyens informatiques utilisés par le service municipal d'archéologie pour concevoir des restitutions en 3D. Les trois suivantes s'attachent chacune à un niveau de restitution: l'architecture, le site ou la ville, la structure archéologique. Ce découpage est lié à des commodités de présentation, plus qu'à de réelles différences de procédé (même si nous verrons que les différences d'échelle induisent certains choix: degré de précision et d'extrapolation notamment).

Sauf mention contraire, toutes les restitutions ont été effectuées par l'auteur.

2. Les moyens informatiques à la disposition du service

Le traitement de l'information graphique issue du travail archéologique de terrain s'effectue avec les habituels logiciels: le logiciel Illustrator est utilisé pour la mise au net des relevés, Photoshop pour le redressement et le traitement des photographies numériques. Ces deux logiciels de la suite Adobe trouvant leurs pendants dans la catégorie des logiciels libres: Inkscape et Gimp. Auto-

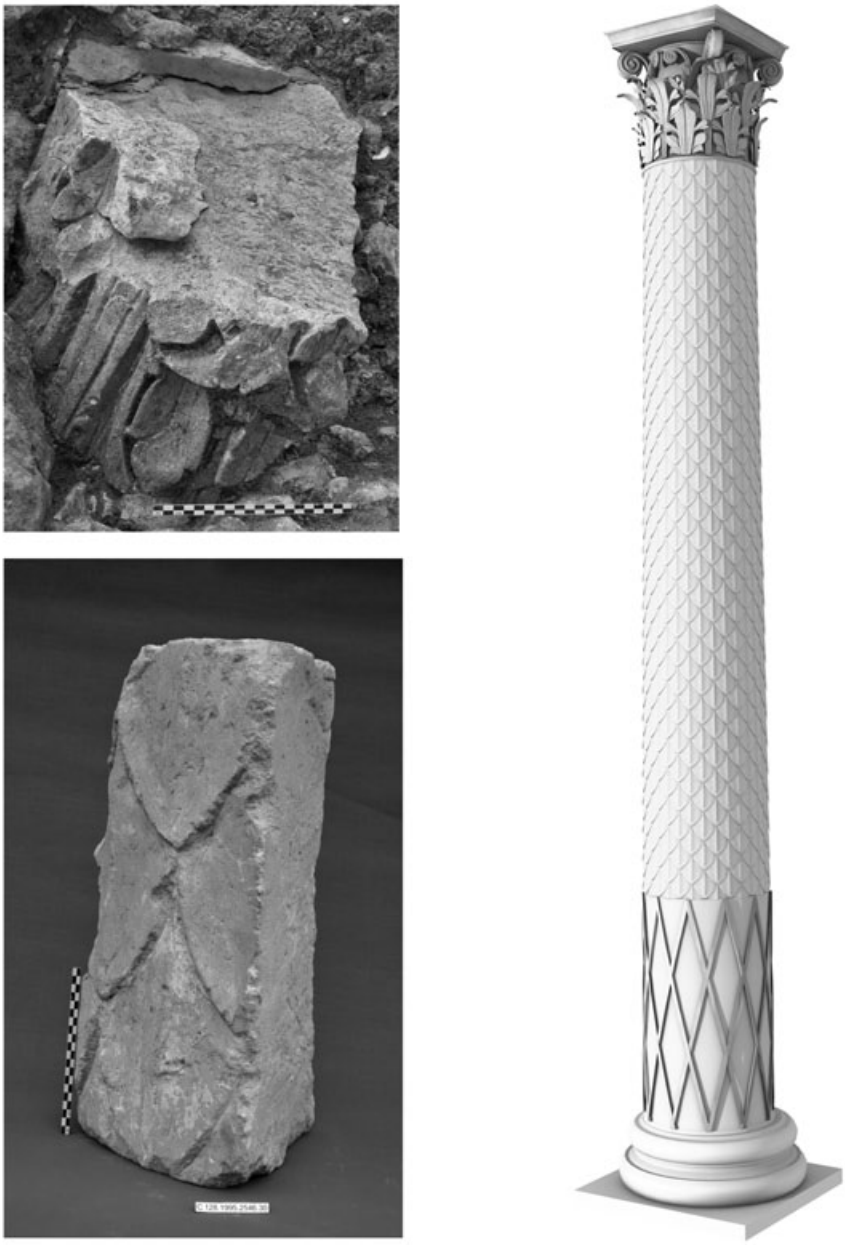


Fig. 1 – Restitution d'une colonne du portique du complexe monumental de Saint-Martin-au-Val à partir des découvertes lapidaires (3D F. Fouriaux).

cad et d'autres logiciels liés au traitement des coordonnées topographiques complètent cette liste.

Les premières restitutions en trois dimensions ont été réalisées avec Illustrator. Ils s'agissaient de simples axonométries. Les résultats étaient appréciables, quoique limités (un seul point de vue disponible). Mais, surtout, leur conception était fastidieuse.

Puis l'utilisation de Blender, un logiciel libre, a considérablement accéléré le processus de restitution et apporté un gain qualitatif certain. Ce logiciel, assez rapide à prendre en main[1] permet à tout archéologue non spécialiste de l'infographie 3D de proposer des restitutions soignées des structures ou des sites qu'il a fouillés. Son avantage est de pouvoir multiplier les angles de vue et d'intégrer des textures réalistes.

Ces logiciels fonctionnent sur des ordinateurs de bureau (systèmes d'exploitation Windows ou Apple), avec cartes graphiques et performances standards.

3. La restitution d'architecture

Des opérations de fouilles préventives en milieu rural, urbain, ainsi qu'une opération de fouille programmée en milieu péri-urbain ont apporté des informations sur des architectures antiques et médiévales fort différentes: de l'architecture monumentale en pierre à la construction légère en terre et bois. La modélisation a été utilisée aussi bien à des fins scientifiques qu'à des fins de valorisation auprès du grand public.

Saint-Martin-au-Val, le premier site dont il sera ici question fait l'objet d'une fouille programmée annuelle depuis 2006[2]. Il s'agit d'un important complexe monumental antique (300 m par 190 m), situé à proximité directe de la ville gallo-romaine. L'implantation sur cet emplacement d'un édifice chrétien à l'époque mérovingienne laisse à penser que ce complexe renfermait un temple. Voici la restitution d'une colonne du portique effectuée à partir d'éléments lapidaires retrouvés sur le site (Fig. 1). Le plan général du site sera présenté plus loin.

Sur le site du Radray a été mis au jour une exploitation agricole antique, un petit habitat du début de l'époque mérovingienne (entre 480 et 550 de notre ère) et une nécropole légèrement postérieure. Ce site se trouve dans la zone d'activités de Chartres-Gellainville, à quelques kilomètres du centre de

[1] Néanmoins, l'auteur remercie chaleureusement ses collègues Antoine Louis et François Fouriaux d'avoir guidé ses premiers pas dans *Blender*, lui épargnant ainsi des heures de tâtonnements.

[2] Sous la direction de Bruno Bazin.

la cité de Chartres. Fouillé en 2007[3], il a fait l'objet, comme le précédent site, de plusieurs présentations auprès du public (dans le journal mensuel d'informations, dans la plaquette spécialisée, dans des panneaux et un diaporama intégrés à une exposition autour des "artisans et paysans aux temps de Clovis et Charlemagne").

Bien que nous ayons proposé plusieurs restitutions de bâtiments antiques et mérovingiens, le travail de conception 3D a essentiellement porté sur des petits bâtiments semi-excavés d'époque mérovingienne (traditionnellement dénommés "fonds de cabanes": Fig. 2).

Plusieurs propositions de restitution des différents types de fonds de cabanes retrouvés sur le site de Gellainville ont été présentées lors d'un S.A.R.C (Séminaire d'Archéologie en Région Centre)[4]. Ces restitutions avaient pour objectif de définir les différents types de couvertures et de montrer l'habitabilité de ces constructions, dont certaines sont de dimensions très modestes (en mettant à la même échelle la cabane et un couple de personnages). Elles profitent de l'enseignement des reconstructions expérimentales à Orville (Epaud, Gentili 2009). Elles tiennent également compte des réserves de Frédéric Epaud, suite à une étude poussée sur un type de construction vernaculaire de l'Anjou (Epaud 2009). Un des objectifs était de rappeler que la restitution de la charpente du toit ne doit pas exclusivement être tributaire du plan au sol découvert à la fouille. Pour les fonds de cabane en l'occurrence, il s'agissait de montrer que la disposition des trous de poteaux (dans les angles ou au milieu des petits côtés) ne dicte pas forcément le type de charpente. Il faut également prendre en compte les conceptions architecturales anciennes, la facilité de conception et l'adaptation à l'environnement et aux matériaux disponibles (soient des bois les plus courts possibles et de sections réduites).

Lors de la fête de la science 2008, une animation pour les enfants a utilisé la restitution 3D d'une cabane de Gellainville. Celle-ci consistait à la réalisation d'une maquette en carton. Modélisé avec Blender, le patron avait ensuite était retravaillé sous Illustrator.

Une autre animation régulièrement proposée à des scolaires consiste à la réalisation d'un puzzle représentant une domus chartraine du Haut Empire, fouillée en 1986. Simple axonométrie, elle renseigne sur la configuration et l'organisation d'une riche demeure urbaine antique.

Nous avons également proposé une restitution de la porte St-Michel et de sa barbacane qui figurera sur un des panneaux de la future exposition permanente (Fig. 3). Nous avons appliqué ici une texture réaliste aux maçon-

[3] Sous la direction de David Wavelet.

[4] Le Radray (Gellainville): Essai de restitution d'un habitat rural mérovingien, SARC Architecture à poteaux plantés: de la fouille à la restitution (sous la direction de S. Fichtl), Orléans, octobre 2009.

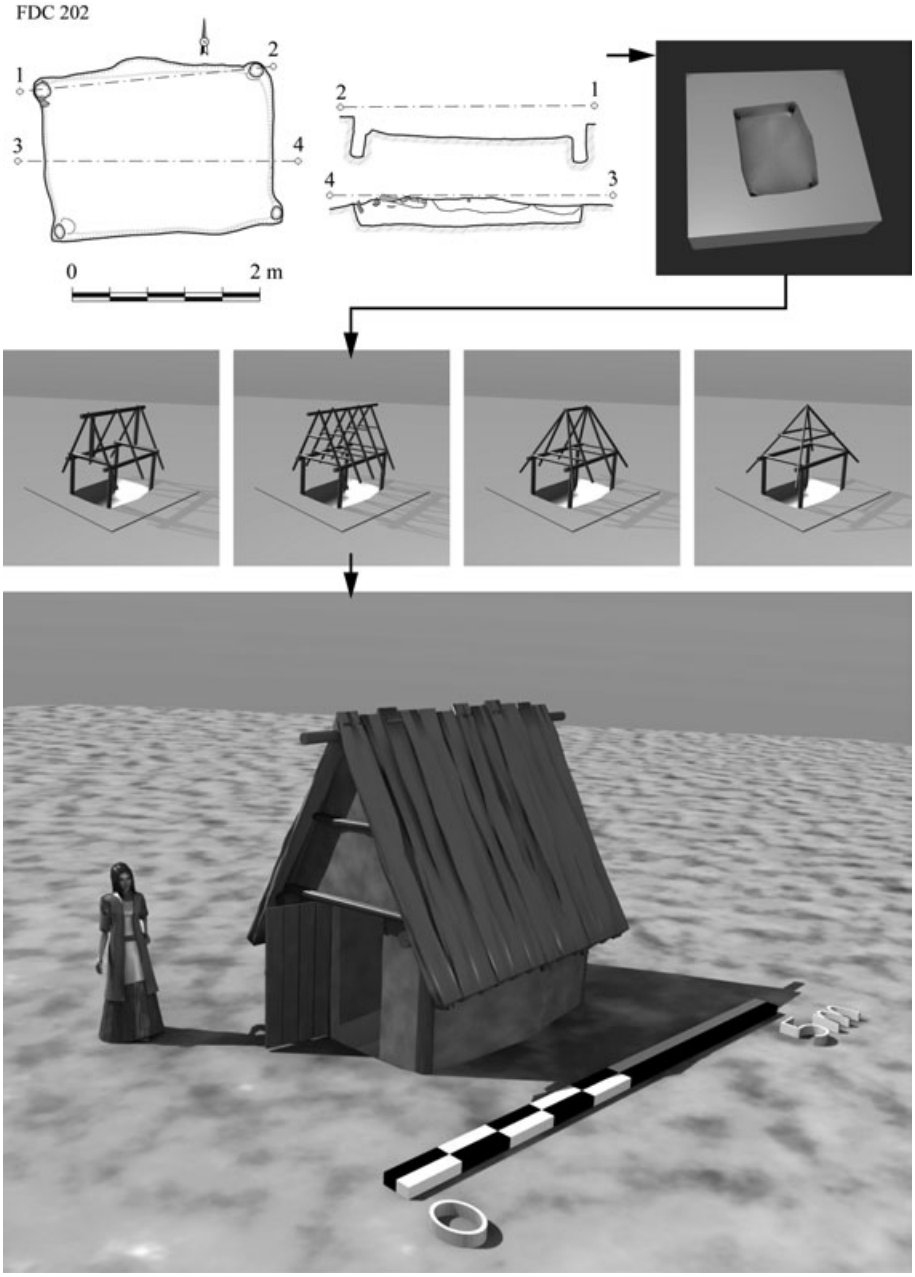


Fig. 2 – Une proposition de restitution d'une cabane semi-excavée à quatre poteaux corniers retrouvée sur le site Le Radray (Gellainville).

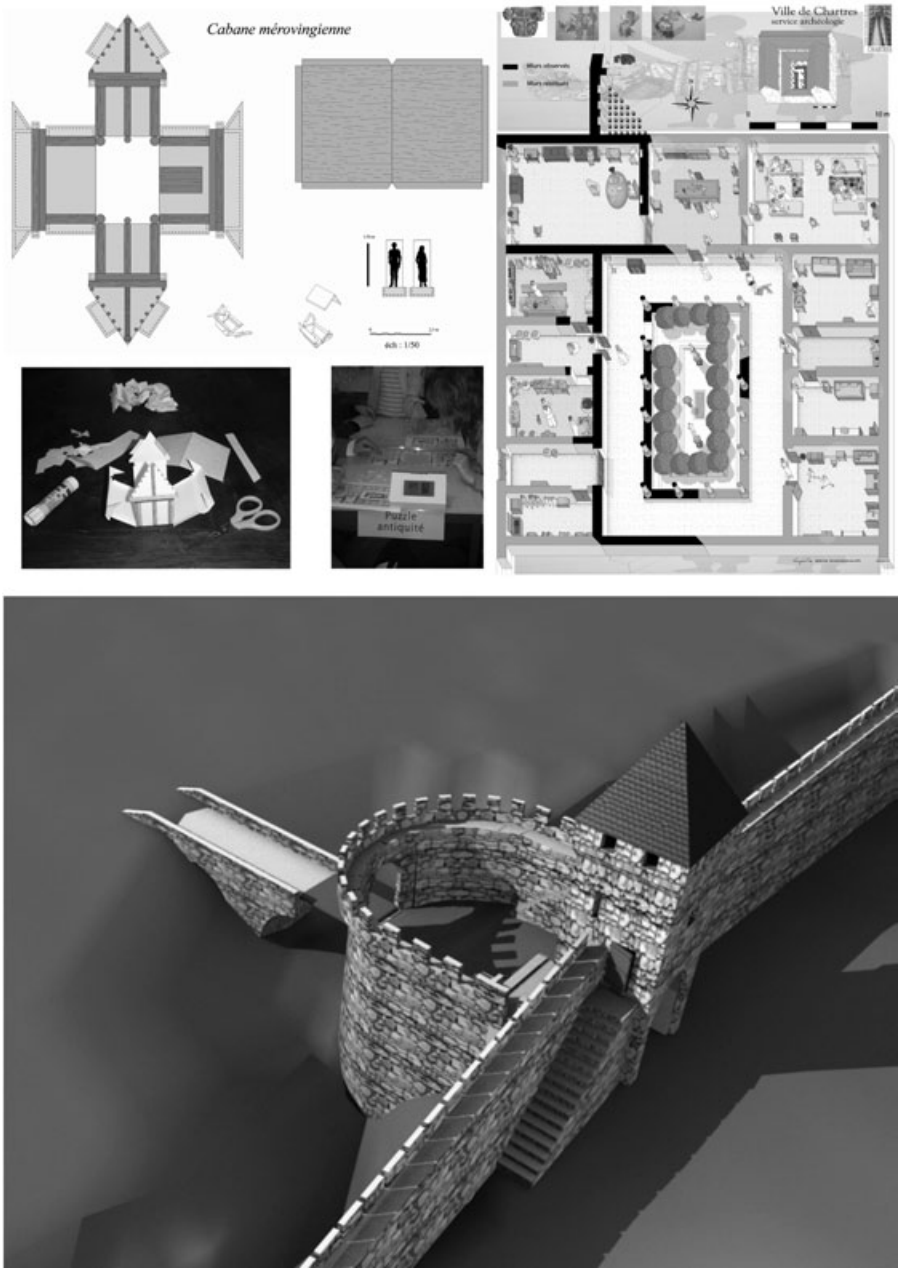


Fig. 3 – Matériel pédagogique proposé aux enfants: maquette de cabane mérovingienne et puzzle d'une domus gallo-romaine chartraine. Restitution de la barbacane de la porte Saint-Michel.

neries. L'illustration ainsi produite est plus une évocation qu'une restitution d'après vestiges, cette structure n'ayant pas fait l'objet d'une fouille.

Suites à une opération dans le chœur de la cathédrale, une modélisation des parties hautes (fenêtres hautes, rosaces et voûtes) a également été effectuée (voir l'article de F. Fouriaux dans le présent ouvrage).

4. La restitution à l'échelle d'un site

Les deux sites déjà mentionnés de Gellainville et Saint-Martin ont également donné lieu à des restitutions de plus grande envergure. Déjà proposées au public *via* des expositions et des articles de vulgarisation, ces modélisations de site seront intégrées à la future exposition permanente de la Maison de l'Archéologie (sous forme d'images fixes imprimées sur les panneaux et de petits films sur une borne interactive).

La restitution de l'habitat mérovingien de Gellainville présenté ici est centrée sur le noyau principal: à savoir un enclos pentagonal qui comporte en son sein et sur son pourtour la majorité des structures de cette période (Fig. 4). Si certaines structures (bâtiments sur poteaux, fosses et fossés) clairement antérieures ou postérieures à l'enclos pentagonal n'apparaissent pas – à juste titre – sur cette restitution, il est certain que toutes les structures représentées ne sont pas exactement synchrones. À l'opposé, il est incontestable que d'autres structures, non observées à la fouille (pour diverses raisons) coexistaient à la même époque. De manière générale, il se dégage de l'observation des vestiges un faible corpus de constructions aériennes sur poteaux dont le plan est attesté. Des nébuleuses de négatifs de poteaux ainsi que des blocs de grès ayant potentiellement servi de calage de poteaux ont été observés, sans toujours réussir à lire les plans géométriques des structures qu'ils constituaient. Cela est dû, à la fois à la mauvaise lisibilité du substrat et peut-être aussi à la mauvaise conservation des structures (à cause notamment de l'arasement agricole). Il ne faut donc pas préjuger de la rareté des constructions aériennes et survaloriser l'existence des fonds de cabanes.

Le site de Saint-Martin-au-Val, mentionné plus haut, a fait l'objet d'une modélisation par F. Fouriaux (Fig. 5). Celle-ci se base sur les résultats provisoires de la fouille programmée (en cours) et de diverses opérations archéologiques antérieures. Il a choisi de montrer la galerie du portique extérieur en cours de construction, suivant une des hypothèses, émise au cours de la fouille: à savoir que ce monument n'a jamais été achevé.

Il a également été jugé opportun de proposer au public des restitutions à l'échelle de la ville. Ces restitutions restent des propositions, des interprétations mais profitent de l'ensemble des découvertes archéologiques faites depuis le XIXe siècle, d'analyses d'illustrations et de plans anciens, ainsi que des schémas éprouvés pour d'autres villes.

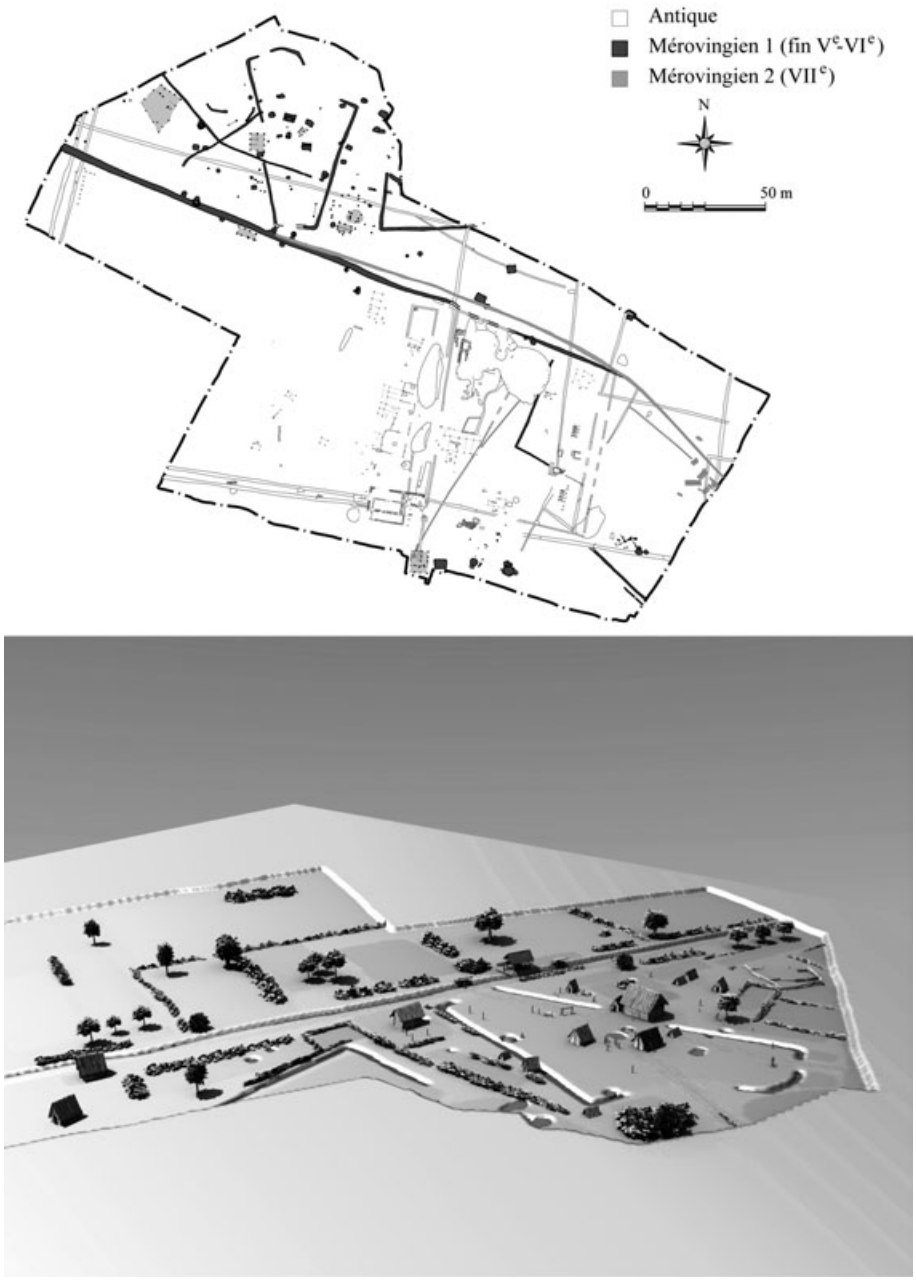


Fig. 4 – Plan et restitution de l'habitat mérovingien du site Le Radray (Gellainville).

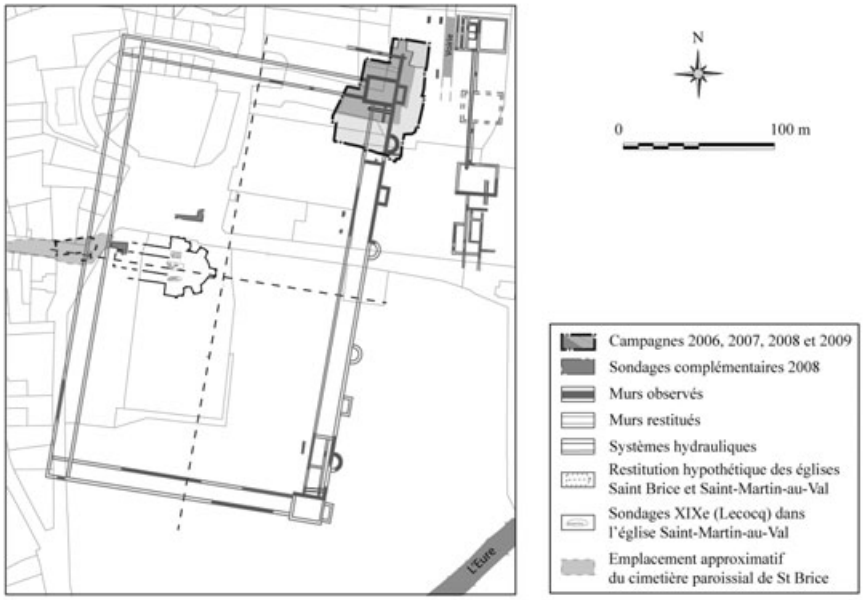


Fig. 5 – Plan du complexe monumental de Saint-Martin-au-Val et restitution de son angle Nord-Ouest (3D F. Fouriaux).

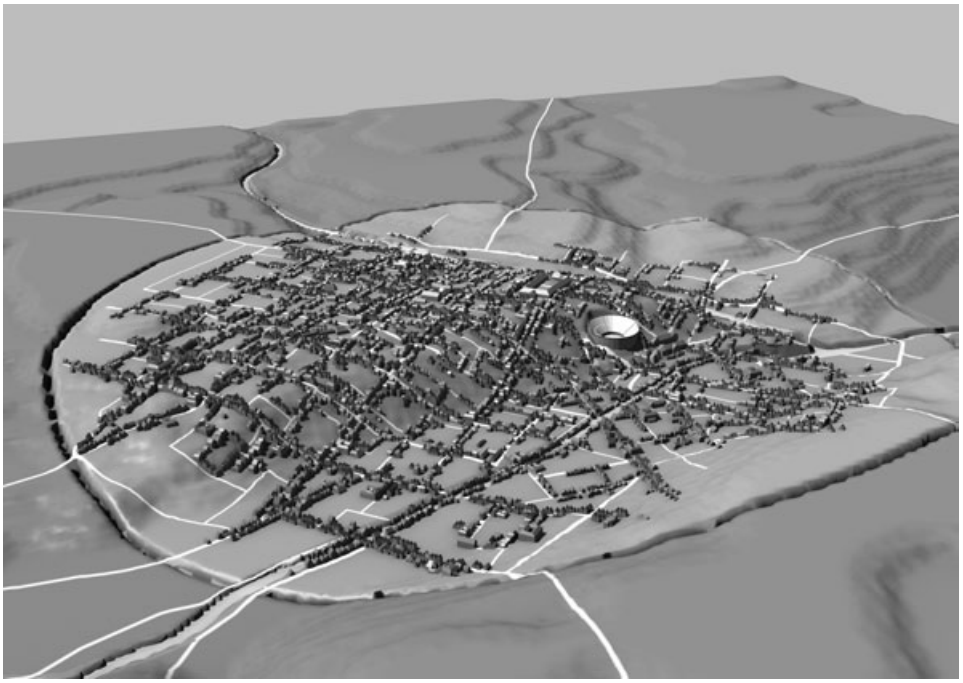


Fig. 6 – Evocation de Chartres (Autricum) au IIe siècle.

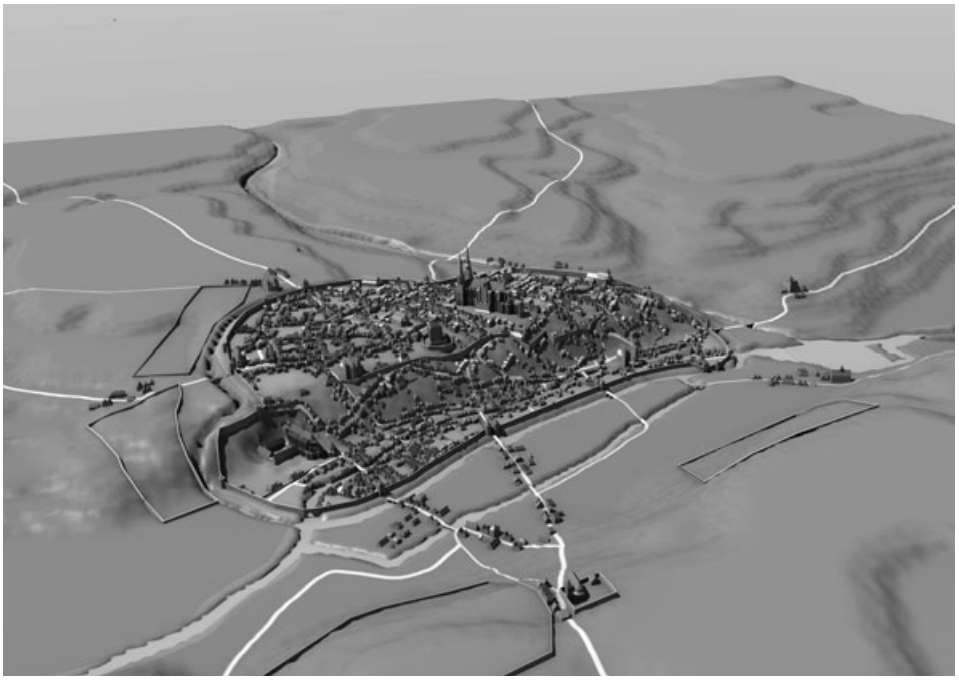


Fig. 7 – Evocation de Chartres au XIIIe siècle.

La modélisation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sous Blender est une opération relativement aisée. Il suffit d'appliquer comme texture à un plan préalablement subdivisé[5] une image avec courbes de niveaux dégradées (en nuances de gris) ayant subi un flou gaussien (pour limiter l'effet "escalier") et d'utiliser la fonction "displace". Ensuite, il est possible de modifier l'échelle verticale de l'objet ainsi constitué pour obtenir un relief réaliste (ici volontairement légèrement exagéré). Pour restituer les rues et les bâtiments, des cartes synthétisant les découvertes archéologiques et les données historiques disponibles ont été importés dans le logiciel. A partir de ces plans masses localisés précisément par rapport au MNT, il a suffit de "monter" les différents édifices (c'est-à-dire leur donner de l'épaisseur, ou plutôt de la hauteur). Certains sont rigoureusement modélisés à partir des observations archéologiques, d'autres sont conçus de manière à combler les lacunes, toujours en veillant à respecter l'échelle.

La restitution de la ville antique, dans le courant du IIe siècle, au moment de son extension maximale est essentiellement basée sur les découvertes archéologiques. Les éléments marquants sont le fossé périphérique de la ville, l'amphithéâtre, un forum présumé, certaines grandes demeures (domus) et la trame viaire (Fig. 6). Le rendu 3D, plus qu'un plan avec courbes de niveau, montre le total affranchissement de la ville antique vis-à-vis du relief (notamment le fossé périphérique). On distingue également l'organisation des rues avec plusieurs systèmes orthonormés qui coexistent[6]. Le complexe monumental de Saint-Martin, qui ne figure pas sur l'illustration, est à l'extérieur de la ville.

La restitution de la ville à l'époque médiévale (dans le courant du XIIIe siècle) est, elle, essentiellement basée sur les structures encore existantes (églises, fortifications, rues), l'iconographie ancienne (dont une vue cavalière relatant le siège de la ville en 1568[7]) ou plus récente (la Porte Guillaume fut seulement détruite en 1944, par des torpilles allemandes).

La confrontation avec l'illustration précédente, dont elle adopte le même point de vue, est édifiante quant à la rétractation du tissu urbain et au changement d'organisation des voiries (Fig. 7).

5. La restitution de structure ou d'objet

À Chartres, le recours à ce type de restitution est moins fréquent. Quelques structures en ont néanmoins fait l'objet.

[5] Le nombre de subdivisions conditionne la qualité de la résolution… mais aussi le poids du fichier, et donc le temps de calcul.

[6] Des incertitudes demeurent cependant quant à la contemporanéité des différents systèmes.

[7] Conservée au Musée des Beaux-Arts de Chartres.

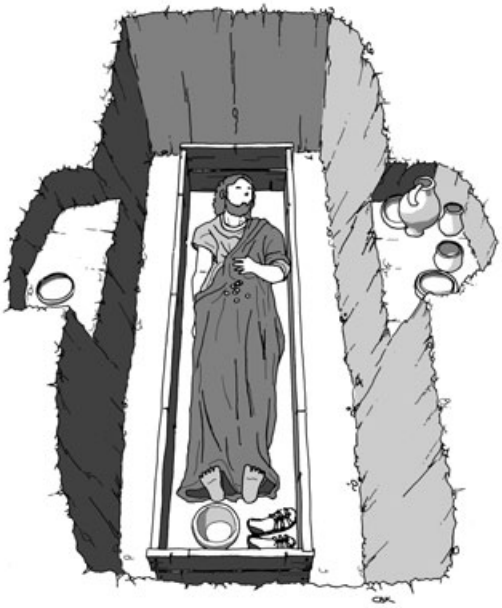


Fig. 8 – Restitution de la tombe 728 de la nécropole de Saint-Bartélémy.

Premièrement, une restitution fidèle d'une tombe à inhumation du Bas-Empire avec mobilier associé[8] a été réalisée (pour être intégrée à l'exposition permanente). Il s'agit d'un vaste et profond creusement comportant deux niches latérales, abritant une inhumation en coffre. Cette restitution est destinée à être collée sur le sol, à l'échelle 1/1, donnant l'illusion de la réalité. La perspective adoptée est donc celle des yeux d'un observateur d'environ 1,60 m. Réalisée avec Blender d'après les relevés et les photographies de fouille, la modélisation a ensuite été redessinée avec Illustrator pour un rendu en quatre nuances de gris, de type bandes dessinées (Fig. 8).

Un diagnostic réalisé en 2007 à la périphérie actuelle de la ville a révélé la présence d'un four de tuilier d'époque moderne. Celui-ci est construit intégralement en petites tuiles plates rectangulaires. L'illustration proposée est une modélisation des vestiges observés (Fig. 9).

François Fouriaux a proposé la modélisation d'une inhumation d'un nouveau-né dans un vase à partir de la fouille minutieuse de celui-ci[9] (Fig. 10). Cette pratique est bien attestée à Chartres sur plusieurs sites péri-urbains (rue de Reverdy, rue Hubert Latham, rue de Sours).

[8] Sépulture 728, nécropole Saint-Barthélémy.

[9] Plusieurs dizaines de ces vases retrouvés sur le site de Reverdy ont été fouillés par Emilie Portat (anthropologue).

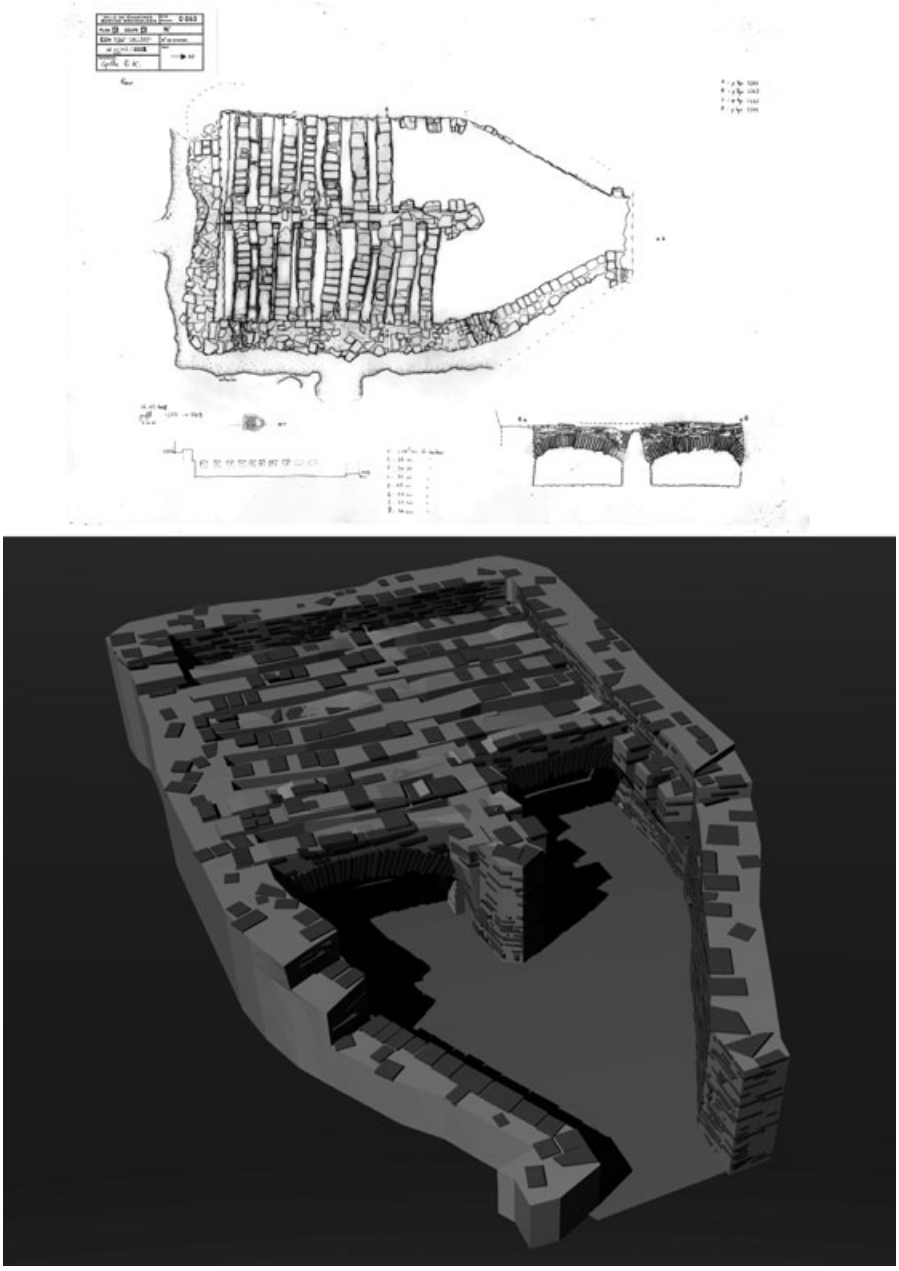


Fig. 9 – Relevé et modélisation en 3D des vestiges d'un four de tuilier moderne (XVIIe-XVIIIe s.).

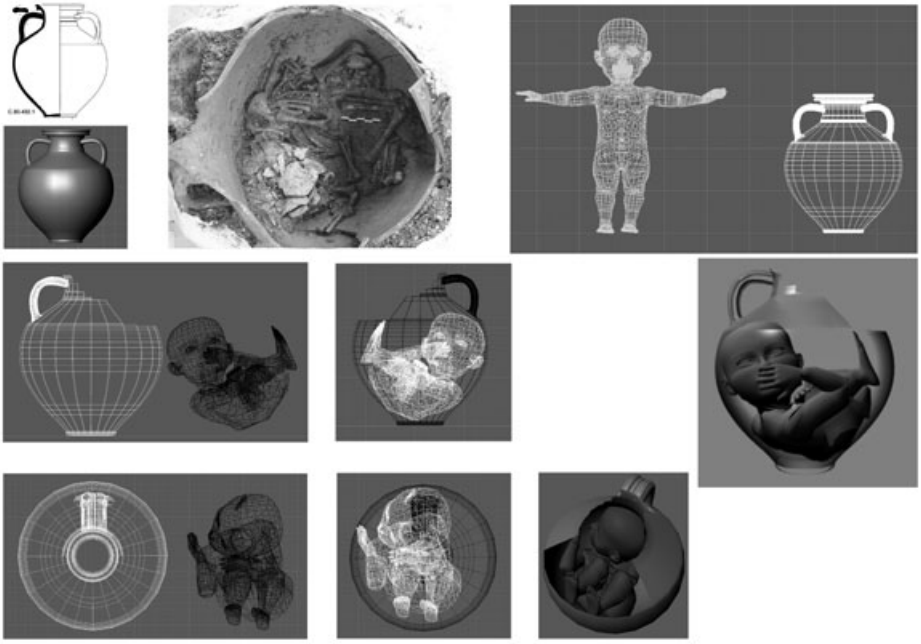


Fig. 10 – Restitution d'un périnatal déposé dans un vase (fouille E. Portat, 3D F. Fouriaux).

6. Conclusion

Même si certains détails esthétiques peuvent être améliorés et les restitutions corrigées à la lueur de futures découvertes, le rendu en 3D a particulièrement aidé à la diffusion de l'information archéologique à Chartres. Notamment en rendant le patrimoine plus vivant et en montrant la diversité des réalisations humaines. Son utilisation est amenée à être encore plus importante avec la création d'un lieu d'exposition permanente pour l'archéologie chartraine.

Les différentes modélisations 3D ont aussi permis de tester des hypothèses de travail (particulièrement au niveau architectural) et de percevoir le côté pratique et concret des structures découvertes en fouille.

Les véritables limites de la restitution archéologique "artisanale" tiennent au temps: le temps accordé à la modélisation, mais aussi celui nécessaire au calcul des rendus, essentiellement tributaire des moyens informatiques disponibles.

Cyrille Ben Kaddour
Service archéologique municipal de Chartres

BIBLIOGRAPHIE

Acheré V., Delalande C., Lecomte B., Viret J. 2010, *Carrières antiques et espaces funéraires (Ier-IIIe s.). Occupations agricoles (XIe-XXe s.), 5-7, rue de Reverdy; 88-92, rue Saint-Brice, 17, rue des Réservoirs. Rapport de fouilles archéologiques. Site 033.28.085.0260*, Chartres.

Bazin B., Bouilly E., Hérouin S. *et al.* 2010, *Le complexe monumental de Saint-Martin-au-Val. Rapport de fouilles archéologiques. Site 033.28.085.0128*, Chartres.

Carré F., Legland M.-Fl. 1979, *Chartres antique et médiéval, quelques hypothèses de topographie historique*, «Bulletin de la SAEL», Chartres, 37-80.

Coulon L., Rouche M. (dir.) 2008, *Topographie chartraine 950-1100*, in *Millénaire de Fulbert 1006-2006. Fulbert de Chartres, précurseur de l'Europe médiévale?*, Paris, Presses Universitaires de Paris Sorbonne, 255-283.

Chédeville A., Carré F., Villette J. *et al.* 1983, *Histoire de Chartres et du pays chartrain*, Toulouse, Privat.

Épaud F. 2009, *Approche ethnoarchéologique des charpentes à poteaux plantés: les loges d'Anjou-Touraine*, «Archéologie Médiévale», 39.

Épaud F., Gentili F. 2009, *L'apport de l'expérimentation archéologique pour la compréhension de l'architecture carolingienne à poteaux plantés: les exemples du chantier d'Orville*, in D. Bayard, A. Nice, P. Perin (dir.), *Les apports de l'expérimentation à l'archéologie mérovingienne, l'actualité de l'archéologie du haut Moyen Âge en Picardie, Actes des XXIXe JIAM (Marles, 26-28 September 2008)*, «Revue Archéologique de Picardie», 12, 129-144.

Wavelet D., Delhoofs H., Ben Kaddour C., Hérouin S. *et al.* 2008, *Une occupation rurale, gallo-romaine et mérovingienne. Une nécropole mérovingienne. "Le Radray" Gellainville. Rapport de fouilles archéologiques. Site 033.28.177.0009*, Chartres.

ABSTRACT

Since 2005 the Archaeological Department of Chartres has conducted numerous activities in the metropolitan area and outside. One of the missions of the department is to present to the public the archaeological results using various media (articles in the city's monthly magazine, newspapers, exhibitions, conferences etc.), in order to justify its activity. 3D modelling is a simple way to report archaeological observations and assumptions. Modelling tools have been applied to researche on different periods (antiquity, middle ages and modern times), different scales: individual archaeological structures (kilns, graves,etc), archaeological sites (Gallo-Roman villas and shrines, Merovingian hamlets, etc) up to the size of a city. Virtual reconstructions can also be used to test scientific assumptions, particularly in architecture (Merovingian pit houses, for example).

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 329-338

APPLICATION DE LA RESTITUTION 3D À L'ARCHÉOLOGIE PRÉVENTIVE. UNE TUILERIE DU XVIIe ET XVIIIe À GRISOLLE (AISNE)

1. Introduction

La restitution 3D a souvent été considérée comme un outil de vulgarisation destiné au grand public. Néanmoins, depuis quelques années, les nouveaux outils à disposition nous permettent d'optimiser le travail de terrain mais aussi de nous poser de nouvelles questions quant à l'interprétation, offrant ainsi de nouvelles perspectives de recherches. Les services archéologiques, dont l'essentiel du travail concerne le préventif, sont confrontés à ces besoins de compréhension mais également à des contraintes de temps.

Les logiciels spécialisés en modélisation 3D deviennent accessibles financièrement aux équipes de recherche en archéologie. De nombreuses études deviennent envisageables grâce à l'application de modèles numériques 3D. La maquette numérique devient un véritable outil d'aide à la recherche. Ces nouveaux outils autorisent une réappropriation par les scientifiques de données tridimensionnelles qui ne leur était plus accessibles.

La question se posant en archéologie préventive concerne l'utilité d'un tel procédé dans le cadre des rapports. En mettant en évidence une application concrète, nous avons pu constater que l'intérêt ne se contente pas d'être visuel mais concerne aussi l'aspect scientifique.

2. Evaluer les besoins

L'application d'un tel procédé nécessite une étude approfondie du coût de la réalisation.

– le matériel: le service doit être pourvu d'outils informatiques compétitifs afin de réaliser le procédé dans les meilleurs délais,
– Le personnel: détenir le personnel compétent autant sur le terrain pour les relevés que lors du traitement des données informatiques 3D,
– Le temps investit doit être fixé à l'avance afin de connaître le coût en nombre de "jour/homme" comme pour une étude de spécialiste dans un cadre préventif.

