

LE SIG COMME OUTIL FÉDÉRATEUR DE RECHERCHE INTERDISCIPLINAIRE: APPLICATION À LA GROTTTE 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 (AUJOLAT 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 GROTTTE 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

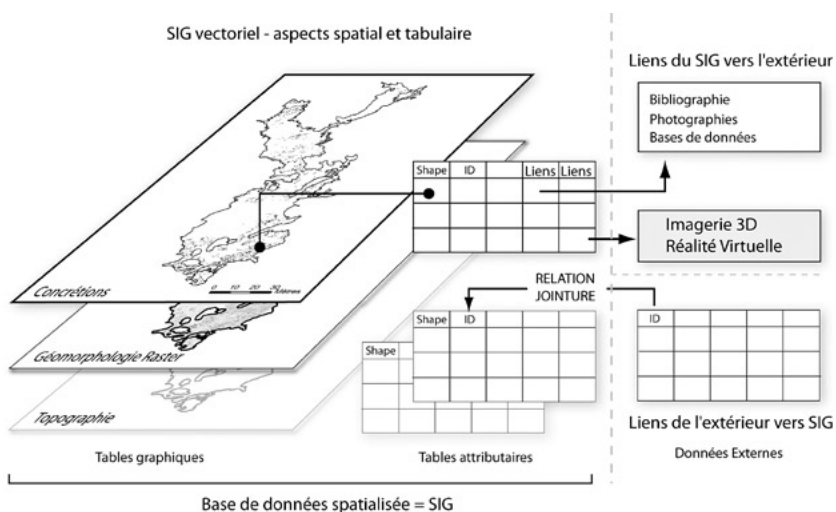


Fig. 1 – Schéma global du SIG Chauvet.

The image shows a software window with a title bar containing three tabs: 'Contenu', 'Aperçu', and 'Métadonnées'. The main content area is titled 'Marques charbonneuses de la Grotte Chauvet - Pont d'Arc' and is identified as a 'Classe d'entités de géodatabase fichier'. Below the title, there are three sub-tabs: 'Description', 'Géographie', and 'Attributs'. The 'Description' tab is active and contains the following information:

- Mots-clés**
 - Thème:** Marques charbonneuses, Mouchages, Frottis de torche
 - Localisation géographique:** Grotte Chauvet, Ardèche, Rhône-Alpes, France
 - Temporel:** Gravettien, Paléolithique supérieur, Préhistoire
- Description**
 - Résumé**

Localisation des Marques charbonneuses (Mouchages et autres) présentes sur les parois de la Grotte Chauvet (Vallon-Pont-d'Arc)
 - Objet**

Gestion spatiale des données provenant de la Grotte Chauvet
- Etat des données**
 - En Cours
 - Fréquence de mise à jour des données: Irrégulier
- Durée de validité des données**
 - Date et heure de début: 2009
 - Date et heure de fin: 2010
- Informations de publication**
 - Créateur des données: Equipe scientifique chargée de l'étude de la Grotte Chauvet
 - Date et heure: Novembre 2009
- Informations sur le stockage et l'accès aux données**
- Détails sur ce document**
 - Dernière mise à jour du contenu 2009 11 17
- Auteur de ce document**
 - Paramètres par défaut utilisés pour la création de ce document

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

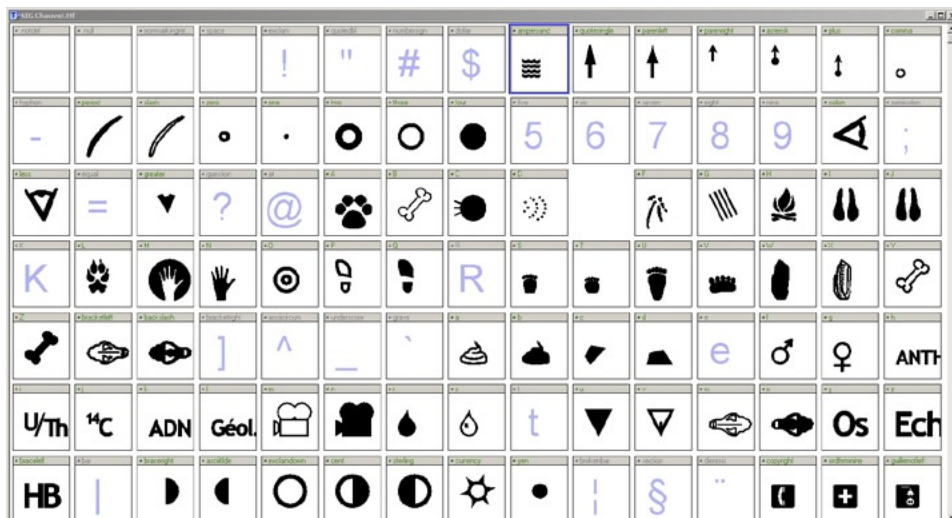


Fig. 3 – Extrait de la police du SIG Chauvet.

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 dès 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 