3. Un site applicable

Préalablement à l'aménagement d'un site de traitement des déchets, deux opérations archéologiques successives, prescrites par l'Etat, ont été réalisées

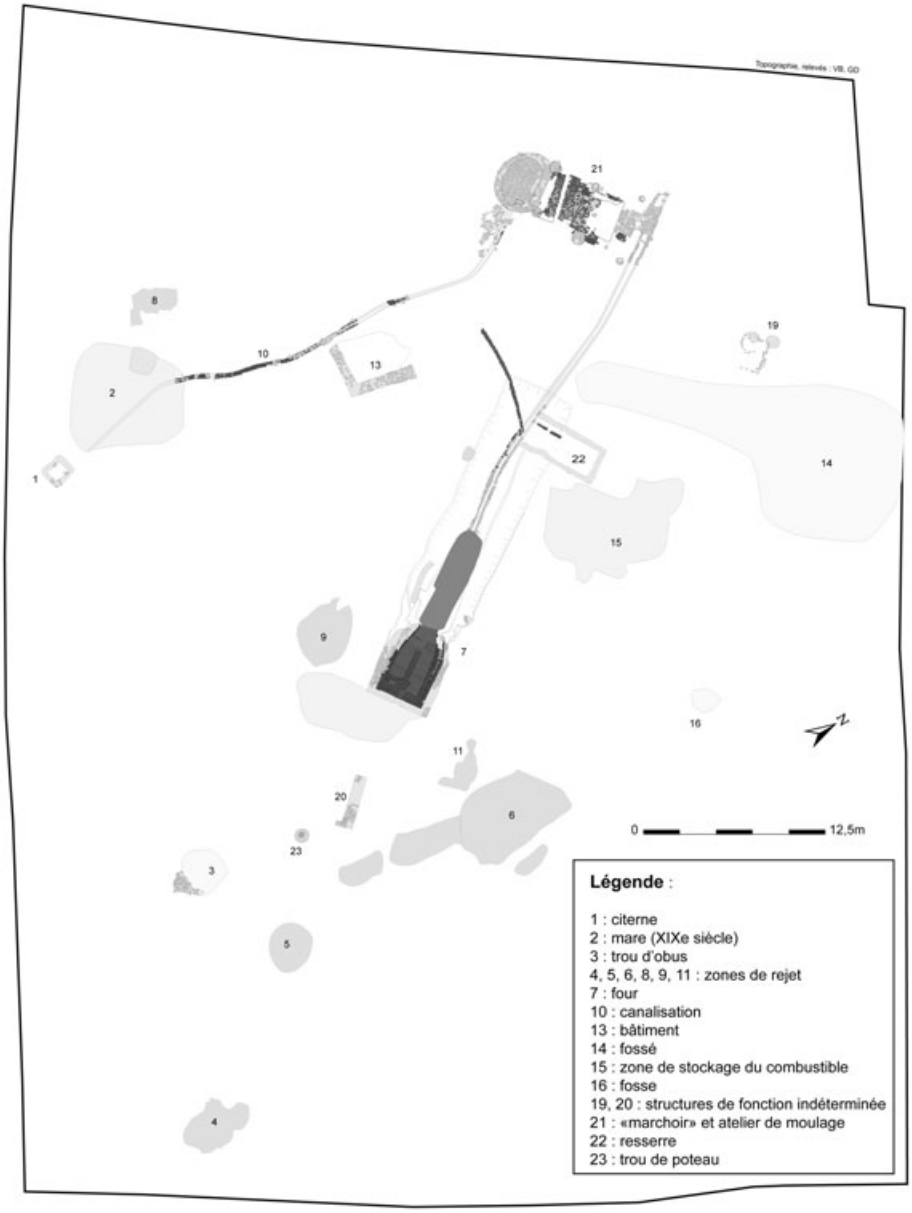


Fig. 1 – Plan général du site de Grisolle (Aisne).

au printemps 2007 et en août et octobre 2009 par le pôle archéologique du Conseil Général de l'Aisne sous la direction de Thierry Galmiche. Deux sites distants de 700 m ont été découverts: une tuilerie des XVIIe et XVIIIe siècles et une tuilerie dont l'abandon est antérieur au XVIe siècle. Aux vues de contraintes techniques, la fouille porta principalement sur le premier site qui fit l'objet d'une étude pour une restitution 3D. La restitution porte sur un site relativement bien conservé pour nous permettre une compréhension de son fonctionnement (Fig. 1).

L'application au site archéologique de Grisolle fait suite à une demande du Service régional de l'archéologie de Picardie. Cinq états successifs d'utilisation du four ont été dénombrés. Il a été choisi de ne représenter que le dernier puisque c'est celui qui nous donne le maximum d'informations et qui coïncide avec le reste des bâtiments du site.

4. Méthodologie et mise en œuvre

La réussite d'un projet de restitution d'un site archéologique ou d'éléments de celui-ci nécessite une méthodologie rigoureuse pour valider les hypothèses retenues. Le but est de réaliser un ou plusieurs schémas techniques de fonctionnement du four et plus généralement de la tuilerie au vu des données que nous avons pu recueillir (Fig. 2).

La première étape dans la réalisation du procédé est le choix du logiciel. Dans notre cas, il s'est porté sur Google Sketchup pro 7 qui faisait partie des logiciels disponibles au sein du Département (Fig. 3).

Afin de restituer ces différents bâtiments dans leur contexte, un modèle numérique de terrain (MNT) a été entrepris. Sa mise en œuvre se base sur les relevés topographiques de terrain réalisés lors de la fouille et du diagnostic en estimant le niveau d'arasement.

Les éléments restitués se basent sur les données de fouille mais la modélisation 3D nécessite un minimum d'interprétation, c'est pourquoi des choix ont été faits et restent hypothétiques dans certains cas.

4.1 *Le four*

Le four (Fig. 4) est l'élément déterminant de la prescription de restitution et a donc fait l'objet d'une étude particulière. Le plan a été reporté à l'identique des dimensions relevées sur le terrain. Pour la hauteur de charge, nous avons considéré qu'elle est égale à la largeur interne du four, ce qui est confirmé par différents auteurs (Duhamel Du Monceau, Fourcroy, Gallon 1776, pl. 2; Charlier 1994, 316; Thomas 2009, 95). L'intérieur du four est constitué de sept arches pour la phase représentée (Fig. 5). Celles-ci ont été découpées en plusieurs polygones qui ont été extrudés puis assemblés afin de former des ensembles cohérents et adaptables. En effet, le four n'étant pas

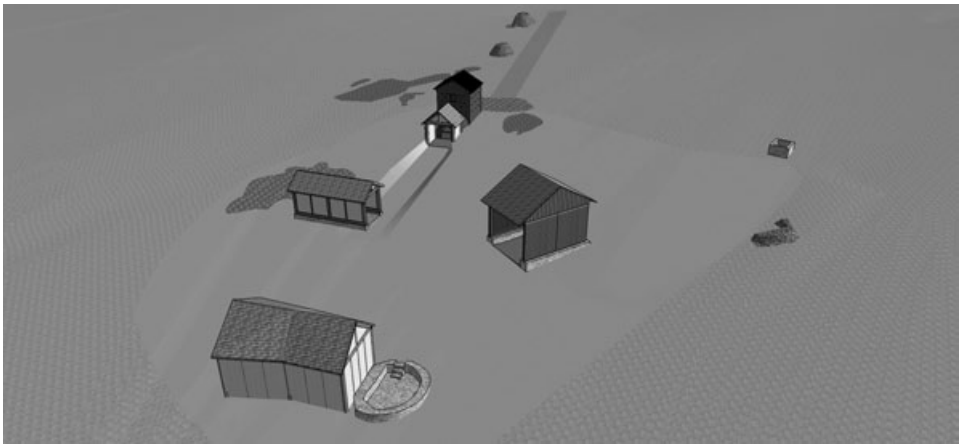


Fig. 2 – Restitution du dernier état de la tuilerie.

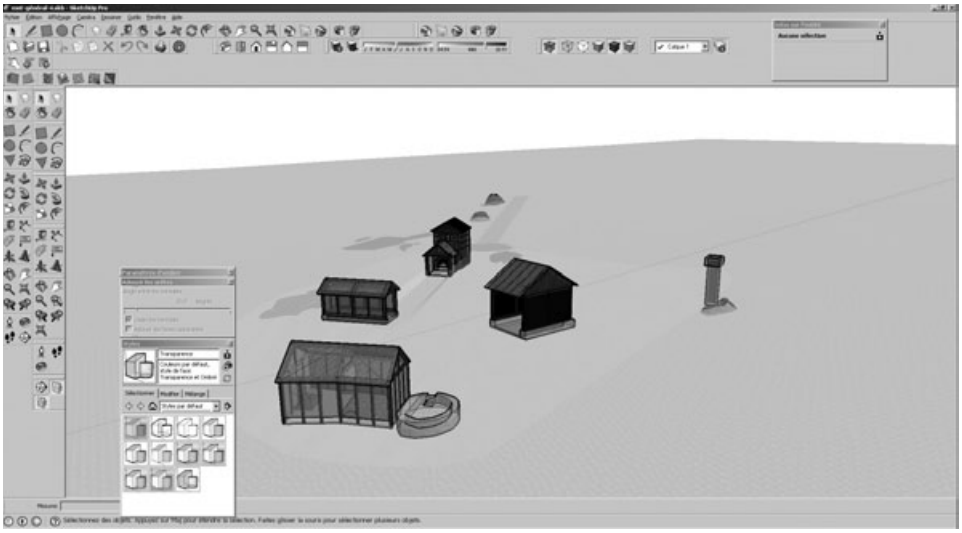


Fig. 3 – Capture d'écran du logiciel Sketchup pro 7.

construit avec une symétrie parfaite, les arches doivent être adaptées en fonction de la place qu'elles occupent dans le four. L'épaisseur des murs atteint 35 cm ce qui correspond aux normes observées. Une fenêtre de déchargement et des évents indispensables au fonctionnement du four ont été figurés. Leur

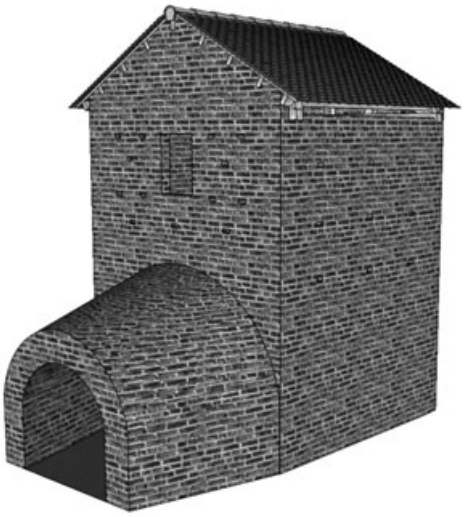


Fig. 4 – Restitution du four.

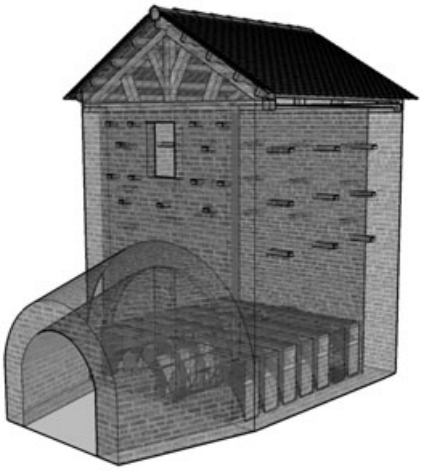


Fig. 5 – Restitution du four (vue en transparence).

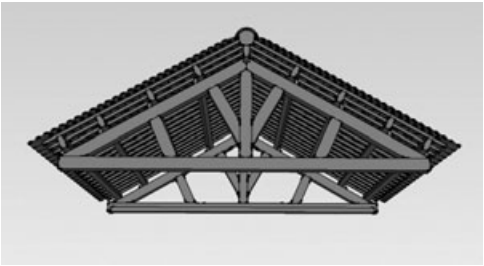


Fig. 6 – Charpente du four.

morphologie est inspirée de celle représentée dans l'ouvrage de Duhamel du Moncea (Duhamel Du Monceau, Fourcroy, Gallon 1776, pl. 2).

La charpente du four (Fig. 6), comme celles des autres bâtiments, s'appuie sur les plans de Duhamel du Monceau et sur l'étude des charpentes aux XVIIème et XVIIIème siècles (Hoffsummer 2002). Le choix s'est porté sur une couverture en tuile conformément aux exemples connus sur de telles périodes et compte tenu de la facilité d'approvisionnement. La taille des tuiles choisies s'est portée sur un modèle courant découvert lors des fouilles. La charpente et la couverture ont été réalisées séparément. Des couleurs différentes ont été données à certaines tuiles par soucis de réalisme.

La question de la couverture de l'alandier apparaît comme plus délicate. Selon les plans de Duhamel du Monceau, cette partie du bâtiment est de forme trapézoïdale, couverte d'une voûte en plein cintre inclinée vers l'extérieur. D'un point de vue architectonique, ce choix semble cohérent et a été retenu.

Les matériaux qui concernent l'élévation n'ont pas pu s'appuyer sur des découvertes lors des fouilles. Aussi les textures de l'édifice sont-elles, proposées en deux versions, une avec de la brique rouge proche des couleurs découvertes dans les fondations du four, l'autre avec une texture neutre sans forme de briques. La couleur des tuiles s'approche au maximum de la réalité.

Quatre trous de poteaux ont été découverts au Nord du four permettant de restituer un bâtiment prolongeant le four destiné à la protection de la zone de travail. Sa restitution reste hypothétique et s'appuie sur la présence d'espace abrité servant à l'alimentation en bois du four dans les exemples connus (Duhamel Du Monceau, Fourcroy, Gallon 1776).

4.2 *Le bâtiment 22*

La structure 22, à proximité du four, est interprétée comme un abri pour le bois. Il est construit sur un solin de pierres. Nous avons pris le parti de restituer l'élévation sur sablières et une couverture en bardeaux de bois (Fig. 7).

4.3 *Le bâtiment 21 (atelier et marchoir)*

La structure 21 est un bâtiment sur 6 poteaux délimitant globalement un espace rectangulaire Six poteaux ont été découverts lors de la fouille, nous livrant le plan de celui-ci. Aucune trace de matériau n'ayant été trouvée à proximité, nous avons choisi de restituer l'élévation en matériau périssable. Les vestiges d'un établi dans la partie est ont été restitués à partir de sa base en pierres découverte lors de la fouille (Fig. 8)

Le "marchoir" est un bassin excavé servant à piétiner l'argile. Lors de la restitution, il a été décidé de placer une assise supplémentaire afin de répondre

au problème d'infiltration des eaux de pluie. Cette assise avait été détruite par les labours. Le rendu de l'appareillage est donné par une texture (Fig. 9).

4.4 *Le bâtiment 13*

Cette structure, interprété avec prudence comme un atelier de séchage, est construite sur un solin de pierre. Seuls deux côtés de ce bâtiment sont conservés, un troisième ayant été détruit par une structure postérieure. Nous avons fait l'hypothèse que le quatrième côté était ouvert et que l'élévation reposait sur un système de sablières avec des murs recouverts de planches afin de laisser l'air circuler.

Certaines structures difficilement interprétables n'ont pas été représentées lors de la restitution. Le choix a été fait de ne restituer que les parties visibles. Les caniveaux étant enterrés, ils n'ont pas été figurés.

4.5 *Les résultats, la restitution au service de la recherche archéologique*

Le travail sur le modèle 3D nous a suscité un questionnement sur des problèmes que la fouille n'avait pas permis d'aborder, comme les élévations, les charpentes, les toitures par exemples. Cette étude s'est donc révélée un intéressant outil d'approfondissement scientifique.

Le recours à des sources bibliographiques a permis de répondre sous formes d'hypothèses à certaines de nos interrogations. Le fait d'étendre le travail de restitution à toutes les étapes de la chaîne opératoire a permis, en outre, de réfléchir à l'organisation spatiale des différentes installations.

5. Les limites

Les limites à l'utilité de la modélisation 3D sont essentiellement posées par les moyens de temps et financiers. Aussi, concernent t'elle essentiellement la restitution architecturale des monuments et des sites anciens les plus connus où les plus impressionnants.

Dans le cas de l'archéologie préventive, l'étude se limite dans un premier temps au cadre des rapports suite à la réalisation d'un diagnostic ou d'une fouille. Compte tenu des délais inhérent à l'archéologie préventive, il est indispensable de fixer des limites dans la restitution correspondant à des objectifs ciblés. Cette phase s'oriente généralement vers une modélisation du site dont le but est la compréhension d'un élément ou de l'ensemble du site. Là encore, il faut fixer les éléments qui vont être restitués:

– Le site dans son intégralité présente les avantages de comprendre son fonctionnement global mais demande un temps de travail plus important.
– Une structure considérée comme particulière pourra être analysée avec précision. Une attention minutieuse permettra d'apporter plus de détails.

Fig. 7 – Bâtiment 22.

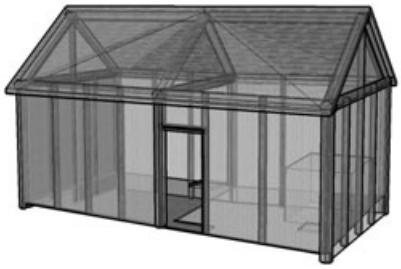


Fig. 8 – Atelier de moulage des tuiles.

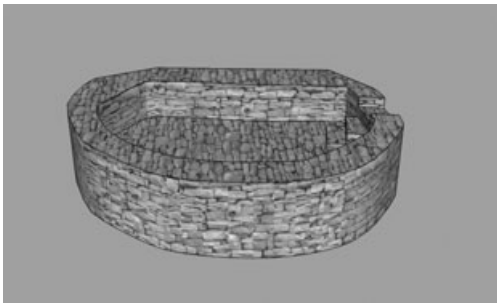


Fig. 9 – Bassin.

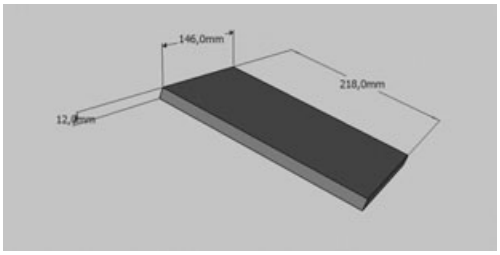


Fig. 10 – Modèle d'une tuile.

5.1 *Le rendu*

Les moyens techniques n'étant pas ceux d'une plate-forme technologique de restitution 3D, le rendu graphique ne peut pas s'apparenter à celui d'un jeu vidéo. Le résultat s'appuie malgré tout sur certaines interprétations, mais il était indispensable de représenter le four en entier et si possible dans son contexte comme nous avons pu le faire ici. Néanmoins, les vestiges mis au jour nous ont permis de comprendre les bâtiments en complément de l'iconographie traitant du sujet présent. Certaines parties n'ayant laissé aucune trace, c'est la réflexion sur l'organisation et le fonctionnement qui ont permis de comprendre l'élévation.

Les rendus graphiques sont intéressants à exploiter. Ils permettent de présenter l'élévation des structures de différentes façons et améliorent la compréhension du site

6. Conclusion

La restitution 3D peut être considérée aujourd'hui comme un outil à part entière de la recherche permettant de compléter les autres moyens techniques apportés à l'archéologie préventive. La réalisation d'un modèle numérique 3D nous a permis de déboucher sur des problématiques que nous n'aurions sûrement jamais envisagées autrement. Outre l'intérêt de la restitution pour la médiation, l'implication scientifique pour la compréhension du site n'est pas négligeable. Le gain d'informations vient principalement de questions qu'on est amené à se poser au cours de la réalisation de la modélisation. L'application à l'archéologie préventive nécessite des choix dans le projet de restitution, ce qui est à prendre en compte dans la collecte d'informations.

Ce nouveau type d'étude, tendant à se démocratiser, laisse présager des questions qui n'avaient pas été abordées dans la compréhension des sites.

Anthony Lefebvre, Thierry Galmiche
Pôle archéologique du Département de l'Aisne

BIBLIOGRAPHIE

Charlier F. 1994, *Soirans-Foufrans, la Tuilerie (Côte d'Or): un atelier de terre cuite, XVe-XVIIe siècles*, «Archéologie médiévale», 24, 301-366.

Duhamel Du Monceau H.-L., Fourcroy C.-R., Gallon J.-G. 1776, *Art du tuilier et du briquetier*, in *Descriptions des arts et métiers*, Neuchâtel, Imprimerie de la Société typographique.

Hoffsummer P. (dir.) 2002, *Les charpentes du XIe au XIXe siècle – Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Cahiers du Patrimoine, Tours.

Thomas N. 2009, *Une tuilerie de la fin du XVIIIe et du début du XIXe siècle à Marines (Val-d'Oise)*, in J. Chapelot, O. Chapelot, B. Rieth (dir.), *Terres cuites architecturales médiévales et modernes*, Caen, Publications du CRAHM, 91-96.

ABSTRACT

The use of virtual imaging in the framework of preventive archaeology helps us understand, describe and interpret the vestiges that one finds on the terrain. 3D reproduction has often been considered as a tool for data dissemination that is intended for the general public. Nevertheless, for several years now the new tools available allow us to optimize work on the terrain as well as asking new questions about the interpretation and consequently, creating new prospects for research. The archaeological services, whose main task is related to prevention, must deal with these requirements for understanding while at the same time facing time limitations. At the archaeology office of the Département of Aisne, we were able to create a process for 3D representation on a project concerning a modern tile factory. This work made it possible for us to confirm or invalidate the hypotheses and to offer new answers to questions which had not been brought up in the field during the research project. Virtual reality in preventive archaeology is supported by a potential that is as scientific as it is communicative and which archaeologists will have to deal with.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 339-354

L'APPORT DE LA 3D DANS L'ART PRÉHISTORIQUE: ANALYSE ET RESTITUTION DES IMAGES ET DE LEURS SUPPORTS, EXEMPLES CROISÉS DES SITES DE BLANCHARD (LA GARENNE) ET LA MARCHE*

1. Introduction

L'analyse de l'art préhistorique est indissociable de l'étude des supports, mobiliers et pariétaux. Les techniques de rendu en 3D (scanner/laser, photogrammétrie, microtopographie…) occupent une place croissante dans le développement des recherches sur les ensembles ornés et notamment dans les approches liées aux supports. Elles permettent d'appréhender différemment les créations graphiques et leurs articulations avec leur surface de réalisation.

Dans le cadre d'un programme de recherches collectif de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), le programme MADAPCA[1] coordonné par l'un d'entre nous (Patrick Paillet), nous avons mis en œuvre une étude combinant les différents outils de l'analyse en trois dimensions. Outre l'évaluation des apports de chaque méthode, notre recherche vise à constituer des modèles numériques susceptibles d'intégrer la pluralité des analyses menées sur les sites.

Nous l'illustrons ici pour deux sites: la grotte Blanchard, située dans le site de la Garenne (Saint Marcel, Indre), et le site de la Marche (Lussac les Châteaux, Vienne).

La complémentarité des approches et des échelles de lecture, des volumes aux microformes des parois ou des surfaces gravées, ainsi que la contemporanéité culturelle et la proximité géographique de ces deux sites favorise leur étude comparée.

La problématique du rendu en 3 dimensions dépasse le cadre de la restitution. Il s'agit d'intégrer la panoplie des méthodes d'analyse destinées à caractériser de manière qualitative et quantitative les objets et tracés et à identifier les gestes de création des artistes.

1.1 *La grotte Blanchard comme site pilote*

La grotte Blanchard est une des rares cavités ornées de la moitié Nord de la France. Située sous le grand abri de la Garenne, étudié par le docteur

* Cet article a été écrit en septembre 2010. Les recherches 3D se sont poursuivies dans la grotte Blanchard et font l'objet de publications ultérieures.

[1] Le programme MicroAnalyses et Datations de l'Art Préhistorique dans son Contexte Archéologique (2007-2011) vise à exploiter les développements technologiques récents pour renouveler et améliorer les conditions d'analyses, de relevés et de protection des œuvres d'art.

Jacques Allain et son équipe, elle a été découverte en 1957 suite aux fouilles de l'abri (Allain 1957).

De dimensions modestes (5 à 6 mètres de long dans son axe principal), la cavité est constituée d'une unique salle ovoïde, d'où partent un laminoir et deux étroitures. Elle recèle surtout un contexte archéologique riche et diversifié, attribué à la phase moyenne du Magdalénien: outils en silex, objets en os et faune (certains de ces objets étant fichés dans les parois), ainsi que des plaquettes gravées, des peintures et gravures pariétales (Vialou 2004).

Sa situation à proximité d'une voie ferrée très fréquentée représente un risque certain pour sa conservation à long terme, accru par la mauvaise qualité relative de la roche calcaire. En effet, les vibrations occasionnées par le passage répété des trains peuvent occasionner des microfissurations de la paroi susceptibles de conduire à un délitement de certains fragments pariétaux.

C'est donc la combinaison d'un contexte archéologique diversifié et des impératifs de conservation qui a motivé une programmation de recherches sur la grotte ainsi que sur des collections mobilières archivées au musée archéologique d'Argentomagus.

Concernant les approches 3D, trois échelles d'analyses principales sont requises afin de répondre aux différents besoins de l'étude.

Tout d'abord il est nécessaire de procéder à une numérisation volumétrique de l'ensemble de la cavité. La conservation nécessite à la fois l'enregistrement des parois mais aussi du sol, qui conserve encore des restes archéologiques épars, malgré les fouilles anciennes et les récentes interventions effectuées dans le cadre du Programme Collectif de Recherches sur la Garenne (Despriee, Tymula, Rigaud 2009). De plus, la cavité présente dans sa rotondité quelques reliefs plus irréguliers, ainsi que plusieurs renfoncements au pied de certains secteurs de la paroi. L'un d'entre eux prend la forme d'un laminoir profond de quelques mètres. Sur le sol on peut observe un amoncèlement de pierres dont l'une a révélé des gravures. C'est l'ensemble de ce contexte archéologique et morphologique qui doit être préservé pour restituer, mais aussi comprendre la structure particulière de cette grotte.

Pour l'analyse des gravures, il faut disposer d'un niveau de lecture approfondi, permettant notamment une numérisation détaillée des reliefs naturels de la paroi exploités par les artistes paléolithiques pour y intégrer leurs tracés. L'essentiel des gravures se situe en effet sur un registre médian de la paroi droite marqué par la présence de reliefs naturels. Il s'agit de petites concavités circulaires, dénommés ici cupules, ainsi que quelques becs rocheux (Fig. 1). Les ensembles gravés au sein de ces cupules présentent la particularité, au milieu des lacis de traits apparemment non organisés, d'être disposés en fonction du contour et des limites de ces reliefs pariétaux originaux.

Enfin, pour appréhender les l'états de surfaces et les microreliefs, notamment sur les plaquettes décorées, il est nécessaire de procéder à une

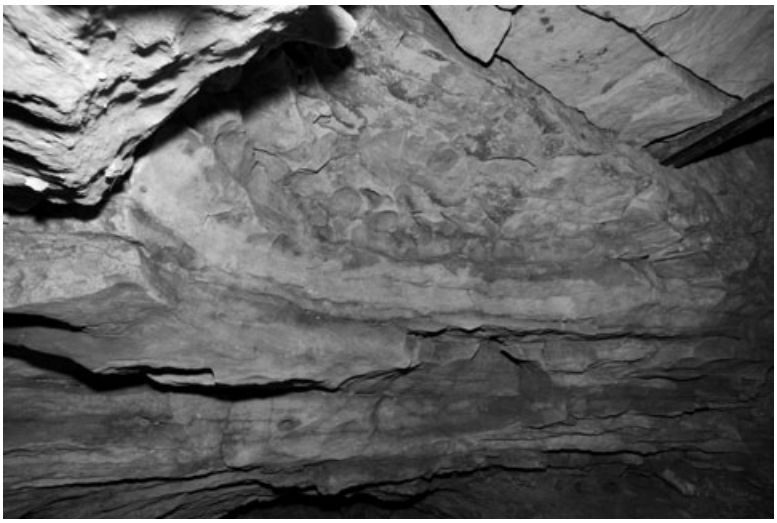


Fig. 1 – Vue de la paroi Nord-Est de la grotte, rotonde avec gravures et peintures parmi des cupules et becs rocheux (cliché D. Vigears).

analyse microtopographique. Des référentiels de comparaison diversifiés sont à disposition grâce aux travaux déjà réalisés sur les plaquettes du site voisin de la Marche (Melard 2008).

Le triple objectif ici énoncé vise donc à la fois à obtenir un support numérique garantissant la pérennité, même virtuelle, des données en cas de dégradation des états de surface, mais aussi à contribuer à la recherche et l'étude des représentations. La corrélation avec les relevés est une des applications visées.

Une série de relevés sur polyanes a en effet été réalisée au début des années 80 par l'un de nous (Denis Vialou), suivant la méthode de projection orthogonale, alors utilisée pour enregistrer les différents tracés gravés sans aucun avec la paroi. En parallèle fut effectuée une couverture photographique et systématique exhaustive en diapositives couleurs. Ces relevés graphiques et photographiques constituent la première lecture de ces gravures, une analyse destinée à identifier, caractériser et définir chaque tracé. Notre travail est d'associer ces relevés avec la restitution 3D des volumes naturels. Cette corrélation directe n'est pas possible en se basant uniquement sur les photographies, étant donnés les problèmes de décalage entre les photographies et les relevés.

Outre les représentations graphiques, la construction du support 3D doit nous permettre de contextualiser archéologiquement les tracés. Une des spécificités de la grotte Blanchard tient en effet dans la présence d'objets en os et bois de renne fichés dans les fissures des parois qui sont encore en place pour

une part non négligeable d'entre eux[2]. Une couverture photographique UV par plusieurs sources d'émission a mis en valeur leur emplacement sur la paroi.

Leur localisation sur le modèle 3D, en parallèle des tracés, doit permettre de fixer les relations entre ces ensembles.

Cette contextualisation se complète de l'étude des plaquettes gravées du site, dont l'étude micromorphologique comparée à celle déjà effectuée sur les plaquettes de la Marche offre à la fois un autre degré de lecture, dans le détail, des supports mobiliers décorés, et une perspective de comparaison territoriale et culturelle au Magdalénien.

2. Lecture des parois, des surfaces, des tracés: quelles méthodes pour quelle analyse?

L'ensemble de ces recherches s'inscrit dans un même cadre: une lecture optimisée des représentations graphiques et de leur cadre de réalisation. Afin de parvenir à cette lecture, il est nécessaire de déterminer pour chaque échelle d'analyse les méthodologies les mieux adaptées, en comparant leurs atouts et limites respectifs.

En ce qui concerne la constitution de modèles 3D, nous avons comparé les apports des scanners d'une part, et de la photogrammétrie d'autre part. Pour l'étude micromorphologique des plaquettes décorées, c'est le microrugosimètre qui est utilisé.

2.1 *Du volume à la surface: apports des scanners aux modèles 3D*

Procéder à un enregistrement 3D nécessite un système opératoire qui s'impose pour le scanner comme pour la photogrammétrie, adapté aux conditions particulières que revêt l'analyse en grotte.

La profondeur de champ est le premier critère dans le choix du dispositif. Les zones d'occultation doivent être minimisées par la multiplication des stations d'acquisition. Le dispositif de capture doit permettre un bon compromis entre qualité et rapidité, entre approche séquentielle ou directe (tête panoramique, station multivue…). Un plan des différentes stations[3] est nécessaire. La modélisation des surfaces complexes et naturelles supportant les peintures et gravures pariétales est réalisée par le maillage de la triangulation de Delaunay[4]. Ce maillage est une étape inévitable aussi bien dans le remontage des scans de laser que dans celui des photographies.

[2] L'étude de ces objets fichés est en cours actuellement au sein du programme MADAPCA par Magali Peyroux.

[3] Une station est définie par la position, l'orientation et le champ du dispositif de capture.

[4] Des triangles possédant chacun une unique arête commune avec son voisin et qui doivent être aussi équilatéraux que possible et de tailles similaires.

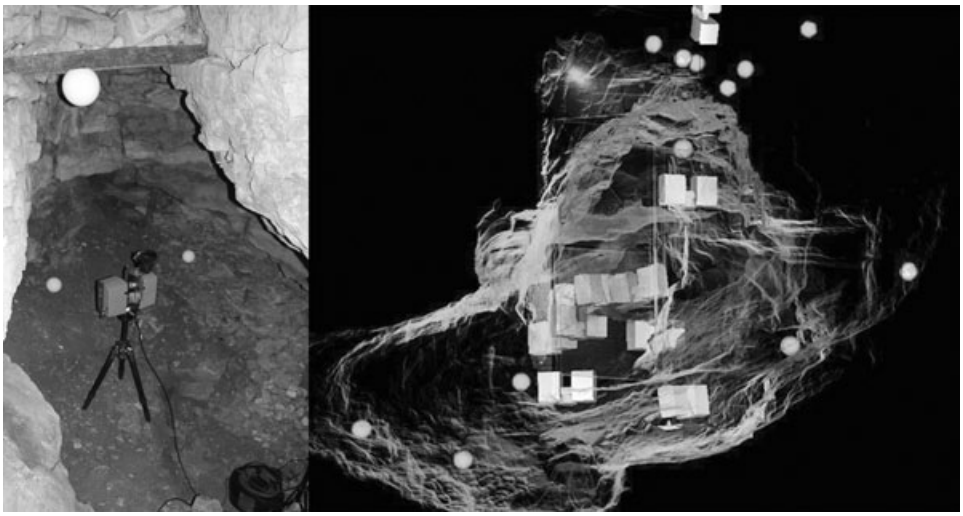


Fig. 2 – Station de numérisation de la grotte Blanchard.

2.1.1 La numérisation 3D par scanner/laser

L'échelon prioritaire d'enregistrement à Blanchard, pour les besoins de la conservation et de la localisation des tracés et objets fichés, était celui des volumes. Les scanners longue portée ("temps de vol" ou "décalage de phase") répondent à ces besoins.

Basés sur le principe de l'émission/réception, ces appareils permettent de réaliser un relevé topographique du site, de fournir un modèle géométrique suffisamment précis pour intégrer des photographies et donner ainsi une restitution la plus appropriée de la réalité des parois ornées. Les résolutions sont de l'ordre du mm. À cette échelle on restitue l'ensemble des volumes des parois avec une forte densité de points.

Dans la grotte Blanchard, nous avons pu bénéficier du prêt d'un scanner photon 120/20 de la société FARO, (technologie du décalage de phase). La numérisation a été réalisée par des stations successives dans la grotte, et dans le grand abri de la Garenne. A chacune de ces stations l'enregistrement se fait sur 360° sur un plan horizontal, et à 320° sur un plan vertical (Fig. 2, Pl. IX, b).

L'alignement automatique s'effectue grâce au positionnement de sphères qui servent de points de références communs entre les stations (la phase d'assemblage de nuages points est automatisée dans tous les logiciels d'acquisition).

Le laser Photon présente un atout supplémentaire, la présence d'un appareil photographique corrélé avec le scanner qui réalise une couverture photo à chaque position du scanner, à la suite de la rotation de la 3D. C'est

une première visualisation instantanée et colorée du volume de la cavité par codage RVB (rouge, vert, bleu) du nuage de point, avant le travail des logiciels qui aideront à la production du résultat final.

Pour les photographies de texture, l'éclairement de la grotte a été fait avec un flash cobra professionnel disposé sur l'appareil photo, limitant ainsi les dégagements caloriques.

Les différentes phases post-acquisition sont les suivantes:

– l'alignement et la soudure des scans entre eux,
– le maillage, la suppression de l'environnement non désirable (pied d'éclairage, cables…),
– la suppression de bruit parasite (brillance de parois, diffraction sur les bords),
– l'obturation des trous,
– le texturage avec les photos.

La laserométrie offre une vision quasi immédiate, avantage qui permet le contrôle des zones couvertes. Les premiers aperçus montrent les atouts indéniables de cette technologie pour la conservation du milieu souterrain, mais laissent aussi apparaître des limites.

2.1.2 Limites du temps de vol et questions de texture

En premier lieu l'encombrement, même réduit, est à prendre en compte. La numérisation dans certains secteurs de cavité, peut s'avérer très problématique avec ce type d'appareil. Le coût important du matériel est aussi un obstacle.

Mais l'essentiel vient des problèmes importants de calage entre les prises de vues, sur le modèle 3D, sont apparus progressivement. Leur résolution nécessite un traitement approfondi en laboratoire. Par ailleurs, la qualité des clichés obtenus par les appareils photos associés directement au scanner restent encore trop en-deçà des impératifs liés à notre étude.

Nous avons tenté pour corriger cet aspect de caler sur le modèle 3D une autre couverture photo effectuée par l'un d'entre nous (Daniel Vigears). Cette procédure a été effectuée avec l'aide d'Yves Egels et sur le logiciel qu'il a développé (Cumulus), présenté plus longuement dans une autre communication (cfr. Bouyssi *et al.*, dans ce volume). Nous avons ainsi pu obtenir un premier support de lecture de la cavité en 3D (Fig. 3) et amorcer les réponses aux difficultés posées par le texturage et le calage de données extérieures (autre couverture photo, relevés…). Par cette expérience, on voit apparaître, en parallèle des atouts indéniables de la laserométrie, les problèmes du texturage et du calage des données extérieures qui témoignent des limites actuelles du procédé.

A l'échelon des surfaces détaillées, il est nécessaire pour obtenir un niveau de définition suffisant de faire appel à des scanners haute résolution.

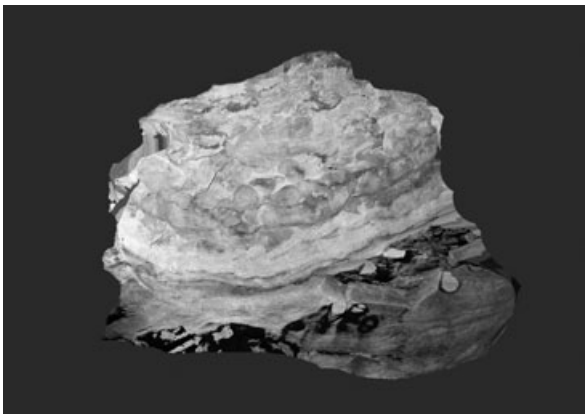


Fig. 3 – Segment de la paroi Nord-Est de la grotte Blanchard avec maillage des points, logiciel Cumulus (développé par Yves Egels).

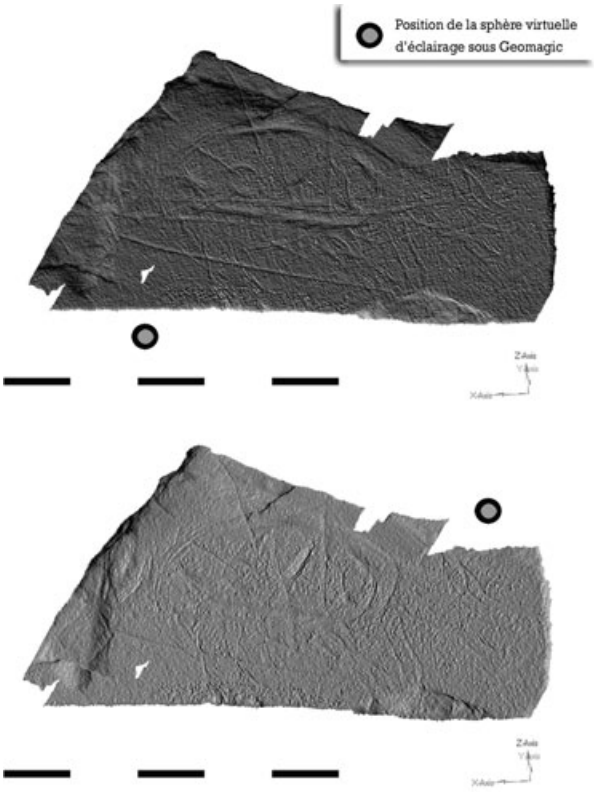


Fig. 4 – Ours gravé, plaquette de la Marche (D50-7-293, collection Musée de l'Homme), photographies virtuelles du scan haute résolution (logiciel Geomagic).

2.1.3 La 3D haute résolution sur les surfaces

Couvrir une surface en haute résolution demande de multiplier les stations d'acquisition. En effet la résolution d'un scanner décroit à une certaine distance. Au vu des impératifs de lecture détaillée des gravures, il est nécessaire ici de limiter le champ de numérisation et de multiplier les stations d'acquisition.

C'est le cas pour les parois gravées de la grotte Blanchard, dont la finesse des gravures se combine avec la relative irrégularité des parois, notamment les zones à cupules ou becs rocheux. Le niveau de précision de capture doit ainsi être d'au moins 500 voire même 50 microns.

Cette précision s'obtient par deux types de technologies: la lumière structurée et la triangulation laser. La numérisation d'une scène se fait de manière séquentielle avec des zones de recouvrement importante (30% minimum). Des premiers aperçus obtenus avec le scanner à bras FARO, dans la grotte des Fraux (Dordogne) ou sur des plaquettes gravées de la Marche, témoignent de potentialités prometteuses; des gravures, même fines (inférieures au mm), sont numérisées (Fig. 4, Pl. X, a).

2.2 *De la texture à la 3D: apports de la photogrammétrie*

Face aux solutions onéreuses représentées par les scanners, il existe une autre piste: la photogrammétrie. Elle est une bonne réponse aussi aux situations de sites isolés et difficiles d'accès. Le matériel et le mode opératoire constitué d'un appareil photo et un éclairage est facilement maitrisable. L'ensemble des clichés a été fait au Nikon D3, objectif 14mm, avec flash SB-900 sur l'appareil, et un cache-diffuseur disposé dessus.

Cette technique de capture plus légère permet une couverture rapide et économique d'un site. Les parois des grottes ornées ou des abris-sous roche sont des surfaces irrégulières qui doivent, pour être modélisées, faire l'objet d'un grand nombre de mesures.

L'extraction d'un tel nuage de points pourrait être réalisée par des méthodes automatiques de mise en correspondance des points de corrélation issues de plusieurs photographies. Nous avons utilisé une méthode manuelle de modélisation en attendant l'évolution des techniques semi-automatiques ou automatiques.

2.2.1 Un procédé rigoureux à mettre en œuvre

Le problème de la mise en correspondance est principalement dû aux déformations des objets par la perspective, l'occultation de certaines parties du cadre d'observation et par le manque de texture des surfaces (Fig. 5).

Des points vue rapprochés permettent de minimiser les déformations de la perspective au détriment de la précision de la mesure de profondeur.

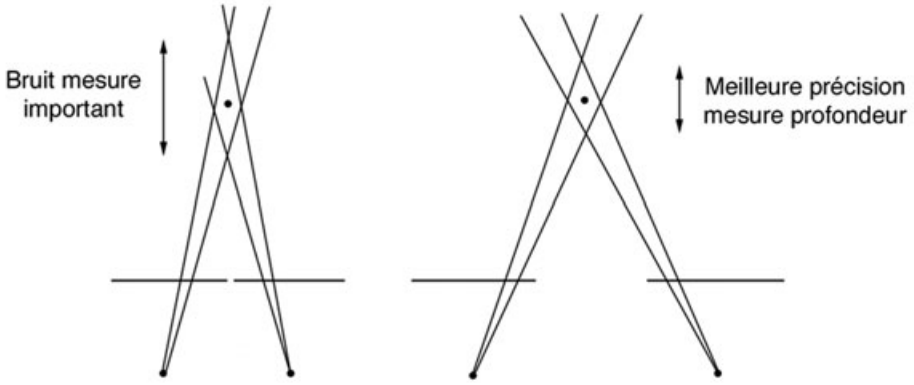


Fig. 5 – Choix entre précision de la mesure de profondeur et déformation par la perspective.

Fig. 6 – Gravures circulaires inscrites dans une cupule de la paroi, vue de face (cliché du haut, E. robert), vue rasante (cliché du bas, D. Vigears).

Chaque zone doit être photographiée sous au moins trois angles avec un recouvrement de 50% entre elles et une uniformisation des éclairages entre les prises de vues. Aucune zone ne doit être omise, la surface doit être photographiée sous différents angles sous peine de ne pas pouvoir faire les calculs de profondeur.

L'emploi d'un objectif grand angle limite le nombre de prises de vues nécessaires. Il faut être attentif aux déformations sur les bords telles que l'image utile se retrouve réduite à la partie centrale. La résolution du capteur et le champ de l'image auront une influence importante sur le résultat.

L'atout de la photogrammétrie est de pouvoir s'adapter à plusieurs dimensions. Nous avons donc utilisé l'appareil photo pour faire deux couvertures photogrammétriques.

Avec les vues générales intégrant sol, parois et plafond de l'entrée jusqu'au fond de la grotte (à l'exclusion du laminoir afin de préserver les sols), nous pouvons recréer le modèle volumétrique.

Avec des vues rapprochées et multipliées, uniquement sur la paroi Nord-Est qui rassemble l'essentiel des représentations graphiques, nous construisons un modèle surfacique. Un des objectifs est notamment l'analyse détaillée des cupules de la paroi dont le pourtour et l'intérieur sont gravés par des séries de traits (Fig. 6).

La dernière échelle de lecture, la plus détaillée, concerne une part originale de l'art du site de la Garenne: les supports lithiques gravés. Il s'agit de supports lithiques, plaquettes ou galets, de petite taille (souvent inférieurs à 15 cm de diamètre), gravés au silex et qui présentent une grande variété de motifs.

3. La microanalyse des surfaces

La diversité des activités tant techniques que symboliques des magdaléniens du site de " La Garenne" se manifeste en effet par la présence, avec les peintures et gravures pariétales, de nombreuses pierres gravées. Il s'agit de blocs, plaquettes ou galets, de petite taille (souvent inférieurs à 15 cm de diamètre), gravés au silex et qui présentent des motifs abstraits et géométriques. Support original de l'art mobilier, une trentaine d'entre elles inédites a été recensée et identifiée (Paillet 2009) (Fig. 7). Les thèmescomme le support font écho à un site proche géographiquement, celui de la Marche (Vienne). Ce dernier est l'un des plus représentatifs de ces productions, l'un des plus riches pour la gravure magdalénienne (Lwoff 1957, Airvaux 2001). Plus de 3000 pierres (ou fragments) gravées sont connues, montrant une iconographie très riche, marquée par la notable proportion de figurations humaines, qui fait l'originalité exceptionnelle de ce site. Ces gravures préhistoriques posent de multiples problèmes d'étude, dont le déchiffrement des incisions fines ou la lecture des traces d'usure ou de raclage (Pales 1969, Melard 2008).De

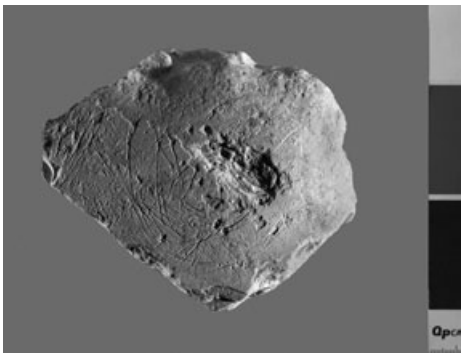


Fig. 7 – Plaquette gravée du Grand Abri de la Garenne (999-60-54-2), motif semi circulaire (cliché D. Vigears).

Fig. 8 – Exemple d'un palimpseste sur une plaquette gravée (Pé32, collection musée de Sainte Croix) du site de la Marche (cliché D. Vigears et D. Bagot).

nature et d'origines différentes elles se superposent sur un même support. Le résultat est un véritable palimpseste de traits (Fig. 8). L'objectif principal de l'analyse est par conséquent la lecture mais surtout le décodage des traces et la restitution de l'histoire des supports et des actions anthropiques qui ont agi sur ceux-ci. Selon la problématique d'étude, l'échelle d'observation se trouve dans une précision entre 0,02 mm (20µm) à 0,500 µm (500nm).

3.1 *Microrugosimètre: techniques et protocoles*

De nombreuses techniques sont à disposition pour affiner la lecture et le relevé des pièces. Pour les études spécifiques aux pierres gravées nous

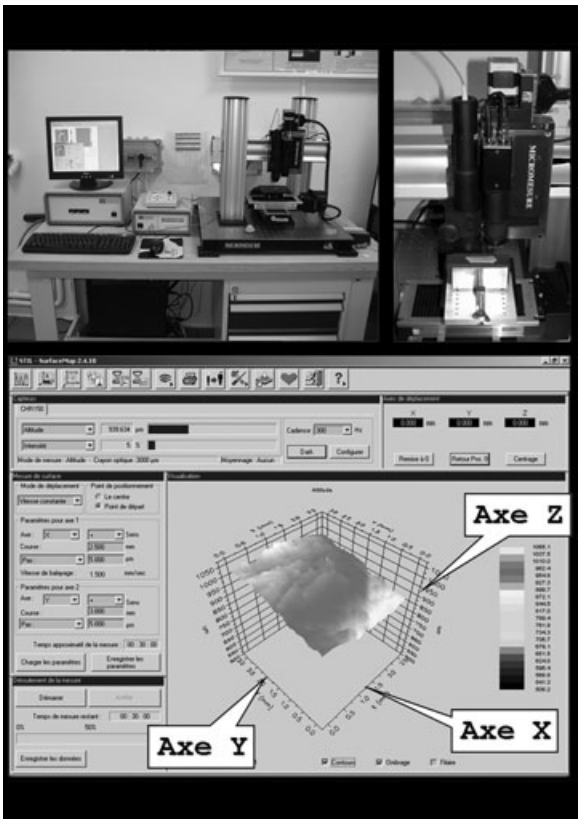


Fig. 9 – Technique de la microscopie confocale (appareillage et logiciel d'acquisition des données).

avons choisi un dispositif de micromesures STIL. Son principe est basé sur la microscopie confocale par codage chromatique à champ étendu (Fig. 9).

La source utilisée est une lumière blanche (polychromatique) focalisée à travers une lentille sur un point de l'objet perpendiculaire au faisceau. Le faisceau réfléchit suivant le même chemin, à travers un filtre spatial. Ainsi la mesure de la hauteur de surface (z) est déterminée.

Le balayage se fait à l'aide d'une table de translation qui fournit les valeurs spatiales x et y. On obtient par ce procédé l'image 3D de la surface point par point (et non par triangulation). Aucun contact avec la surface n'intervient lors de la mesure, qui, elle, est par conséquent complètement non-invasive.

Compte tenu des contraintes imposées par le niveau et la précision de lecture, la technique et les protocoles choisis, l'approche microtopographique nécessite des mesures longues et des traitements de données assez conséquents. Elle est,

de ce fait, à considérer non pas comme un seul moyen de documentation mais constitue un niveau de lecture très détaillé, complémentaire des autres méthodes d'analyse (photographie, observation macroscopique, binoculaire, relevé,…) qui visent à comprendre la nature et la technique des tracés graphiques.

3.2 *Les résultats obtenus par la microtopographie*

3.2.1 Déchiffrement des gravures

Dans la lecture des gravures les images microtopographiques ont apporté une contribution importante. En effet, les images de synthèse que l'on peut générer à partir des données 3D sont souvent d'une lisibilité supérieure aux originaux et aux photographies. Elles sont produites par la suppression de l'hétérogénéité de couleurs que présentent les surfaces naturelles gravées. Les images de synthèse monochromes accentuent de ce fait fortement les variations de relief de la pierre et particulièrement les gravures (Fig. 10.1, Pl. X, b.1).

Grâce à ce procédé certaines gravures révèlent ainsi leur grande finesse et les détails figuratifs peu visibles sur les originau.

3.2.2 Lecture technologique des gravures

On obtient des données supplémentaires à l'observation des superpositions présentes sur les pierres gravées. Une première question se pose sur l'ordre chronologique de la production des gravures. A ce titre les recoupements de traits nous donnent des informations précieuses. En effet, lors du passage d'un trait au-dessus d'un autre déjà existant, celui-ci laisse, au sein du sillon antérieur, un certain nombre de traces, voire une empreinte (Fritz 1999). Sur les images 3D nous pouvons étudier de manière détaillée différentes zones de recoupement afin d'examiner la situation et caractériser les profils de traits (Fig. 10.2, Pl. X, b.2).

3.2.3 La caractérisation des traces d'usure

Autre domaine d'approche sur les pierres gravées, celui concernant l'ensemble des traces d'usure et d'utilisation. Il s'agit de fractures, de stries plus ou moins organisées, de taches rubéfiées (à ne pas confondre avec les restes de colorants), de marques de percussion, de polis ou de plans d'abrasion (Fig. 10.3, Pl. X, b.3).

Ces traces ne sont pas, la plupart du temps, en relation avec les réalisations artistiques sur les pierres. Pourtant, elles se superposent ou s'intercalent aux gravures et sont de ce fait témoins de l'histoire des supports dans le site. Pour les pierres gravées cette notion est particulièrement importante car, à la différence de ce que l'on observe dans l'art pariétal, elles proviennent d'un contexte archéologique du style habitat, révélant ainsi des traces de la vie quotidienne.

Si certaines traces sont visibles à l'œil nu, d'autres d'ordre microscopique nécessitent l'utilisation de techniques d'analyse plus précises afin d'être caractérisées de manière quantitative.

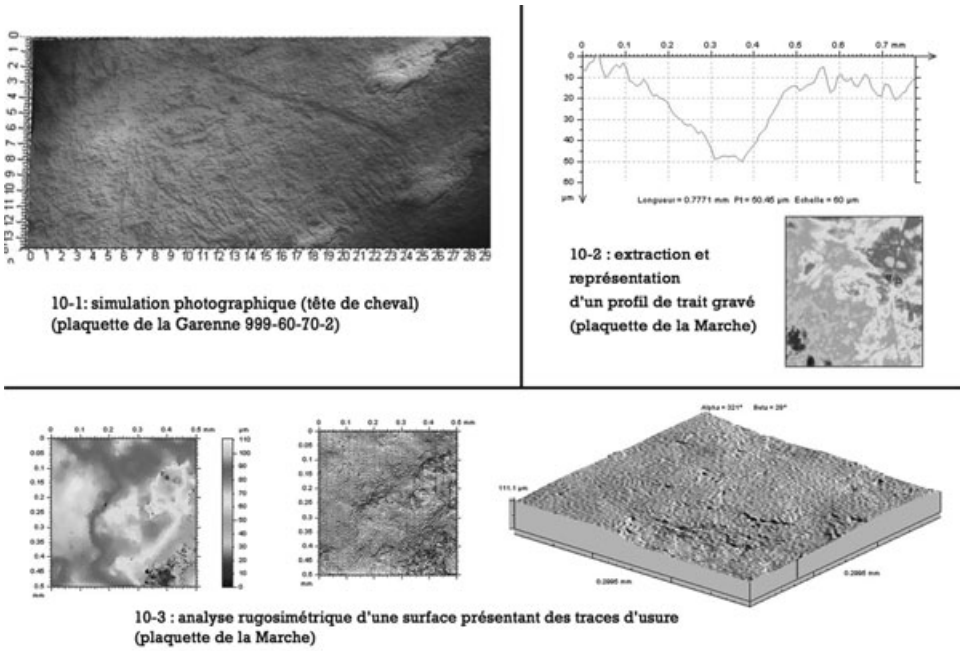


Fig. 10 – Exemples de traitement et d'utilisation des données microtopographiques sur des plaquettes (la Garenne et la Marche).

4. Quelles applications pour les modeles 3D?

Chaque recherche a ses questions, chaque question à ses protocoles de réponse, chaque protocole a sa technique.

Par cette phrase on peut résumer la problématique à laquelle nous sommes confrontés dans l'étude du site la Garenne-Blanchard. A chaque échelle d'analyse correspondent des objectifs de la recherche, et une méthode d'analyse adaptée.

C'est ce que nous expérimentons pour obtenir un modèle 3D qui réponde à la fois aux objectifs de la conservation et de la recherche.

Pour optimiser le choix des techniques et des protocoles, il est nécessaire de procéder à une évaluation du niveau de connaissances sur les objets d'études et des questions que l'on souhaite résoudre.

C'est à ce stade seulement que l'on obtient les critères de choix de la technique la mieux adaptée à la problématique, quel que soit l'objet de recherche. Les opérations de mise en place du matériel et du choix des paramètres d'acquisition en découlent. Cette démarche est décrite et fixée dans une rédaction de protocole qui peut varier selon les questions posées.

Au-delà de l'enregistrement lui-même, la construction de ces modèles 3D à plusieurs échelles offrent plusieurs perspectives. Des outils de mesure sont ainsi présents dans les logiciels de traitement de nuage de points comme Polyworks, Meshlab, OptoCat ou Cyclone. Les fonctions les plus communes sont des mesures de distance, l'extraction de profil et de courbes de niveau pour la réalisation de plan.

Autre outil incontournable que nous souhaitons associer aux modèles 3D: les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Un SIG est un ensemble de données, localisées géographiquement et structurées dans une base de données, et possédant des outils de requête fonctionnelle et des modules de visualisation.

L'objectif ici est d'élaborer un véritable SIG de la paroi, avec référencement des tracés (forme, thème, technique), des données naturelles du support, des phénomènes naturels de la paroi, des données archéologiques, essentiellement les objets fichés.

Toutes ces analyses répondent à des démarches complémentaires, que ce soit la modélisation des grottes (notamment pour la production de fac-similé), la présentation des œuvres (animation photo réaliste, parcours 3D interactif), mais surtout l'analyse des images (mesure des distances, des orientations, organisation spatiale, illustration optimisée des images, objets et logiques de construction comme l'utilisation des reliefs).

L'expérimentation comparée de ces techniques d'étude doit nous conduire à établir un protocole d'analyse adaptable et réplicable sur d'autres sites, en tenant compte de leur spécificité. C'est à cette condition que nous pourrons à la fois faire évoluer la méthodologie de la recherche et apporter des données innovantes à l'étude des ensembles pariétaux préhistoriques.

Eric Robert, Patrick Paillet, Denis Vialou
Muséum national d'Histoire naturelle, Département de Préhistoire
UMR 7194 Histoire naturelle de l'Homme préhistorique
Daniel Vigears
UMR 171 Centre de Recherches et de Restauration des Musées de France
Nicolas Melard
Service Régional de l'Archéologie Nord-Pas-de-Calais
avec la collaboration d'Yves Egels
Institut Géographique National

BIBLIOGRAPHIE

Airvaux J. 2001, *L'art préhistorique du Poitou-Charentes*, Maison des roches, Paris.

Allain J. 1957, *Nouvelles découvertes dans le gisement magdalénien de la Garenne (commune de Saint-Marcel, Indre)*, note préliminaire, «Bulletin de la Société Préhistorique Française», 54, 3-4, 223-227, 2 fig.

Despriee J., Tymula S., Rigaud A. 2009, *Données récentes sur le Magdalénien de "la Garenne" (Saint Marcel, Indre), la place du Magdalénien "à navettes" en Europe, Actes du colloque d'Argenton sur Creuse (7-9 Octobre 2004)*, Projet collectif de recherche, le Paléolithique de la vallée moyenne de la Creuse, le Coteau de "la Garenne", «Bulletin de l'ASSAAM», n. 2 spécial, Argenton sur Creuse.

Fritz C., 1999, *La gravure dans l'art mobilier magdalénien*, Paris, Ed. La maison des sciences de l'homme.

Lwoff S. 1957, *Grotte de La Marche. Iconographie humaine et animale du Magdalénien III*, «Bulletin de la Société Préhistorique Française», 54, 622-633.

Melard N. 2008, *Pierres gravées de La Marche à Lussac-les-Châteaux (Vienne). Techniques, technologie et interprétations*, «Gallia Préhistoire», 50, 143-268.

Paillet P. 2009, *L'art mobilier sur supports lithiques de "la Garenne" (Saint-Marcel, Indre)*, in J. Despriee, S. Tymula, A. Rigaud, *Données récentes sur le Magdalénien de "la Garenne" (Saint Marcel, Indre), la place du Magdalénien "à navettes" en Europe*, 181-200.

Pales L., Saint Pereuse M. 1969, *Les gravures de La Marche. 1 - Félins et Ours*, 1 vol., Publications de l'Institut Préhistorique de Bordeaux, Mémoire 7.

Vialou D. 2004, *La grotte ornée Blanchard, Saint-Marcel (Indre)*, in *Le Paléolithique de la vallée moyenne de la Creuse. Le coteau de "la Garenne": Grand Abri et Grotte Blanchard*, Etudes 1999-2001, «Bulletin de l'ASSAAM», Argenton sur Creuse, 69-76.

ABSTRACT

Analysis of prehistoric art is inseparable from the study of its supports, movable or on walls. Increasingly, this topic is included among the research aims of modern studies. The contribution of several techniques of restoration in 3D (scanner/laser, photogrammetry, microtopography, etc.) makes it possible to approach different graphic productions and their areas. Beyond the virtual modeling of wall, or decorated artifacts, it is interesting to make use of an adapted numeric support to incorporate and analyze natural, graphic and archaeological information (nature of area, engravings, paintings, flagged items, etc.). We propose here to make a comparison of each technique, to describe in detail its contribution and complementarity in the research of paleolithic art, using two examples. First, the Blanchard cave (Indre), now being studied as part of the MADAPCA research program subsidized by the Agence Nationale de la Recherche, second, the site of la Marche (Vienne).

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 355-369

FRESSIGNES, CAMPEMENT SOLUTRÉEN SUR ORDINATEUR

1. Introduction

Fressignes (commune d'Eguzon, Indre) est un campement saisonnier de chasseurs solutréens, situé sur la rive gauche de la Creuse, dans ses derniers méandres encaissés dans les formations cristallophyliennes sur le flanc Nord du Massif central.

Les Solutréens qui habitaient les affleurements calcaires en aval dans le bassin versant de la Creuse (comme en témoignent les sites Fritsch, Montaud, ou encore des Roches ou des Maîtreaux) venaient régulièrement s'installer sur un replat dominant la vallée. Ils apportaient de petits nucleus de silex qu'ils avaient prélevés dans une bonne dizaine de gîtes, pas seulement proches de leurs habitats, comme les fameux silex du Turonien moyen et du Turonien supérieur jusqu'au Grand-Pressigny.

En milieu acide, les ossements de la faune chassée et pêchée (comme l'indiquent les outils lithiques) et les végétaux utilisés ne se sont pas du tout conservés. En revanche, les matériaux lithiques sont remarquablement conservés: les pièces lithiques, même les plus fragiles comme les lamelles à dos (un millier) ou les éclats de retouches minuscules, n'offrent aucun stigmate d'ordre taphonomique. Les occupations successives et rapprochées se superposent sur une cinquantaine de cm de sédiments sableux fins enrobant une multitude de blocs et plaquettes d'amphibolites, de leptynite, de micaschistes, roches locales. Les Solutréens avaient aménagé sommairement cette blocaille disponible sur place pour en faire des sols isolants.

Quelques-uns des niveaux d'occupations contiennent des pointes à cran (dans des silex soigneusement sélectionnés) caractéristiques de la phase supérieure du Solutréen, que l'on peut situer – faute de datation – vers 18.000 ans BP. Un des intérêts majeurs de Fressignes est précisément de caractériser le Solutréen supérieur sur sa marge septentrionale extrême, débordant sur le Bassin parisien.

Une cinquantaine de milliers de pièces lithiques (silex et quartz, principalement), la plupart d'une dimension inférieure au cm provenant du débitage fait sur place, ont été inventoriées, par microdécapage, au cours des fouilles (1983-2005). Outre les positionnements classiques par rapport au carroyage métrique (et ¼ métrique pour les refus de tamis) et les prises de vue systématiques, des relevés à l'échelle 1 sur polyane ont été faits de tous les sols successivement décapés (jusqu'à 25 microdécapages dans des zones très denses en matériel archéologique).

Les techniques d'enregistrement informatique et d'enregistrement photographique numérique sont survenues tardivement par rapport au déroulement des fouilles. L'option prise en équipe, associant sur place aux préhistoriens, un ingénieur informaticien et un topographe, était de pouvoir combiner le traitement informatique et numérique projeté de toutes les données recueillies depuis le début des fouilles et le traitement informatique et numérique lancé sur les fouilles à partir de 1998 (et 1999 à titre expérimental) et 2000 (complètement). Leur application fut adaptée aux données particulières de la fouille et aux caractères spécifiques des données archéologiques associant une énorme quantité de pièces minuscules à une blocaille dense de dimensions pouvant atteindre une trentaine de cm.

En laboratoire, la mise au point de ces protocoles d'enregistrement et de traitement des données, a conduit aux programmes informatisés d'analyses des données archéologiques et de traitement et analyse des images en 2D et 3D. L'exposé méthodologique, référé aux techniques mises en jeu, que nous en donnons ici de façon synthétique, peut s'avérer pertinent dans le cadre des actes de ces Journées.

D.V., A.V.V.

2. De FrAcTool aux analyses assistées sur ordinateur

Le logiciel d'acquisition "FrAcTool" (Fressignes Acquisition Tool) a été utilisé sur le site de Fressignes à partir de 1998 (pilote puis utilisation complète en 2000). On peut regrouper de la façon suivante les différents champs et axes de recherches abordés:

– *composantes topographiques et spatiales*: mise en place d'un référentiel général, interaction entre divers systèmes de levé (carroyage traditionnel, photographie, etc.), restitution des données au sein d'un système d'information unifié;
– *composantes lexicales et sémantiques*: interaction avec l'ensemble des données générées par la fouille avec définition d'un lexique approprié;
– *composantes matérielles et logistiques*: mise en place d'un nouvel environnement d'acquisition et de traitement des données avec rédaction et mise en œuvre des procédures associées.

Cette approche *terrain* a également permis d'appréhender les données de la fouille dans leur contexte initial et de mieux préparer l'étape à suivre: celle de l'étude en laboratoire; le tout formant une véritable chaîne "archéologique", depuis l'acquisition des données sur le terrain en passant par leur stockage et enfin leur exploitation en laboratoire. C'est en respectant cette logique et en ne perdant jamais de vue la fouille et ses contraintes que fut mené l'ensemble des travaux.

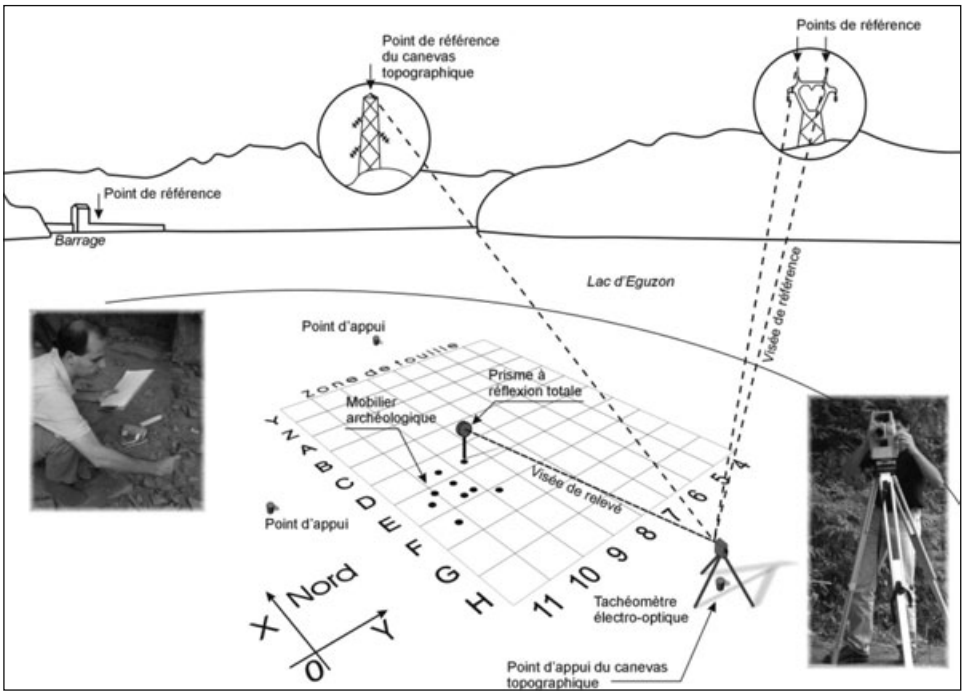


Fig. 1 – Enregistrement au théodolite.

2.1 *Création d'un outil d'acquisition de données sur le terrain*

La méthode d'acquisition, après un bilan des technologies disponibles à l'époque et de leur adéquation avec Fressignes, est celle de la prise de points réalisée à l'aide d'un tachéomètre électro-optique. Ce dernier est introduit pour la première fois sur la fouille en 1998 (pilote).

En 1999, les prises de points se font en double, à la fois par les mesures métriques faites sur la fouille et enregistrées dans les carnets de fouille et par tachéomètre électro-optique (Fig. 1). Ce principe s'est révélé très intéressant et a permis de comparer les deux systèmes de prises et leur relative précision. Ce travail fut plus précisément réalisé par Thomas Arnoux, le topographe de l'équipe.

L'année 2000 correspond au déploiement de l'outil terrain d'acquisition "FrAcTool" développé et réalisé par l'équipe, incorporant le lexique préalablement défini (Houllier J.R. et Arnoux T.).

"FrAcTool2" est composé de 3 modules: un petit logiciel développé à l'aide du langage de programmation MS Visual Basic, une librairie de fonctions cartographiques (composant "OCX"), et le lien avec une base de données

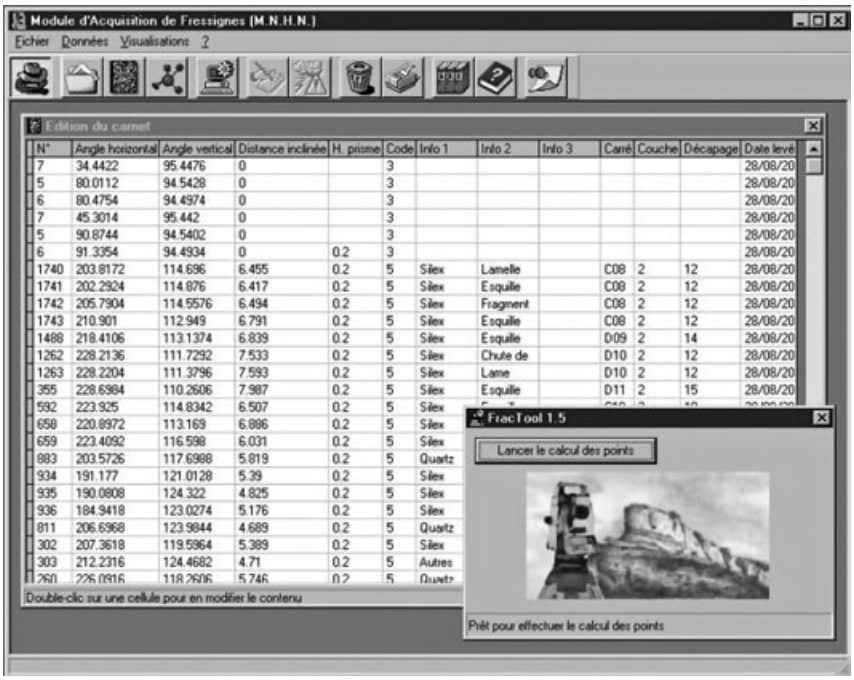


Fig. 2 – Edition des données.

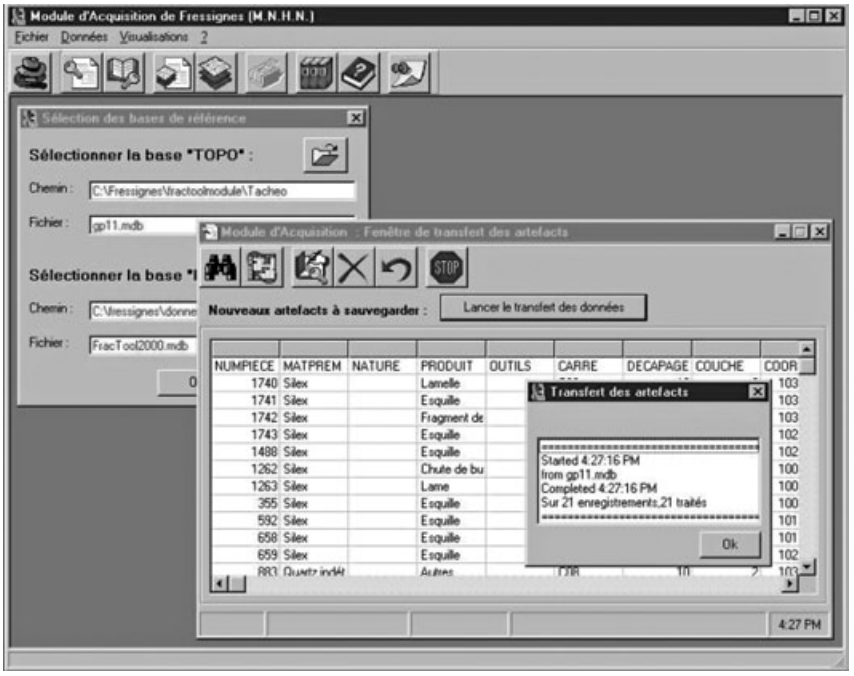


Fig. 3 – Transfert des données.

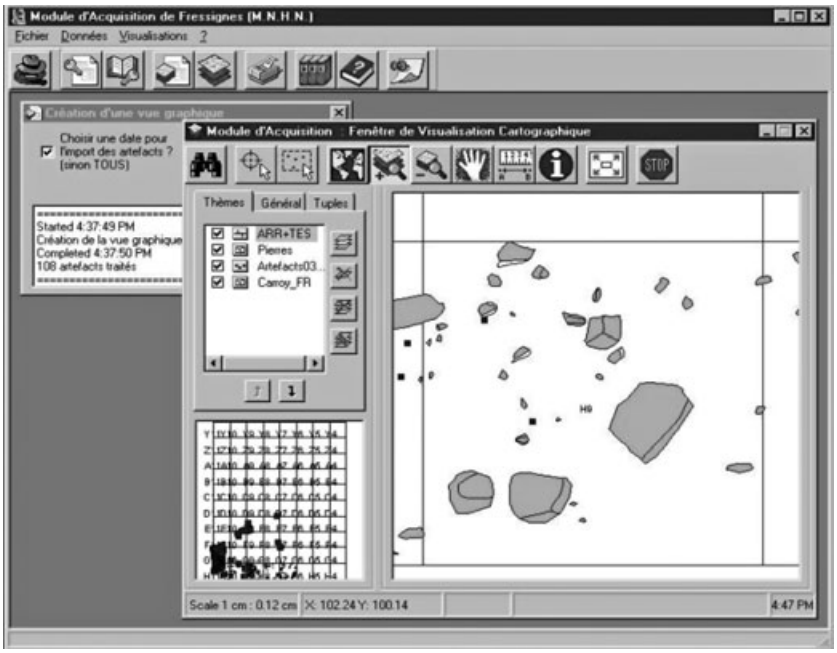


Fig. 4 – Affichage cartographique.

MS Access (SGBD). Fractool permet alors, à chaque fin de campagne (mais aussi au cours de la campagne pour des sauvegardes régulières) de récupérer le fichier MS Access contenant l'ensemble des données collectées.

L'outil comprend principalement 3 fonctions qui peuvent être mises en œuvre le soir même et ainsi permettre un contrôle immédiat des données de fouille:

– *une fonction d'édition* des données enregistrées dans le tachéomètre électro-optique (Fig. 2). Un premier jeu de tests permet de vérifier la cohérence des données collectées;
– *une fonction de transfert* des données d'une base locale vers la base centrale avec divers contrôles de cohérence (Fig. 3);
– *une fonction d'affichage cartographique des données collectées*, permettant un aperçu préalable des données en place avant le retrait des pièces sur le terrain (Fig. 4).

Depuis la mise en service de FrAcTool la totalité des campagnes de fouilles a été informatiquement enregistrée, minimisant ainsi l'emploi des carnets de terrain. Les données des carnets de fouille antérieurs à 1999 ont été saisies manuellement et intégrées à la base de données Access avec les nouveaux codes d'attributs.

2.2 *Le terrain, élément central du système d'information (ou la maîtrise de l'espace)*

C'est le premier enseignement – essentiel – de la recherche: *le terrain et ses contraintes* ont guidé de bout en bout nos travaux et nos réflexions. Ainsi, compréhension et appréhension des modalités de la fouille et de ses spécificités ont orienté, en amont du processus d'informatisation, des choix et des principes appliqués par la suite à l'ensemble des développements.

Une informatisation réussie passe donc par l'analyse préalable de la fouille et des difficultés qu'elle sous-tend. Pour ne citer qu'un exemple, le choix des modalités de stockage des objets de la fouille s'est fait en lien direct avec la nature même de l'occupation de plein air solutréenne dont le site de Fressignes est un témoin majeur. Le site révèle une économie de subsistance, qui se traduit par la présence d'un matériel majoritairement de petite taille avec des nucleus fortement débités (nucleus épuisés). De fait, la modélisation des artefacts relative à la prise de leurs coordonnées dans l'espace a pu se limiter au stockage d'un "point" pour chaque pièce (centroïde), sans besoin avéré de gérer le véritable contour "exhaustif" de chacune d'entre elles. Ce choix a par la suite conditionné l'ensemble de la chaîne de stockage, de traitement et d'exploitation des informations.

Plus généralement, le terrain est associé au référentiel spatial au sein duquel seront par la suite exprimés les objets collectés et leurs positions respectives. Il est donc fondamental de le déterminer et de le fixer de façon certaine et définitive. Dans notre cas, nous avons privilégié un référentiel spatial général (matérialisé par des bornes et des repères lointains d'orientation), tout en conservant le principe d'un carroyage, autre élément central de la fouille, indispensable à l'appréhension immédiate de l'espace. Même si le référentiel spatial général est aujourd'hui devenu le système de référence pour les coordonnées, il est toujours possible de faire le lien avec le carroyage, utilisé depuis le début sur la fouille. Méthodes du passé et du présent se côtoient et se complètent ainsi, sans rupture avérée des pratiques.

Tout cela plaide en faveur de la prépondérance et de l'importance à apporter au terrain dans toute démarche d'informatisation. Cette réflexion (et ces conclusions) peuvent aisément s'appliquer à l'ensemble des démarches d'informatisation similaires menées sur d'autres problématiques.

Un peu par tâtonnements et essais-erreurs répétés (c'est le principe de toute recherche), nous avons peu à peu maîtrisé l'ensemble des étapes du processus d'informatisation, depuis l'amont, avec la composante terrain, jusqu'à l'aval, avec la réalisation d'un modèle innovant de données fédérateur.

J.-R.H.

3. Base de données

La base de données de Fressignes (sous logiciel Microsoft Access) est le point de convergence de toutes les informations parvenues de la fouille: enregistrements des coordonnées, photographies des carrés décapés, relevés des décapages sur calque polyane. Elle a vocation à se ramifier vers toutes les numérisations possibles et vers les études actuelles et futures. On a choisi d'utiliser le logiciel Microsoft Access. On ne s'arrêtera que sur certains points généraux qui donnent une idée de la façon dont on a abordé le traitement des données d'un site préhistorique.

La "bd fres", comme on la nomme, regroupe les données factuelles issues des travaux de fouille ou de numérisation, auxquelles s'ajoute la nomenclature des opérations accomplies. Elle comprend 6 tables:

terrain
numéric
mobilier
    tamisage
    contexte
    stratigraphie

On a donc deux premières tables ("terrain" et "numéric") qui portent sur des opérations:

– "terrain" (*supra*) qui répertorie la nature des travaux des fouilleurs (par exemple: relevé et enregistrement des pièces, photographie du sol) leur date et quelques attributs sur les instruments.
– "numéric" qui répertorie la nature des numérisations (par exemple: numérisation de photographie analogique, numérisation de calques (E.R.), élaboration de mosaïque), accompagnée d'attributs particuliers dont la date.

Le chef d'orchestre des 3 tables à proprement parler préhistoriques est la table dite "stratigraphie", c'est le répertoire des carrés décapés. Les "deccar" sont l'unité de base de toute fouille par carré; ils sont la réunion de deux données, le numéro du décapage et le numéro du carré, par exemple 12F07: 12e décapage du carré F07; ce sont donc la réunion d'une donnée temporelle et d'une donnée spatiale. Ils sont à la base de l'identification de toute pièce ou objet trouvé lors de la fouille. La table "stratigraphie" contrôle la conformité de tous les numéros de deccar utilisés dans les autres tables avec ceux de ses 1.200 entrées qui composent son propre répertoire.

La table "mobilier" est identique à celle qui a été créée sur le terrain à partir des informations sorties du théodolite enregistreur grâce à Fractool (*supra*). Elle comprend pour les 48.000 pièces saisies sur ordinateur à ce jour: les trois coordonnées et quelques attributs fondamentaux (objet, matière, support, outil) et la date de relevé (Fig. 5). La table "tamisage" comprend

mobilier

decc	n°obj	X	Y	Z	c	obje	matié	support	outil	date
18E09	2322	102,52	102,41	-0,41	1		silex	esquille		07/09/2000
18E09	2323	102,36	102,12	-0,37	1		silex	eclat		07/09/2000
18E09	2324	102,19	102,91	-0,53	1		silex	eclat		08/09/2000
18E09	2325	102,32	102,22	-0,39	1		quartz	esquille		08/09/2000
18E10	2572	101,69	102,10	-0,30	1		silex	eclat		27/05/2004
18E10	2592	101,62	102,33	-0,35	1		quartz	esquille		27/05/2004
18E10	2585	101,34	102,07	-0,30	1		quartz	eclat		27/05/2004
18E10	2598	101,83	102,38	-0,38	1		silex	esquille		27/05/2004
18E10	2597	101,82	102,33	-0,38	1		silex	esquille		27/05/2004
18E10	2596	101,82	102,35	-0,37	1		silex	esquille		27/05/2004
18E10	2595	101,78	102,33	-0,36	1		silex	eclat		27/05/2004

Fig. 5 – Table mobilier.

contexte

saisie	decca	photo bru	photo préparée	mosaïqu	dalle
04N04	18Es08	04n-3	04 fres\n18Es08.jp	09M01p	04 fres\n18Es08.t
04N03	14F08	04n-30	04 fres\n14F08.jpg	04M31	04 fres\n14F08a.t
04N03	14F08	04n-30	04 fres\n14F08.jpg	09M01q	04 fres\n14F08b.
04N03	18E08	04n-31	04 fres\n18E08.jpg	09M01p	04 fres\n18E08a.t
04N03	18E08	04n-31	04 fres\n18E08.jpg	09M01q	04 fres\n18E08b.
04N02	13B07	04n-317			
04N03	15D08	04n-32	04 fres\n15D08.jpg	09M01q	04 fres\n15D08b.
04N03	15D08	04n-32	04 fres\n15D08.jpg	09M01p	04 fres\n15D08.ti
04N02	03Z07	04n-322			
04N02	03Y07	04n-323			

Fig. 6 – Table contexte.

les micro débris recueillis dans les tamis; ces champs ne diffèrent en rien de ceux de la précédente, si ce n'est que les coordonnées de chaque pièce sont arbitrairement celles du tamis (coordonnées et profondeur Z du quart du carré décapé et numéro du décapage correspondant).

La table "contexte" regroupe les résultats relatifs aux photographies, brutes ou remaniées par des logiciels appropriés (Fig. 6). Ces photographies redressées et géoréférencées peuvent être assemblées à la demande dans des mosaïques qui fournissent un découpage en dalle de 1m × 1m (*infra*).

La bd fres est complétée par un logiciel "contrôle" mis au point (A.F.) pour contrôler au mieux les coordonnées de toutes les pièces. Ce contrôle est nécessaire en raison des vicissitudes de la fouille et des enregistrements; on constate effectivement environ 1% de fautes.

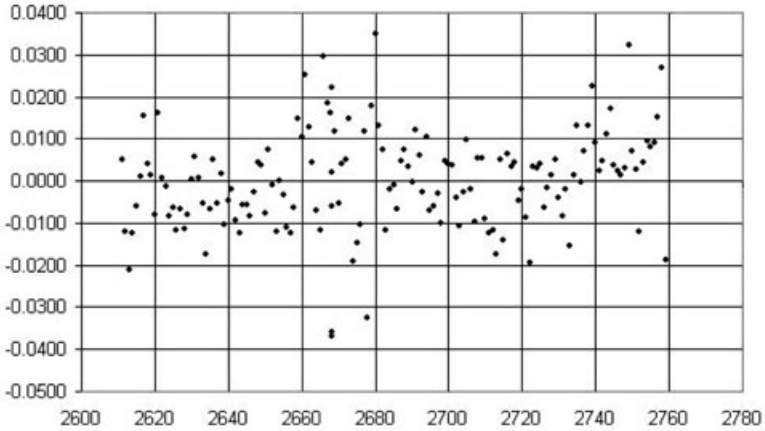


Fig. 7 – Résidus en mètre du deccar 19E10 – numéros de pièces en abscisse.

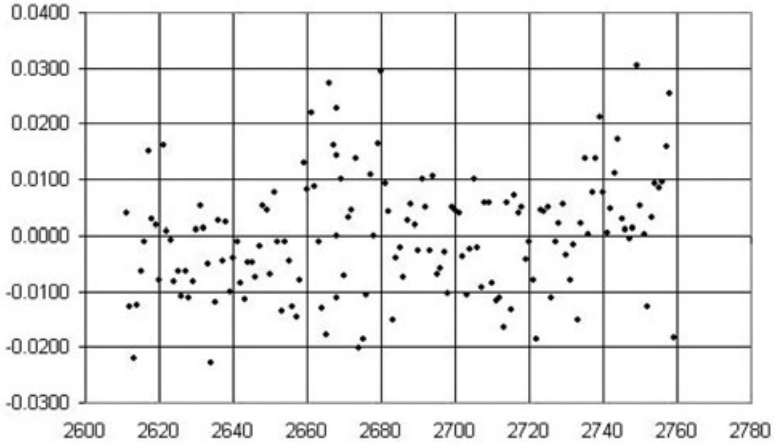


Fig. 8 – Nouveaux résidus 19 E10.

– le principe en est simple: on admet que le sol d'un carré décapé peut être assimilé à un paraboloïde hyperbolique ou autrement dit que la cote z de tout objet d'un carré décapé est une fonction du 2e degré des coordonnées x et y, fonction dont on calcule les 6 coefficients par moindres carrés. Ce logiciel est écrit sur "Excel" et donne les résidus entre la cote réelle et la cote calculée en fonction de x et y.
– naturellement, le sol décapé n'est pas rigoureusement un paraboloïde hyperbolique, mais on constate que seules des fautes réelles conduisent à des

résidus supérieurs à 4 cm, ce qui permet à la seule vue du nuage des résidus de se reporter aux coordonnées des pièces suspectes (Fig. 7). Souvent, on trouve alors la faute qui a conduit au résultat erroné, sinon on conserve les coordonnées incriminées en leur ajoutant un code 0 qui les éliminera dans les études spatiales ultérieures.

Si on admet que les résidus doivent être inférieurs à 0.03m, on commence par mettre un code zéro aux trois objets (les sols 2668.13 et 2668.15, la pièce 2678) qui se détachent du groupe par leurs résidus négatifs compris entre – 0.03 et – 0.04. On obtient alors la figure suivante (Fig. 8).

On constate bien que tous les résidus sont alors compris entre – 0.03 et + 0.03, ce qui est devenu satisfaisant.

Remarque – le passage de la table "mobilier" dans un fichier "Excel" se fait par un simple copier-coller et réciproquement sans aucune autre manipulation, ce qui rend ce contrôle très aisé.

En conclusion, la "bd fres" contient les 48.000 pièces enregistrées et en fixe les matricules qui les accompagneront tout au long d'études ultérieures. Elle fournit aussi les photographies du terrain qui forment le contexte. De plus, les études spatiales disposeront grâce à elle des coordonnées d'objets toutes contrôlées.

A.F.

4. Amalgame des données spatiales et des photographies numérisées)

Pour toute étude, il est bon de rattacher les photographies avec leurs coordonnées géoréférencées. On participe ainsi à la construction d'un système d'information géographique (SIG) relatif au site de Fressignes et susceptible de fournir des analyses spatiales générales.

4.1 *Distribution spatiale du mobilier*

Le programme "cumulus" mis à notre disposition par Y. Egels, permet à partir du relevé du "mobilier", c'est à dire les coordonnées 3D de tout objet ramené à un point:

– l'affichage de vues en 3 D du nuage de points relevés la même année; on peut faire tourner le nuage dans l'espace et contrôler si nécessaire les anomalies;
– la triangulation du nuage pour créer une surface; cette triangulation dite "de Delaunay" relie les points par une surface formée de triangles (voir Fig. 9);
– la création de coupes: on peut obtenir des coupes verticales (Est-Ouest ou Nord-Sud), ou une série de coupes horizontales montrant les courbes de niveau; le programme travaille par interpolation entre les points relevés.

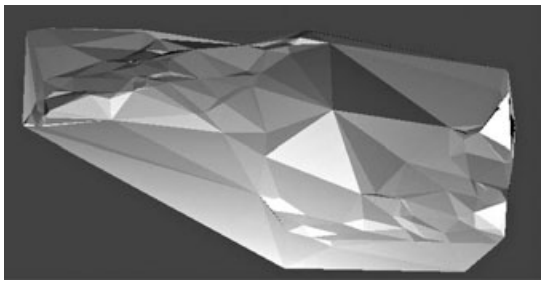


Fig. 9 – Image du terrain en 2004.

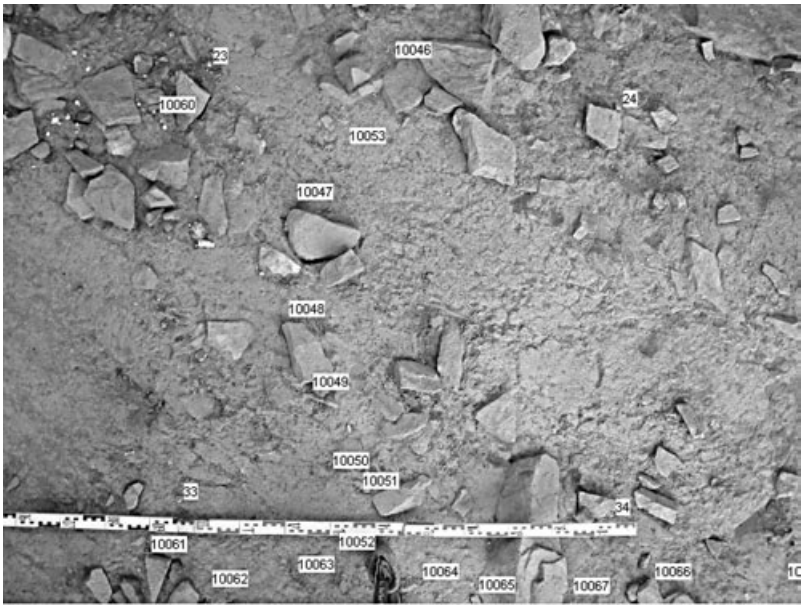


Fig. 10 – Points d'appui et de liaison pour E10 et F10.

4.2 *Redressement des photographies*

Ce programme, également mis à notre disposition par Y. Egels, consiste à apporter à chaque photographie numérisée les corrections qui éliminent au mieux les déformations introduites par la prise de vue, c'est-à-dire les aberrations de distorsion dues aux objectifs des appareils photographiques utilisés et les effets de perspective dus à la position de l'appareil lors de la prise de vue.

En plus des formules de distorsion des appareils utilisés, ceci exige la connaissance des coordonnées "terrain" d'un certain nombre de points repérables sur les photographies. Etant donné qu'on redresse chaque photographie par une formule d'homographie à huit paramètres et que chaque point donne naissance à deux relations, il faut au moins quatre points connus pour l'ensemble des photographies.

On définit deux sortes de points (voir exemple du deccar 19E10 de la fouille de 2004):

– les *points d'appui* (points 23, 24, 33, 34) sont des objets (pièce lithique, clou matérialisant un sommet de carré, cible ou autre) dont le logiciel Fractool a donné les cotes à partir des enregistrements du théodolite (*supra*). Ces points d'appui assurent au mieux la coïncidence des coordonnées horizontales des objets avec celles mesurées sur les photographies qui les portent. Ils permettent de géoréférencer les photographies redressées: à tout point de la photographie on peut associer des coordonnées "terrain";
– les *points de liaison* (points 10046, 10060, 10053 …) assurent la cohérence entre les images photographiques. Pour cela, par exemple dans la zone de recouvrement de E10 – F10 (Fig. 10) on pique un point bien identifiable sur E10, puis, en désignant sur F10 un point proche de l'homologue du précédent, un algorithme de reconnaissance de forme propose le point de liaison précis.