créée, 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, Pl. 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.

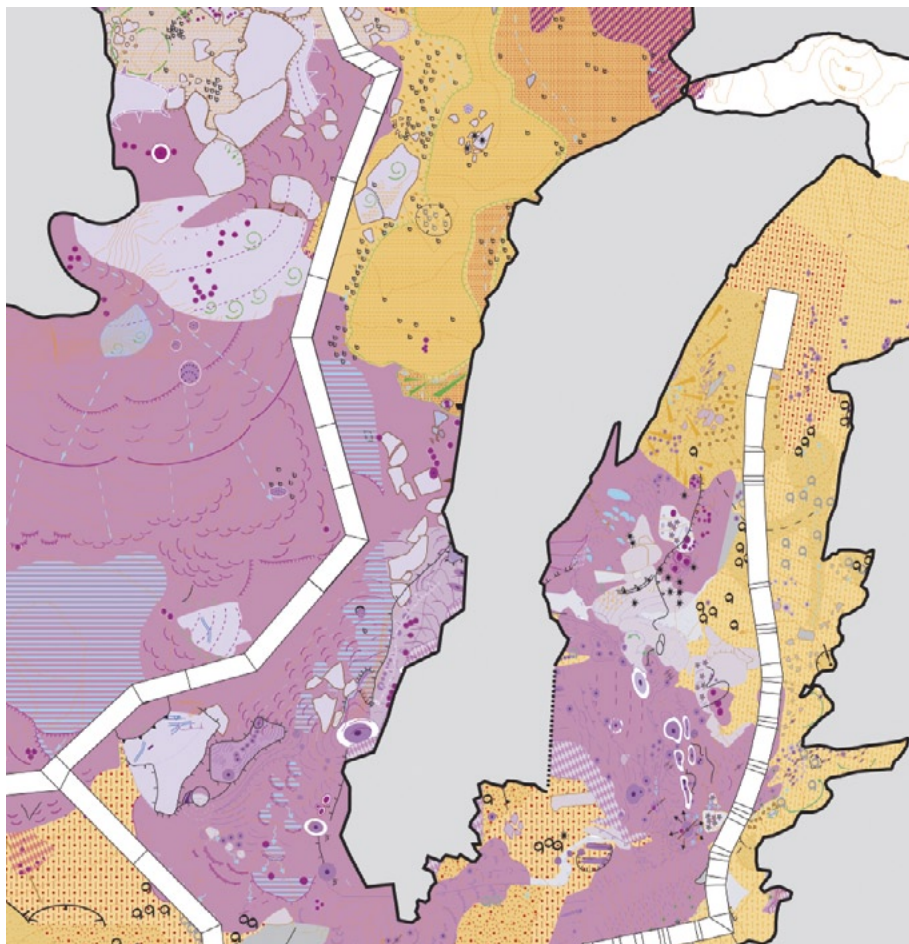
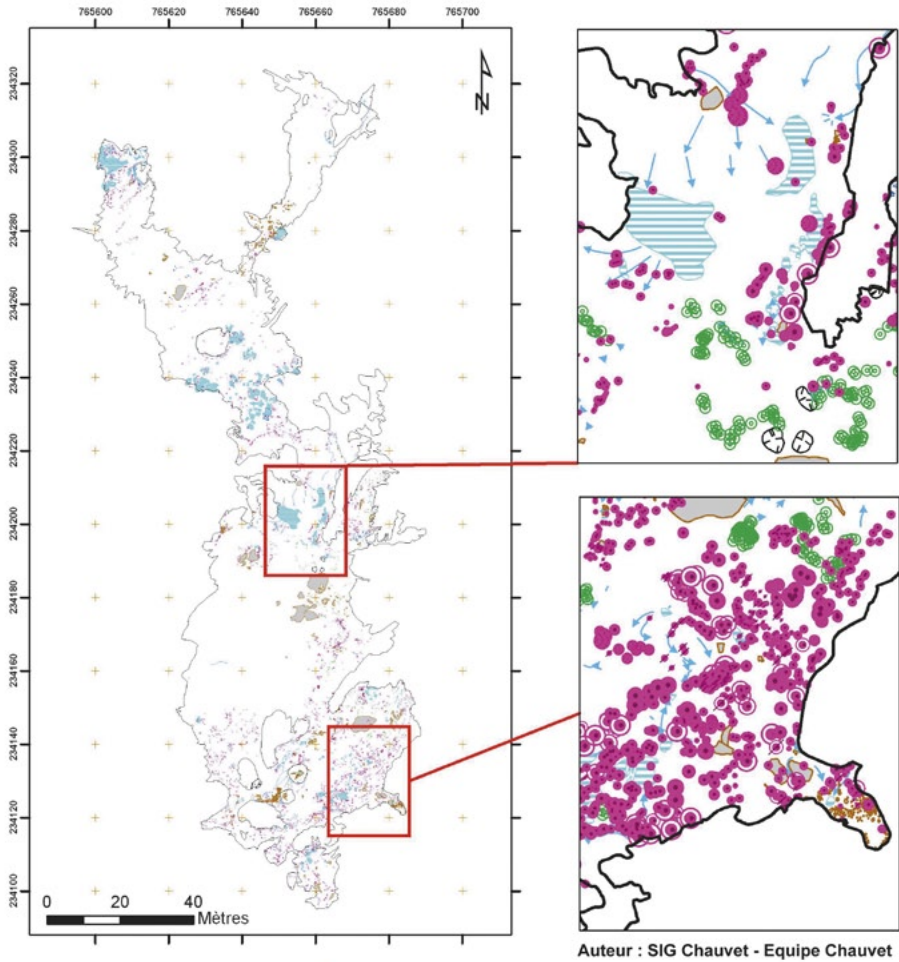