Le calcul s'opère en 2 phases sur l'ensemble des photographies de la zone, il fournit:

– en première phase les *résidus* en chaque point d'appui et en chaque point de liaison, qui sont les écarts entre la position réelle d'un point d'appui ou de liaison sur la photographie et la position qu'il aurait dû théoriquement avoir en fonction de ses coordonnées "terrain". Ils donnent la précision du résultat. Le contrôle des résidus peut conduire à réitérer le choix des points de liaison jusqu'à obtenir un écart quadratique moyen acceptable;
– en deuxième phase (en fonction du pas de résolution) les photographies redressées, les formules à huit paramètres relatives à chaque photographie, le fichier de géoréférencement qui servira à effectuer le mosaïquage, et les coordonnées du centre optique des appareils photographiques.

4.3 *Mosaïquage des photographies*

L'IGN a mis à notre disposition le programme "mosaïquage". Une mosaïque est l'assemblage de photographies rectifiées et géoréférencées (qui résultent du programme "redressement" vu ci-dessus) de façon à former un panorama, voir l'exemple du périmètre des six dalles EF 8 9 10 de l'année 2004.

Pour obtenir le meilleur découpage, on travaille dans une partie commune à deux photographies, par exemple E10 et F10. Le logiciel doit décider où

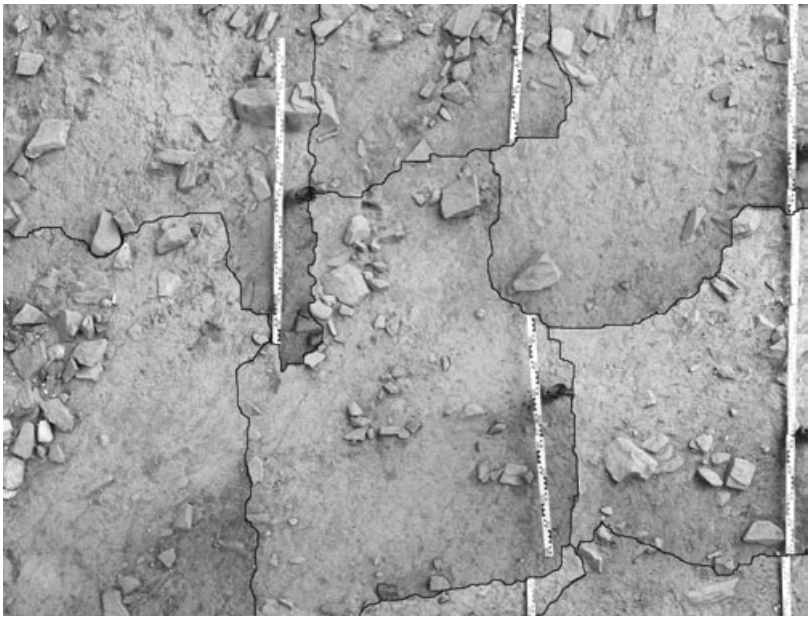


Fig. 11 – Mosaïque EF 8,9,10.

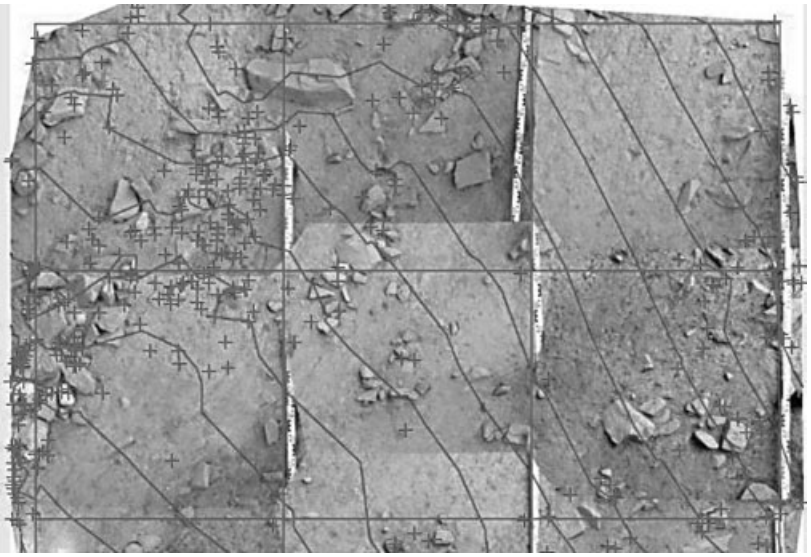


Fig. 12 – Orthophoto habillée EF 8,9,10.

passera la frontière; ce choix est opéré automatiquement par reconnaissance des formes (Fig. 11). Les points pour lesquels la ressemblance de leurs images dans les deux photographies est la meilleure constituent cette frontière. Cette méthode conduit à une mosaïque où les limites sont visuellement les moins perturbantes possibles.

Le programme offre aussi des stratégies de recherche paramétrables, par exemple le dosage entre la minimisation des radiométries (pixel par pixel) et le meilleur suivi des lignes topographiques. Le résultat apparaît sur la figure 3 (ci-dessous). Il serait possible de corriger manuellement ces lignes de raccord s'il apparaissait une anomalie.

La mosaïque résultante est accompagnée du fichier de géoréférencement permettant de reconstituer la topologie du graphe que l'on utilisera pour l'édition.

Le géoréférencement permet d'entrer dans un SIG (Système d'Information Géographique); pour notre part, nous avons utilisé le logiciel "Arcexplorer" avec lequel on a superposé la mosaïque avec le carroyage et le mobilier relevé, puis fait apparaitre les numéros des pièces et leurs attributs. Ainsi, en cliquant sur un point identifié, on a ses coordonnées et le détail de ses attributs. On possède donc d'un système informatique performant en vue d'analyses détaillées.

Le programme IGN "*Fin de Chaine*" fait suite. Il permet d'éditer soit la totalité de la mosaïque, soit de découper celle-ci en dalles suivant le carroyage.

4.4 *Orthophoto*

L'orthophoto, donnée par le programme "Cumulus" cité ci-dessus, ramène l'image photographique redressée à ce qu'elle serait si elle était prise à la verticale. Pour cela le programme calcule les coordonnées des pixels comme si les objectifs des appareils photographiques étaient à l'infini.

A Fressignes le terrain est assez proche d'un plan faiblement incliné, de sorte qu'il n'y a pas grande différence entre l'orthophoto et la mosaïque.

Le sous-programme "habillage" inclus dans "Cumulus" a permis la superposition de l'orthophoto avec les courbes de niveau horizontales, le nuage des points et le carroyage (Fig. 12).

En conclusion, grâce à l'aide de l'IGN et de Y. Egels, on dispose d'un ensemble de logiciels qui donnent une image numérisée et orthoréférencée du terrain, accompagnée d'un habillage de courbes de niveau, de pièces ou objets relevés, de coupes verticales.

L'informatisation des données archéologiques, leurs modes de traitement couplés à la numérisation des documents photographiques et graphiques issus du terrain ont ouvert de nombreuses perspectives analytiques. Les moyens créés par l'équipe *fressignoise* associant préhistoriens, topographes, informa-

ticiens et mathématiciens, se sont déjà avérés efficaces sur le plan scientifique. Ils offrent deux autres avantages, également considérables: leur *convivialité* qui permet de les utiliser sans aucun problème; leur *accessibilité financière* (matériels et logiciels).

J.-P.B., A.F.

Jean-Pierre Bouyssi, André Fontaine, Eric Robert, Denis Vialou, Agueda Vilhena Vialou, Jean-Roch Houllier
Muséum national d'Histoire naturelle, Département de Préhistoire
avec la collaboration d'Yves Egels
Institut Géographique National

BIBLIOGRAPHIE

Houllier J.-R., Arnoux T. 2001, *Informatisation d'une fouille: Réalisation et déploiement du logiciel d'acquisition de données "FrAcTool" (Fressignes Acquisition Tool)*, «Paleo», 13, 251-264.

Vialou D., Vilhena Vialou A. 2004, *Le site de «Fressignes» (Eguzon Chantôme), un campement saisonnier de chasseurs-pêcheurs solutréens*, in P. Paillet (dir.), *Préhistoire du Val de Creuse en Berry*, Musée archéologique d'Argentomagus, Saint Marcel (Indre), 55-58.

Vialou D., Vilhena Vialou A. 2006, *Fressignes, campement des derniers chasseurs solutréens du grand nord*, in J.-M. Maillo, E. Badequano (eds.), *Miscelánea en homenaje a Victoria Cabrera*, «Zona Arqueologica», 7, Alcalá de Henares-Museo arqueológico regional, Madrid, 452-461.

ABSTRACT

Research at the Solutrean site at Fressignes (Indre) was largely preceded by digital input methods. Only the final campaigns (1998-2005) made it possible to deploy on the terrain an acquisition software for the spatial data and the archaeological characteristics, FrAcTool, which had been specially developed for the site. The data bank that had been elaborated reported the data on the terrain and completed it by using the other tools covering the analytical description of all the work that had been done since the research project had been started in 1983: digital retrieval of the coordinates, numbering of the photographs, stratigraphical layers, their spatial context and their georeferenced mosaicing. Moreover, all of the coordinates were checked simultaneously by mathematical models. The application of 3D is prepared by georeferencing and mosaicing of the images. The triangulation of the shadows of the objects gives the vertical sections of the terrain, the contours and the orthophotos. Laser surveys of the terrain constitute the final phase for the volumetric representation of the progressive spatial data during research.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 371-384

UN SYSTÈME D'INFORMATION 3D POUR L'ARCHÉOLOGIE DU BÂTI: *SHOWBACK*. LE CAS DE MONTRÉAL (SHAWBAK, JORDANIE)

1. Introduction

Shawbak, connu aussi sous le nom de Crac de Montréal est l'un des châteaux médiévaux les mieux conservés du Moyen Orient (Vannini 2007). Il est proche de Petra, en Jordanie, et selon les sources écrites il a été fondé par Baldwin I, au début du XIIe siècle. La Chaire d'Archéologie médiévale de l'Université de Florence développe, depuis le 2002, un projet de recherche sur le site de Shawbak. Cette recherche se situe dans le cadre d'une étude sur l'implantation médiévale de la région de Pétra (Vannini, Nucciotti 2009). (Figs. 1-2).

Le projet est conduit selon la démarche de l'archéologie "légère" (Vannini, Nucciotti 2009), un système qui intègre diverses archéologies non invasives: archéologie du paysage, archéologie de l'environnement, archéologie du bâti, archeo-informatique et fouilles. Dans cette approche l'archéologie du bâti recouvre une grande importance[1]. Shawbak en effet est un site très complexe avec des traces de l'époque romaine jusqu'à l'époque mamelouke et avec des phases croisade-ayyoubide importantes. Avec l'étude des bâtiments nous avons pu identifier vite les différentes phases d'établissement du site (Fig. 3, Pl. XI, a). D'un point de vue méthodologique chaque bâtiment est un dépôt stratigraphique le même que le dépôt stratigraphique du terrain. Les bâtiments peuvent être décomposé en USM (pour *Unità Stratigrafica Muraria* (Harris 1983, Brogiolo 1988), en italien, et Unité Stratigraphique Construite en français, USC; Burnouf *et al*. 2009, 171), comme on fait pour les fouilles[2]. Les diverses relations entre USM sont exprimées par la matrice de Harris

[1] «L'opzione metodologica di fondo consiste nell'attribuzione di un ruolo strategico – anche sperimentale e innovativo – dell'archeologia leggera, una procedura di letture che integra a sistema le diverse archeologie non invasive (paesaggio, ambiente, elevati, archeoinformatica, saggi mirati), che va nella direzione di consentire o facilitare un uso (economico in rapporto ai fini) direttamente storico delle documentazioni e della stessa analisi archeologica delle "strutture" del passato. si è elaborato così un sistema di analisi territoriali e la messa a punto di un processo di rilevamento tecnologico integrato. un ruolo centrale è affidato all'analisi stratigrafica degli elevati documentata con l'ausilio della fotogrammetria…» (Vannini, Nucciotti 2009, 28).

[2] Dans le cadre de l'archéologie du bâti il s'agit de déterminer grâce à l'étude des USM les différentes étapes de la construction et de l'évolution des édifices et d'isoler des phases du chantier pour comprendre la qualité des mains-d'œuvre. C'est-à-dire que: «Devant une élévation l'œil saisit toutes sortes de discontinuités, plus ou moins évidentes: arrachements, éléments architecturaux obsolètes, décalages, ruptures de l'appareil, changements de matériaux, de types d'agencement, de style…» (Burnouf *et al.* 2009, 171).

Fig. 1 – Situation géographique de Shawbak, ici Monreal.

Fig. 2 – Shawbak.

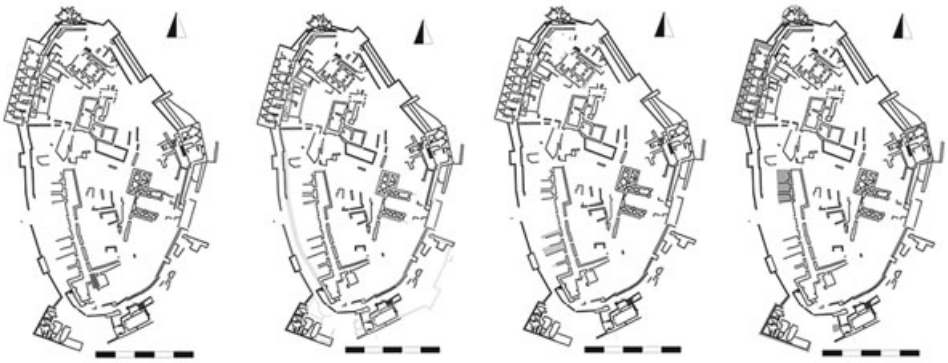


Fig. 3 – Lecture et identification des phases.

(Harris 1983). On peut donc intégrer également les données provenant de fouille avec les données des bâtiments. Mais l'archéologie du bâti produit une grande quantité de données qualitatives et quantitatives qui habituellement sont collectées dans des fiches et des relevés. Le besoin de gérer une telle multitude, textuelle et graphique, a suscité chez nous, archéologues, le besoin d'un ensemble d'outils destinées à produire, stocker, analyser et visualiser toutes ces données. L'objectif de cet article est de présenter le premier outil réalisé par notre groupe pour la conservation et l'analyse des données archéologiques, spécifiquement des données archéologiques du bâtiment.

2. Le relevé archéologique du bâti

Le travail conduit par l'équipe franco-italienne a commencé depuis 2003 la production de documents graphiques représentant les structures architecturales en élévation, comme première étape de la réalisation d'un système d'information 3D. En effet les documents graphiques sont la base sur laquelle, traditionnellement, les archéologues tentent d'insérer la plupart des informations archéologiques[3]. La production de documents graphiques représentant les structures architecturales en élévation a été effectue en plusieurs campagnes photogrammétriques[4]. Ces campagnes de photogrammétrie sont faites avec des appareils numériques et sont accompagnées d'un relevé topographique (station totale et DGPS) fournissant un canevas de points de contrôle. Les résultats obtenus sont des documents graphiques 2D ou 3D qui servant directement aux archéologues pour noter, étudier et valider les travaux et hypothèses archéologiques.

Cette première étape relève plus d'un aspect traditionnel du relevé et n'est pas à proprement parler de la recherche. Il s'agissait dans un premier temps de former les archéologues à la photogrammétrie de façon à avoir une approche commune du relevé et dans un second temps d'obtenir un ensemble complet de photos orientées qui servent au développement du système d'information fondé sur la connaissance archéologique que a été développe. L'importance du fait que l'archéologue maîtrise toutes les étapes du relevé est en relation étroite avec l'idée du relevé comme interprétation de la réalité, dans lequel les données qualitatives sont ajoutées aux données quantitatives.

[3] «Agire sull'efficacia del rilievo, renderlo "critico", ossia, letteralmente, capace di distinguere – … – i fenomeni edilizi, mi è apparso un passo necessario …» (Doglioni 1988, 223); «La redazione diretta del rilievo grafico può essere considerata … una delle operazioni più idonee per approfondire una parte rilevante delle conoscenze del processo formativo e delle vicende costruttive, di modifica e trasformazione che si sono stratificate sul manufatto edilizio» (Parenti 1988, 249).

[4] À ce jour (compris l'année 2010) les CF touchées par campagnes photogrammétriques sont 16.

3. Données archéologiques et mesure 3D: une base de données commune

Conceptuellement ce travail s'appuie sur une gestion de toutes les données au sein d'un même outil de persistance (XML ou base de données relationnelle). Les représentations graphiques obtenues sont des 'points de vue' sur la base de donnée et sont générées à la volée, en fonctions des requêtes de l'utilisateur. Ceci a pour conséquence une chose capitale dans ce travail: le relevé ne produit directement pas de représentation graphique, mais se contente d'associer de la géométrie et de la connaissance. La représentation graphique dépend intimement du but recherché: par exemple le 3D n'est pas toujours nécessaire et peut même quelquefois être une source de confusion, néanmoins la génération d'une représentation 2D est sous-tendue par un modèle 3D complet. Toutes les informations 3D sont donc stockées dans la base et utilisées selon la requête de l'utilisateur.

Le second volet de ce travail est plus algorithmique, après une mesure manuelle des blocs faites par un archéologue, nous chercherons à obtenir automatiquement des représentations graphique ayant la facture d'un dessin manuel et mettant en évidence les USM, leur périmètre, les zones d'enduit au mortier entre les blocs et le USM.

Depuis 2006 (Drap *et al.* 2006) les données produites sont stockées en XML et dans une base de données relationnelle. La voie privilégiée pour le stockage de ces données est la base de données relationnelle afin de contrôler une grande quantité de données mais XML est encore employé pour travailler sur des sous-ensembles de données. La base de données contient des données géométriques (mesures photogrammétriques, photographies orientées et géométrie d'objets manufacturés) aussi bien que des données archéologiques (la définition des USM[5], les données relatives au site ainsi que les observations qualitatives sur l'objet mesuré)[6]. La base de données est utilisée pour produire des vues sur le modèle selon les spécifications archéologiques. Des représentations 2D ou 3D sont produites par des requêtes sur la base de données: le plan de projection pour la représentation 2D, le sous-ensemble de blocs selon l'USM demandé est utilisé pour produire les représentations géométriques avec un lien bi-directionnel entre le graphique et la base de données.

Selon les exigences archéologiques (Fig. 4, Pl. XI, b), nous devons produire aussi des documents 2D pour signer les limites des USM[7], qui, avec notre système sont le résultat de requêtes sur la base de données. Le logiciel de SIG comme ArcGIS ou les bibliothèques comme Geotools peuvent êtres employés

[5] Les blocs de pierre sont liés entre eux mais aussi à des concepts archéologiques définis par des considérations topologiques et temporelles, les USM.

[6] Pour stocker les données archéologiques nous avons utilisé le base des données relationnelle *Petra*data©.

[7] La représentation des limites des USM en 2D est la première opération que l'archéologue fait sur le terrain et c'est aussi la modalité plus diffuse de représentation de la stratigraphie du bâti.

Fig. 4 – Une représentation manuelle des USM sur une orthophoto.

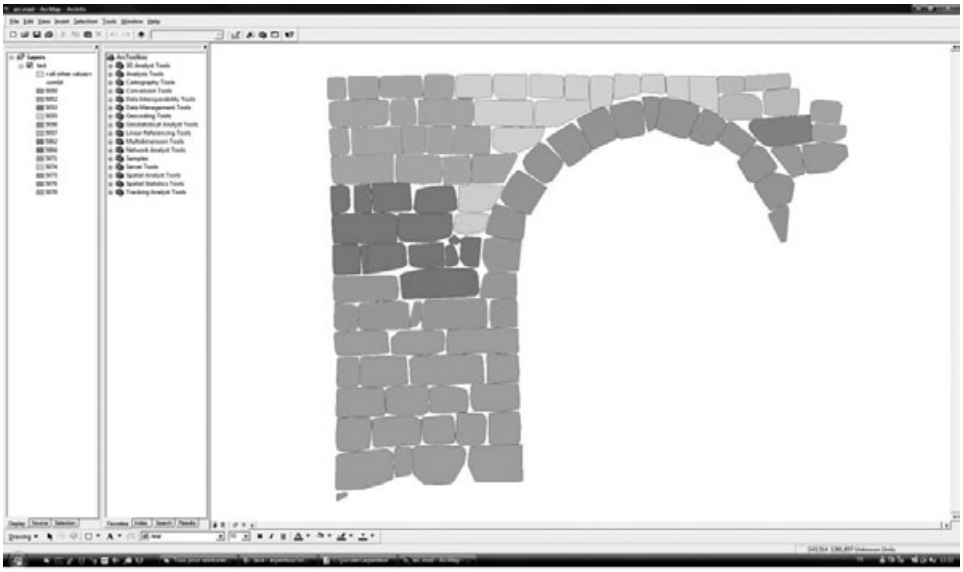


Fig. 5 – Requête de base de données exportée avec logiciel ArcGis.

Fig. 6 – Orthophoto générée par une requête sur la base de données: visualisation des blocs appartenant aux USM visibles sur le plan de projection donné. En jaune l'extraction automatique du mortier, en vert le périmètre des USM. Voir Pl. XII, a.

Fig. 7 – Orthophoto générée par une requête sur la base de données: visualisation des blocs appartenant aux USM visibles sur le plan de projection donné. En vert le périmètre des USM. La texture est complète à l'intérieur des USM. Voir Pl. XII, b.

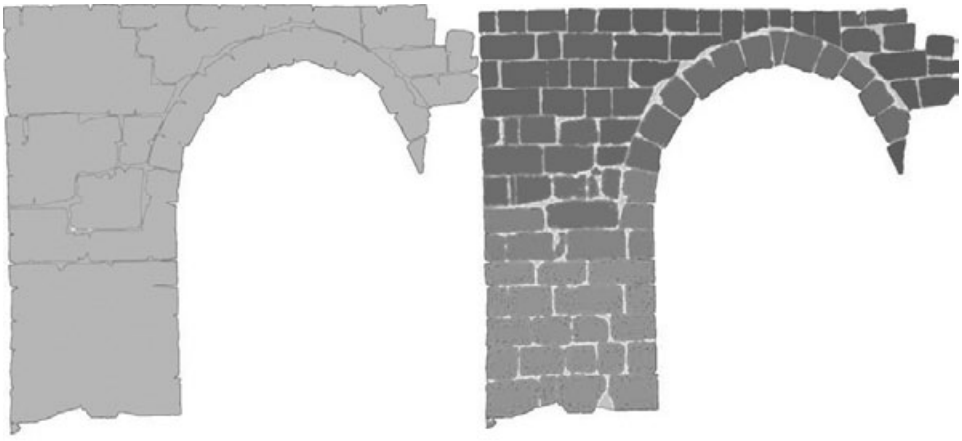


Fig. 8 – Orthophoto (dans texture) générées par une requête sur la base de données: visualisation du périmètres des USM présentent dans le plan de projection donné avec dessin du périmètre global (toutes les USM) en rouge. Une couleur arbitraire est attribué au polygone englobant (rouge). A droite toujours sans information de texture sont représentés les blocs de chaque USM presente. Une couleur unique est attribué aux bloc de chaque USM. Le mortier est dessiné en jaune. Voir Pl. XII, c.

pour produire des vues spécifiques de la base et travailler dans un contexte de SIG. L'utilisation de la base de données pour produire une représentation 2D ou 3D est une avancée importante: la finalité n'est plus dans l'obtention de la géométrie mais bien dans la production automatique d'une carte (2D ou 3D) interactive et liée à la base de données, donc interrogeable et mutable. Comme on peut voir dans la Fig. 5 (Pl. XI, c) ci-dessous la représentation des blocs, projetés dans le même plan que l'orthophoto, avec une couleur rendant compte de leur appartenance à une USM et visualisé dans un logiciel grand public de SIG.

Mais ce n'est qu'un exemple, nous pouvons interroger la base de données que nous avons réalisé aussi en diverses manières. Par exemple la Fig. 6 (Pl. XII, a) montre une orthophoto résultant d'une requête sur les blocs (avec la texture), l'USM (périmètre vert) et le ciment (jaune) sont calculé pour un plan de projection donné. L'orthophoto de la Fig. 7 (Pl. XII, b) ci dessus représente une requête concernant tous les blocs appartenant aux USM visible sur un plan de projection donné avec texture complète de l'intérieur de chaque USM (bloc et mortier confondus). Les USM sont ici clairement représentées. Un autre exemple d'orthophoto (dans texture) généré par une requête sur la base de données est en Fig. 8 (Pl. XII, c).

4. Vers un SIG 3D

Les outils informatiques qui permettent un lien bidirectionnel entre la représentation 3D et une base de données autorisent un regard nouveau sur ces données et partant une analyse nouvelle et la production de nouvelles connaissances. Nous avons développé une application basée sur le moteur 3D Open Source JReality qui s'intègre parfaitement dans l'Arpenteur et qui gère les représentations géométriques produite par les objets informatique modélisant les artefacts mesurés.

Ainsi, les objets mesurés sont représentés informatiquement par des instances d'objet (au sens Java du terme). Ces instances sont capables de générer une représentation graphique de l'objet mesuré selon le besoin: représentation détaillée 3D, représentation simplifiée voire symbolique 3D, représentation 2D par projection sur un plan déterminé (plan OXY pour une représentation cartographique mais aussi le plan du nu d'un mur pour une analyse stratigraphique). Toutes ces différentes représentations graphiques sont produites par la même instance et conservent un lien direct avec l'instance qui les a générée. Cela signifie que les caractéristiques géométriques de cette représentation graphique peuvent refléter des états de l'instance ou bien des caractéristiques, non graphiques, de cette même instance[8]. Afin d'offrir

[8] Le fait d'utiliser une bibliothèque Java pour gérer les représentations 3D des instances nous permet de manipuler une représentation 3D des objet mesurés et d'interagir avec ces objet au travers de leur représentation.

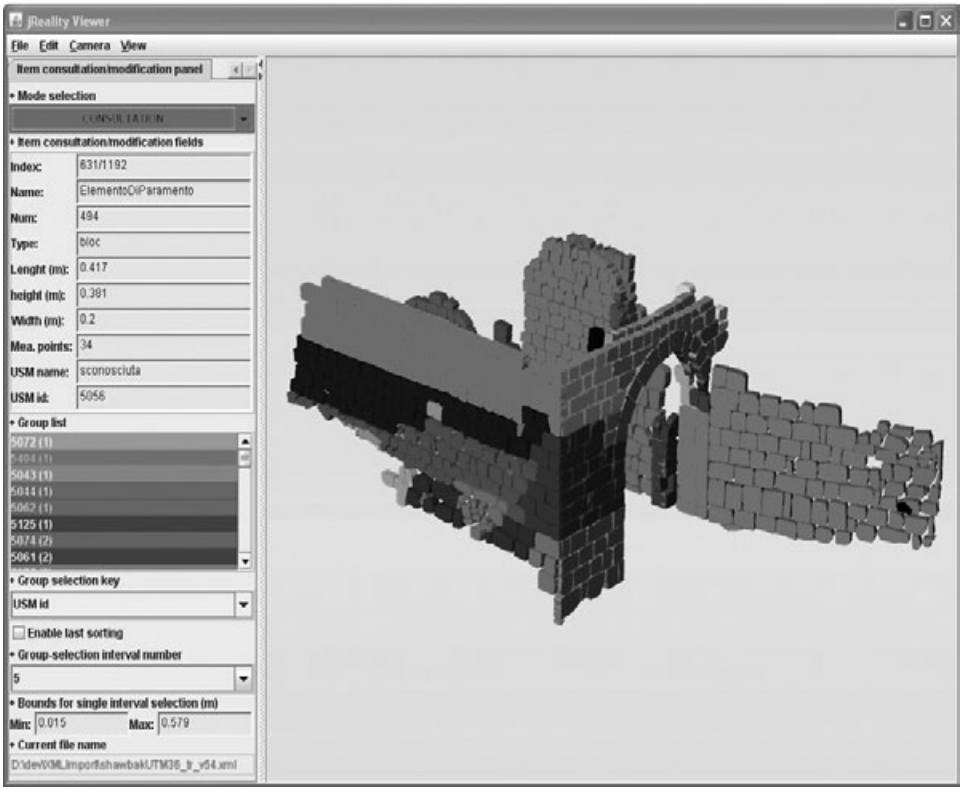


Fig. 9 – Visualisation 3D des bloc avec une couleur en fonction de leur USM. Le panneau de gauche permet la consultation/modification du bloc selectionné.

au archéologues un outil d'analyse et d'interrogations des données archéologiques nous avons développé un ensemble de procédures qui permettent d'établir ce lien.

La sélection d'un élément visible dans l'espace 3D représenté permet la consultation et la modification de ces attributs. Un ensemble de requêtes peut êtres visualisé graphiquement. Actuellement les requêtes sont fixes[9], c'est-à-dire que l'utilisateur ne peut pas encore formuler ces propres requêtes, ceci sera fait dans une seconde étape. Par exemple, la Fig. 9 (Pl. XIII, a) montre le relevé pierre à pierre d'une des portes du château de Shawbak (CF[10] 5): les blocs sont

[9] Pour tester le système nous avons choisie quelques requêtes utiles pour la recherche archéologique que pour la expérimentation de ce système come la requête des USM, la classification des blocs sur la base des classes d'hauteur, visualisation 3D avec les blocs textures.

[10] Cfr. en italien pour "corpo di fabbrica".

mesurés puis extrudés selon les hypothèses archéologiques puis une couleur leur ait attribué automatiquement en fonction de leur appartenance à une USM.

Ce premier niveau de représentation permet aux archéologues un contrôle fin de l'analyse stratigraphique. En effet, cette analyse est faite en 2D par l'observation des murs et la cohérence spatiale est délicate.

De la même façon il est possible de classer les blocs selon une grandeur (dans l'exemple en Fig. 10, Pl. XIII, b, la hauteur) et de visualiser ces classes avec une palette de couleurs. Il apparaît nettement que les classes de hauteur sont corrélées avec les USM et certaines phases du chantier, par exemple on voit sur la figure ci-dessous que les blocs les plus hauts appartiennent à la même classe, ce, selon la recherche archéologique correspond à une phase de restauration du château au XIXème siècle[11]. Ce type d'analyse n'était pas possible, en tout cas pas aussi immédiat sans ce nouvel outil, mais est très important pour nombreuses raisons. La première raison est que les hauteurs des blocs sont étroitement liées au travail de la pierre, c'est-à-dire la qualité des travailleurs qui ont creusé et mise en place le matériel; une autre raison est que l'étude des hauteurs peut contribuer à l'étude chronologique des types de bâtiments grâce à la *mensiocronologia*, un système destiné principalement à l'analyse des briques, mais aussi utile pour certains types de pierre (Mannoni, Milanese 1988; Pittaluga, Quirós Castillo 1997).

Si cet outil peut être utilisé pour visualiser-comprendre l'édifice par le lien étroit qu'il procure entre représentation et données archéologiques il peut aussi être utilisé pour vérifier la cohérence des données photogrammétriques, visualiser l'ajustement des photographies et contrôler les photos mesurées pour un bloc ou un ensemble de blocs (Fig. 11).

De la même façon, les faces mesurées des blocs peuvent être texturées avec une des photographies utilisées pour la mesure. Autres utilisations de cet outil (certaines d'entre elles sont actuellement en cours de développement): cet outil permet de vérifier le résultat final et d'obtenir un 'indicateur de qualité' par objet étudié. C'est la première étape d'un outil qui dédié au diagnostic dans un premier temps et qui pourra proposer une ou plusieurs solution en cas d'incohérence; cet outil permet une visualisation des textures des faces mesurées pour un rendu plus réaliste de la scène.

Enfin ce module sera également utilisé comme contrôle de l'ajustement photogrammétrique (orientation de photo, EMQ des points 3D, ellipsoïde de confiance).

Une autre possibilité de cet instrument est la génération automatique de nuages de points 3D. Les requêtes sur la base de données comme nous l'avons vu plus haut, nous permettent de sélectionner un ensemble de blocs et les photographies utilisées pour les mesurer. Nous avons utilisé les algorithmes

[11] En bas à droite, on peut voir comment le paramètre sélectionné, la longueur des blocs, n'est pas pertinent pour cette lecture archéologique.

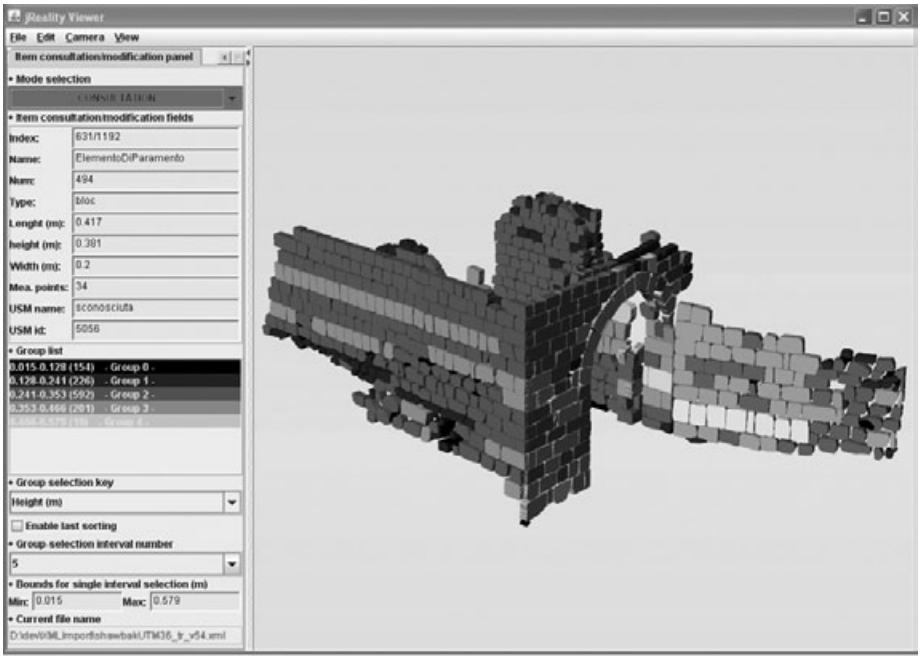


Fig. 10 – Visualisation 3D avec affectation de couleur en fonction de l'appartenance à une classe basée sur la hauteur des blocs.

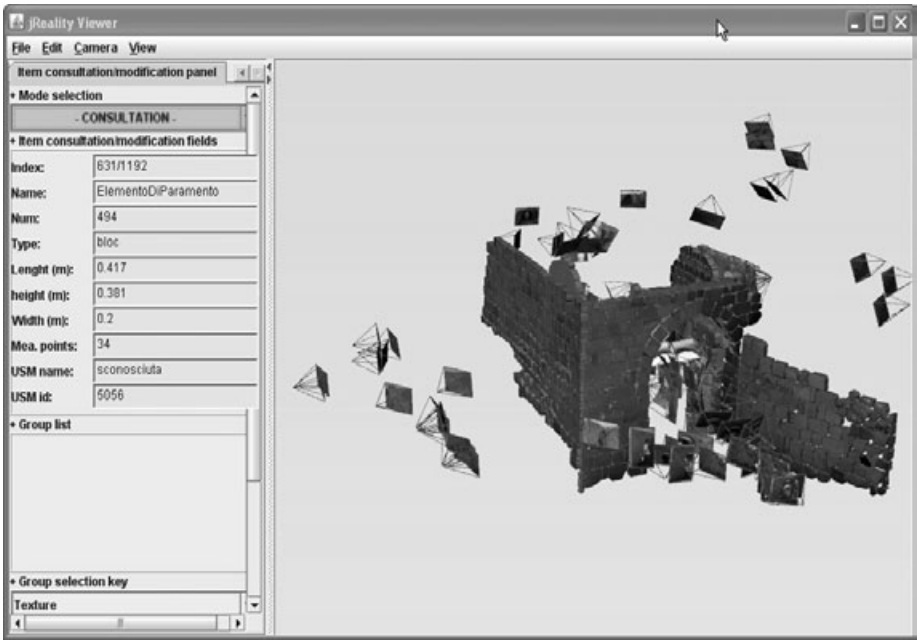


Fig. 11 – Visualisation 3D des blocs texturés et des photographies orientées.

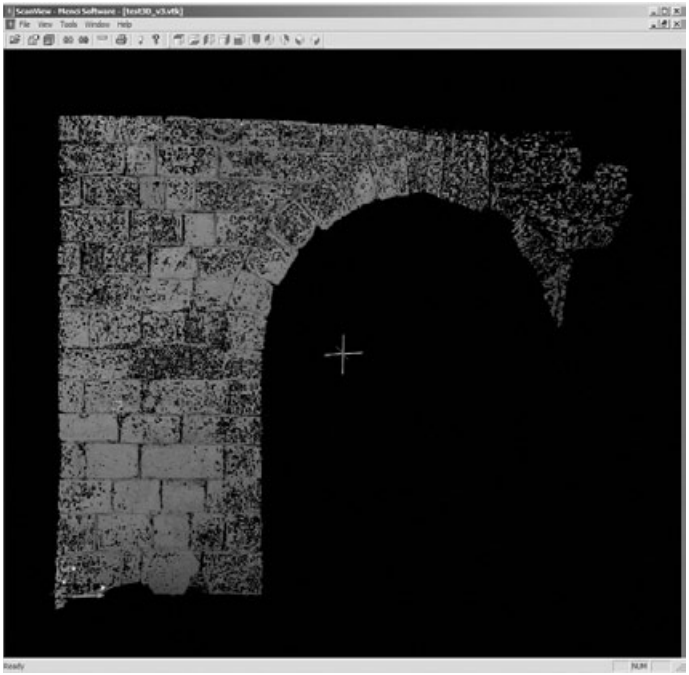


Fig. 12 – Génération de point de nuage 3D basée sur l'auto-corrélation et une surface approximative donnée par les blocs mesurés.

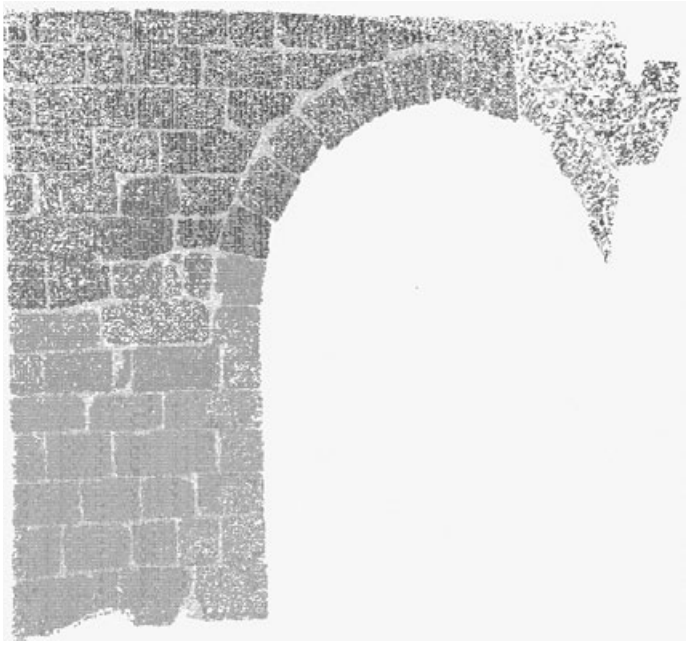


Fig. 13 – Génération de point de nuage 3D basée sur l'auto-corrélation où l'information sémantique est employée pour obtenir une couleur.

de densification de surface présentés plus haut afin d'obtenir un nuage de points 3D, dense, basé sur la corrélation automatique entre photographies. Le résultat est un nuage de point 3D, d'une densité comparable au résultat d'un scan laser mais sous tendu par la connaissance archéologique car les surfaces ainsi densifiées sont le résultat de requêtes sur la base de données.

Cette approche est une alternative au relevé par laser scanner avec en plus une composante sémantique puisque les surfaces densifiées sont requêtées dans la base de données. Les deux Figs. 12-13 (Pl. XIV, a-b) montrent la même zone étudiée avec une information de couleur issue de la fusion des différentes photographies utilisée pour le calcul des points 3D ou bien l'affectation d'une couleur au point 3D mesurés en fonction de son appartenance à un bloc d'une USM ou bien au mortier.

Cette qualification des points 3D est une approche très prometteuse car généralement les nuages de points 3D provenant de systèmes de mesure automatique ne disposent d'aucune sémantique. Dans la version présentée ici nous avons produits plus de quatre millions de points 3D sur la porte principale et nous les exportons les résultats avec VTK (Virtual ToolKit) bibliothèque open source de visualisation.

Enfin ce travail nous a conduit à discuter et réfléchir sur les relations physico-stratigraphiques qui sont à la base de l'archéologie stratigraphique. Les USM sont des concepts définis par des considérations topologiques et temporelles que sont formalisées par la matrice de Harris. En effet la matrice de Harris permet la visualisation d'une chronologie relative. Mais la matrice de Harris utilise un formalisme temporel sur lequel nous voulons réfléchir comme nouvelle perspective de recherche.

Elisa Pruno, Michele Nucciotti
Facoltà di Lettere e Filosofia
Università degli Studi di Firenze
Pierre Drap
CNRS UMR 6168 LSIS – Marseille

BIBLIOGRAPHIE

Brogiolo G.P. 1988, *Archeologia dell'edilizia storica*, Como, Edizioni New Press.

Burnouf J., Arribet-Deroin D., Desachy B., Journot F., Nissen-Jaubert A. 2009, *Manuel d'archéologie médiévale et moderne*, Paris, Armand Colin.

Doglioni F. 1988, *La Ricerca sulle strutture edilizie tra archeologia stratigrafica e restauro architettonico*, in Francovich, Parenti 1988, 223-247.

Drap P., Nedir M., Seinturier J., Papini O., Chapman P., Boucault F., Viant W., Vannini G., Nucciotti M. 2006, *Toward a photogrammetry and virtual reality based heritage information system: A case study of Shawbak Castle Jordan*, in M. Loannides, D. Arnold, F. Niccolucci (eds.), *VIIth International Symposium on Virtual Reality, Archaeology, and Intelligent Cultural Heritage VAST 2006*, 67-74, Eurographics Association and ACM SIGGRAPH, Nicosia, Cyprus.

Francovich R., Parenti R. (eds.) 1988, *Archeologia e restauro dei monumenti. I Ciclo di Lezioni sulla Ricerca applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano 1987)*, Quaderni del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti - Sezione Archeologia - Università di Siena, 12-13, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Harris E.C. 1983, *Principi di stratigrafia archeologica*, Roma, Carocci.

Mannoni T., Milanese M. 1988, *Mensiocronologia*, in Francovich, Parenti 1988, 383-402.

Parenti R. 1988, *Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato*, in Francovich, Parenti 1988, 249-279.

Pittaluga D., Quiros Castillo J.A. 1997, *Mensiocronologie dei laterizi della Liguria e della Toscana: due esperienze a confronto*, in S. Gelichi (ed.), *I Congresso Nazionale di Archeologia Medievale (Pisa, 29-31 maggio 1997)*, 460-463.

Vannini G. (ed.) 2007, *Archeologia dell'insediamento crociato-ayyubide in Transgiordania: il progetto Shawbak*, Biblioteca di Archeologia Medievale, 21, Firenze, All'Insegna del Giglio.

Vannini G., Nucciotti M. 2009, *Un problema di visibilità archeologica: territorio, analisi "leggere" e sintesi storiche*, in G. Vannini, M. Nucciotti (eds.), *Da Petra a Shawbak. Archeologia di una frontiera*, Catalogo della Mostra (Firenze 13 luglio-11 ottobre 2009), Firenze, 28-31.

ABSTRACT

The *Progetto Shawbak. Ricerca, conservazione e valorizzazione del Crac de Montreal* is a multidisciplinary project conducted by the Florence University Chair of Medieval Archaeology. An important objective of the work, pursued with the collaboration of Dr. Pierre Drap, Chargé de recherche at CNRS LSIS UMR 6168, is the realization of a 3D archaeological information system to manage a big amount of textual and graphic data. For this reason we tried to create a system that could handle all archaeological data in a single database that allows us to connect the 3D information derived from photogrammetric surveys with other archaeological records. *Showback* system is being tested on some Shawbak castle upright structures, including the huge Ayyubid Palace and a second site at the gate wall, and it aims to achieve the production of 2D and 3D representations through the queries it answers. This approach can obtain 3D representations of issues (e.g. possibility to see the USM of a particular phase in all analyzed buildings of the site) as well as new archaeological analysis (the development of quantitative analysis on the use of materials, the possibility of obtaining chronological data of the bricks, etc.). Finally, this research has led the Italian-French team to discuss the physics and stratigraphic relations at the basis of the Harris matrix.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 385-395

PRISE EN COMPTE DE L'IMPERFECTION DES CONNAISSANCES DEPUIS LA SAISIE DES DONNÉES JUSQU'À LA RESTITUTION 3D

1. Introduction

En interrogeant le passé, l'information archéologique est naturellement sujette à de l'imperfection. Nous en présenterons succinctement différents aspects (imprécision, incertitude, vague, conflit, lacune) qui peuvent intervenir sur les trois composantes que sont le temps, l'espace et la fonction. Dans un premier temps, elle doit donc pouvoir être identifiée, caractérisée et mémorisée dans le système d'information archéologique (qui peut-être basé sur un système d'information géographique comme l'indique James Conolly et Mark Lake 2006). En second lieu, se pose alors la question de la prise en compte de cette imperfection des connaissances dans les hypothèses archéologiques d'analyse, de production et de restitution. Face à ce besoin, nous avons fait le choix dans le projet SIGRem de travailler dans le cadre de la théorie des ensembles flous. L'étape finale de médiatisation des résultats peut de nos jours s'effectuer par une modélisation en 3 dimensions. Mais lors de cette dernière étape, la reconstruction réaliste étant très souvent perçue comme la vérité, nous perdons fréquemment la richesse des niveaux de confiance que nous avons en nos connaissances. Nous présenterons alors comment certains paradigmes visuels peuvent être mobilisés pour en permettre la perception dynamique dans des environnements virtuels 3D dédiés.