Fig. 4 – Extrait de la carte géomorphologique des sols.

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, créée sous Filemaker Pro par N. Aujoulat en 1995, contenait un grand nombre d'entités non spatialisées.



Auteur : SIG Chauvet - Equipe Chauvet

- | | | | |
|---|----------------------|---|-----------------------|
| ○ | Colonne, avec picots | ■ | Blocs calcaires |
| ⊗ | Colonne, cassé | ○ | Impacts de Gouttes |
| ● | Stalagmite, corrodée | → | Écoulement temporaire |
| ● | Stalagmite, cassée | → | Écoulement permanent |
| ● | Stalagmite | ■ | Pérenne |
| ● | Stalactite | ■ | Temporaire |
| ⊙ | Colonne | □ | Soutirages |

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

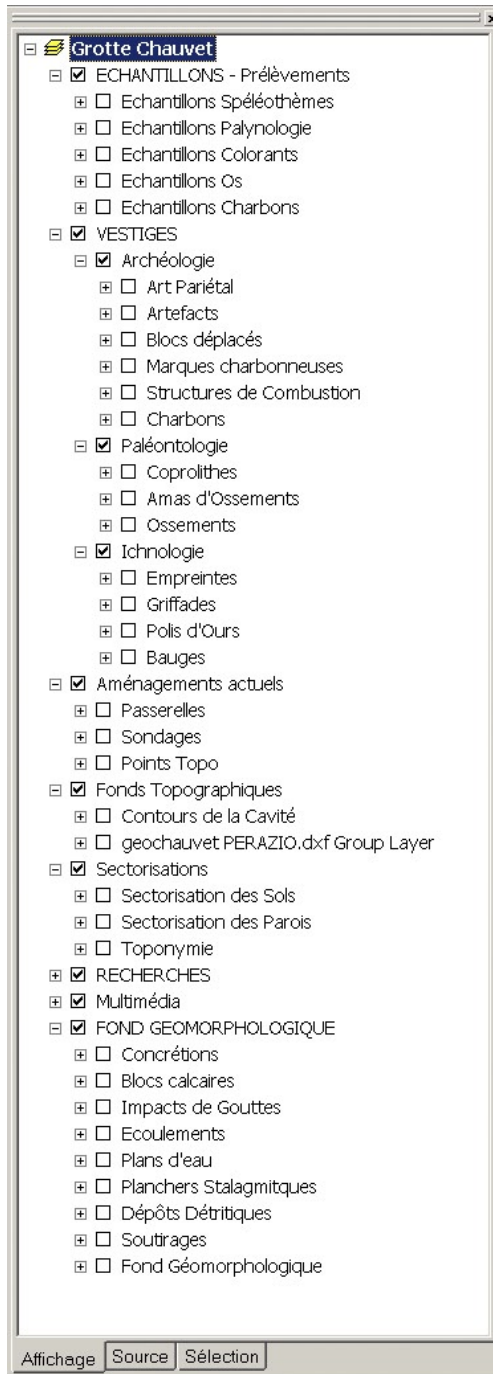


Fig. 6 – La structure générale de la base de données.