2. Différents aspects de l'imparfait

L'imperfection des connaissances est inhérente à toute appréhension du monde. Ne pas la prendre en compte peut être source d'erreurs d'interprétation et sa visualisation peut aider à la compréhension ou la prise de décision (Deitrick 2007). Elle doit donc être intégrée tout au long du processus, de l'acquisition des données à la restitution des hypothèses. Cela nécessite de pouvoir l'identifier, la modéliser et la quantifier.

Bien que de nombreux travaux aient été réalisés ces dernières décennies, il n'y a pas réellement à ce jour de terminologies et de définitions définitivement établies.

Il est possible toutefois, en s'appuyant par exemple sur les travaux de Peter Fisher (1999, 191-205) et de de Runz *et al.* (2008), d'identifier les quatre grandes catégories suivantes rappelées dans le Schéma 1:

Incertitude:

Il y a un doute sur la validité de la connaissance.

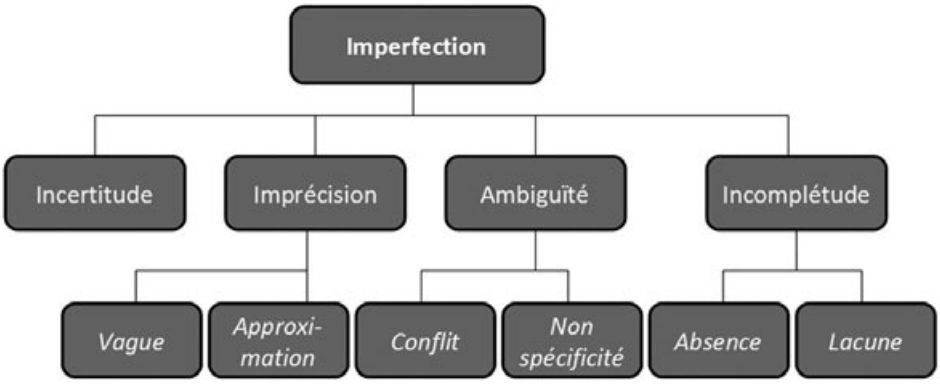


Schéma 1 – Une typologie de l'imperfection des données.

L'objet est bien défini mais sa réalisation est incertaine. Cette situation est souvent liée à l'aspect aléatoire de la mesure d'un phénomène physique.

Imprécision:

Il y a une difficulté à exprimer clairement les connaissances.

Cette fois, l'objet n'est pas suffisamment clairement défini. Il y a un manque de précision dans la définition de l'objet. Cela peut être dû à l'aspect *vague* de la sémantique du concept et/ou de ces limites. Il en est de même lorsqu'il est *approximé* par analogie avec des exemples avoisinants.

Ambiguïté:

Il y a une difficulté à être d'accord.

L'ambiguïté survient lorsqu'il y a un doute sur la manière de définir un objet ou un phénomène, c'est-à-dire quand un élément peut appartenir à plusieurs catégories disjointes ou d'échelles différentes, ou encore quand la description de l'élément peut donner lieu à plusieurs sens. D'une manière plus spécifique, il y a *conflit* si au minimum deux classifications contradictoires pour un unique objet sont possibles. Lorsqu'une définition d'une relation ou d'un objet peut amener à plusieurs sens, ou lorsque l'échelle de l'analyse est susceptible d'amener à de multiples interprétations, on parle alors de *non-spécificité*.

Incomplétude:

Il y a des connaissances manquantes ou partielles.

Les incomplétudes sont des absences de connaissances ou des connaissances lacunaires. L'*absence* est le phénomène qui survient quand dans une base de données, des valeurs manquent à la description de certains objets. La

lacune est le fait qu'un ou plusieurs objets de la base de données ne décrivent que de manière partielle une structure les englobant.

Les catégories que nous venons de présenter ne sont nullement exclusives. D'une manière générale, les données sont sujettes simultanément à des imperfections de plusieurs natures.

3. Diverses théories de représentation de l'imperfection

Afin de manipuler l'incertitude, de nombreux cadres théoriques ont été formalisés. Nous en présentons ici les principaux.

Probabilité:

Elle est liée à la mesure ou à l'estimation d'événements bien définis mais dont la réalisation est caractérisée par le hasard. La probabilité qu'un tel événement *A* survienne est ainsi définie par une fonction *P(A)* à valeur dans *[0;1]*. Elle est très bien adaptée au traitement de l'incertitude. Toutefois, la contrainte d'additivité des événements disjoints est une hypothèse forte qui ne peut pas toujours être validée.

(Sous-)Ensembles flous:

Dans ce cadre introduit par Lotfi A. Zadeh (1965, 338-353), l'appartenance d'un objet *x* à un ensemble *A* n'est plus booléenne (vrai/faux) mais est caractérisée par un degré d'appartenance $\mu_A(x)$ pouvant varier dans l'intervalle *[0;1]* où les valeurs extrêmes correspondent aux valeurs booléennes classiques avec 0 pour faux et 1 pour vrai. De nombreuses extensions au "flou" de la représentation booléenne (tout ou rien) du monde ont été développées: logique floue, arithmétique floue… Ce formalisme conceptuel est bien adapté au traitement de l'imprécis.

Théorie des possibilités:

Introduite par Lotfi A. Zadeh en 1978 (Zadeh 1978, 3-28), les fondements de la théorie des possibilités ont été édités par Didier Dubois et Henri Prade dans *Théorie des possibilités* (Dubois, Prade 1985) et *Possibility Theory* (Dubois, Prade 1988). L'incertitude d'un événement *A*, au contraire des probabilités, est caractérisée par deux valeurs: sa possibilité *(A)* et sa nécessité *N(A)*. Cette approche est bien adaptée à la gestion d'information imprécise dans un environnement incertain

Théorie de l'évidence/des croyances/de Dempster-Shafer:

Dans ce cadre plus général introduit par Arthur Dempster (1968, 205-247) puis Glenn Shafer (1976) et étendu par Philippe Smets et Robert Kennes (1994, 191–243), une connaissance imparfaite sur l'univers est représentée par une masse de croyance définie comme une fonction de l'ensemble

des parties de cadre de discernement dans *[0;1]*. Elle permet aussi la construction de croyance et de plausibilité qui encadrent la probabilité. Pouvant être perçue comme une généralisation des théories précédentes, elle est un cadre idéal pour le traitement différencié de l'incertain et de l'imprécis, ainsi que pour la fusion d'informations multi-sources.

Logique bipolaire

Lorsque l'on dispose en plus de l'information sur la non existence (information négative), il est intéressant de pouvoir gérer un degré pour l'appartenance à *A* et un autre pour *non-A* comme le précise Isabelle Bloch (2010, 91-112).

Ensembles approximatifs (Rough Sets):

Une autre approche peut consister en une approximation formelle d'un ensemble classique (ensemble approximation haute/possible et ensemble approximation basse/nécessaire).

Il n'était pas ici question d'être exhaustif mais de présenter les approches fondatrices de la manipulation de l'imparfait formant une branche de ce que l'on nomme maintenant le *Soft computing*.

4. Représentation dans le système d'information

Ces diverses formes d'imperfection de l'information s'appliquent à toutes les caractéristiques propres des entités manipulées dont, selon Xavier Rodier et Laure Saligny (2007), les composantes sont le temps, l'espace et la fonction/sémantique. Il en est de même dans la gestion des relations entre entités.

Issus des travaux de normalisation en géomatique pour la gestion et l'échange des données (normes ISO19113, ISO19115), la qualité de l'information géographique peut être mémorisée dans le système d'information par le biais des métadonnées. Toutefois cette connaissance ne correspond pas directement à une représentation de l'imparfait et ne peut pas être directement utilisée.

Les modalités de stockage interne les plus classiques sont l'association d'intervalles de confiance, de degrés de croyance, de fonctions d'appartenance… Le choix que nous avons mis en œuvre actuellement dans GISSAR est celui des fonctions d'appartenance des ensembles flous.

5. Exemples de reconstruction à partir de connaissances imparfaites: 2D

Dans le cadre du projet GISSAR relatif à la mise en œuvre d'un Système d'Information Géographique en Archéologique dédié à la cité des Rems, nous nous sommes intéressés à l'analyse du maillage des rues en fonction des dif-

férentes époques. Chaque donnée est issue de résultats de fouilles et correspond à l'identification ponctuelle d'un segment de rues. Elles sont caractérisées par trois attributs: un positionnement, une estimation de l'orientation et de la période d'activité.

Au niveau de la position, les sources d'imperfection peuvent être multiples: précision des instruments de mesure, aspect approximatif du recalage par rapport à des repères visuels pris dans le voisinage du site de fouille… Pour l'orientation, en fonction de la qualité des objets trouvés, celle-ci est objectivement estimée avec une imprécision plus au moins grande. Quant à la datation, celle-ci est fournie par un label identifiant une période temporelle dont les limites sont floues.

Pour exemple, un segment de rue peut être caractérisé par les valeurs d'attributs:

– Localisation: 723325 ± 2 m, 174361 ± 2 m;
– Orientation: 210° ± 5°;
– Datation: Gallo-romain.

Ces imperfections sont modélisées par l'utilisation d'objets flous. Pour cela, nous définissions des fonctions d'appartenance pour chacun des attributs (composantes de l'information) dont les valeurs sont maximales (vrai=1) pour les valeurs caractéristiques et décroissantes (jusqu'à faux=0) plus on s'en éloigne. Des exemples sont présentés dans la Fig. 1, Pl. XV, a.

Ces informations sont alors utilisées dans une adaptation floue, proposé par Joon Han *et al.* en 1994 (Han, Koczy, Poston 1994, 649-648), de la transformée de Hough. Cyril de Runz et Eric Desjardin (de Runz *et al.* 2010, 341-356) ont publié en 2010 la méthode de construction de cette requête. Nous obtenons alors un ensemble d'hypothèses de présence de rues en fonction des époques, hypothèses portant une estimation de l'assurance que nous avons de la réalisation de cet événement (Fig. 2, Pl. XV, b).

6. Exemples de reconstruction à partir de connaissances imparfaites: 3D

Un autre exemple porte sur la reconstruction virtuelle en 3D d'un bâtiment. Construite au 13ème siècle, l'abbaye Saint-Symphorien de Reims fût définitivement détruite au XVIIIe siècle. Elle n'est plus perceptible qu'à travers les traces qu'elle a laissées dans le passé: fouilles de l'INRAP, croquis anciens, documents sur des travaux médiévaux qui peuvent être enrichis par des connaissances historiques complémentaires telles les hypothèses fortes d'une très grande similarité avec la basilique St-Remi (Reims).

Il est bien évident dans ce genre de travaux que les connaissances que nous pouvons recueillir sont partielles, lacunaires, approximatives, imprécises…

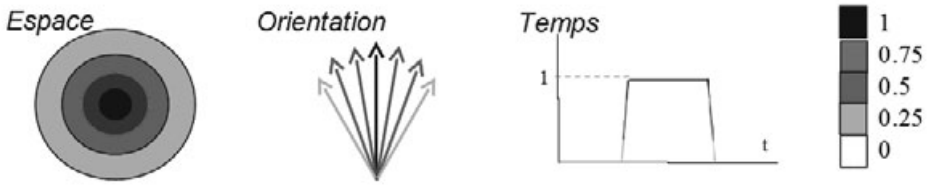


Fig. 1 – Exemples de modélisation par des objets flous.

Fig. 2 – Hypothèses valuées de présence de rues de *Durocortorum* au IIIe siècle ap. JC: les hypothèses sont en niveau de gris superposées sur un plan des voiries issu d'expertises (en noir).

Les questions qui se posent sont alors: une reconstruction est-elle possible à partir des informations partielles retrouvées? Comment formaliser les hypothèses? Comment les valider interactivement? La structure imaginée par l'historien est-elle consistante en 3D?

Les recherches que nous menons portent alors sur la mise à disposition efficace auprès de l'utilisateur de l'évaluation de la certitude que nous avons sur les connaissances visualisées dans une reconstruction.

7. Modalités de restitution

Un certain nombre de travaux ont déjà été réalisés dans le cadre de la visualisation 2D: cartographie, Systèmes d'Information Géographique, visualisation de données scientifiques, urbanisme, archéologie… La visualisation de l'imparfait dans le monde de l'information géospatiale est un problème important comme l'indique l'article d'Alan MacEachren *et al.* (2005, 139-160). Un des axes de la recherche dans ce domaine concerne le passage à la prise en compte de la troisième dimension et du temps.

L'utilisation d'un environnement immersif 3D stéréo permet-elle l'activation de nouveaux paradigmes de représentation de l'imparfait? Afin de répondre à cette question, nous mettons en place quelques modalités de perception permettant la prise en compte de l'imperfection. Celles-ci s'appuient sur les techniques:

Virtualité augmentée

Dans ce cas précis, Il s'agit d'ajouter des informations non visuelles (degré d'appartenance ou de croyance) au sein de l'environnement virtuel dans lequel l'utilisateur est immergé:

Représentation interne

Les attributs non visuels d'un objet peuvent être représentés par une couleur ou une info bulle accrochée à l'objet. Cette représentation assez courante en cartographie n'est pas appropriée aux environnements virtuels immersifs où la lecture de texte est peu confortable (dans le cas des infos bulles) et où l'utilisation de couleurs peut interférer avec les textures et l'éclairage du monde virtuel et nécessite l'affichage en surimpression de l'échelle des couleurs.

Représentation dynamique

Plutôt que d'ajouter de l'information visuelle statique en superposition de l'environnement virtuel, on peut altérer les propriétés visuelles intrinsèques des objets pour renseigner l'utilisateur sur la valeur de leurs attributs non visuels. Par exemple, faire scintiller un objet 3D avec une fréquence proportionnelle à son degré d'appartenance. Ou animer un objet pour que ses

dimensions géométriques (longueur, largeur, hauteur) parcourent toutes les valeurs de l'intervalle de confiance.

Représentation interactive

Dans ce mode de représentation, le spectateur du monde virtuel devient acteur dans la mesure où l'on peut solliciter chez lui d'autres sens que la vision. A l'aide d'un dispositif haptique à retour d'effort, l'utilisateur peut glisser sa main "virtuelle" sur la surface d'un mur et "ressentir" le degré de croyance en fonction de la réponse, dure ou molle, du dispositif haptique.

7.1 *Lunette de réalité dans les mondes virtuels*

Alors que la tendance a été ces dernières années d'aller vers de plus en plus de réalisme visuel, force est de constater qu'elle nous éloigne très souvent de la réalité de la connaissance que nous avons en ne permettant pas la perception par l'utilisateur de son imperfection. Il nous faut alors dans un environnement interactif inverser ce paradigme et "chaussez des lunettes de réalité". Le système de restitution fournit alors, en fonction des réglages du filtrage perceptif du monde, des modalités différentes permettant de percevoir les zones où notre connaissance est plus ou moins sûre.

Pour exposer notre propos, nous nous appuierons sur un exemple de reconstruction d'un site à partir de données de fouilles. L'emplacement au sol est bien défini. Par contre, l'architecture des bâtiments est assez sûre sur le devant et hypothétique sur l'arrière. Trois niveaux de perception sont présentés dans les Figs. 3, 4 et 5. Dans le premier, nous souhaitons percevoir le monde avec un niveau élevé de réalité quant à la justesse de la connaissance que nous avons. Comme nous connaissons en fait peu de chose, nous utilisons un paradigme de représentation de type *cartoon*. A l'opposé, dans le dernier niveau, nous souhaitons une visualisation dite *réaliste* en synthèse d'image dans le sens où elle se rapproche d'une photo que l'on aurait pu prendre d'un bâtiment *réel*. Mais dans ce cas, au regard de la réalité de nos connaissances, il s'agit bien d'une construction purement virtuelle. Les niveaux intermédiaires peuvent utiliser d'autres paradigmes de représentation comme la transparence, le floutage, la superposition, le niveau de détail… Zuk *et al.* (2005, 99-106) ou encore Maria Riveiro (2007, 1-8) ont testé plusieurs d'entre-elles en 2005. Dans l'exemple intermédiaire que nous avons appelé semi-réel, des techniques différentes sont utilisées selon les degrés de confiance: réaliste si la connaissance est sûre (partie avant), *cartoon* si elle est hypothétique (partie arrière) et réaliste avec superposition de traits gras sur les contours si elle est assez probable (partie intermédiaire).

La possibilité de changer dynamiquement de *point de vue* dans la dimension *vérité de l'information construite* est un apport nouveau dans les mondes virtuels.

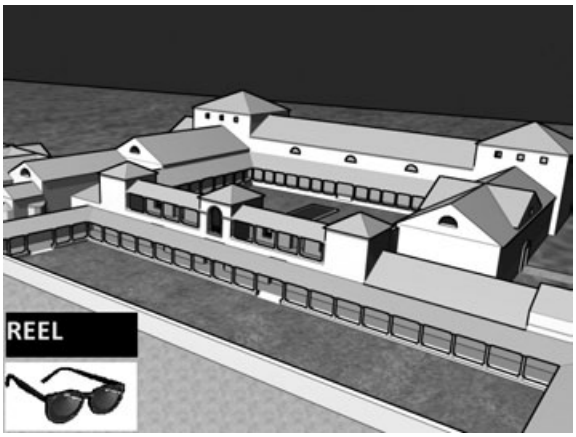


Fig. 3 – Modalité de représentation de la réalité de la connaissance.

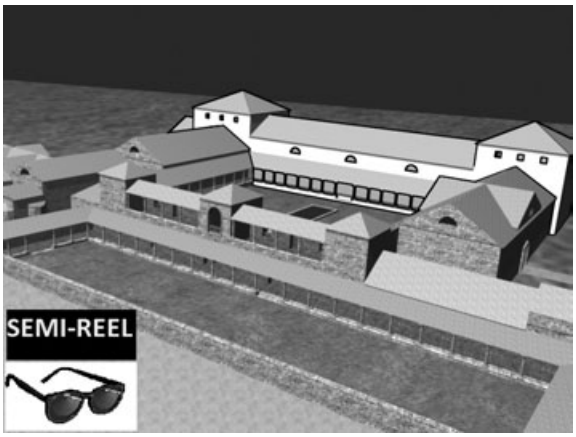


Fig. 4 – Modalité de représentation semi-réelle de la réalité.

Fig. 5 – Modalité de représentation virtuelle des connaissances.

8. Conclusion

L'imperfection des connaissances est un phénomène naturel auquel l'archéologie est tout particulièrement sujette. Nous avons présenté une typologie des sources d'imperfection puis des principales théories. Puis dans un premier exemple, nous en avons exposé une prise en compte de bout en bout de l'acquisition à la restitution d'hypothèses spatiales et temporelles. L'exemple suivant a permis d'exprimer nombre d'interrogations quant à la validité de représentation pseudo-réaliste de bâtiments en 3D. Dans ce cadre il semble pertinent de fournir à l'utilisateur plusieurs modalités de représentation permettant de rendre compte dynamiquement de l'assurance que nous avons dans les connaissances projetées en lui permettant de chausser des *lunettes de réalité* dans les environnement virtuels immersifs 3D stéréo. L'extension de cette perception de l'imperfection par le biais des capteurs haptiques est l'un des axes de nos travaux à venir.

Eric Desjardin
GEGENAA – URCA
Université de Reims Champagne-Ardenne

Olivier Nocent, Cyril de Runz
CReSTIC SIC
Université de Reims Champagne-Ardenne

Remerciements

Ce travail a été financé par la Région Champagne-Ardenne dans le cadre des programmes SIGRem puis ArchéoChamp et s'est nourri des collaborations avec le laboratoire de recherche GEGENAA, le SRA, l'INRAP et le Service Archéologique de Reims-Métropole que nous tenons à remercier. Le modèle 3D a été conçu par le cabinet rémois d'architectes "BLP Architecte".

BIBLIOGRAPHIE

Bloch I. 2010, *Bipolar fuzzy spatial information: First operations in the mathematical morphology setting*, in R.K. De, D.P. Mandal, A. Ghosh (eds.), *Machine Interpretation of Patterns: Image Analysis and Data Mining*, World Scientific Press, 91-112.

Conolly J., Lake M. 2006, *Geographical Information Systems in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.

de Runz C., Desjardin E. 2010, *Imperfect spatiotemporal information modeling and its analysis in a generalization process in a GIS: Application to archaeological information*, in R. Jeansoulin, O. Papini, H. Prade, S. Schockaert (eds.), *Methods for Handling Imperfect Spatial Information*, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 256, Berlin, Springer Verlag, 341-356.

de Runz C., Desjardin E., Piantoni F., Herbin M. 2008, *Toward handling uncertainty of excavation data into a GIS*, in *36th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Budapest, Hongrie.

Deitrick S.A. 2007, *Uncertainty visualization and decision making: does visualizing uncertain information change decisions*, in *XXIII International Cartographic Conference*, Moscou.

Dempster A. 1968, *Generalization of Bayesian inference*, «Journal of the Royal Statistical Society», 30, 2, 205-247.

Dubois D., Prade H. 1985, *Théorie des Possibilités. Applications à la Représentation des Connaissances en Informatique*, Paris, Masson (Collection Méthode + Programmes).

Dubois D., Prade H. 1988, *Possibility Theory*, New York, Plenum Press.

Fisher P. 1999, *Models of uncertainty in spatial data*, in P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D. Rhind (eds.), *Geographic Information Systems: Principles and Technical Issues*, New-York, Wiley, 191-205.

Han J., Koczy L., Poston T. 1994, *Fuzzy Hough Transform*, «Pattern Recognition Letters», 15, 649-648.

MacEachren A., Robinson A., Hopper S., Gardner R.M., Gahegan M., Hetzler E. 2005, *Visualizing geospatial information uncertainty: What we know and what we need to know*, «Cartography and Geographic Information Science», 32:3, 139-160.

Riveiro M. 2007, *Evaluation of uncertainty visualization techniques for information fusion*, in *10th International Conference on Information Fusion (ICIF)*, 1-8.

Rodier X., Saligny L. 2007, *Modélisation des objets urbains pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée*, in M. Batton-Hubert, T. Joliveau, S. Lardon (eds.), *SAGEO'07, Rencontres internationales Géomatique et territoire*, http://www.emse.fr/site/SAGEO2007/CDROM/index.html.

Shafer G. 1976, *A Mathematical Theory of Evidence*, Princeton, N.J., Princeton University Press.

Smets P., Kennes R. 1994, *The transferable belief model*, «Artificial Intelligence», 66, 191-243.

Zadeh L.A. 1965, *Fuzzy sets*, «Information and control», 8, 338-353.

Zadeh L.A. 1978, *Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility*, «Fuzzy Sets and Systems», 1, 3-28.

Zuk T., Sheelagh M., Carpendale T., Glanzman W.D. 2005, *Visualizing temporal uncertainty in 3D virtual reconstructions*, in *International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST)*, The Eurographics Association, 99-106.

ABSTRACT

By questioning the past, archaeological information is naturally prone to imperfection. Through a series of examples, we will briefly present its various aspects (inaccuracy, uncertainty, vagueness, conflict, lack) which can apply to time, space and function. The first stage consists in the identification, characterization and recording of imperfection in the archaeological information system. At the second stage, the question arises of how the imperfection of knowledge in archaeological hypotheses should be taken into account in terms of analysis, production and restitution. In the SIGRem project, we have chosen to resort to the Fuzzy sets theory. At a final stage, although the promotion through the media of results can nowadays be carried out by a 3D modeling, realistic reconstruct being very often confusingly perceived as truth, we tend to lose the richness of confidence levels we have in our knowledge. Therefore, we will also describe how visual paradigms can be used to enable dynamic perception of uncertainty in dedicated 3D virtual environments.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 397-410

FROM PLAN TO VOLUME: THE NEED FOR ARCHAEOLOGICAL ANALYSIS IN 3D MODELING

1. Introduction[1]

Before looking into obtaining a complex vision (drawings, models and now 3D models) of available archaeological data, it is necessary to re-introduce a simple vision of these data in archaeology. An approach enabling one to naturally uncover archaeology's real potentials involves studying the data according to their composition, since it is the quality of the original materials of which they are made which allows them to be preserved; accurately understanding data from the past in their former reality; and finally defining what is out of range. What the archaeologist generally fails to understand is that it is necessary to know the material aspect of items should he want to analyze them, since the only evidence left by ancient peoples, other than texts, is of a physical nature. At this level, the technological as well as physical and chemical tools available today do not allow the acquisition of this knowledge by oneself. For the latter to be considered a tool, the archaeologist must first be able to ask the right questions, which is unlikely if, in a field like architecture, the researcher argues by plan and not by volume (Heinrich 1982, 1984) or if he looks upon the social or symbolic aspects of a construction, without first having looked into understanding the structure itself.

As an example, a house is in fact a place where the daily life of a population is expressed: lifestyle, worries, dangers, climatic characteristics, food supply and problems, technical aptitudes, family and social relationships, etc., so much so that the social and symbolic aspects generally prevail. Yet, if the study involves an incomplete monument whose physical limits are unknown, can one really believe that these conclusions will have any value? Discovering the original characteristics of a building is therefore a priority from which social and symbolic analysis will follow, whether it is for a house or any other construction. But in order to be sure to avoid entering into an imaginary world, one must know how to find the clues in the exposed remains, thus allowing a return to the original form while conceptualizing the theoretical limits in which those clues play a role. The evident impossibil-

[1] The text presented here is the result of Prof. J.-Cl. Margueron's thought. The intervention of Dr. J.-O. Gransard-Desmond is due to his work on the Red House at Mari (a significant practical case not developed for publishing reasons) with the preparation of its communication and publication. We thank Carol Osborne for the translation and Janine Hingston and Chris Esnault for corrections.

ity of combining fieldwork with theory compels the authors to stay within theoretical studies in this article, but fieldwork information is available in the bibliography[2]. Geographical and chronological characteristics do not pertain to this methodology. Although the theoretical point of view is based on cases going back to the Near-Eastern Bronze Age, involving mudbrick architecture, the applicable human and physical constraints are independent of time and space. Only the nature of these requirements is subject to modification in function of the country's climate and of the original materials of construction. For example, a mudbrick house does not react to heavy rain the same way as a stone or straw house.

2. Definition of a methodological basis

2.1 *Objectives*

In mudbrick architecture, particularly in the Near East, excavations always uncover incomplete buildings. Often, the height of the remaining walls does not amount to more than a few tens of centimeters, often with the site of the doors marked by installations such as bearings or threshold flagstones, if these were not removed in antiquity. Sometimes, this height can rise to one metre or slightly more, very rarely to two metres, and in one extremely rare case, higher. If a building burned down, some carbonized remains of its structures might still be visible. If a building was abandoned, usually only traces from scrubbing the walls remain. Not one single building has ever been found complete or in a state suggesting that everything about it is known, or even basic information about it, nothing which can compare to the Roman-Byzantine house of Bamuqa in Northern Syria. There, all that was needed was simply to replace the roof beams in their slots at the tops of the remaining walls to reinstall the original roof.

Archaeologists, even those specialized in architecture, generally content themselves faced with the degraded state of old buildings by reproducing only the outline of the walls at ground level without always giving the height of the walls found by using cross-sections or simply altimetric indications. This graphic translation most frequently erases the existence of volume and even removes the depth of the archaeological layer. For example, if one wants to create a representation of a house and portrait of the archaeologist living in it, one would come to the conclusion shown in Fig. 1, that is, the archaeologist reduced, like the wall, to his contact with the floor. What could one make of a man if there was only the outline of his feet? Well, practically nothing! So, what can be known of a building when limited to its contact with the ground?

[2] See Butterlin *et al.* 2006, XVII-XXXI and more precisely the section "Ouvrages" 1982, 2004 and "Articles" n. 71, 118, 128, 133; Margueron 2005, 2009.

Practically nothing. Believing that life can be defined this way is unrealistic, and is not historically truthful. Thus, if one wishes to use architecture in the definition of the ways of life in the past, it is essential to return to its true dimensions, as is done, for example, with ceramics. Can one imagine what would remain of a ceramic object if only its contact with the ground would were represented? However, except for cases where excavation reveals only foundations, i.e. when one finds oneself below the level of real occupation of the building, one can work on this privileged zone which is the contact between the walls and their base, i.e. the place where all the forces emanate from the structure and where the building's stability is ensured. In fact, the walls transmit forces resulting from all the pressures exerted from the top of the building. Their point of support, i.e. the floor, expresses the totality of these forces. This is thus a track which the researcher can follow when examining the floorplan's characteristics, because some of them make it possible to reveal more of the structures, sometimes to the top of the building.

Thus the objective of any architectural study in archaeology can only be to find the original shape of buildings as defined during the excavations.

2.2 *Man, a measurement of architecture*

2.2.1 What is a building?

Before going any further, it is certainly useful to specify the fundamental characteristics of a building, whatever its function might be. Bruno Zevi (1959) has defined any construction as a portion of space issued from infinite space and placed inside a material shell, giving rise to an interior space where its foreseen activity takes place, and to an exterior space in which the closed space is set up. One can thus see the latter in two different ways, either from the outside, giving the perception of its outline and its facades in an open area, or from the inside, where one will then have the feeling of a finite world with visible limits. The building appears then like a box, the precise shape of which matters little at this point of the investigation. However one must wonder why man would build this box. The answer is simple: above all for protection; protection of oneself and of one's family against bad weather and the animal world, protection of property and especially food reserves, and protection against the aggressions of the world and other men, to ensure survival.

Although a building is a fixed point from the world, unlinked to the exterior, this constructed site cannot be a completely closed space: man does not build to be enclosed. Thus, it is a hollow volume which shelters man and/or some of his activities. It is not a sculpture (unless it is considered to be hollow).

If one needs to obtain a good knowledge of the building used by men at a given time in history and in a precise location, one will have to know in a general way:

– its complete morphology (walls, foundations, roof (if any), etc.),
– its internal organization (if any), and particularly the absence or presence of floors,
– the nature of relations between the inside and outside,
– the organization of internal relations horizontally,
– and the eventual organization of internal relations vertically.

Thus, to understand a building in order to use it as a historical source means to have understood all its components as mentioned above, and which will now be presented in detail.

2.2.2 Constraints in building construction

The fact that man uses a building as his base for life implies numerous and various characteristics:

– Man is a being of flesh and blood, with a height[3], a width[4] and a thickness, and thus a volume, and his dwelling (itself a volume defined by its height, width and length) reveals the average unit of men in his ethnic group. Indeed, architecture being made for man, man is the measurement of architecture.
– Man builds a house to protect himself, but he cannot live totally enclosed, as discussed before. As the centre of activities in connection with external space, he must be able to come and go as he pleases, the protective function then requires some access control and openings (doors).
– Man must travel towards the exterior (see above) as well as within the building: this creates specific axes of motion and a hierarchical organization of different spaces defined in the construction; these movements are both horizontal and vertical.
– Man must have light since he cannot go about in total darkness: hence a requirement for light sources, making their installation and a good use of open-air or covered spaces practical obligations.
– Man must breathe, for which reason air vents must be planned, either with openings in walls or in ceilings: a system of ventilation means both are in use. Generally, doors and windows are enough to ensure circulation, but in the event of harmful gases (such as with fires), it is necessary to be able to ensure their evacuation by special openings such as chimneys.
– Man's activity generates by-products that he must dispose of.
– All things considered, man must live in his house: that means eat, drink, sleep, and work in different ways.

[3] Although the hight of rooms with practical use (library, conservation room, etc.) and symbolic use (reception hall, throne area) is subject to other constraints, that of a room for day-to-day life should not be higher than four or five meters, which is even then quite high.

[4] That of the shoulders (an average of some sixty centimeters) being the widest, this already defines a limit under which architecture cannot be suitable if man needs it to evolve.

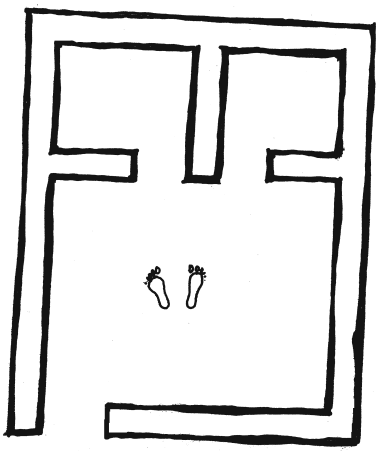


Fig. 1 – In the centre of the first room, a portrait of an archaeologist depicted using the same type of representation as the house he has just drawn (O. Callot).

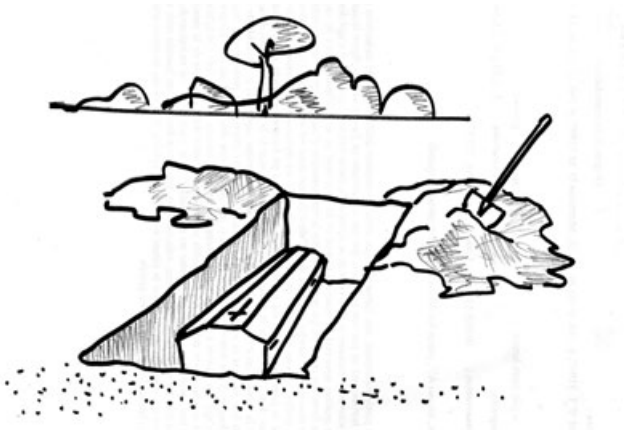


Fig. 2 – A construction cannot be a totally enclosed space unless it is a coffin (Ch. Esnault).

All these facets of man's activity in his chosen space for life, pertaining as much to archaeological analysis as to architectural analysis, must be regarded as parameters able to intervene in an analysis leading to the volumetric reproduction of a building. Without that human approach, the same study would not be related to a building or a living space but to a simple hermetically closed box, such as a coffin (Fig. 2).

2.3 *Analytical elements*

2.3.1 Archaeological analytical elements

The methods of a structure's destruction, and remains other than architectural, constitute the archaeological clues which allow the researcher to understand the construction and the organization of the building. Thus, in the palace at Mari, archaeological observations stressed the presence of varied materials and objects between the walls, with variable heights *in the ruins* filling the rooms (and not only the floors): hundreds of boards (room 5), seals (room 77), fragments of murals (room 220), paved floor elements (room 79) or simply a coating (room 220), baths, etc. From where could such a diverse, possibly miscellaneous stock originate unless from an entire upper floor? How could it be mixed with the ruins, which could only come from a structure, unless it had not been in daily use on that specific floor? Similarly, at Tell Madhur, archaeological clues are to be found within the walls. A large part of these walls only remained upright because they were buried under the ruins of the structure. Yet the volume of these ruins implies the presence of an upper floor, just like at the Red House at Mari. Finally, the last clue is the assessment of the building's collapse.

These three examples clearly show how an archaeological analysis enables an understanding of the construction, but this analysis should not be isolated. Not only should it consider the physical constraints of architecture, but also the documents' relations to each other (seriation and typology).

2.3.2 Architectural analytical elements

Besides the constraints brought forward relating to man's activity, certain architectural notions are important, mainly:

– The laws of physics control the building's stability. The concept of stability is as fundamental for life as it is in a building; it implies taking into consideration the existence of vertical loads or pressure loads, and of structural lines which conduct and distribute these tension fields. It should be known that, for example, a pillar, or any other foundation feature, must have something to support, sometimes in relation to the diffusion of light, prior to having any religious function. Regarding the principle of the relation between a plan and its rise, another example is that of facing pilasters in a hallway; these would mark a curved door and would not simply be a decoration on the wall. Two pairs of opposite pilasters allow the possible existence of a vestibule and a cross-sectioned passage on the upper level while lighting the hallway. Two lengthened and narrow spaces on the ground can reveal the existence of a two-step staircase. There are many examples to be found in the study of mudbrick architecture.

– A manufacturer, whether an architect, a contractor or a private individual, never does anything without reason when constructing a building. He always proceeds in relation to a goal which must be found.

– If an anomaly or an absurdity appears, it is very likely the result of poor excavation, the ignorance of the excavator, or erroneous reasoning, in any case certainly not from man's absurdity, whether he is from the Neolithic or the Middle Ages.
– An architect does not plan a construction starting with the ground floor to go on to add one (or several) floors, as the method of presentation that archaeologists use could suggest: he rather conceives the entire volume to be constructed and organizes its substructure (with its own requirements) according to the predefined layout of spaces above. This means that the ground floor displays all the constraints of the upper parts, and that these constraints can be revealed even in incomplete buildings, such as those uncovered during an excavation.

To what precedes more precise details should be added regarding the material used in the cases under study. To understand and restore the original volume of Near-Eastern architecture, it is necessary to keep in mind that this architecture has mudbrick as its raw material. Knowing the qualities and faults of the material is obviously essential, but it is necessary to really understand them and not simply be satisfied with *a priori* estimates and assumptions, as it is too often still the case[5]. There are however research centres on mudbrick architecture with which a collaboration can prove to be very profitable[6]. It is also indispensable to announce a track which has not yet been taken in consideration until now and which appears extremely productive. It relates to the methods of destruction of mudbrick architecture. A lot of information can be inferred through observing the ruins of a building towards understanding how it was destroyed, and from there, how it was before its destruction.

2.4 *Principles of methodology*

It is thus necessary to start from what is known, by specifying as precisely as possible what is contained in general information, and to move towards what has disappeared, what must be found and what could be deducted from what is known. For this, the researcher has two different sources available:
– archaeology, that is archaeological traces, clues and material in relation to technical aspects of the building;
– architecture itself, that is what remains of the monument, but also any information in relation to the fundamental architectural data. A starting point

[5] During a presentation in the *Rencontres Assyriologiques Internationales* in Leiden in July 1993, while a speaker disputed (on the basis of what?) the possibility of constructing an upper floor above walls 40 cm thick, one of the archaeologists present in the room shared his own experience on the matter: he had personally lived in houses with an upper floor and walls 40 cm thick.

[6] For example, the mission of Mari works in close collaboration with the CRATerre (International Centre for the preservation of mudbrick architecture), a branch of the Grenoble college of architecture, not only for restoration works but also towards an understanding of the characteristics of mudbrick architecture.

which is similar in both fields corresponds to these two sources: an inventory of archaeological data and an inventory of visible architectural characteristics.

At this point:

– the credibility of the excavation should have been established through its architectural information. Many plans are the product, not of an observation on-site, but rather of an interpretation on the excavator's part, and of a transformation of an archaeological reality which follows his logic. His precise initial information must be found;
– the stratigraphy of each room must also be defined, keeping in mind the methods of destruction and deposit relating to the building under study, and keeping in mind that buildings do not evolve the same way, and a strict analysis is necessary on this point.

Then, taking into account the results of these two analyses, the two inventories can be linked by establishing a connection between the architecture and the archaeology of the monument.

Different architectural parameters come into play at this stage:

– organization of the plan and its circulation,
– thickness of the walls,
– remaining height of walls, and volume to be filled by the collapsed structures,
– methods of filling,
– eventual possibility of a staircase,
– list of structural anomalies,
– data on foundations,
– stratigraphic positions of objects,
– types of erosion and deposit.

And the relation between all this information makes it possible to establish different complementary data relating to volume. However, this can only be done through a logical and progressive sequence, in which:
– each stage of the demonstration can be accompanied by drawings or 3D-models which emphasize the specific analysis or specific features. A drawing or a 3D-model is in the end only an expression of all these combined steps. It is necessary to warn against a practice which is becoming more frequent and is meaningless; it involves a desire to create the impression of volume by raising the foundation plan by a couple of metres and replicating this same plan on the top of the figure: all that has been done is to raise the foundation plan and no real research has referred to the building. Far from being an approach to volume, this method does nothing but introduce an illusion of volume, always very far from reality (Fig. 3).
– The last step consists in establishing a contradictory assessment in order to check the logical basis and range of the demonstration, and to ensure

the correct operation of all solutions adopted, individually and collectively. Finally, counter solutions must be presented; if they are difficult to establish, or if they do not take all data into consideration, they must be abandoned, because the best proposition is always one that takes into account the most evidence within a logical system. But if, on the contrary, one of these counter solutions offers a more complete, more efficient use of the data, then it would have to be preferred to the first solution, as it would mean the first had been developed for another reason, at the expense of effectiveness.

Once this work is done, it remains to be seen if the result fits within a series or if the document represents an anomaly in relation to what was known until now. Further research would then begin, which would consist of checking the analyses of other constructions or leaving aside this result until new discoveries support or modify its basic reasoning. It would be necessary under such conditions to take care not to introduce from the anomaly significant features in relation to the current production, and therefore in relation to the way of thinking. The source of information would only become interesting when other monuments offer identical typological characteristics, because it would then be legitimate to engage in comparison and to transfer certain specific features from a singular example to the series as a whole.

Despite his talent, no researcher is immune to a lack of information which forces the archaeologist to recreate some parts which are not well known or unknown, forcing him to infer the final result. Now, as technology simplifies his work, the archaeologist simply cannot submit his results as a single reconstruction. Fig. 4 presents an attempt to provide a range of possibilities with several drawings in order to draw attention to the hypothetical nature of items for which no information is known, for example the location of windows. This solution, which had the merit of scientific honesty, is nowadays no longer sufficient. Indeed, quickly, not only just one of the hypotheses is becoming the only possible restitution (Fig. 4,d), but also the different assumptions do not provide enough accurate information on what is field data, what is archaeological restitution, what is interpretation from comparison with other similar documents and finally what is pure speculation. Therefore, if the project obtains sufficient funds to perform 3D modeling, future architectural and urban analysis would use scientific 3D modeling based on fuzzy logic (Niccolucci, Hermon 2004) (Fig. 5).

3. Conclusion

It is clear that initially, there is no possibility of using a model which would lead the methodology. In research of this type, beginning with a model means starting with an assumption; it is a risk to not see clues or facts which

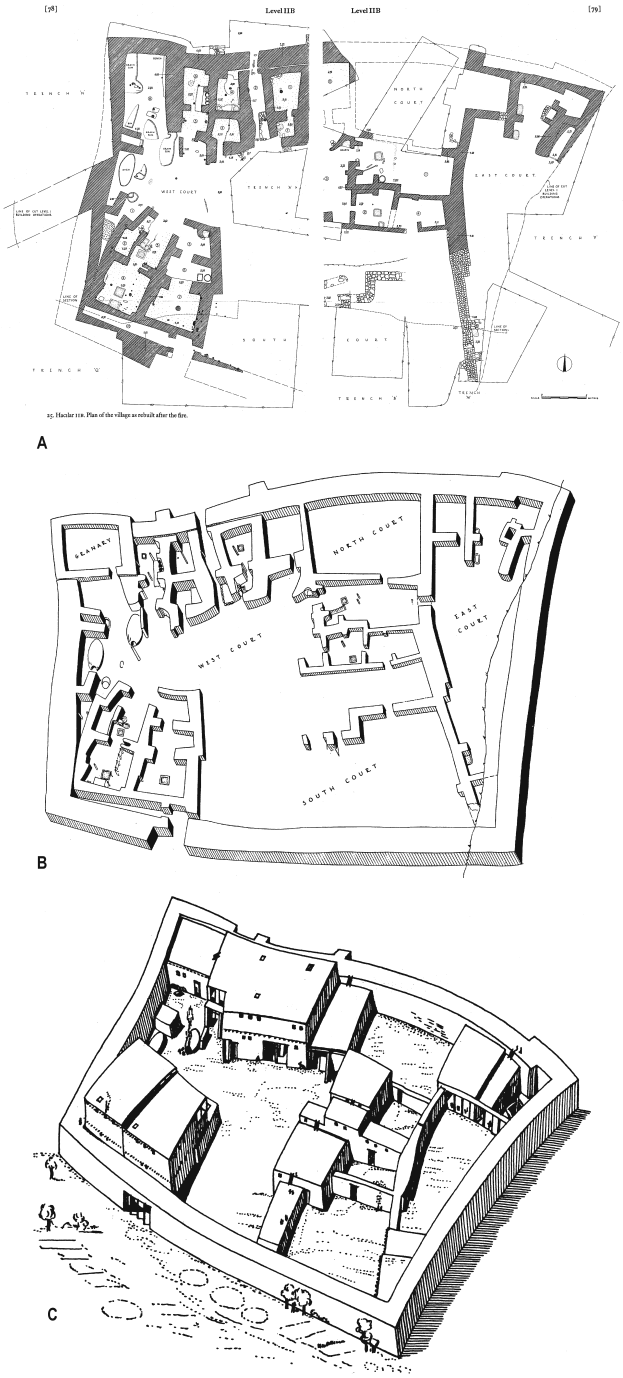


Fig. 3 – When reconstruction only considers the raised plan of the walls (Hacilar, Mellaart 1970, figg. 25-27 – J. Mellaart).

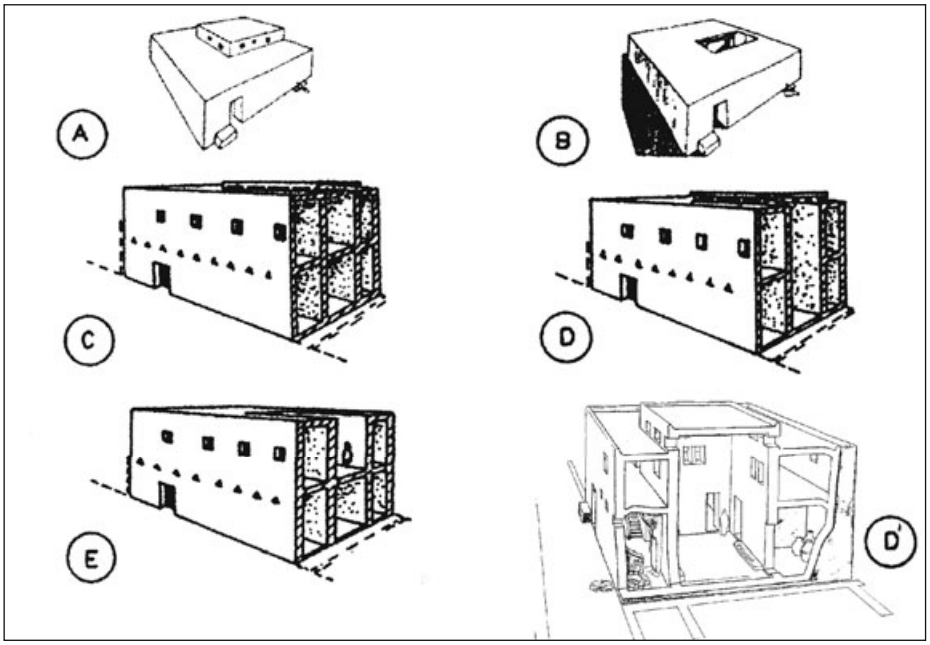


Fig. 4 – Different reconstruction hypotheses for the Red House of Mari (Margueron 1996, except D', published individually in Margueron 2004, fig. 153).

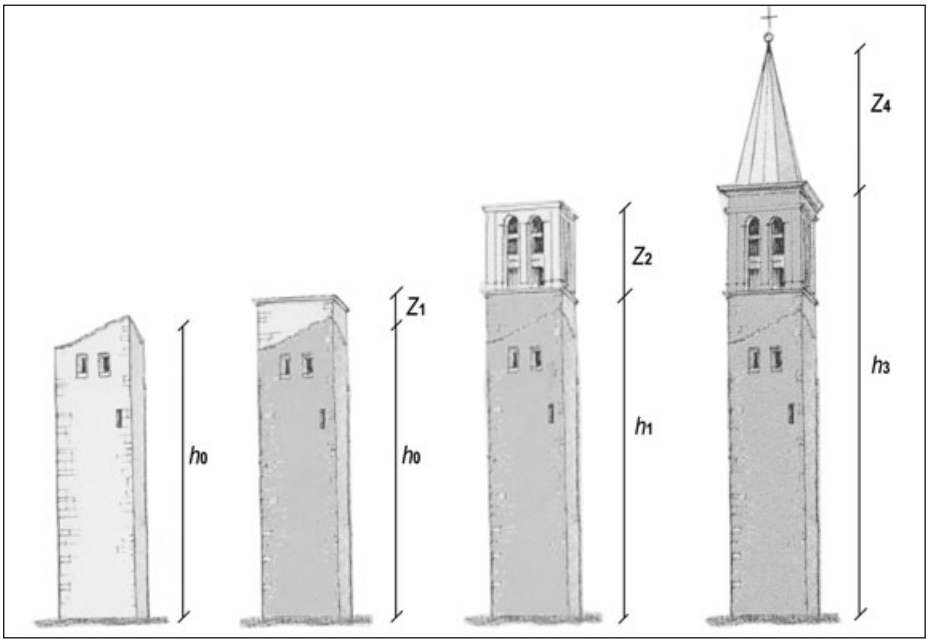


Fig. 5 – From a model based on the remains of the bell tower (h0) of Spoleto cathedral (Italy) to a possible final result (Z4) (Niccolucci, Hermon 2004, figg. 3-9).

would change the direction of thinking towards a new course. In the case of Bronze Age Near-Eastern architecture, it means *a priori* that this architecture is naturally without other floors; it means challenging a situation and an analysis which lead to the conclusion that an upper floor exists and to its reproduction in 3D models.

Architecture is not just an approach to the overall volume created by this material structure. Without an accurate knowledge of what the building was, one can not elaborate any social or symbolic study. It is thus the first step, a mandatory stage; that is why architectural reproduction must meet the following requirements:

– the archaeologist will first use a deductive method, starting with the document, the credibility of which will have been established beforehand. He will then take note of some characteristics likely to need an explanation as regards the proposed methodology. In relation to other objects offered by archaeological documents, the strength of architecture is to obey both physical laws which must be integrated in a structured organization, and human needs;
– the logical consequence of the point above is that an architectural reproduction is only justified by demonstration;
– this demonstration can only be logical, and not unrealistic: the goal is not to fire the imagination, but to highlight a coherent set of technical facts, a set which leads to the possible definition of a lifestyle;
– the rejection of a proposal can only be done by an argued demonstration of the impossibility of the suggested proposal: when a proposal is the consequence of a convergence of different clues and sources, it cannot be countered by one argument without having shown the invalidity of all existing arguments which lead to it. For example, just a few burned seeds from space G of the Round House at Tepe Gawra (Iraq) can certainly not question the results of an analysis which combined the issues of circulation, ventilation, lighting, protection against rain, etc. Other facts could explain the presence of these burned seeds: transfer, collapse of the floor, covering before the end of combustion by a collapsing section of the wall (Margueron 2009);
– reproductions must not be, as was the case in Kubba (1987), hypotheses based on a simple idea, but rather the product of converging clues which lead to the same conclusion;
– if data is insufficient and clues are rare, it is necessary to create a reproduction founded not in the imagination but rather on architectural logic;
– archaeological reconstruction models proposed must be based on fuzzy logic.

In order to obtain a credible and well-argued 3D model, a partnership must take place between archaeologist, focused on architecture, architect and data-processing specialist. In this collaboration, the first two must lead the latter's work. Although data-processing researchers are indeed essential to the

development of tools specific to archaeology, only a data-processing technician working with data provided by archaeologist and architect is required to produce a 3D model. Only within a collaboration in which everyone applies his specific field of expertise could 3D modeling be effective and useful for archaeological research.

Jean-Claude Margueron
École pratique des hautes études IVe section – Paris
Mission of Mari, Syria
Jean-Olivier Gransard-Desmond
ArkéoTopia

BIBLIOGRAPHY

Butterlin P., Lebeau M., Monchambert J.-Y., Monteros Fenolos L.L., Muller B. (eds.) 2006, *Les espaces syro-mésopotamiens. Dimensions de l'expérience humaine au Proche-Orient ancien*, Subartu 17, Turnhout, Brepols.

Delougaz P., Hill H.D., Lloyd S. 1967, *Private Houses and Graves in the Diyala Region*, Oriental Institute Publication 88, Chicago, The University of Chicago Press.

Heinrich E. 1982, *Die Tempel und Heiligtümer im alten Mesopotamien. Typologie, Morphologie und Geschichte*, Berlin, De Gruyter.

Heinrich E. 1984, *Die Paläste im alten Mesopotamien*, Berlin, De Gruyter.

Kubba Ch.A.A. 1987, *Mesopotamian Architecture and Town Planning*, British Archaeological Reports International series 367, Oxford, B.A.R.

Margueron J.-Cl. 1996, *La maison orientale*, in R. Veenhof (ed.), *Houses and Households in Ancient Mesopotamia. 40e Rencontre Assyriologique Internationale (Leyde 1993)*, Istamboul, Nederlands Historisch-Archaeologisch Instituut te Istanbul, 17-38.

Margueron J.-Cl. 2004, *Mari, métropole de l'Euphrate, au IIIe et au début du IIe millénaire av. J.-C.*, Paris, Editions A&J Picard.

Margueron J.-Cl. 2005, *Notes d'archéologie et d'architecture orientales. 11. Un pont enjambant un canal à Tello?*, «Syria», 82, 63-92.

Margueron J.-Cl. 2009, *À propos de la maison ronde de Tépé Gawra. Approche méthodologique de la restitution architecturale*, in P. Butterlin (ed.), *À propos de Tepe Gawra. Le monde proto-urbain de Mésopotamie*, Subartu 23, Brussels, Brepols, 103-119.

Mellaart J. 1970, *Excavations at Hacilar*, Occasional Publications of the British Institute of archaeology at Ankara 10, Edinburgh, Edinburgh University Press.

Niccolucci F., Hermon S. 2004, *A fuzzy logic approach to reliability in archaeological virtual reconstruction*, in *Proceedings of the CAA 2004. Beyond the Artifact. Digital Interpretation of the Past (Prato 2004)*, Budapest, Archaeolingua, 13-17 (http://public-repository.epoch-net.org/articles/caa2004-fuzzy.pdf).

Parrot A. 1954, *Les fouilles de Mari. Neuvième campagne (automne 1953)*, «Syria», 31/34, 152-171.

Parrot A. 1955, *Les fouilles de Mari. Dixième campagne (automne 1954)*, «Syria», 32/34, 185-211.

Parrot A. 1967, *Mission archéologique de Mari. III. Les temples d'Ishtarat et de Ninni-zaza*, Bibliothèque archéologique et historique 86, Paris, Librairie orientaliste P. Geuthner.

Parrot A. 1974, *Mari, capitale fabuleuse*, Paris, Payot.

Zevi B. 1959, *Apprendre à voir l'architecture*, Paris, Editions de Minuit.

ABSTRACT

Prior to 3D modelling, the volume of the remains of monuments was represented in two dimensions by means of drawings. The problem of analysing archaeological documents had already arisen with significant consequences on the final result, in particular when only the foundations of the structure had been found. Instead of an argued reconstruction, the reconstruction was an elevated projection of the plan drawn up by the excavator, the superstructure thus being merely a product of his imagination. Since then, the use of information technology has not changed the situation at all: the final document still lacks scientific value; the superstructure is still a product of the imagination. However, the authors point out, it could be obtained scientifically for any remains using the convergence of multiple indicators pointing in the same direction and towards the same conclusion.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 411-425

LA RÉALITÉ VIRTUELLE: UN OUTIL POUR LA CONNAISSANCE ET LA MÉDIATION SCIENTIFIQUE. APPLICATION À LA GROTTE CHAUVET-PONT D'ARC (ARDÈCHE, FRANCE)

1. Introduction

Découverte en décembre 1994, à l'entrée amont des gorges de l'Ardèche (cirque d'Estre), la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Fig. 1) s'est imposée comme l'un des chefs d'œuvre majeurs de l'art pariétal paléolithique. Dès la publication des premières images, la communauté archéologique comme l'opinion publique a ressenti un choc émotionnel comparable à celui provoqué par la découverte de la grotte Lascaux en 1940. Ce choc a été d'autant plus important que les premiers âges obtenus sur les dessins au fusain et les restes charbonneux au sol (30.000 et 33.000 BP) ont bouleversé les référents chronologiques jusque là établis. En dehors du fait que la grotte Chauvet soit la plus ancienne cavité ornée connue à ce jour du Paléolithique, cette découverte a permis de relever l'importance de la culture aurignacienne dans la création artistique (Clottes, 2001).

Grotte majeure de l'art pariétal mais aussi grotte paléontologique exceptionnelle, seule une approche interdisciplinaire pouvait être à même d'étudier les très nombreuses facettes de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. C'est dans cet esprit que l'équipe scientifique a été mise en place par Jean Clottes dès 1996. L'étude interdisciplinaire de la grotte Chauvet-Pont d'Arc a permis d'aller bien au-delà de la conjonction des travaux menés par les différents spécialistes (pariétalistes, préhistoriens, paléontologues, karstologues, géologues, palynologues…). Elle a permis de porter de nouveaux regards sur la grotte, d'aller bien au-delà des recherches disciplinaires classiques, et de créer les bases de ce que pourraient être les recherches à venir dans les grottes à art pariétal.

C'est dans cet esprit d'interdisciplinarité que nous avons intégré les outils de réalité virtuelle dans nos recherches en géomorphologie karstique. En effet, nous pensons qu'en plus d'apporter des éléments de réflexion fondamentaux dans la recherche de notre discipline, les outils 3D qui s'exprime *in fine* par des documents de réalité virtuelle, sont essentiels pour transmettre le fruit de nos recherches aux autres communautés disciplinaires ou vers le grand public.

Dans cet article, après avoir mis en avant l'apport des modèles 3D dans l'étude morphogénique de la grotte Chauvet, nous présenterons des documents de réalité virtuelle à destination de la communauté archéologique, documents qui nourrissent aujourd'hui cette réflexion interdisciplinaire.

2. La nécessité d'intégrer la troisième dimension dans les études géomorphologiques: exemple de la grotte Chauvet-Pont d'Arc

Les questionnements relatifs à la fermeture de la grotte et à la physionomie de la zone d'entrée ont focalisé très tôt l'attention des chercheurs de l'équipe scientifique (Delannoy *et al.* 2004). Les travaux menés en géomorphologie avaient, ici, pour objet de mieux appréhender la physionomie de la zone d'entrée, sa visibilité ou non depuis le fond des gorges, l'accès à l'intérieur de la cavité pour les hommes et les animaux de la préhistoire, la disposition des œuvres pariétales dans la première partie de la cavité, etc. Répondre à de tels questionnements nécessite plusieurs préalables. Tout d'abord, il était nécessaire de définir la nature de l'éboulis (cryoclastique, écroulement, mixte), puis la séquence de la fermeture de l'entrée préhistorique (monophasée, polyphasée) et enfin quelle est la (les) date(s) de sa mise place.

2.1 *L'étude géomorphologique de l'entrée de la grotte Chauvet-Pont d'Arc: vecteur d'informations des paléo paysages*

2.1.1 La géomorphologie: une entrée pertinente pour l'étude des paysages naturels en lien avec l'archéologie

Les premières études karstogéniques et géomorphologiques de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Delannoy *et al.* 2001, 2003, 2004; Debard *et al.* 2002) ont montré l'intérêt de l'approche géomorphologique pour comprendre la disposition des objets naturels et anthropiques dans la cavité et pour traiter les problématiques d'accès à la grotte préhistorique. Par exemple, des indices archéologiques (traces au sol et répartition des peintures dans la cavité) pouvaient suggérer l'existence de plusieurs entrées. La cartographie géomorphologique couplée à la constitution d'une chronologie relative fine des dépôts endokarstiques et à des calages isotopiques ont montré que seule une entrée au Sud de la grotte permettait aux hommes et aux animaux préhistoriques d'y pénétrer. Dés lors, un intérêt fort s'est porté sur la paléo-morphologie de cette unique entrée.

2.2 *Les apports et résultats de l'étude géomorphologique de l'entrée de la grotte Chauvet*

Les études géomorphologiques (Delannoy, Jaillet, Sadier 2007, 2008, 2009 et 2010) de la zone d'entrée de la grotte Chauvet ont permis de reconstituer la séquence morphogénique suivante:

1) le recoupement de la grotte Chauvet par érosion régressive: cela signifie que la paléocavité Chauvet était visible en contrebas du chemin d'accès à la grotte, au fond de la combe d'Arc;
2) la paléo-cavité s'apparente alors à un couloir à l'air libre; ce couloir s'apparentait vraisemblablement à une plateforme située dans le prolongement

de l'entrée préhistorique de la grotte; il a constitué par ailleurs une aire de réception suffisamment plane pour que tout l'écroulement ne descende pas le versant en direction du talweg du paléo-méandre de l'Ardèche;
3) l'écroulement de l'écaille urgonienne (pan de corniche) située juste au dessus de la paléo-entrée; les blocs écroulés viennent se loger dans le couloir (paléo-cavité) ce qui explique le caractère très localisé des blocs et leur indigence dans le versant en contrebas. L'énergie accumulée par les blocs explique les impacts de chocs sur les pendants stalagmitiques de la zone d'entrée.

2.3 *Apports et limites de l'approche cartographique en 2D: la nécessité d'intégrer la troisième dimension*

Bien que les études géomorphologiques (Delannoy, Jaillet, Sadier 2010) permettent de contraindre spatialement l'emprise de l'éboulis au sol, il n'est pas possible à ce stade de l'étude, de restituer la morphologie de la paléo entrée de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. En effet, à partir d'une vision cartographique en plan et en coupe de sa surface, nous ne pouvions estimer par le biais d'une cartographie superficielle, les cotes altitudinales de la surface qui préexistait à l'écroulement. Pour cela, il faudrait répondre à plusieurs questionnements et en premier lieu celui qui concerne la pente de la surface ante-écroulement, celle là même que nous voulons reconstituer avec précision pour la raison suivante: sa géométrie a joué assurément un rôle prépondérant dans la structuration au sol de la masse rocheuse (organisation spatiale) et dans sa prédisposition à accueillir un volume important de blocs détachés de la paroi.

Pour cela, il était nécessaire d'abord d'estimer le volume de la masse rocheuse issue de la corniche (écroulement) et présente au sol (masse écroulée) et ensuite de modéliser une surface permettant d'accueillir cette masse. C'est dans cette optique que nous avons développé une méthodologie croisant le laserscanning avec les données géomorphologiques.

3. Les apports de l'intégration de modèles numériques de terrain 3D à l'étude géomorphologique

L'estimation du volume du dépôt d'écroulement est essentielle afin d'élaborer les différents scénarios possibles de fermeture de la grotte et *in fine* reconstituer la géométrie de l'entrée de la grotte.

Pour cela nous avons, dans un premier temps, calculé le volume de roche écroulé, c'est-à-dire le volume manquant dans la niche d'écroulement sur la paroi; nous l'avons ensuite comparé au volume déposé dans l'entrée de la grotte. Un modèle numérique de terrain représentant, à la fois, la paroi et la masse rocheuse écroulée présente à l'extérieur (versant) et à l'intérieur de la grotte (zone d'entrée) a été réalisé. Les moyens de cartographie classique

en 2.5D ne permettant pas une telle représentation graphique, nous avons eu recours aux moyens de numérisation laser: le Lidar terrestre.

3.1 *Construction d'un modèle 3D: laserscanning, approche quantitative et reconstitution virtuelle*

3.1.1 Acquisition des données sur le terrain

Le couplage des données géomorphologiques avec un modèle 3D suppose que celui ci soit suffisamment précis pour que l'on puisse localiser les objets cartographiés. Afin de répondre au mieux à cette exigence, la technologie du laserscanning a été utilisée pour obtenir un clone numérique de l'entrée de la grotte. A l'extérieur de la cavité (escarpement et éboulis), les levés topographiques furent réalisés avec un laser scan Optech ilris 3D d'une portée de 700 mètres environ. Sa fenêtre d'acquisition de 40°×40° a nécessité la multiplication de plusieurs points de vue (88 en tout).

A la fin des opérations, après la consolidation de tous les nuages de points dans un seul et même référentiel, on obtient un nuage global d'environ 20 millions de points avec une maille comprise entre 2 et 10 cm selon les secteurs et un bruit gaussien lié à la technologie du scanner (temps de vol) d'environ 4 cm. Les relevés à l'intérieur de la cavité furent réalisés avec un laserscan courte portée (Leica HDS 6000 – cabinet Perazio géomètre) plus approprié au milieu confiné et c'est un canevas topographique qui a servi de support au recalage des différents points de vue pour un ensemble d'environ 50 millions de points. En l'absence de parties communes entre l'extérieur et l'intérieur de la grotte, le géo référencement par tachéométrie, de toutes les données acquises fut nécessaire afin de les remettre dans un même système de coordonnées.

3.1.2 Des données brutes à un modèle 3D global

A l'issue de ces campagnes de scannérisation, nous avons obtenu des nuages de points indépendants les uns des autres. Leur géo-référencement dans un seul référentiel est un biais indispensable pour travailler sur l'ensemble des données.

Celui de l'escarpement et de l'éboulis a été mené *via* des sphères préalablement placées dans les zones scannées, levées au GPS différentiel puis recalées en Lambert 3 après post-traitement. Des vérifications ont été faites à partir de la polygonale géométrique de la passerelle qui donne accès à l'entrée de la grotte. Avec cette opération, nous avons pu réaliser un seul nuage de points (70 millions de points) de l'ensemble de la zone étudiée.

Enfin, le maillage du nuage de points fut réalisé dans le logiciel 3DReshaper, un amilleur 3D efficace. Il en résulte un modèle 3D TIN (Triangulated Irregular Network) sur le lequel le travail de mesures, de croisement d'informations et de réflexion a été mené. De plus, il a été possible de texturer ce

modèle pour le rendre plus réaliste dans le cadre de reconstitutions paysagères, au cœur des problématiques de recherche de l'équipe scientifique de la grotte Chauvet. La Fig. 1 illustre les différentes étapes de traitement depuis le nuage de points jusqu'au texturage du modèle triangulé.

Les résultats issus de l'étude géomorphologique de l'entrée de la grotte Chauvet peuvent dés lors, être croisés avec le clone numérique de l'objet investigué. Nous allons le voir, cette approche permet 1) d'avoir une approche géomorphologique quantitative, 2) de répondre aux questionnements sur la cinétique de l'écroulement et 3) de reconstituer virtuellement l'entrée de la grotte avant l'effondrement d'un pan de la paroi.

3.2 *Le calcul volumétrique de l'écroulement*

3.2.1 La reconstitution de l'écaille écroulée

Afin de calculer le volume du matériel aujourd'hui au sol, nous avons numériquement, à partir du modèle 3D, refermé la niche d'écroulement sur la paroi au droit de l'apex de l'éboulis. La limite externe de la corniche calcaire anté-effondrement a été guidée par la morphologie de la corniche de part et d'autre de la cicatrice d'écroulement tel le rocher d'Abraham (Fig. 2). Cela implique forcément des choix simplificateurs mais qui restent conformes à ce que l'on peut voir en milieu naturel. La configuration de l'ancienne écaille repose également sur la lithologie et le dispositif géologique. En effet, le calcaire de forte compétence à faciès urgonien couplé à un pendage relativement marqué (30°) dans la direction opposée à l'escarpement laisse supposer qu'à cet endroit devait se situer une barre rocheuse très massive et régulière, à l'image du pilier d'Abraham jouxtant cette niche d'arrachement. C'est sur la base de cette démarche que nous avons reconstitué l'ancienne écaille (Fig. 3) et calculé son volume: 4526 m³. Ce calcul volumétrique (assorti d'une marge d'erreur) constitue la base de travail pour ajuster la surface ante-écroulement.

3.2.2 Cubature du dépôt écroulé au sol

A partir de l'étude et de la cartographie géomorphologique, une identification précise des limites spatiales de la paléo entrée est désormais possible (cfr. *infra*). Le report de ces indices sur le modèle 3D permet de contraindre l'extraction de la surface supérieure de l'éboulis.

L'ajustement de sa surface inférieure est plus complexe. En effet, si les limites périphériques sont bien identifiées (vieilles concrétions et anciens planchers stalagmitiques hors cavité à 183 mètres NGF; contact éboulis et plancher stalagmitique dans la cavité à 187 mètres NGF), les points correspondant à la base de l'écroulement sont plus difficiles à appréhender puisqu'ils sont localisés sous la masse écroulée! L'indigence de blocs de grande taille issus de l'écroulement en contrebas de la paléo-cavité suggère que la quasi totalité

Fig. 1 – Visualisation des étapes de traitement du nuage de points, de la triangulation jusqu'au texturage à partir de photographies du modèle 3D.

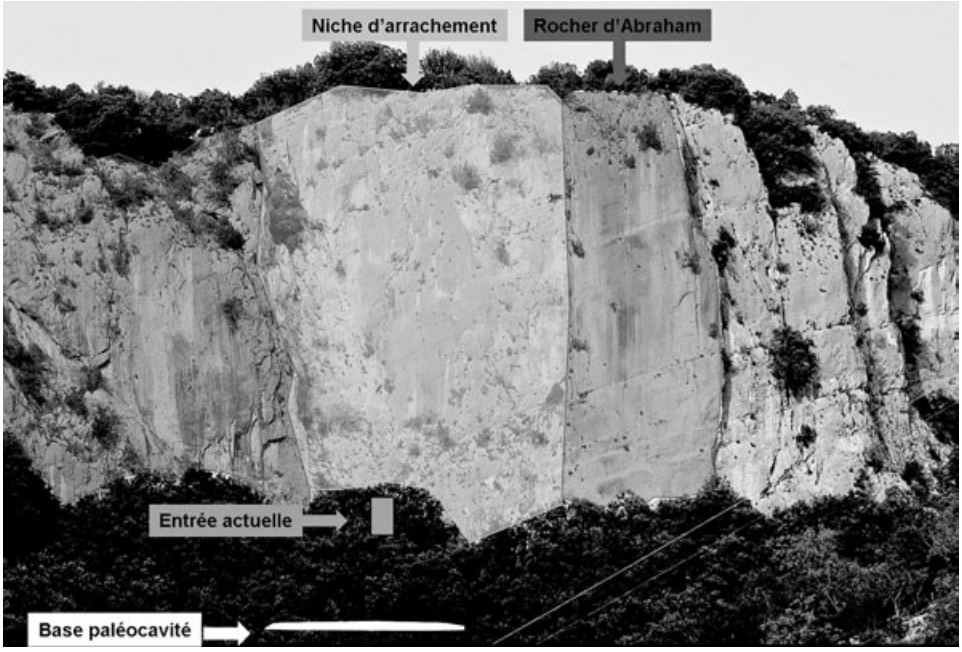


Fig. 2 – Identification de la cicatrice d'arrachement dans l'escarpement calcaire.

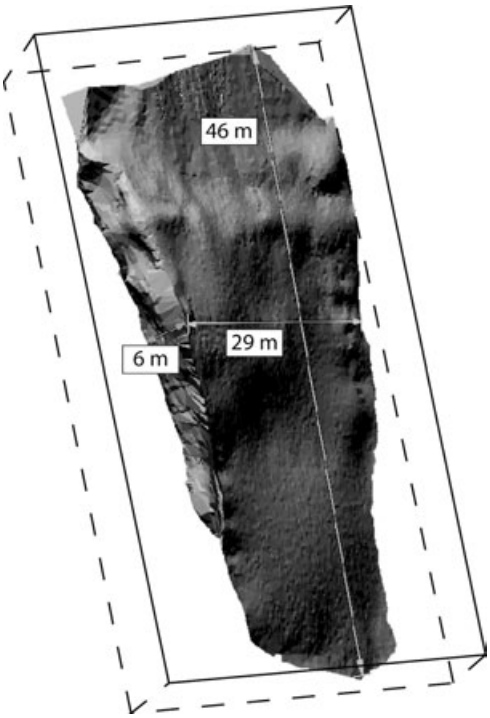


Fig. 3 – Calcul volumétrique de l'écaille écroulée.

de la masse écroulée est restée au pied de la paroi. Cette information, en la corrélant avec le volume de matériel détaché de la paroi permet d'estimer l'épaisseur de la masse rocheuse obstruant la cavité.

Afin d'appréhender la géométrie générale de l'éboulis et s'en servir comme base de reconstitution paléogéographique, nous avons attribué un cadre temporel relatif pour chacune des zones de l'éboulis. En effet, la topographie relativement simple de l'objet étudié se compose de différentes surfaces, emboîtées les unes dans les autres dont les contacts géologiques et géomorphologiques sont visibles en surface. L'identification géométrique des surfaces temporelles composant le cône d'éboulis est fondamental pour comprendre leur dynamique de mise en place. La segmentation de l'éboulis en différentes surfaces isochrones nous a permis de faire correspondre des surfaces aux points de contacts géologiques et géomorphologiques identifiés. Cette démarche a permis de les modéliser en trois dimensions tout en respectant leur cadre géométrique (Fig. 4).

Cette étape de segmentation géomorphologique du modèle 3D a permis d'ajuster au mieux altitudinalement la surface ante-écroulement en fonction

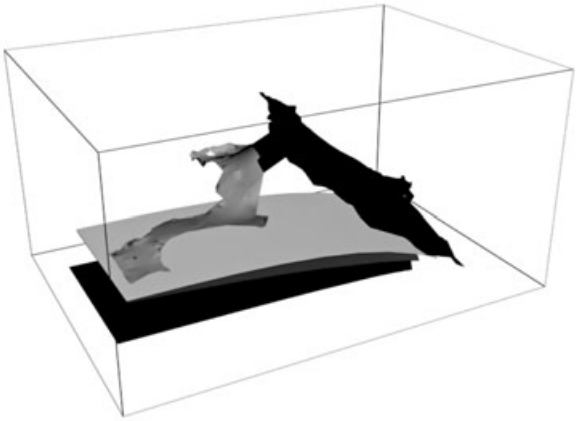


Fig. 4 – Segmentation et modélisation des surfaces isochrones identifiés à partir des contacts géologiques et géomorphologiques.

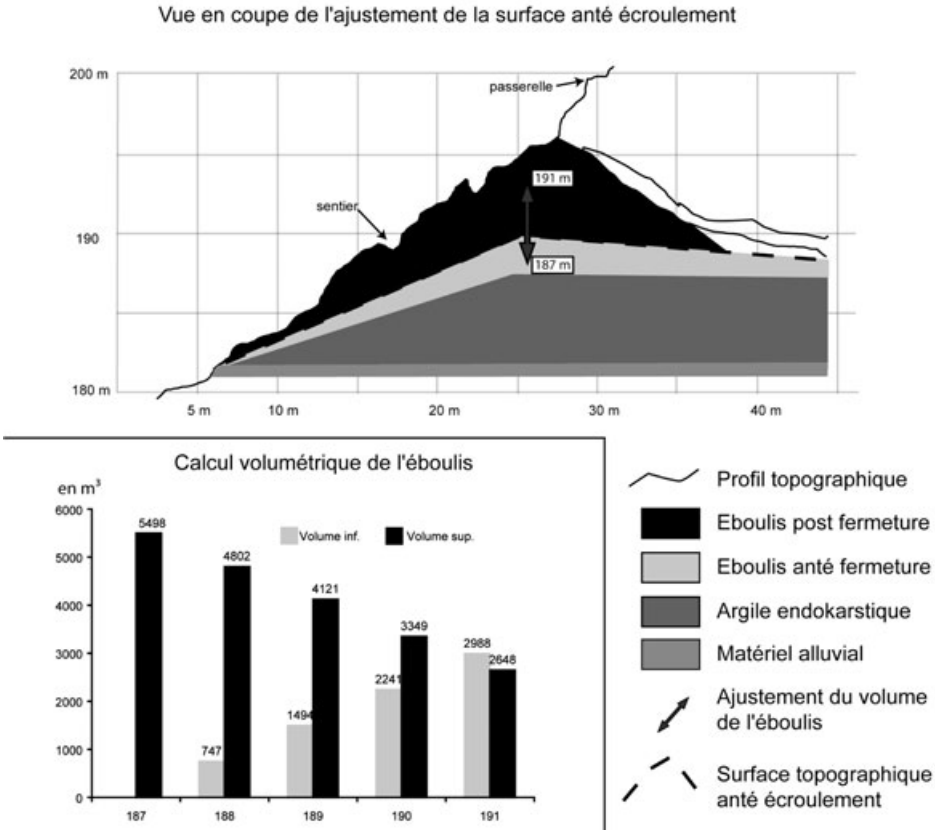


Fig. 5 – Illustration en 2D, du calcul volumétrique. Les profils topographiques sont extraits du maillage de l'éboulis interne et externe. Il est intéressant de voir qu'en tenant compte de tous les indices géomorphologiques acquis, le volume maximal ante-écroulement pouvait être d'environ 5.500 m³. Cela montre, que dans le paléo-porche était déjà accumulé du matériel provenant de la paroi. Enfin, l'ensemble des observations tend à montrer qu'il devait exister une plateforme pouvant accueillir la totalité d'un écroulement de 4500 m³.

du volume de la masse écroulée (Fig. 3). Cette étape a demandé d'ajuster la courbure et l'altitude de la surface anté écroulement jusqu'à obtenir le volume d'environ 4.500 m³ (Fig. 5). Pour cela, nous avons fait un choix *a priori* quant à la géométrie de la surface et des parois ante-écroulement.; nous avons tenu compte de l'orientation des parois actuelles visibles à l'intérieur comme à l'extérieur.

Concernant les pendants de voûte de l'entrée aujourd'hui noyés dans la masse écroulée, nous avons modélisé la géométrie de leur prolongement en fonction de la disposition des blocs les ceinturant. En effet, lorsque des blocs les entourent complètement, il est vraisemblable qu'il existait un espace suffisant pour laisser les blocs en dessous.

La géométrie du paléo porche a été modélisée selon les données suivantes:

1. La surface supérieure correspond à l'actuelle surface de la masse écroulée.
2. Les limites de l'éboulis correspondent aux prolongements des parois et des pendants actuellement visibles. L'intersection des limites et de la surface ante-écroulement est contrainte par les différents contacts géologiques.
3. La surface ante-écroulement est ajustée en altitude jusqu'à obtenir un volume de 4.500 m³ environ (Fig. 7).

Les travaux de quantification volumétrique menés à partir du modèle 3D ont permis de proposer une altitude minimale à cette surface à l'aplomb de la paléo-entrée: 188,4 m. Cela veut dire que le talus qui occupait l'espace de la paléo-entrée devait se situait au moins 1,4 m au dessus du plan de référence de la salle des Bauges (à 187 m NGF). La forme de cette surface a été construite en 3D à partir de ce repère altitudinal.

3.2.3 Reconstitution 3D du porche d'entrée anté écroulement

En tenant compte de ces informations, il est possible de modéliser en trois dimensions la morphologie du porche d'entrée de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Fig. 6).

Cette reconstitution, inédite dans le domaine de l'archéologie en préhistoire, repose sur l'utilisation de différents outils de mesures, de visualisation et de modélisation 3D. Comme les images en témoignent, ils permettent non seulement d'effectuer de nombreux calculs et "manipulations" d'objets, mais aussi de rendre compte des résultats de façon aisée. Néanmoins, la géométrie de la surface ante-écroulement reste une hypothèse de travail, très contraintes par les relevés géomorphologiques et qui restera dans l'état actuel des moyens de recherche difficile d'approcher physiquement.

Afin de renforcer un peu plus cette hypothèse, des simulations d'écroulements ont été réalisées afin de tester la validité géométrique de la surface reconstituée.

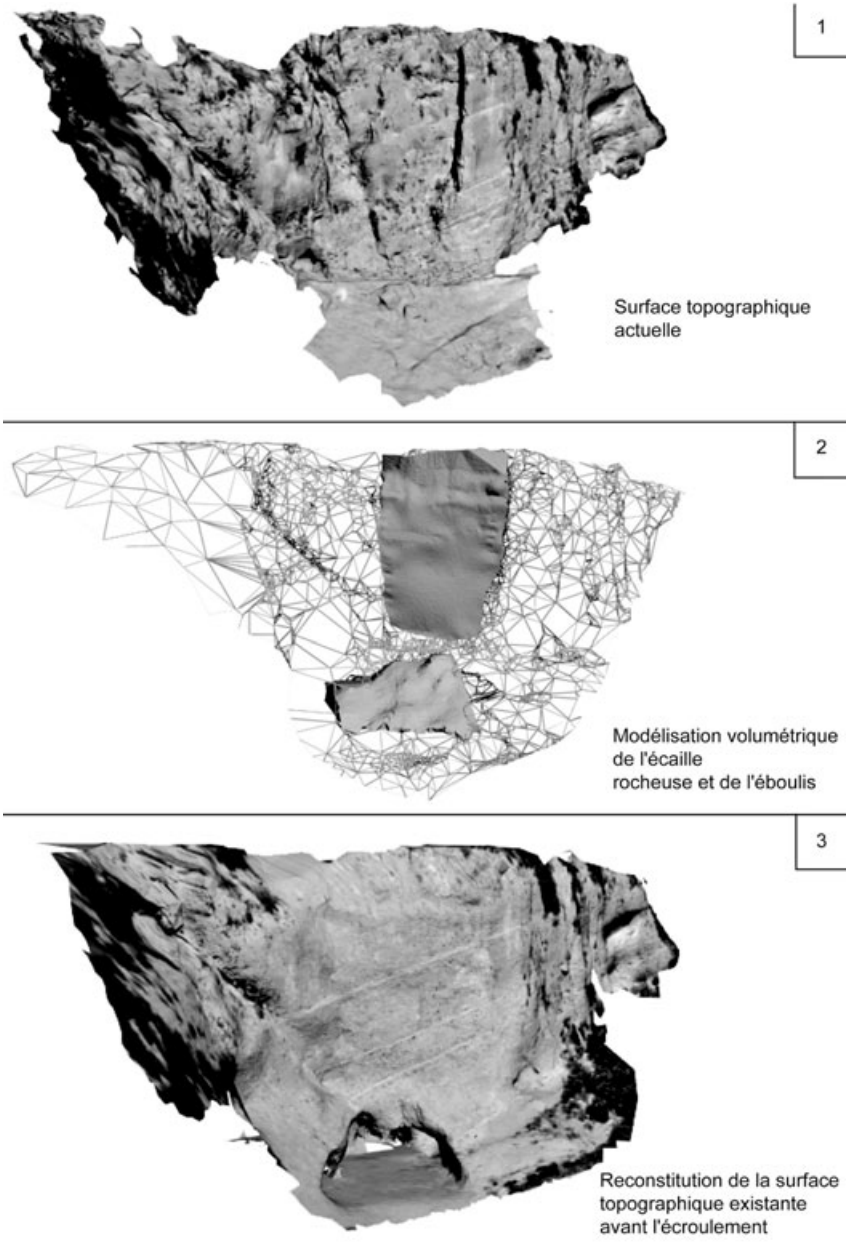


Fig. 6 – Modélisation topographique textureé du paléo porche de la grotte Chauvet avant sa fermeture par l'écroulement de l'écaille calcaire à son aplomb.

4. Simulations et réalité virtuelle: des éléments de validation et de diffusion de la reconstitution paléogéographique.

Le couplage des données géomorphologiques avec la modélisation topographique en 3D a permis de restituer une paléo-topographie probable du porche d'entrée préhistorique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Ces simulations ont pour objectifs de:

1. Valider la géométrie et la position altitudinale de la surface ante-écroulement;
2. Appréhender si possible la cinématique de l'écroulement en déterminant les différentes étapes de la fermeture de la cavité.

Ainsi, en modélisant l'écroulement lui même de l'écaille calcaire sur la paléo-topographie, il s'agit de tester le comportement trajectographique et spatial des blocs (Wu 1984; Guzzetti et *al.* 2002; Stoffel *et al.* 2006). En fonction des résultats nous pourrons soit valider la topographie proposée précédemment, soit modifier cette proposition jusqu'à trouver un résultat qui reste cohérent avec les indices de terrain.

Les résultats présentés sont le fruit de l'utilisation conjointe de logiciels de trajectographie (Pir3D) et de réalité virtuelle (3DSmax). Afin de contraindre au mieux l'environnement du simulateur, nous avons entré les paramètres suivants:

1. La topographie initiale qui sera le modèle 3D construit à partir de l'analyse géomorphologique du site étudié. Ce modèle triangulaire, initialement composé de triangles de l'ordre de 10 cm de côté a été dégradé intelligemment (méthode de décimation en fonction de la courbure disponible dans les logiciels de rétro ingénierie tel que 3DReshaper) afin d'alléger et de rendre cohérente l'étape de calcul. En effet, les normales des triangles qui réceptionnent chaque projectile sont prises en compte dans le calcul de la trajectoire de sa course suite au rebond. Ainsi, et contrairement à ce qu'on peut croire, un modèle numérique de terrain trop détaillé n'améliore pas la justesse du calcul mais induit des erreurs dans la détermination des rebonds des blocs.
2. Les propriétés du terrain, en lien direct avec le contexte géomorphologique, permettent d'affecter des coefficients d'absorption de l'énergie cinétique des blocs s'écrasant ou roulant. En effet, un sol composé de sables absorbe plus d'énergie qu'un sol de calcaire. Ici, les relevés géomorphologiques et géologiques ont permis d'affecter sur chaque triangle du modèle ces coefficients en fonction de leur nature (calcaire, éboulis, marne). La valeur de chacun est puisée dans une «bibliothèque» à disposition dans le logiciel Pir3D.
3. Les propriétés géométriques des blocs écroulés (Fig. 7). Les blocs dont la chute est simulée ne comporte pas de formes *a priori*. C'est-à-dire que le logiciel ne prend pas en compte leur morphologie mais seulement leur point de

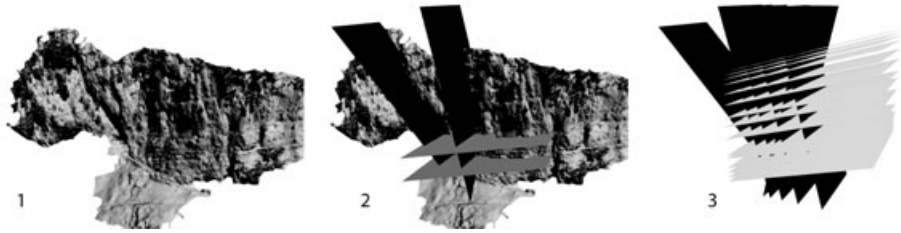


Fig. 7 – L'item 1 représente le modèle 3D texturé de topographie actuelle de l'escarpement et de l'éboulis. Sur l'item 2 fait ressortir en vert les plans de stratification et en rouge les plans majeurs de fracturation. L'item 3 représente la modélisation des zones de fragilité de la roche au niveau de l'écaille rocheuse qui s'est écroulée.

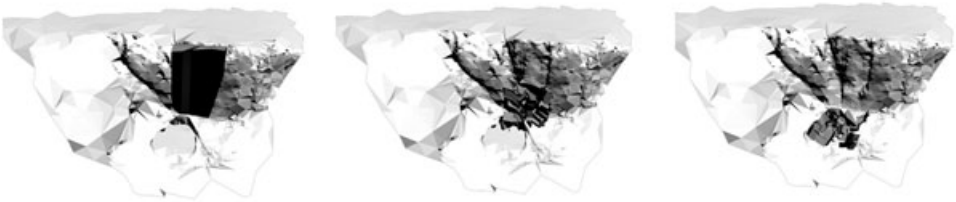


Fig. 8 – Simulation des différentes étapes de l'écroulement. Dans le modèle actuellement développé, la quasi-totalité des blocs reste en place sur la plateforme de la paléo entrée. Très peu de matériel tombe en direction de la combe d'Arc. Cela prend en compte les observations de terrain (2007 et 2008).

gravité. Ce point matériel est caractérisé par sa masse, sa position de départ, sa vitesse et son type de mouvement. Ces caractéristiques sont déduites des mesures géométriques de terrain effectuées sur les blocs rapportés a la masse volumique du calcaire dont ils sont composés (entre 2700kg/m³ et 3000kg/m³). Les collisions sont ensuite calculées en fonction de leur trajectoire respective et non de leur forme. Dés lors, connaissant la vitesse incidente, les coefficients attachés au sol permettent le calcul de la vitesse de rebond (valeur et direction); le calcul du point d'impact est alors effectué de façon itérative jusqu'à ce que la vitesse du bloc devienne inférieure au certain seuil d'arrêt.

Les résultats des ces différentes simulations (Fig. 8) montre que la modélisation du paléo-porche ante-écroulement permet d'accueillir la quasi totalité de l'écaille rocheuse issue de la paroi. De plus, il devait exister, devant la grotte, d'un cône d'éboulis composé d'éléments aérés et amortissant la chute de blocs rocheux permet de retenir les blocs chutant de la paroi, et cela quelque soit la zone de départ de chute. Ainsi, il est probable qu'au niveau de l'entrée de la grotte Chauvet-Pont d'Arc existait une plateforme composé d'éléments

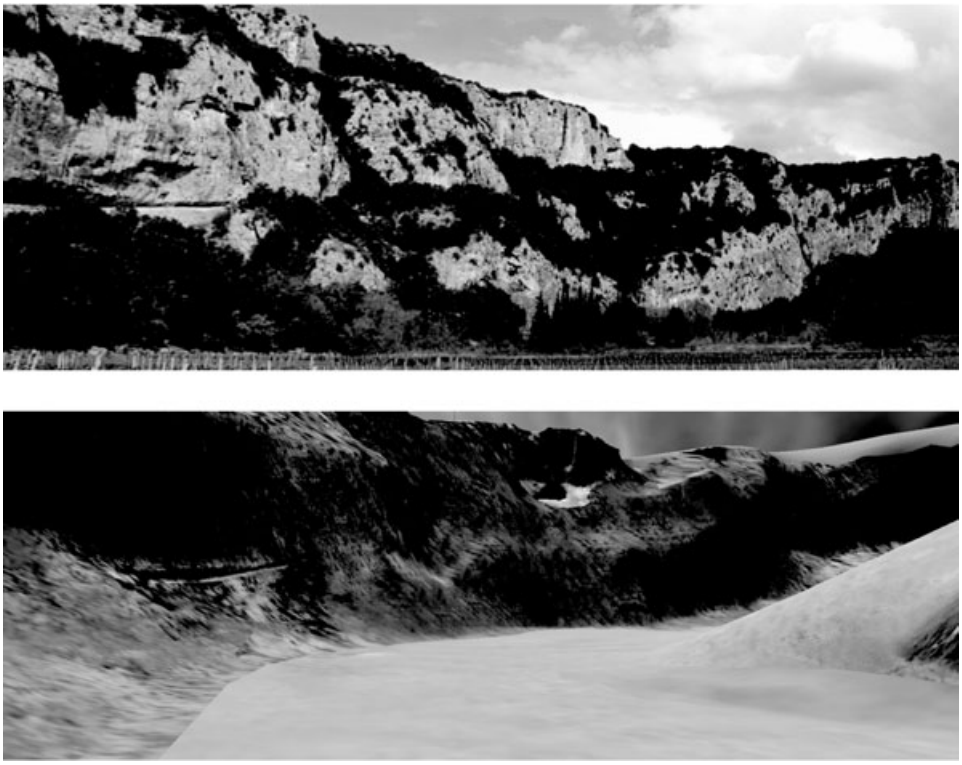


Fig. 9 – Sur cette figure, on peut voir sur la photo du haut la vire d'accès à la grotte et l'escarpement calcaire surplombant la grotte. Sur l'image issu du modèle de réalité virtuelle, on peut retrouve la vire d'accès mais on s'aperçoit qu'à une certaine époque, la grotte devait être visible depuis le fond du méandre.

clastiques, avec une topographie légèrement bombée qui se situait à environ 1,8 mètres au dessus du niveau du sol actuel de la salle des Bauges.

Ces simulations numériques ont permis de valider les hypothèses sur la géométrie topographique de l'entrée de la grotte avant que l'écroulement n'ait lieu. Sur ces résulats, des images de réalité virtuelle de la cavité ont pu être construites dans son environnement passé avant que l'écroulement n'ait eu lieu (Fig. 9).

5. Conclusions

La maitrise conjuguée de la cartographie géomorphologique et de l'imagerie 3D a permis de croiser sur de mêmes supports les informations acquises. Grâce à cette démarche originale, nous avons pu (i) contraindre tant

spatialement que formellement les informations se rapportant à l'écroulement; (ii) reporter ces informations sur l'espace concerné par la fermeture de la grotte; (iii) quantifier le volume écroulé et le volume stocké sur l'actuel cône d'éboulis (interne et externe); (iv) proposer une reconstitution 3D de l'écaille calcaire écroulée et du porche anté-écroulement de la cavité.

C'est sur la base de la cartographie géomorphologique de l'éboulis interne et externe qu'ont été construites les problématiques de recherche de cet article: la fermeture de la grotte résulte-t-elle d'un événement catastrophique ou de plusieurs phases d'écroulement? Quelle était la physionomie de la zone d'entrée (ampleur, volume) et du porche avant cet écroulement? Il n'a pas été discuté dans le présent article de l'adéquation entre ce paléo-porche et les occupations humaines. En effet, un travail de calage chronologique reste à réaliser et ces premières reconstitutions 3D en constituent déjà un premier niveau de réflexion.

La cartographie de terrain a permis de distinguer plusieurs éléments au sein de l'éboulis actuel tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la cavité. Puis, le croisement de ces données morphogéniques, des limites visibles du paléo-porche, de la répartition spatiale du matériel écroulé, et des données 3D acquises *via* la scannérisation de la surface topographique a permis de structurer et de quantifier l'écaille écroulée, de comparer son volume à celui de l'éboulis et ainsi d'ajuster, par différentiel, une surface correspondant à ce que devait être le porche anté-écroulement de la grotte Chauvet-Pont d'Arc.

Le support de restitution à l'aide d'images de réalité virtuelle devient pertinent pour illustrer des interprétations de terrain couplées à des mesures géométriques de terrain. Pour les recherches à venir dans la grotte Chauvet-Pont d'Arc, ce type de restitution recèle un important potentiel, encore peu exploité, qui nécessite des développements à la fois méthodologique et de connaissances croissants les informations kartogéniques, archéologiques et paléontologiques. Dans ce cas, la réalité virtuelle permettra et facilitera, sans nul doute, la transmission des connaissances entre les diverses communautés scientifiques et au-delà en direction du grand public.

Jean Jacques Delannoy, Stéphane Jaillet, Benjamin Sadier
EDYTEM – UMR 5204
Université de Savoie, CISM – Le Bourget du Lac

BIBLIOGRAPHIE

Clottes J. (ed.) 2001, *L'art des origines*, Paris, Edition du Seuil.

Debard E., Delannoy J.J., Ferrier C., Kervazo B., Perrette Y., Perroux A.S. 2002, *Les études karstogéniques menées dans la grotte Chauvet: premiers résultats et implications paléoenvironnementales*, «Bulletin de la Société préhistorique Ariège-Pyrénées», 57, pp. 29-52.

Delannoy J.J., Perrette Y., Debard E., Ferrier C., Kervazo B., Perroux A.S. 2005, *Genèse et évolution de la grotte Chauvet: bilan des études karstogéniques*, in *La grotte Chauvet à Vallon-Pont-d'Arc: un bilan des recherches pluridisciplinaires*, Actes de la séance de la Société préhistorique française (Lyon 2003), Paris.

Delannoy J.J., Debard E., Ferrier C., Kervazo B., Perrette Y. 2001, *Contribution de la cartographie souterraine dans l'étude spéléogénique de la grotte Chauvet. Premiers éléments spéléogéniques et implications paléogéographiques, préhistoriques et paléontologiques*, «Quaternaire», 12, 235-248.

Delannoy J.J., Jaillet S., Sadier B. 2007, *Rapport des études géomorphologiques*, in J.-M. Geneste, *Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche)*.

Delannoy J.J., Jaillet S., Sadier B. 2008, *Rapport des études géomorphologiques*, in J.-M. Geneste, *Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche)*.

Delannoy J.J., Jaillet S., Sadier B. 2009, *Rapport des études géomorphologiques*, in J.-M. Geneste, *Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche)*.

Delannoy J.J., Jaillet S., Sadier B. 2010, *Etude géomorphologiques de l'entrée de la grotte Chauvet pont d'Arc. Reconstitutions paléogéographiques et implications archéologiques*, «Karstologia», 55, sous presse.

Delannoy J.J., Perrette Y., Debard E., Ferrier C., Kervazo B., Perroux A.S., Jaillet S., Quinif Y. 2004, *Intérêt de l'approche morphogénique pour la compréhension globale d'une grotte à haute valeur patrimoniale: la grotte Chauvet (Ardèche),* «Karstologia», 44, 25-42.

Debard E. 1997, *Les remplissages karstiques du bas Vivarais: karstogénèse, sédimentogénèse et archéologie*, «Quaternaire», 8, 305-317.

Guzzetti F., Crosta G., Detti R., Agliardi F. 2002, *Stone: A computer program for the three dimensional simulation of rock-falls*, «Computer and Sciences», 28, 1079-1093.

Pfeiffer T.J., Bowen T.D. 1989, *Computer simulation of rockfalls*, «Bulletin of the association of engineering geologists», 26, 135-146.

Stoffel M., Wehrli A., Kühne R., Dorren L.K.A., Perret S., Kienholz H. 2006, *Assessing the protective effect of mountains forests rockfall using a 3D simulation model*, «Forest Ecology Management», 225, 113-222.

Wu S.S. 1984, *Rockfall evaluation by computer simulation. Transportation research record*, «Transport Research Board», 1031, 1-5.

ABSTRACT

Since laser scanning first appeared, 3D restitutions are used increasingly on decorated archaeological and rock art sites. This communication aims at presenting such restitutions (from field data collection to modeling) as applied to the Chauvet Cave. It addresses a diversified set of questions. We shall start with questions raised by karstologists, for whom 3D models represent the base of a geomorphologic pattern and are then used to model, as close to reality as possible, landscapes as they were at the time of the human occupation of the site. From then on, other fields will benefit from the model. Our challenge is to include in the final virtual reality output all the requirements of geomorphology, archaeology, and cultural mediation in order to render the extraordinary richness of the Chauvet Cave.

Archeologia e Calcolatori
Supplemento 3, 2012, 427-439

ARCHÉOLOGIE SOUS-MARINE: RELEVÉ ET RÉALITÉ VIRTUELLE POUR L'ÉTUDE DE SITES INACCESSIBLES

1. Introduction

L'archéologie sous-marine profonde, au delà de 60 mètres, limite légale de la plongée en scaphandre autonome en France, ne peux s'envisager sans un moyen fiable et précis de relevé. L'accès au site est soit réservé aux passagers des rares sous-marins dédiés à l'archéologie, soit se fait par le biais de robots équipés de retour vidéo. Dans ces deux cas l'analyse du site se fait sur place, avec des équipements extrêmement onéreux même si l'on peut bien sûr visionner à nouveau les documents enregistrés sur site (vidéo, photo, balayage SONAR en deux ou trois dimensions).

Le besoin d'une étude du site faite en dehors des conditions maritimes et s'appuyant sur des documents métriques, véhiculant des informations qualitatives du type photographique, s'est fait sentir très tôt.

La première idée fut d'effectuer des relevés les plus exhaustifs possibles afin de produire un fac-simile virtuel qui permettrait l'étude du site en laboratoire séparant totalement la phase d'acquisition des données de la phase d'analyse.

Cette approche met en évidence un premier problème: l'acquisition des données nécessaires à l'élaboration du fac-simile est une opération complexe, coûteuse et encore du domaine de la recherche.

Nous proposons une nouvelle approche du relevé, fondé sur la connaissance, où la géométrie produite est le résultat de la fusion de données mesurées et d'hypothèses archéologiques. Le relevé est alors présenté comme un interprétation du monde réel s'appuyant sur des mesures objectives et sur une connaissance du domaine étudié.

Le modèle 3D produit devient alors plus riche que le simple fac-simile; il est évolutif, capable de révision et de mise à jour de connaissances comme d'ajout de nouvelles mesures. La réalité virtuelle est alors l'interface entre l'archéologue et les données relevées et analysées.

Le projet VENUS, Virtual ExploratioN of Underwater Sites, financé par la commission européenne dans le sixième programme cadre (FP6), de 2006 à 2009, avait pour but le développement d'outils et de méthodes pour le relevé et la visualisation de sites archéologiques sous-marins. Nous avons, à cette occasion, mis en œuvre des procédés originaux de relevé où la photogrammétrie sous-marine est utilisée conjointement a une définition ontologique des artefacts mesurés (principalement des amphores, mais aussi des tuiles et des briques).

2. Le relevé archéologique

La fouille archéologique est le plus souvent irréversiblement destructive, il importe alors de l'accompagner d'une documentation pertinente rendant compte des connaissances actuelles sur le site. Cette documentation est généralement iconographique et textuelle. Les représentations graphiques des sites archéologiques dessins, esquisses, aquarelles, photographies, topographies, photogrammétries sont un passage obligé de toutes fouilles, dans le cas de représentations métriques, comportant au moins une mise à l'échelle, pour parler de relevé. Cependant comme le souligne Olivier Buchsenschutz dans l'introduction au colloque *Images et relevés archéologiques, de la preuve à la démonstration*, en Arles en 2007 «Même très précis, le dessin ne retient que certaines observations pour soutenir une démonstration, tout comme un discours ne retient que certains arguments, mais ce tri n'est pas généralement explicite» (Buchsenschutz 2008). Ceci pose en quelques sortes les fondements du travail présenté ici: le relevé sera tout à la fois une représentation métrique du site et une interprétation de ce même site par l'archéologue.

Deux familles d'objets seront à relever: des portions de terrain ou plus généralement des zones de l'espace, (quelquefois organisées en unités stratigraphiques mais rarement dans le contexte de l'archéologie sous-marine où la fouille représente souvent un moment précis, celui du naufrage) et les artefacts que l'on cherchera à positionner dans l'espace et éventuellement à représenter finement après une étude en laboratoire. Notre travail aborde ces deux aspects: le relevé de l'espace et celui des artefacts au travers de deux approches différentes l'une fondée uniquement sur la géométrie et la seconde utilisant des connaissances *a priori* lors de la mesure. Le relevé du terrain, par exemple, s'appuie sur des outils de photogrammétrie ou de topographie et n'est représenté que par un ensemble de points mesurés, reliés entre eux. Cet aspect du relevé ne sera pas développé dans cet article. La seconde approche, fondée principalement sur la connaissance que l'on a des artefacts mesurés, utilise cette connaissance pour dimensionner et positionner l'objet dans l'espace, plus généralement pour compléter les mesures toujours partielles que l'on peut effectuer. Cette approche peut également conduire à une minimisation de l'effort de mesure.

Enfin il convient de noter que par nature, les données archéologiques sont incomplètes, hétérogènes, discontinues et soumises à d'éventuelles mises à jour et révisions. Le système de documentation, lié au relevé, devra être en mesure de gérer ces différentes contraintes.

Ce travail est présenté du point de vue du relevé: c'est le relevé du terrain ou des artefacts qui offrira une interface à l'ensemble de la documentation archéologique. Le relevé, par nature 3D génèrera une interface 2D ou 3D selon

les besoins exprimés par les archéologues tout en conservant cette fonction d'interface vers la documentation.

2.1 *Le relevé: une interprétation du monde*

Le relevé, dans le contexte patrimonial, est une interprétation du monde réel faite dans un but déterminé *a priori*. Le relevé désigne souvent la production graphique mais est en fait une opération complexe qui implique trois composantes: l'outil de mesure, la connaissance experte de l'opérateur et enfin le medium utilisé pour la représentation graphique. Si le résultat final semble forcément plus pauvre (car la carte n'est pas le territoire), en revanche il portera et offrira un accès à la connaissance qu'en avait l'auteur. En cela le relevé est un véritable outil de connaissance, décrivant l'état actuel, tout en offrant la possibilité de mises à jour, de révisions, et de mise en scène de nouvelles hypothèses (Ginouvès 1987).

2.1.1 La mesure

Plusieurs techniques de mesure peuvent être utilisées, manuelles ou hautement technologiques, du dessin à main levée, par contact (calque), jusqu'au scanner laser en passant par des méthodes semi automatisées comme la topométrie ou la photogrammétrie. Ces outils et méthodes fournissent des données non interprétées, presque objectives. Presque car le choix d'une méthode de mesure conditionne déjà le résultat final par la résolution, l'échelle, le choix des conditions de mesure (lumière, stabilité, etc.).

2.1.2 La connaissance

Le relevé ne pourra être pertinent que s'il est conduit par un expert du domaine car au-delà même de la capacité à représenter, en amont, la capacité à voir, à reconnaitre les détails que l'on veut représenter est indispensable.

Or pour pouvoir identifier dans une image un élément singulier il faut en avoir une connaissance *a priori*, l'opération consiste alors à reconnaitre l'image d'un objet connu dans une photographie comportant d'autres objets, connus de l'opérateur ou non.

2.2 *50 ans de photogrammétrie sous-marine pour l'archéologie*

Les premières expériences de photogrammétrie sous-marine pour l'archéologie remontent aux années soixante (Bass 1970). Depuis l'intérêt de la photogrammétrie et des mesures acoustiques pour l'archéologie n'a cessé de croître (Bass, Rosencrantz 1973; Tchernia, Pomey, Hesnard 1978).

Après la première expérience de relevé photogrammétrique depuis un sous-marin, c'est à Marseille qu'à lieu, pour la première fois en France, le relevé photogrammétrique d'une épave (Liou 1973).

Réaliser des prises de vue stéréoscopiques nécessitait un important dispositif. Alors que le sous-marin Asherah embarquait deux appareils photographiques synchronisés, le relevé par plongeur à Marseille se faisait à l'aide de structures métalliques, fixes et coulissantes. Ces canevas sont installés sur site afin de guider les photographes car les prises de vue stéréoscopiques sont soumises a des contraintes géométriques fortes: les prises de vues doivent être faites en respectant les conditions physiologiques, humaines, de la stéréoscopie: axes optiques parallèles, pas de déversement (rotation autour de l'axe optique).

Cette approche lourde de la photogrammétrie sous-marine, due d'une part à la technique de prise de vue stéréoscopique et d'autre part aux méthodes de restitution par couples indépendant fut un frein important pendant des années. D'autres campagnes importantes sont a noter en France notamment la fouille de la Madrague de Giens (Tchernia, Pomey, Hesnard 1978; Hesnard 1989) qui fut conduite pendant plus de 10 ans et servit de terrain d'expérimentation pour le relevé archéologique.

Le relevé traditionnel d'une épave, est coûteux en temps, en moyens financier et exige une logistique complexe, du matériel sophistiqué et des ressources humaines hautement qualifiées (Green 1990; Martin *et al.* 1992).

Les contraintes spécifiques du milieu sous-marin (turbidité de l'eau, présence de particules en suspension) obligent les opérateurs à travailler à de grandes échelles, près de l'objet (entre 50 cm et deux ou trois mètres, selon la qualité de l'eau). Cet aspect est contraignant et impose une grande quantité de prises de vue néanmoins il procure une grande précision dans les résultats.

La photogrammétrie, quelques fois couplée avec la mesure acoustique est, à ce jour, la méthode la plus précise, non intrusive et ne mobilisant le site qu'un laps de temps très court, pour le relevé de structures sous-marine, de l'archéologie à la biologie marine en incluant les aspects industriels (Tchernia, Pomey, Hesnard 1978; Hesnard 1988; Delgado 1997; Pomey, Rieth 2005).

3. Le relevé des amphores

Dans ce contexte, la mesure et la gestion des amphores de l'épave sont basées sur trois sources de données fortement incomplètes. La première représente le modèle théorique de l'amphore. Elle contient les normes géométriques nécessaires à la représentation graphique des récipients, les valeurs par défaut décrivant des dimensions caractéristiques de ces objets. La deuxième source est alimentée par le relevé photogrammétrique des objets basé sur les photographies prises lors des fouilles. L'information de la troisième source provient des mesures effectuées en laboratoire sur ces

mêmes amphores, une fois qu'elles ont été récupérées. Dans ce travail, nous ne mentionnerons pas cette troisième source d'information (Drap, Seinturier, Long 2003).

3.1 *La première source: le modèle théorique*

Cette source s'implique dans l'expression graphique liée à la connaissance experte des archéologues (S1). Elle découle d'un modèle généré par l'observation des amphores. Ce modèle réunit des informations de diverses natures sur les objets étudiés: la description géométrique de leur morphologie sous la forme d'un ensemble d'attributs géométriques, les observations et mesures possibles sur les objets ainsi que la description des règles de calcul nécessaires pour évaluer les attributs géométriques en recourant aux observations effectuées.

La diversité des objets manipulés par l'archéologue et la complexité géométrique de leurs surfaces nous ont conduits à rechercher leurs caractéristiques morphologiques stables afin d'y effectuer les mesures nécessaires à l'étude.

Ces caractéristiques géométriques sont également décrites dans le modèle. Une série de primitives géométriques simples est utilisée pour approximer ces caractéristiques morphologiques. Elle est employée comme interface entre la mesure photogrammétrique et le modèle théorique (Fig. 1, Pl. XVI, a).

3.1.1 Le lien avec la photogrammétrie

Un ensemble de primitives géométriques simples servent à approximer ces particularités morphologiques et sont utilisées comme interfaces entre la mesure photogrammétrique et le modèle sous-jacent. La finalité de la mesure pouvant être double:

– Détermination des positions et orientations des objets dans le référentiel général du site; il s'agit ici de mesurer un objet dont la morphologie générale nous est donnée *a priori*.
– Les mesures donnant lieu au calcul des positions et orientations de l'amphore peuvent également servir à déterminer des caractéristiques intrinsèques de l'amphore, données qui sont généralement mesurées par une autre méthode quand l'amphore est remontée à la surface. Une détection de conflit entre la mesure photogrammétrique et ces données extérieures est mise en place sans toutefois qu'une décision soit prise par le système. Ces problèmes de fusion de données hétérogènes, de détection de faute et d'incohérences, de mise à jour et de révision de données ne seront pas abordés dans cet article. Ces aspects ont été traités dans le cadre du projet VENUS et les résultats de ce travail sont accessible sur le site du projet (http://www.venus-project.eu/) (Drap *et al.* 2008). La mesure photogrammétrique est supportée par quelques

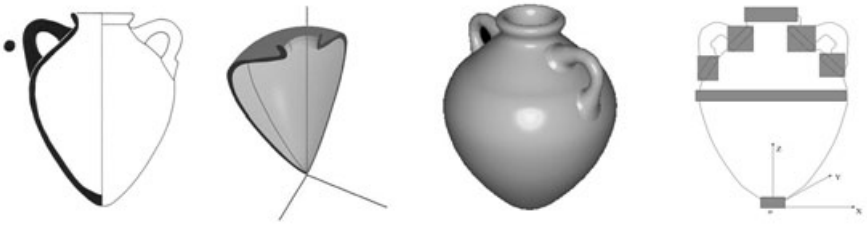


Fig. 1 – De gauche à droite: le modèle graphique élaboré par les archéologues, puis représentation numérique de ce modèle, enfin cinq zones d'une amphore sur lesquelles le relevé autorisé.

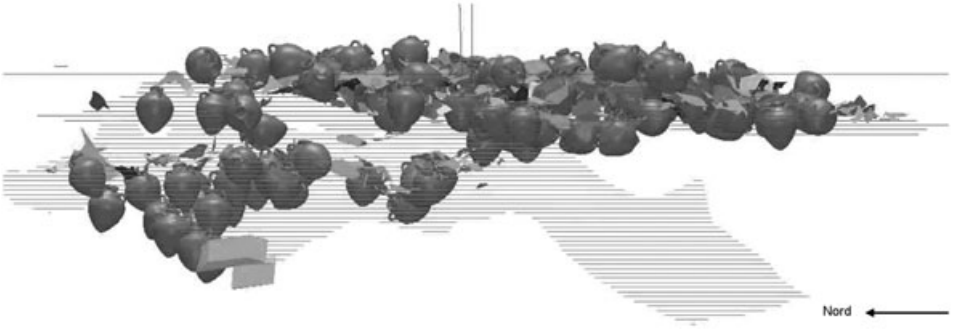


Fig. 2 – Vue synthétique des amphores découvertes lors des fouilles 2000 et 2001. A droite cliché *in situ* et restitution photogrammétrique.

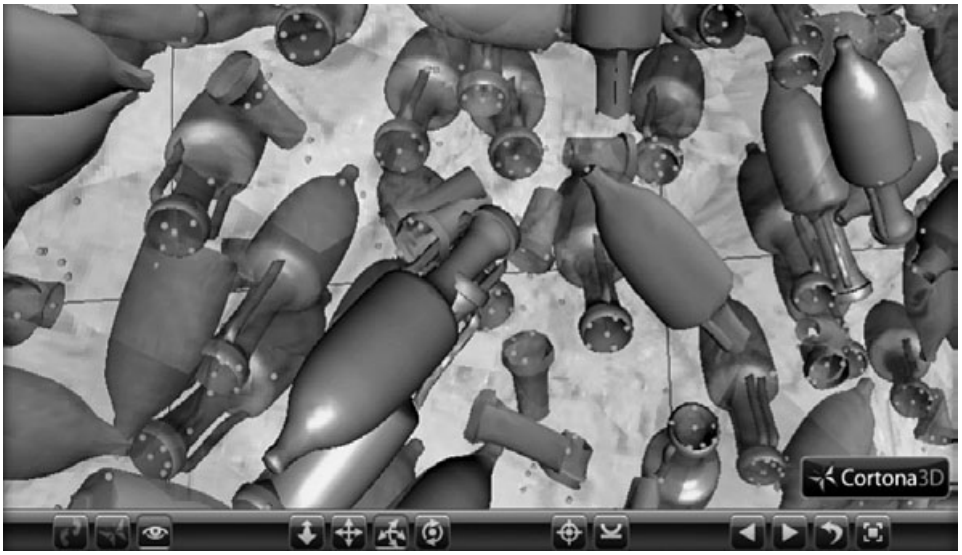


Fig. 3 – Amphores restituées et représentation avec VRML. Le lien avec la base de données est mono directionnel, de la représentation vers la base, il n'est en revanche pas possible (sauf au prix de développement important et d'une perte de portabilité) d'avoir un lien entre la base et la représentation comme par exemple de visualiser le résultat d'une requête sur la base.

points stratégiques de l'amphore (pointillé sur le schéma 1, à droite). Cinq zones servent à définir, de façon redondante, les paramètres de définition du référentiel de l'amphore. Si la mesure s'avère impossible sur certaines parties, le mécanisme de détermination du référentiel utilise les relations entres amphores (si elles existent) ou des valeurs par défaut. Le problème d'inférence de valeurs fondées sur des données incomplètes ou devant être remise en cause est fréquent en archéologie (Drap *et al.* 2008).

Les informations contenues dans la source S1 vont au delà des aspects géométriques. Un ensemble de données non graphiques (bibliographie, iconographie) entrant dans la définition du "modèle" ne seront pas traitées dans cet article.

3.1.2 La seconde source: le relevé photogrammétrique

La seconde source de données (S2) provient des mesures photogrammétriques obtenues à l'aide des photographies prises sur le site. Ces informations sont de trois types: position et orientation des photographies dans le référentiel général du site, position et orientation des amphores identifiées et mesurées, détermination de quelques attributs morphologiques.

Pour chaque amphore observée sur au moins deux photographies, l'archéologue identifie le type de l'amphore et choisit une classe suggérée par le système, issue de la première source de données (S1). Une instance est créée et nommée de façon univoque, l'utilisateur peut alors commencer la phase de mesure (Fig. 2, Pl. XVI, b).

Les mesures ne peuvent être faites que sur les primitives géométriques définies dans le modèle (source S1). La morphologie complète de l'amphore sera déduite de ces primitives géométriques (voir les points mesurés, en vert, sur la Fig. 3, Pl. XVI, c).

Ces mesures sont fortement incomplètes car les amphores ne sont vues que partiellement sur les photographies et par ailleurs beaucoup d'entre elles sont en parties brisées ou envasées. Le rôle du système expert et de la phase de déduction sera de compléter ces observations et, après la fusion des sources S1 et S2, de proposer un modèle complet de chaque instance.

L'obtention d'une représentation 3D complète de l'amphore passe par la fusion des mesures photogrammétriques (S2) et du modèle théorique (S1). Ces deux sources de données fournissent l'information sur les zones remarquables des amphores, définies par l'archéologue. La méthode de fusion est fournie par inférence sur les sources de données et produit une liste d'actions à réaliser. Dans un second temps, la fusion est effectuée selon les actions correspondantes aux faits générés.

Les visualisations tridimensionnelles proposées aux archéologues apportent une vision globale du site impossible à obtenir autrement: toutes les amphores sont visibles sur la même image depuis le début de la fouille.

4. Réalité virtuelle, un passage obligé?

Le système présenté ici produit des modèles 3D d'artefacts étudiés, modèles géométriques associés à une base de données archéologique (voir Fig. 3, Pl. XVI, c).

Le lien entre géométrie et connaissance est effectué par l'opérateur et demeure bien sur potentiellement révisable. La dimension la plus importante de ce travail n'est pas la possible exploitation des relevés dans un système de réalité virtuelle mais bien l'utilisation de cette maquette numérique comme interface aux données archéologiques. Cette utilisation peut être pertinente en 3D mais aussi en 2D. Dans tous les cas c'est une approche connexe au Système d'Information Géographique et les développements que nous poursuivons actuellement s'appuient sur ces concepts ainsi que sur les outils utilisés dans cette communauté.

Ces relevés photogrammétriques, que ce soit l'épave *Grand Ribaud F* (Drap, Long 2005) ou bien les autres étudiées dans le cadre du projet VENUS livrent donc un important ensemble de données 3D incluant les références spatiales et la description morphologique de tous les artefacts observés. Cependant, pour de nombreux archéologues la représentation 3D ne semble pas toujours significative voire pertinente, ces derniers préférant travailler avec des cartes 2D plutôt qu'avec des représentations 3D.

Il était alors important de déterminer les causes d'un tel comportement et d'essayer d'adapter nos outils afin de répondre au besoin.

Les modèles 3D résultants peuvent avoir, nous l'avons vu dans le cadre du *Grand Ribaud F*, une grande utilité par exemple afin de lier plusieurs années de fouille et donc plusieurs couches d'amphore dans une seule représentation. Néanmoins il convient de noter que les fouilles avec prélèvement sont assez rare en milieu sous-marin profond, ces fouilles ne pouvant actuellement être automatisées elles sont limitées aux zones accessibles par plongeur et donc, en France, à 60m. Ceci ne représente qu'une toute petite partie des fonds accessibles et actuellement aucune découverte profonde ne peut faire l'objet de fouille. Dans ce cas là l'on se limitera à un relevé de la couche de surface.

Même si ce relevé est basé sur une technique d'acquisition 3D les résultats le plus adapté serait donc en 2D. Par ailleurs les relevés produits par les archéologues répondent à une forme précise, le mode de dessin et la facture finale étant fortement codifiés.

Au delà des productions géométriques 3D exprimées dans des langages de scènes traditionnels comme VRML nous avons cherché à générer des représentations 2D qui pourraient évoquer une facture manuelle tout en conservant le lien indispensable entre géométrie et connaissance, entre représentation vectorielle et base de données.

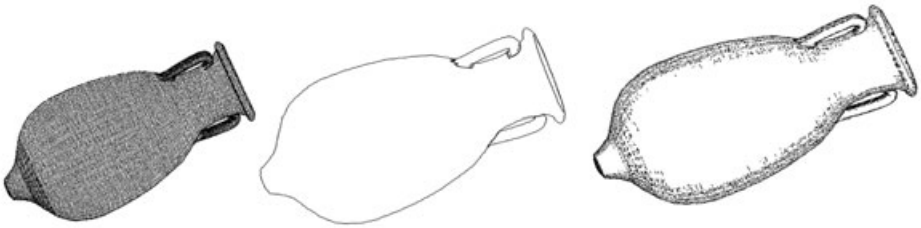


Fig. 4 – A gauche, algorithme de ligne cachée appliqué à une amphore relevée, au centre: Contour d'amphore: panse et anses. A droite, relevé photogrammétrique, projection 2D et rendu manuel.

Cette représentation 2D s'obtiendra donc en exploitant le modèle 3D obtenu et en utilisant une projection dans le plan de la représentation.

A partir des données 3D de sites sous-marin, nous avons développé une application entièrement consacrée à la création automatique de cartes en 2D. Cette cartographie est:

– Obtenue seulement à partir des données 3D.
– Augmentée avec la connaissance, et liée à la base de données archéologique.
– Aussi proche que possible des dessins archéologiques traditionnels.

De plus, comme nous travaillons à partir des données visibles des sites étudiés, c'est-à-dire à partir d'un seul niveau archéologique (généralement de la couche de surface) des outils SIG standard et conçus pour la 2D terrestre sont tout à fait appropriés.

Les représentations SIG reposent sur des formats standardisés: le GeoTIFF et le Shapefile (Shapefile est un format de fichier qui est vectoriel, géospatial et qui est développé par la société ESRI. Il est utilisé par de nombreux logiciel SIG incluant des projets open source).

Dans cette optique, nous avons d'une part étudié un ensemble conventions graphiques utilisé en archéologie sous-marine et nous avons établit trois règles pour la génération de ces représentation 2D:

– Ne sont représentées que les contours des parties fonctionnelles de l'artefact.
– Les contours d'artefacts sont dessinés à partir d'un point de vue unique. Autrement dit, seules les parties visibles sont représentées.
– Les arrondis sont mis en exergue par une petite ligne segmentée tracée à côté du contour, et ce en fonction de l'orientation de l'artefact et du point vue choisi pour dessiner.

L'implantation de ces trois règles s'est faite à l'aide d'algorithmes bien connus, en informatique graphique (lignes et faces cachées, opération booléennes sur des polygones), une première étape consiste à représenter les objets

à l'aide d'un ensemble de triangles, puis de ne représenter que les triangles visibles depuis le point de vue de l'observateur, enfin un ensemble d'opérations booléennes produit le contour des parties à représenter.

Les segments de courbure, sont fonction de l'angle entre le vecteur normal de chaque triangle avec un vecteur lié au point de vue. Le résultat de ce processus est illustré sur la Fig. 4.

4.1 *Restitution des tessons*

Nous avons également travaillé sur la représentation des tessons mesurés in situ. Un rendu similaire a été possible en fusionnant trois types d'informations:

– Un ensemble de points mesurés décrivant convenablement la géométrie de tesson, c'est à dire, un périmètre plus un point définissant la concavité ou la convexité dans le cas d'un fragment de panse. Un périmètre de la fracture dans le cas de col ou d'anse.
– Le type de tesson (panse, col, pied) et le type d'amphore correspondant.
– Le modèle théorique 3D type de l'amphore identifiée.

A partir de ces données, nous avons développé une méthode de restitution spécifique. Celle-ci repose sur l'identification de chaque tesson en fonction des typologies connues et établies par les céramologues. La méthode retenue, assez simple, est articlée en deux étapes. La première consiste à faire coïncider le contour du tesson à celui du modèle théorique correspondant et la deuxième, à en extraire la partie concernée à l'aide du modèle 3D correspondant (Fig. 5).

4.2 *Exportation automatique en formats standards*

Les représentations géométriques 2D des artefacts, produites dans le cadre de ce projet, sont intégrées dans un système d'information géographique que nous avons spécifiquement développé. Il est toujours délicat de justifier le développement d'un nouvel outil ressemblant fortement à d'autres déjà existant… (Fig. 6).

Dans notre cas la justification est qu'un Système d'Information repose sur l'interaction géométrie/données non graphiques et que pour nous la partie connaissance, structuration des données, requêtes, liens entre les données archéologiques et les modèles théoriques ainsi que leur représentation graphique 3D existait déjà. La seule production nouvelle d'une représentation 2D ne pouvait être suffisante pour ne pas utiliser le système existant.

Nous avons donc développé une interface 2D aux modèles 3D déjà présent dans notre approche. Notre choix s'est porté sur GeoTools, une bibliothèque open source en JAVA qui fournit des méthodes adaptées aux normes de manipulation de données géospatiales. La bibliothèque Geotools

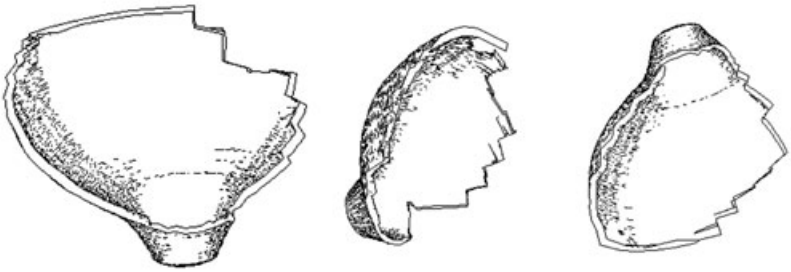


Fig. 5 – Représentation 2D automatiquement produite à partir de la simulation 3D du dessin archéologique traditionnel. Différents points de vue du même artefact en 3D.

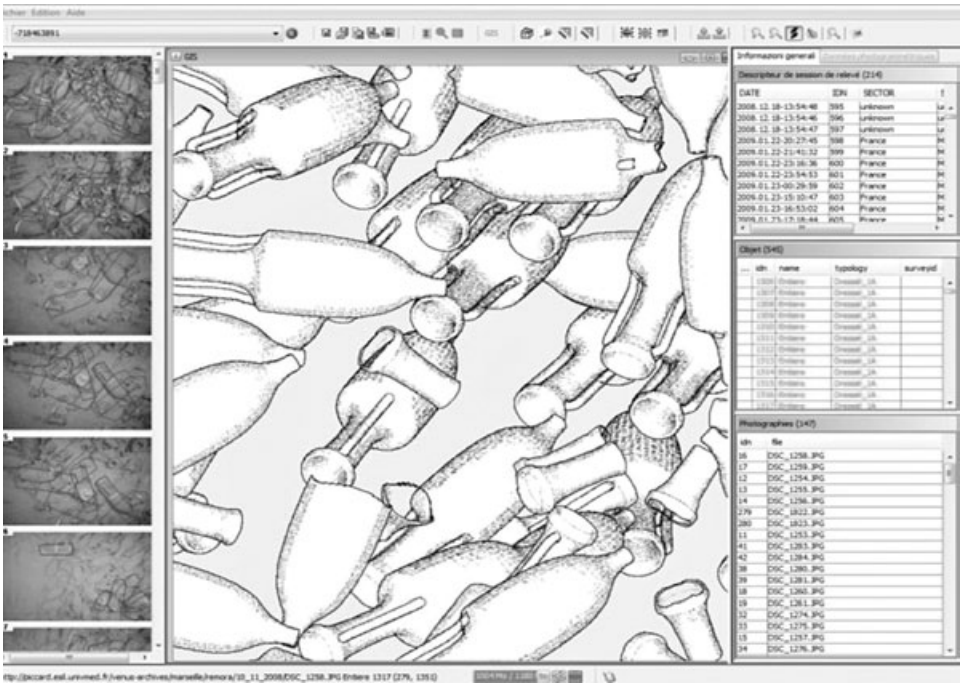


Fig. 6 – Représentation 2D automatiquement générée à partir des relevés photogrammétriques 3D. L'interface de visualisation autorise une réelle connexion bidirectionnelle entre les représentations 2D des objets archéologiques et la base de données.

gére un grand nombre de formats standard SIG et plus particulièrement le GeoTIFF et les formats Shapefile.

L'interface SIG développée sur GeoTools autorise une liaison directe et bidirectionnelle entre la base de données et le SIG.

5. Conclusions et perspectives

A partir de l'enregistrement informatisé de toutes les données de la fouille, l'archéologue est désormais capable d'obtenir des représentations 2D ou 3D, précises, et d'interagir dans des fac-similés fidèles construits au plus près du terrain et visualisable à l'aide de logiciels désormais courants. Ainsi, pouvons-nous considérer comme le faisait encore récemment Jean Leclant que «désormais les techniques les plus modernes, avec toutes leurs promesses d'avenir, participent à la quête ardente de l'homme vers son passé» (Leclant 1996, 7).

Mais au-delà du procédé de photogrammétrie sous marine, il faut retenir la notion de modèle à partir duquel sont générés les fac-similés des artefacts issus d'un nombre restreint de points mesurés qui fournissent leurs positions, orientations et paramètres géométriques. C'est-à-dire que l'ensemble des amphores et fragments visibles est modélisé à partir d'un concept, enrichi de la lecture de chaque objet, avec ses mensurations et ses caractéristiques propres. C'est par ce principe rationalisant que l'archéologue peut visualiser l'ensemble d'un site dont il n'a acquis jusque là, sur le terrain, qu'une vision parcellaire.

Pierre Drap
CNRS UMR 6168 LSIS – Marseille
Équipe I&M, Images et Modèles

BIBLIOGRAPHIE

Bass G.F. 1970, *Archaeology under Water*, Harmondsworth, Pelican Book.

Bass G.F., Rosencrantz D. 1973, *L'utilisation des submersibles pour les recherches et la cartographie photogrammétrique sous-marine*, in *L'archéologie subaquatique, une discipline naissante*, Paris, Unesco, 285-298.

Buchsenschutz O. 2008, *Images et relevés archéologiques, de la preuve à la démonstration*, Paper presented at the 132e Congrès National des sociétés historiques et scientifiques, Arles, Editions du CTHS.

Dangréaux B., Rival M., Carre M.-B., Hesnard A. 1988, *L'épave romaine Grand Ribaud D (Hyères, Var)*, «Archaeonautica», 8, 5-180.

Delgado J.P. 1997, *Encyclopedie of Underwater and Maritime Archaeology*, New Haven and London, Yale University Press.

Drap P., Long L. 2005, *Photogrammétrie et archéologie sous-marine profonde. Le cas de l'épave étrusque Grand Ribaud F*, «XYZ», 103-104.

Drap P., Scaradozzi D., Gambogi P., Gauch F. 2008, *Underwater photogrammetry for archaeology – The VENUS project framework*, in J. Braz, N. Jardim Nunes, J. Madeiras Pereira (eds.), *Grapp 2008. Proceedings of the Third International Conference on Computer Graphics Theory and Applications* (Funchal, Madeira, Portugal 2008), INSTICC, 485-491.

Drap P., Seinturier J., Long L. 2003, *Archaeological 3D modelling using digital photogrammetry and Expert System. The case study of Etruscan amphorae*, Paper presented at the 3IA 2003 – The Sixth International Conference on Computer Graphics and Artificial Intelligence Limoges (France).

Drap P., Seinturier J., Conte G., Caiti A., Scaradozzi D., Zanoli S., Gambogi P. 2008, *Underwater cartography for archaeology in the VENUS project,* «Geomatica, The Journal of Geospatial Information Science, Technology and Practice», 62-4, 419-428.

Ginouvès R. 1987, *Les techniques du relevé*, in *Le décor romain, les méthodes de relevé et de restitution*, «Dossier histoire et archéologie», 119, 7-9.

Green J. 1990, *Maritime Archaeology: A Technical Handbook*, London, Academic Press.

Hesnard A. 1989, *L'épave Grand Ribaud D. Les apports de la photogrammétrie sous-marine,* «Le courrier du CNRS», 73, 66-67.

Leclant J. 1996, *Présentation*, in M. Forte (ed.), *Archéologie virtuelle, le passé retrouvé*, Paris, Arthaud, 295.

Liou B. 1973, *Recherches archéologiques sous-marines*, «Gallia», 31, 71-608.

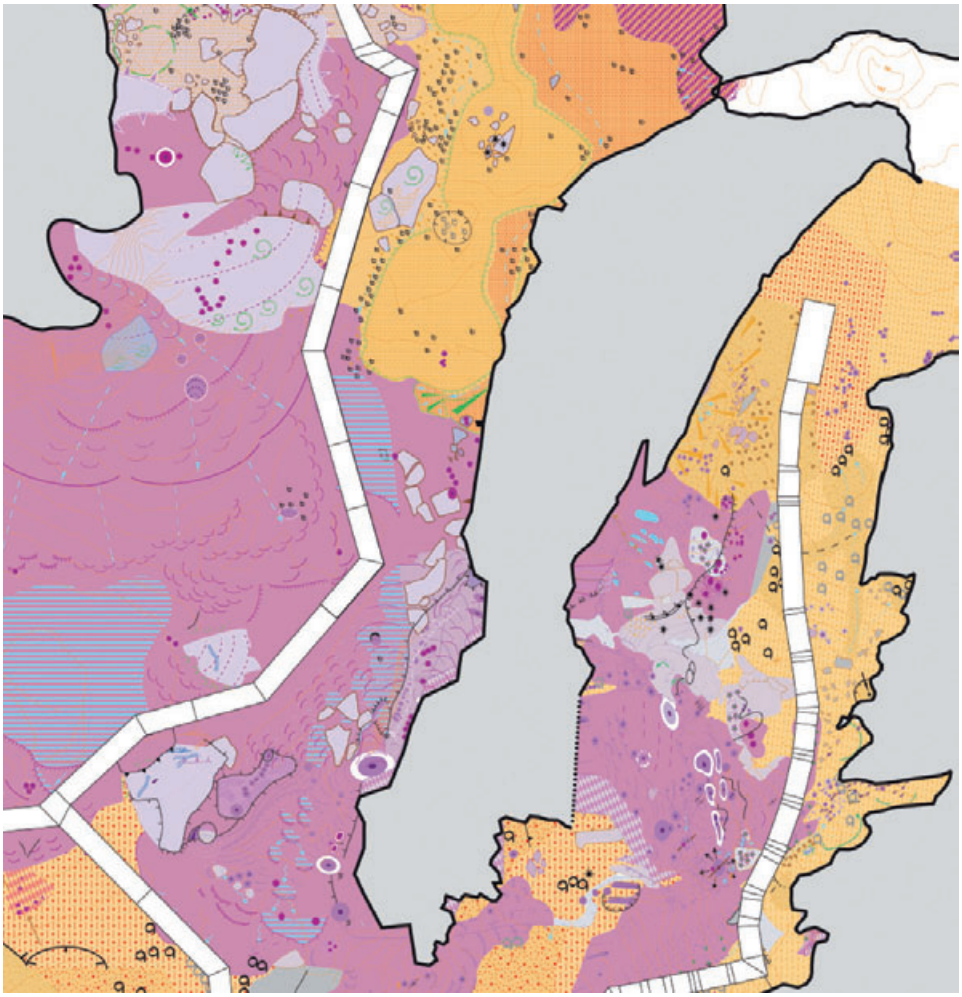
Martin D., Ferrari B., Oxley I., Redknap M., Watson K. 1992, *Archaeology Underwater: NAS Guide to Principles and Practice*, Dorchester, Nautical Archaeology Society.

Pomey P., Rieth E. 2005, *L'archéologie navale*, Paris, Errance.

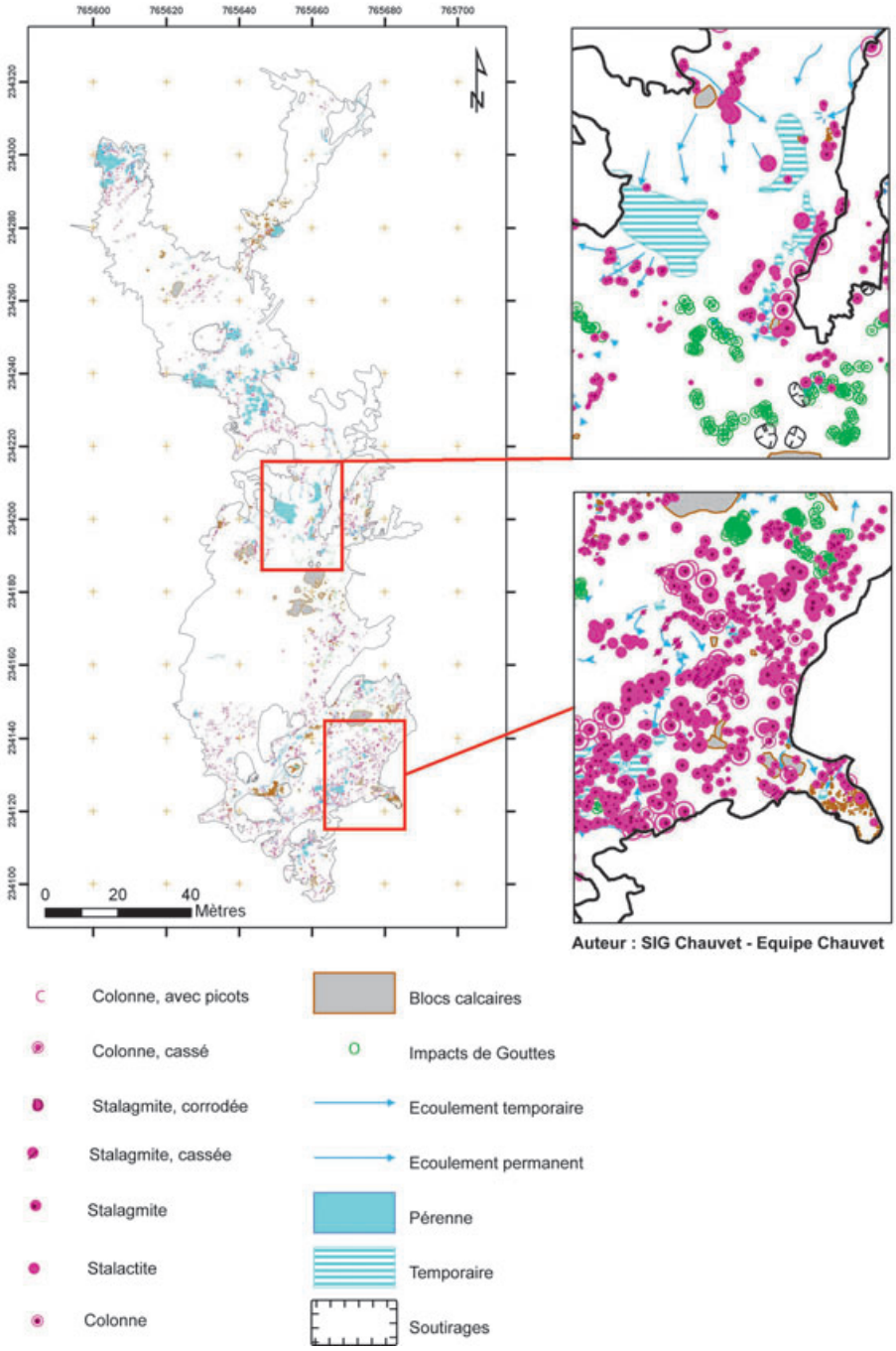
Tchernia A., Pomey P., Hesnard A. 1978, *L'épave romaine de La Madrague de Giens (Var)*, «Gallia», 34, Supplément, Epub.

ABSTRACT

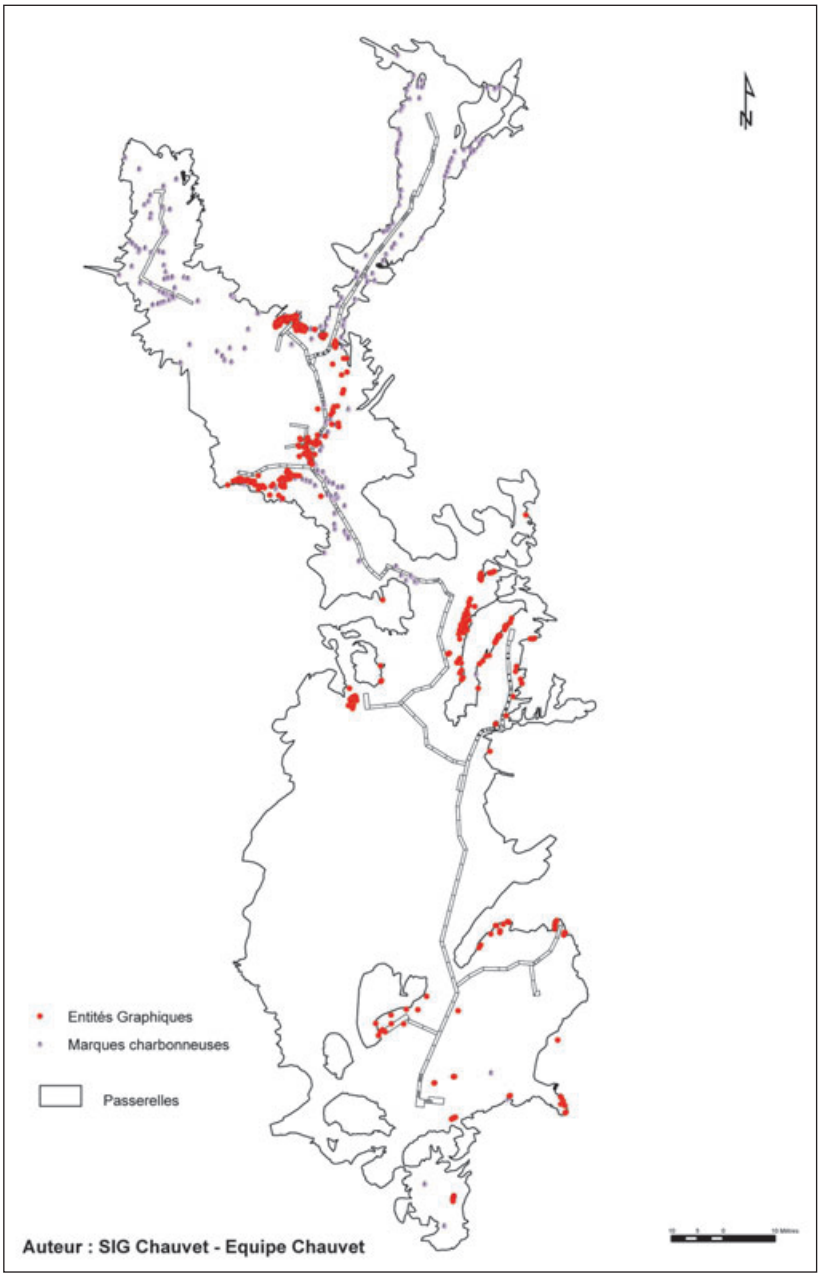
Underwater archaeology has to depend on reliable and precise readings with limitations of access sometimes requiring an analysis and data interpretation on the site. In order to create optimal study conditions, the production of a virtual facsimile was planned. As part of the VENUS (Virtual ExploratioN of Underwater Sites) project, a procedure combining photogrammetry and ontological definition of artifacts was elaborated. These objects, essentially amphorae, are numerically modelled and viewed from photogrammetric measures taken on the site. 2D and 3D reconstructions are then obtained in standard GIS format.

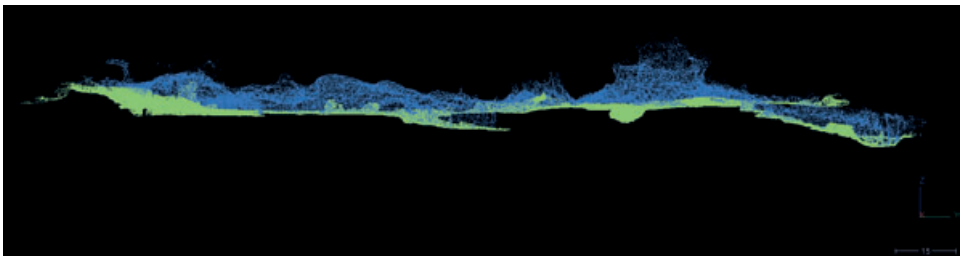


Pl. I – Extrait de la carte géomorphologique des sols (Boche *et al.*, p. 102).

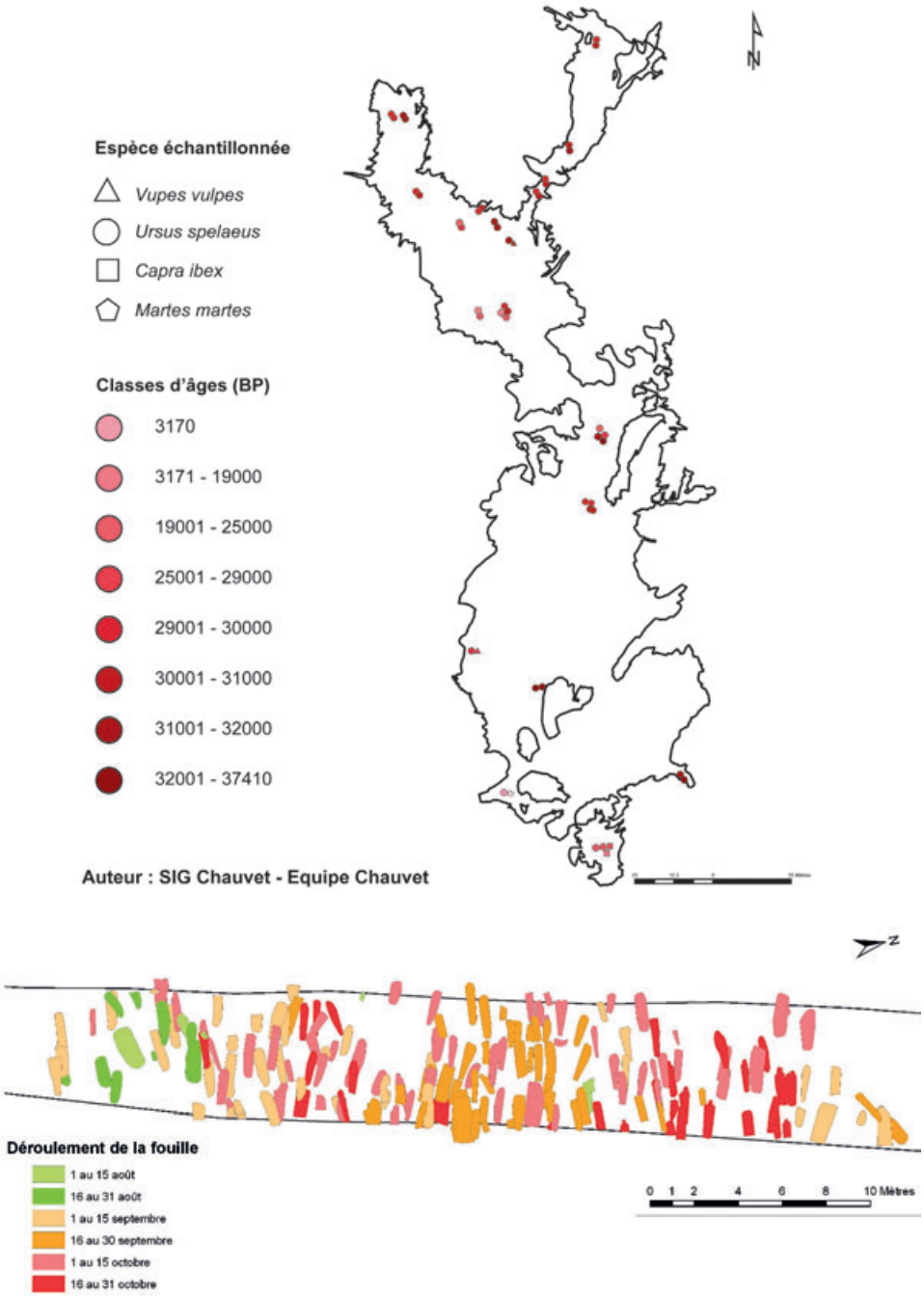


Pl. II – Extrait de la carte géomorphologique mise en SIG (Boche *et al.*, p. 103).

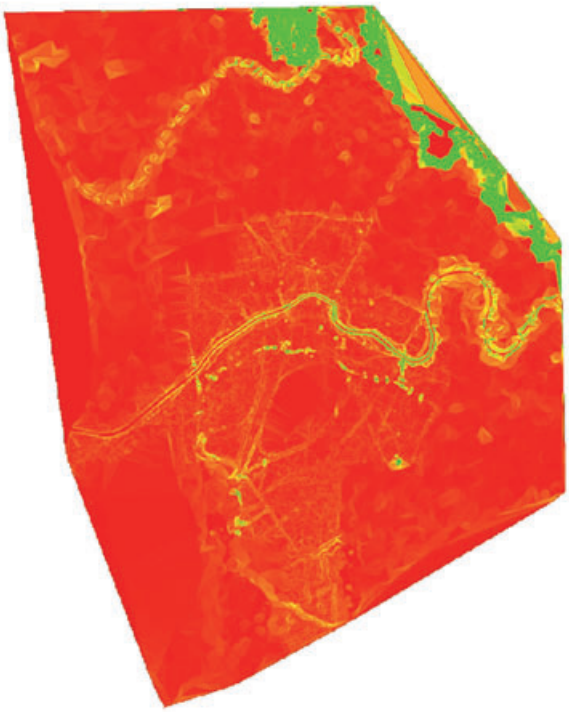


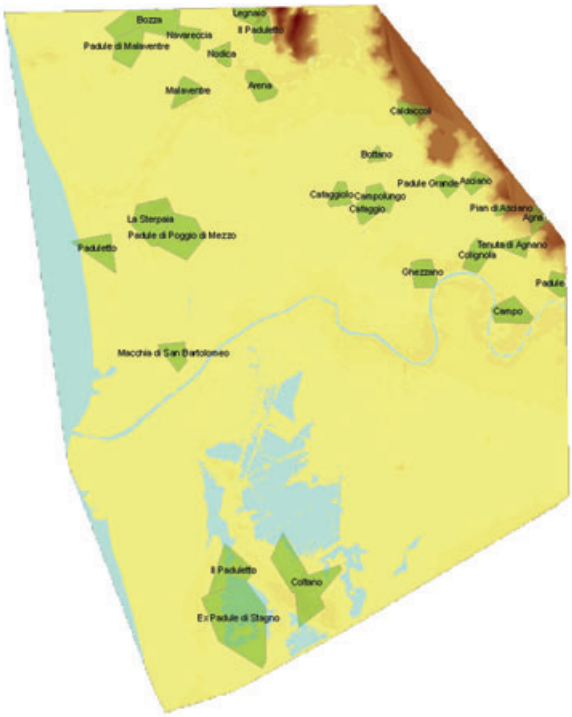


Pl. III – a: Localisation des entités graphiques et des marques charbonneuses en cours d'intégration dans le SIG (Boche *et al.*, p. 105).
b: Vue du nuage de point décomposé pour la création des deux surfaces (sols et voûtes) (Boche *et al.*, p. 107).

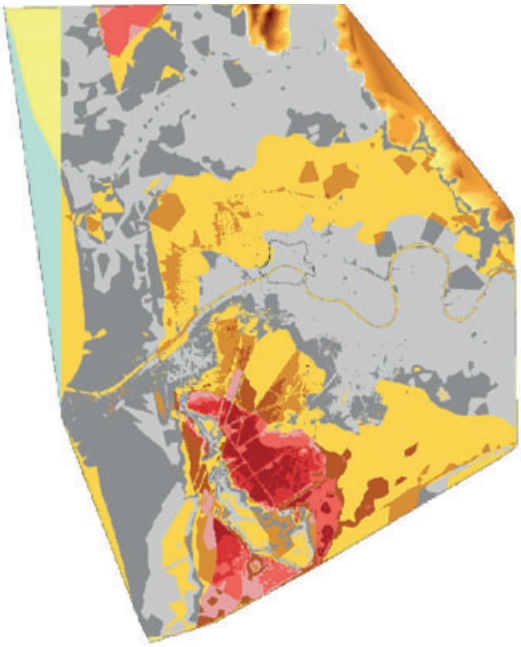


Pl. IV – a: Datation des ossements de la grotte Chauvet (Boche *et al.*, p. 109).
b: Déroulement de l'opération, © V. Buccio, Cg02 (Buccio *et al.*, p. 121).



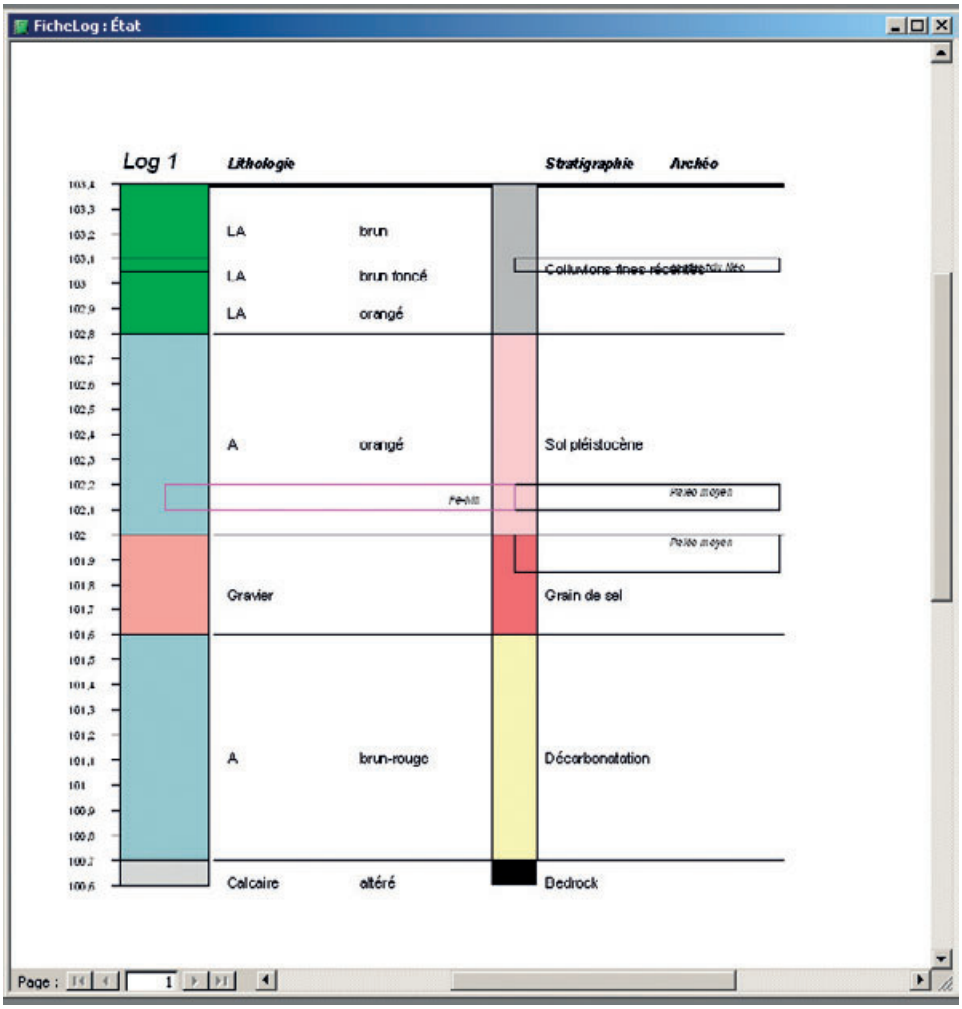


Pl. V – a: The reclassification of slope function applied to the DTM (Gattiglia, p. 133).
b: The *selection by attibutes* from toponymic vector map of features connected to marshy areas or mentioned as marshy areas in medieval documents (Gattiglia, p. 133).

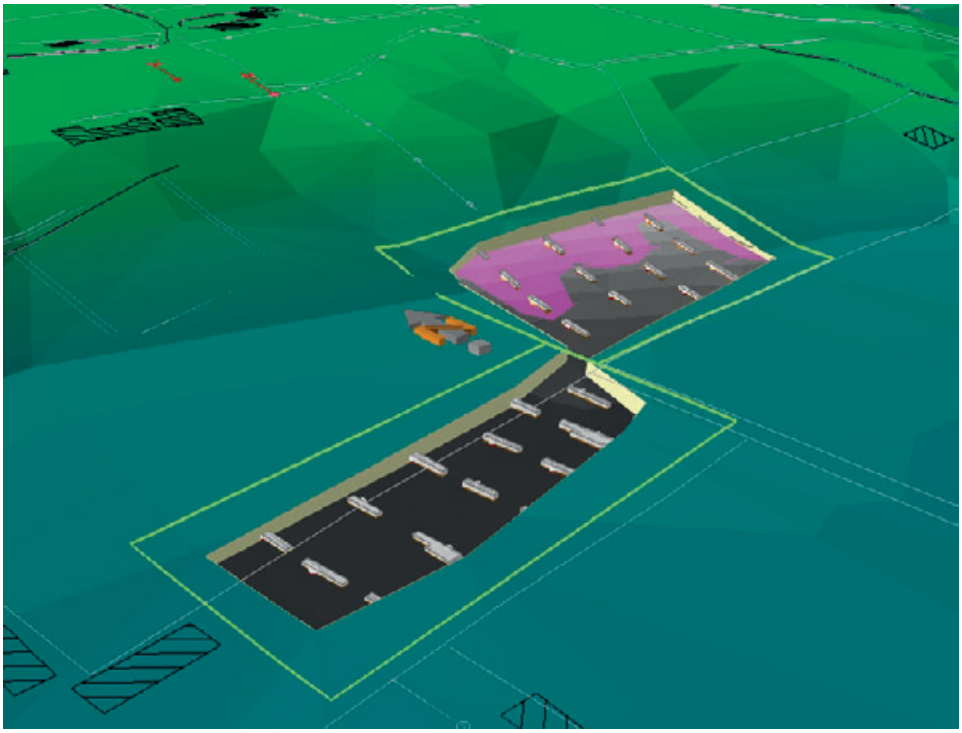


Pl. VI – a: The map of potentially marshy. Reddish areas represent high potential for flooding; yellowish areas represent medium potential for flooding and greyish areas represent low potential for flooding (Gattiglia, p. 134).

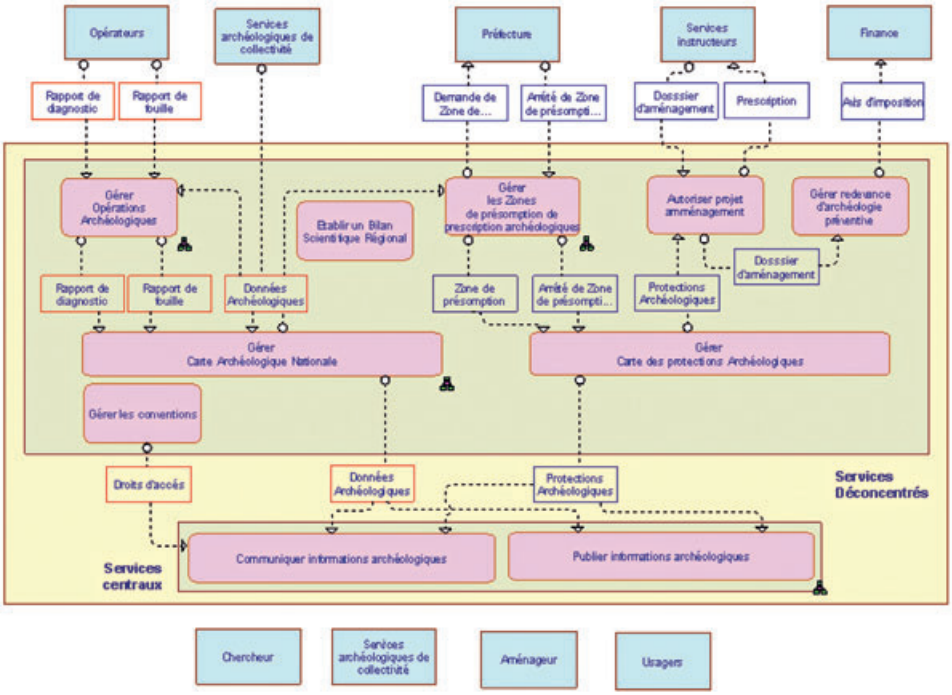
b: The result of this process is the hypothetical model of the landscape in the Early Middle Ages landscape (left) and in the Late Middle Ages (right), with the extent of the marshy areas, the road network and the rivers (Gattiglia, p. 137).

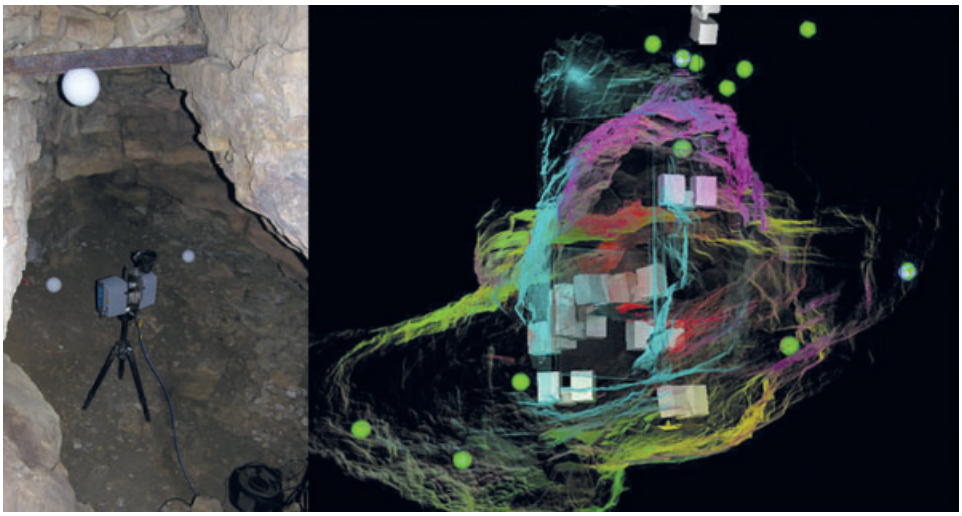


Pl. VII – Exemple de fiche synthétique produite à partir des données chiffrées renseignées dans le formulaire descriptif (Prodeo, p. 166).

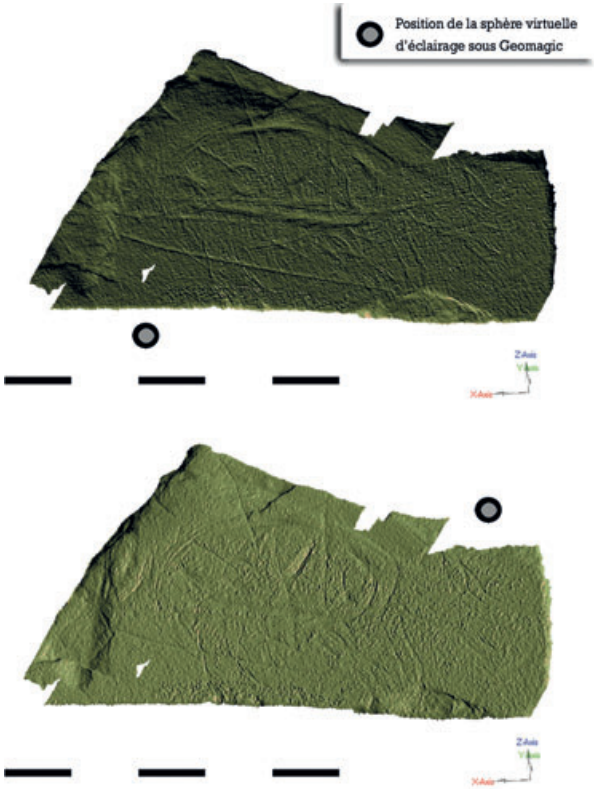


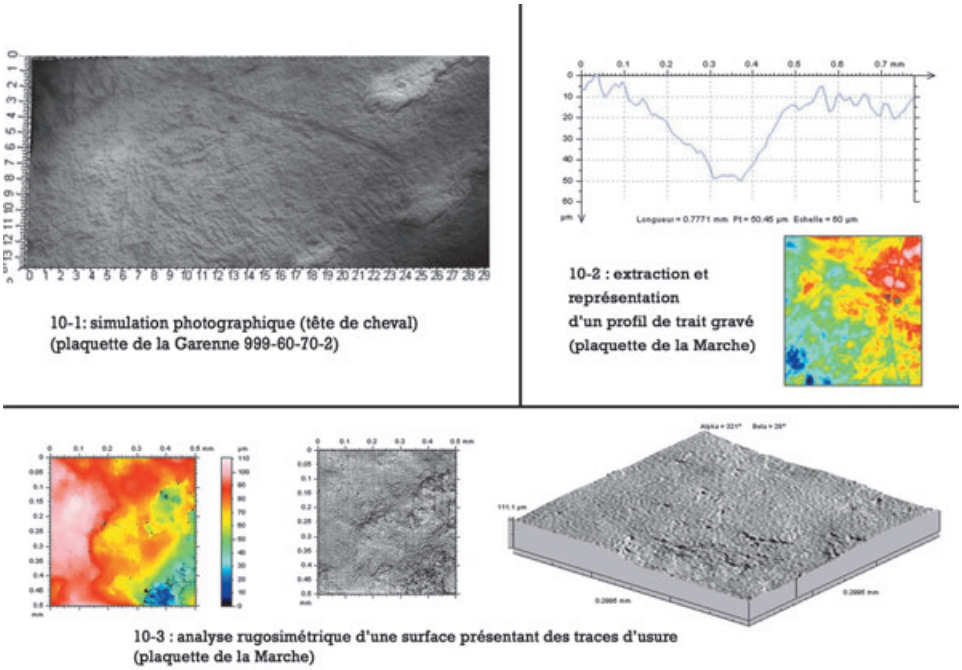
Pl. VIII – Exemple de restitution en volume de l'extrapolation des unités sédimentaires en présence (Pléistocène en violet, Holocène en gris), avec figuration des tranchées de sondage (CREYSSE, 24, "Les Galinoux") (Prodeo, p. 172).



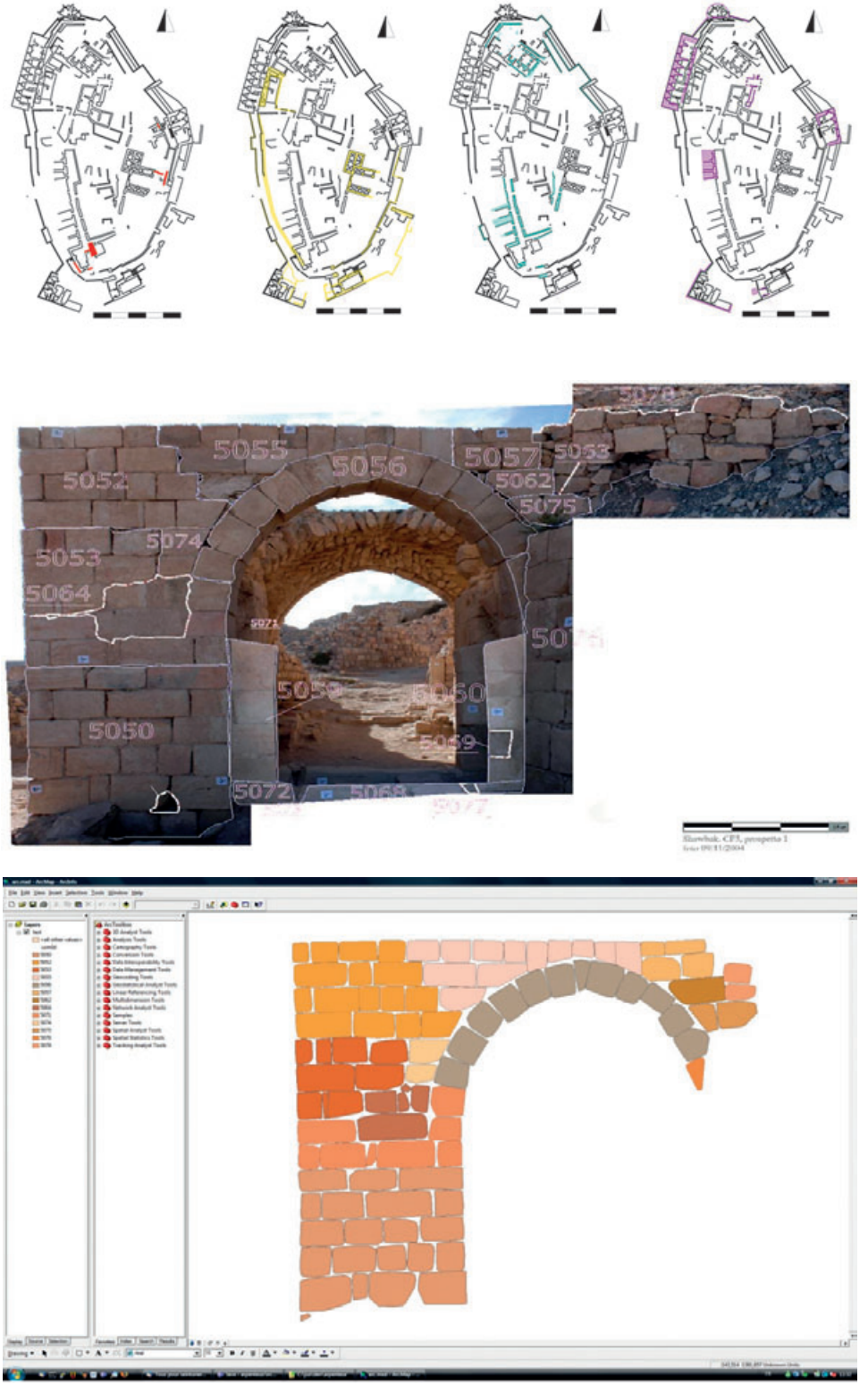


Pl. IX – a: Un exemple de formalisation des processus métiers de l'administration de l'archéologie (blocs roses: processus; blocs verts: acteurs; blocs blancs à liseré rouge et bleu: données en entrée et en sortie des processus) (Djindjian, p. 284).
b: Vue d'une station de numérisation de la grotte Blanchard (Robert *et al.*, p. 343).





Pl. X – a: Ours gravé, plaquette de la Marche (D50-7-293, collection Musée de l'Homme), photographies virtuelles du scan haute résolution (logiciel Geomagic) (Robert *et al.*, p. 345).
b: Exemples de traitement et d'utilisation des données microtopographiques sur des plaquettes (la Garenne et la Marche) (Robert *et al.*, p. 352).

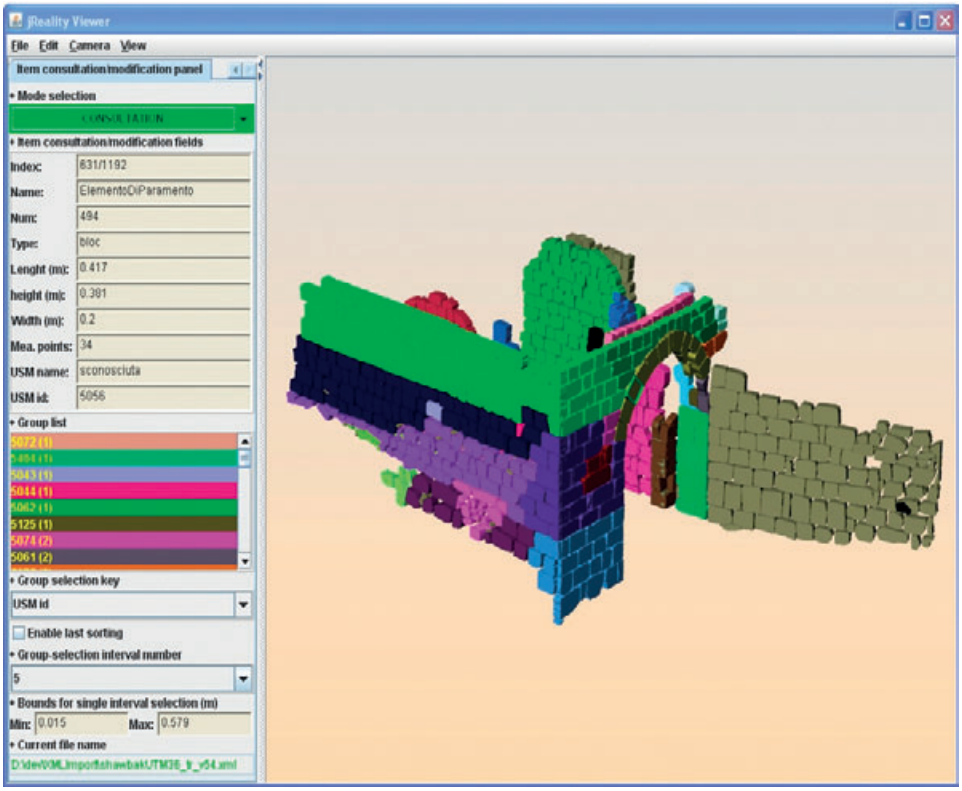


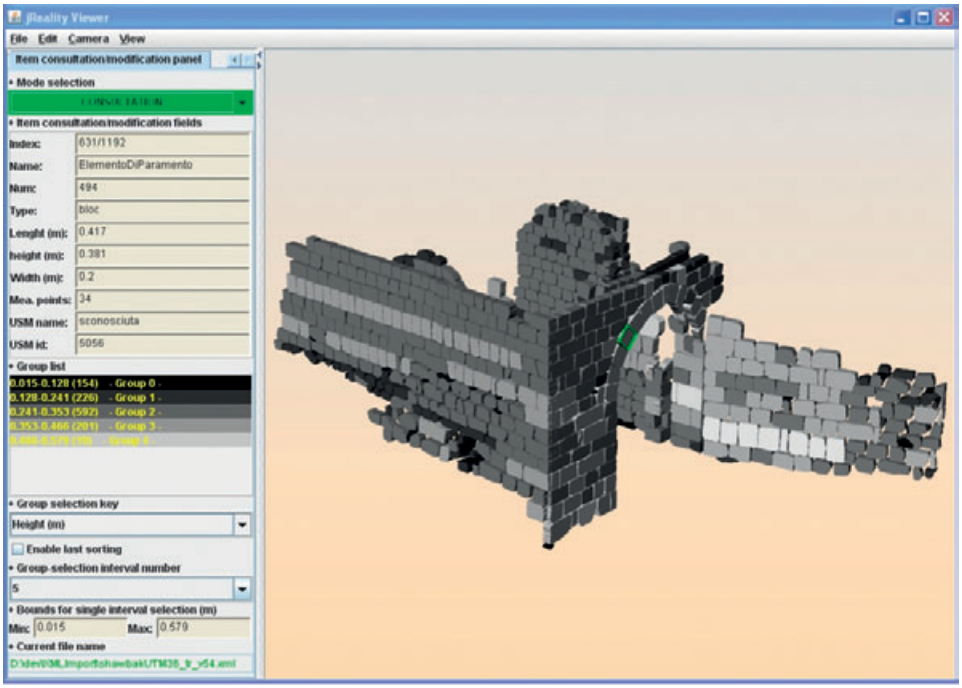
Pl. XI – a: Lecture et identification des phases (Pruno *et al.*, p. 373).
b: Une représentation manuelle des USM sur une orthophoto (Pruno *et al.*, p. 376).
c: Requête de base de données exportée avec logiciel Arc-Gis (Pruno *et al.*, p. 376).

Pl. XII – a: Orthophoto générée par une requête sur la base de données: visualisation des blocs appartenant aux USM visibles sur le plan de projection donné. En jaune l'extraction automatique du mortier, en vert le périmètre des USM (Pruno *et al.*, p. 377).

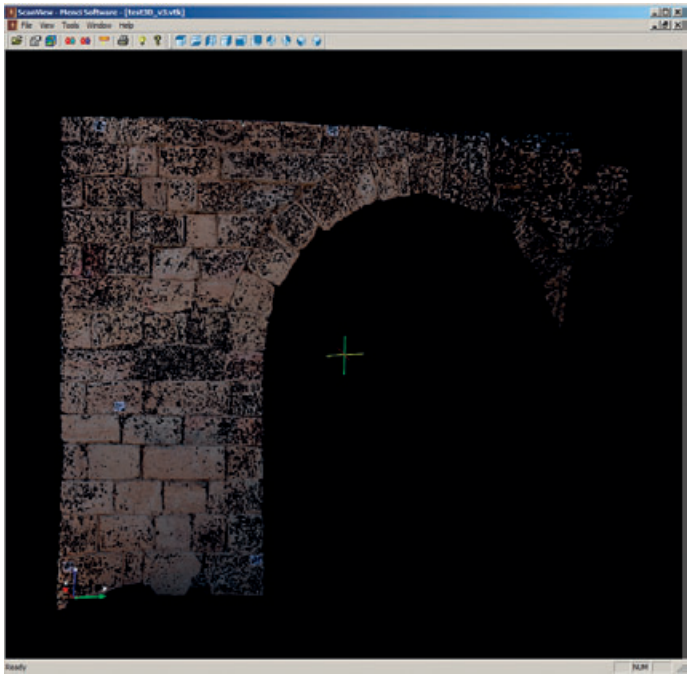
b: Orthophoto générée par une requête sur la base de données: visualisation des blocs appartenant aux USM visibles sur le plan de projection donné. En vert le périmètre des USM. La texture est complète à l'intérieur des USM (Pruno *et al.*, p. 377).

c: Orthophoto (dans texture) générées par une requête sur la base de données: visualisation du périmètres des USM présentent dans le plan de projection donné avec dessin du périmètre global (toutes les USM) en rouge. Une couleur arbitraire est attribué au polygone englobant (rouge). A droite toujours sans information de texture sont représentés les blocs de chaque USM presente. Une couleur unique est attribué aux bloc de chaque USM. Le mortier est dessiné en jaune (Pruno *et al.*, p. 377).

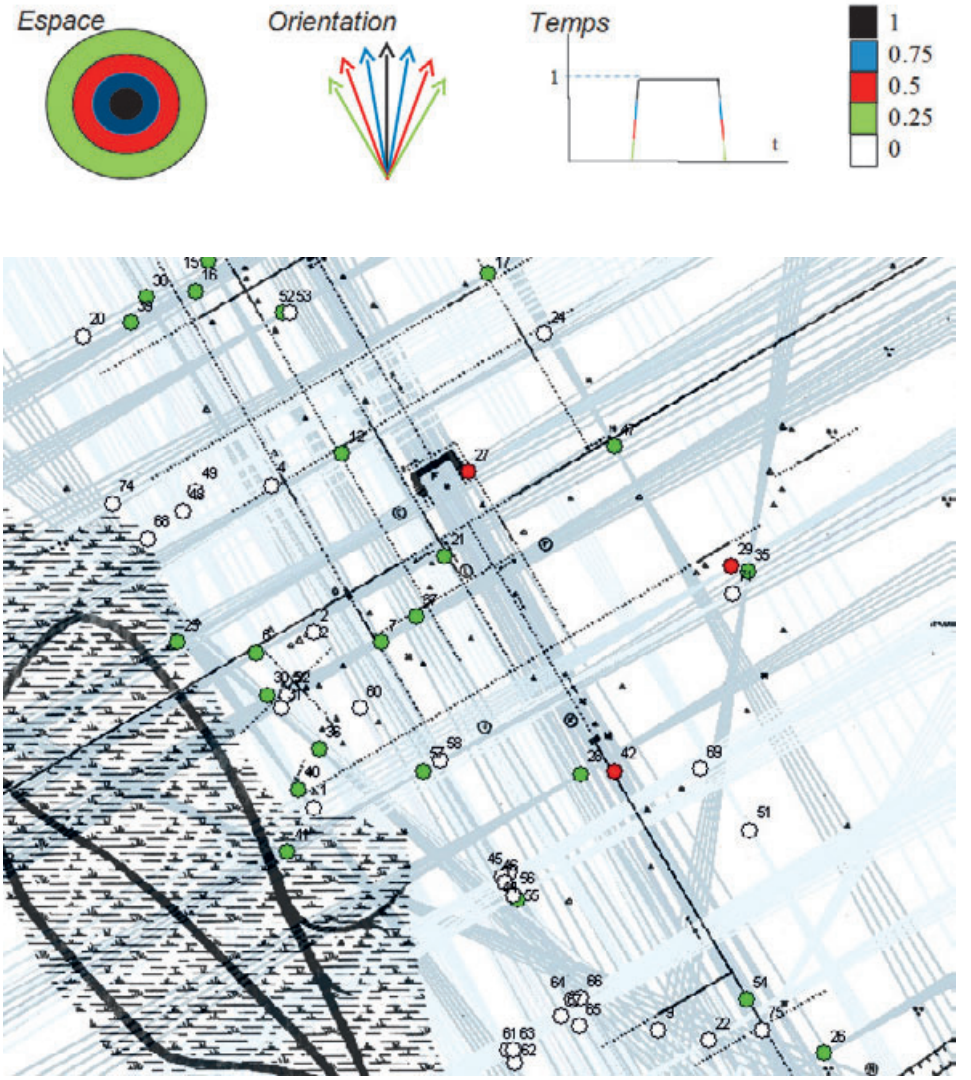




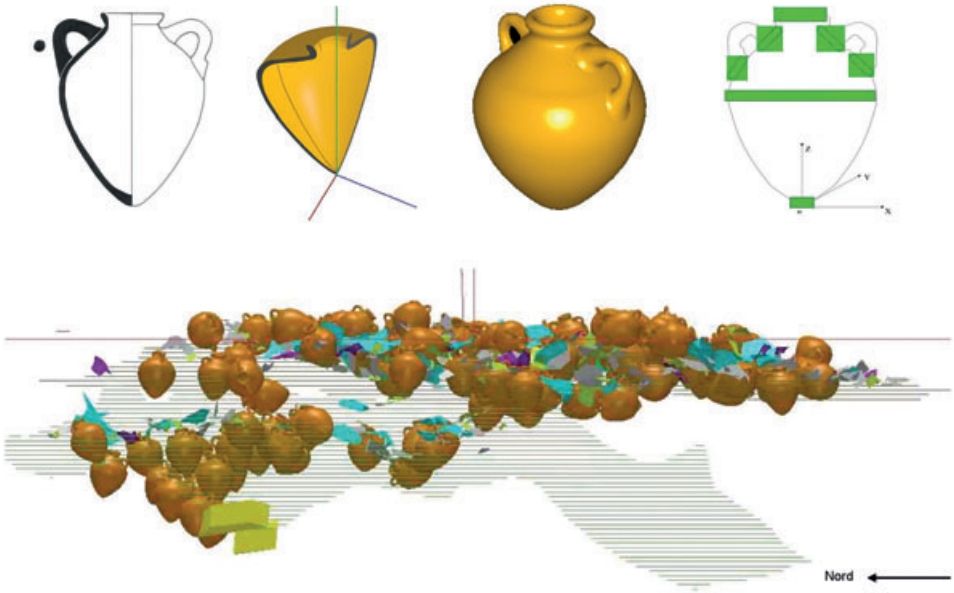
Pl. XIII – a: Visualisation 3D des bloc avec une couleur en fonction de leur USM. Le panneau de gauche permet la consultation/modification du bloc selectionné (Pruno *et al.*, p. 379).
b: Visualisation 3D avec affectation de couleur en fonction de l'appartenance à une classe basée sur la hauteur des blocs (Pruno *et al.*, p. 381).

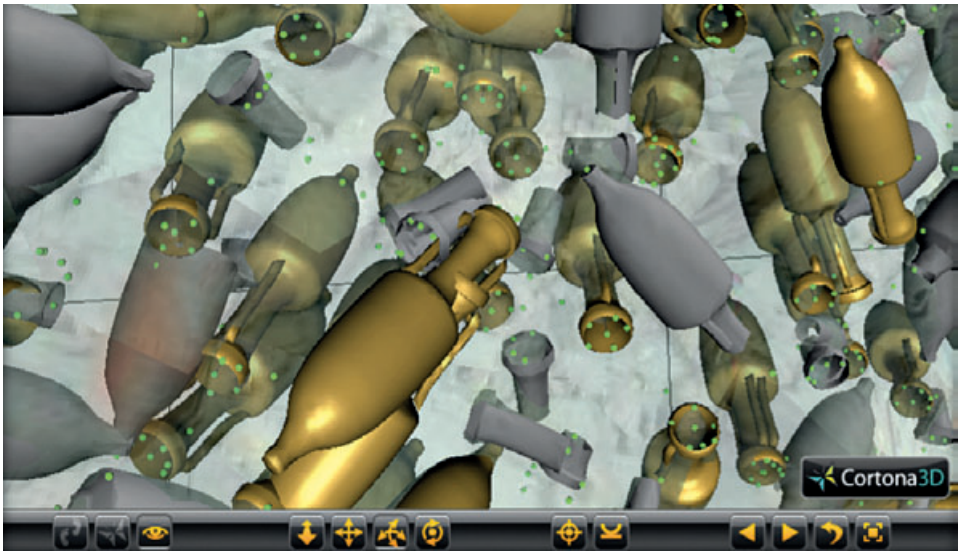


Pl. XIV – a: Génération de point de nuage 3D basée sur l'auto-corrélation et une surface approximative donnée par les blocs mesurés (Pruno *et al.*, p. 382).
b: Génération de point de nuage 3D basée sur l'auto-corrélation où l'information sémantique est employée pour obtenir une couleur (Pruno *et al.*, p. 382).



Pl. XV – a: Exemples de modélisation par des objets flous (Desjardin *et al.*, p. 390).
b: Hypothèses valuées de présence de rues de *Durocortorum* au IIIe siècle ap. JC: les hypothèses sont en niveau de gris superposées sur un plan des voiries issu d'expertises (en noir) (Desjardin *et al.*, p. 390).





Pl. XVI – a: De gauche à droite: le modèle graphique élaboré par les archéologues, puis représentation numérique de ce modèle, enfin cinq zones d'une amphore sur lesquelles le relevé autorisé (Drap, p. 432).

b: Vue synthétique des amphores découvertes lors des fouilles 2000 et 2001. A droite cliché in situ et restitution photogrammétrique (Drap, p. 432).

c: Amphores restituées et représentation avec VRML. Le lien avec la base de données est mono directionnel, de la représentation vers la base, il n'est en revanche pas possible (sauf au prix de développement important et d'une perte de portabilité) d'avoir un lien entre la base et la représentation comme par exemple de visualiser le résultat d'une requête sur la base (Drap, p. 432).