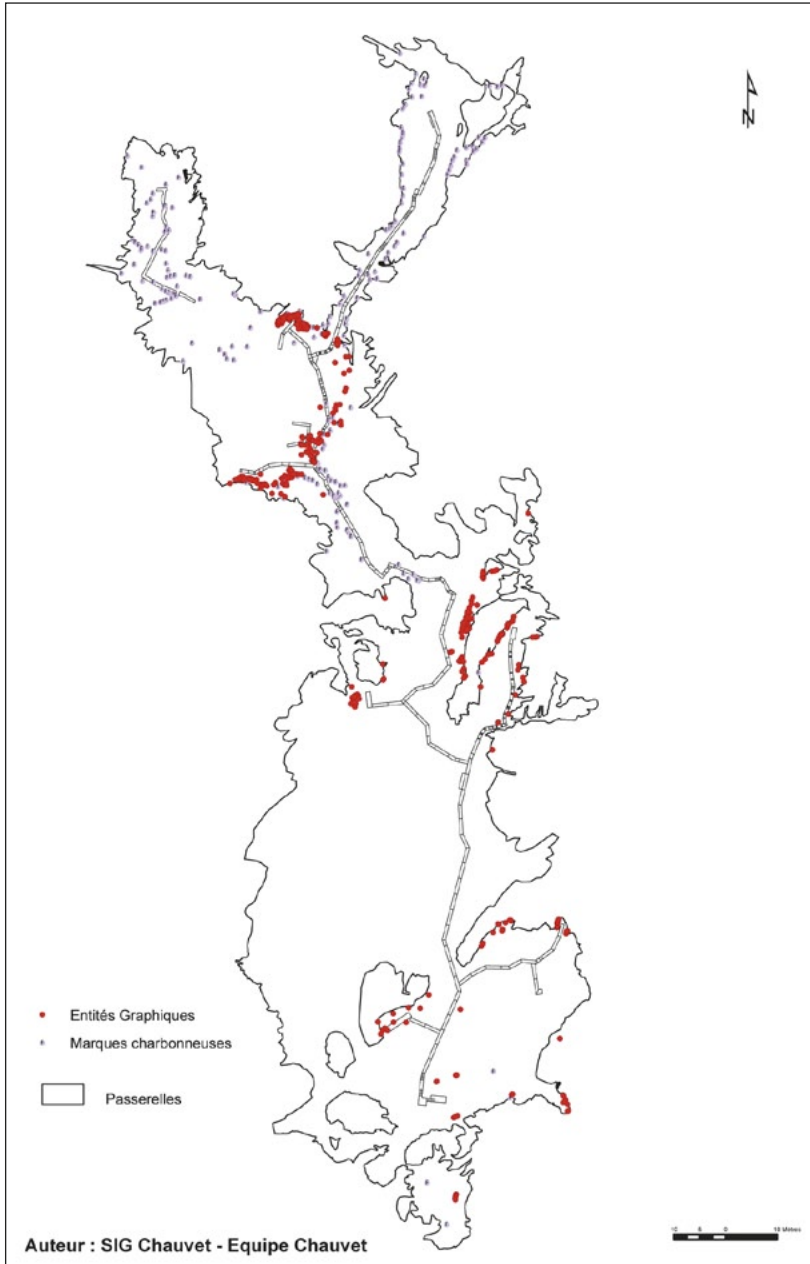


Fig. 7 – Localisation des entités graphiques et des marques charbonneuses en cours d'intégration dans le SIG.

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 ont 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 attributaires¹. 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.

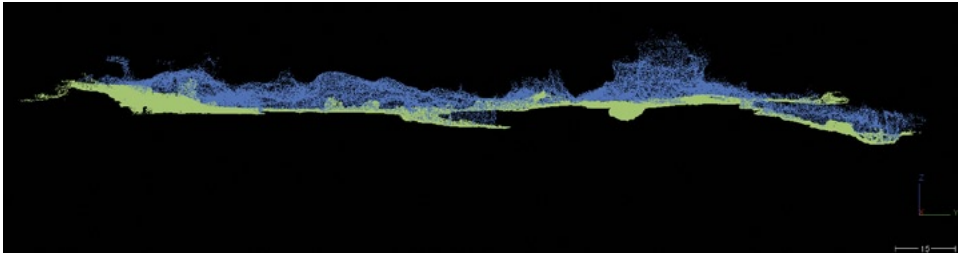


Fig. 8 – Vue du nuage de point décomposé pour la création des deux surfaces (sols et voûtes).

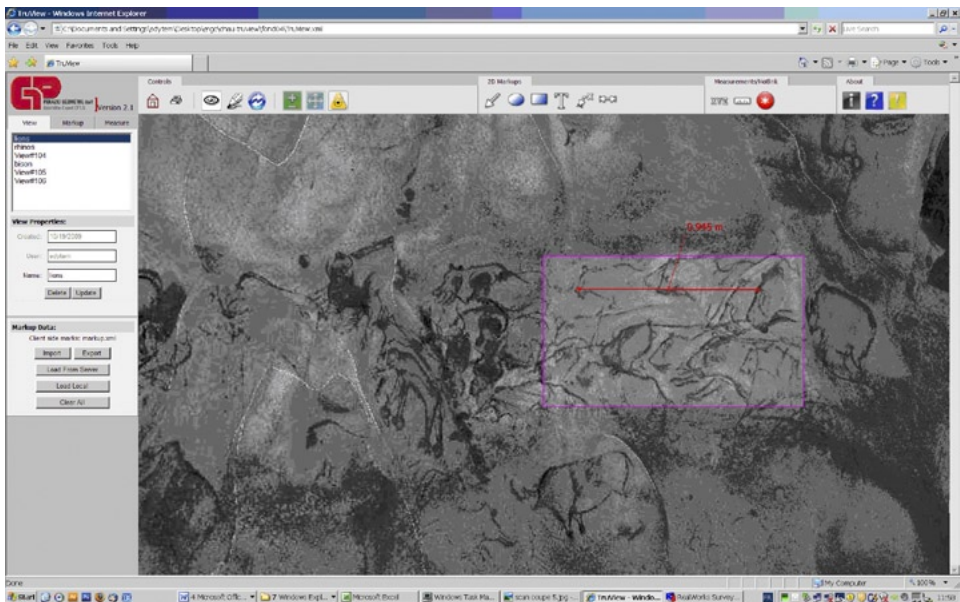


Fig. 9 – Fenêtre du TruView et ses fonctionnalités.

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.

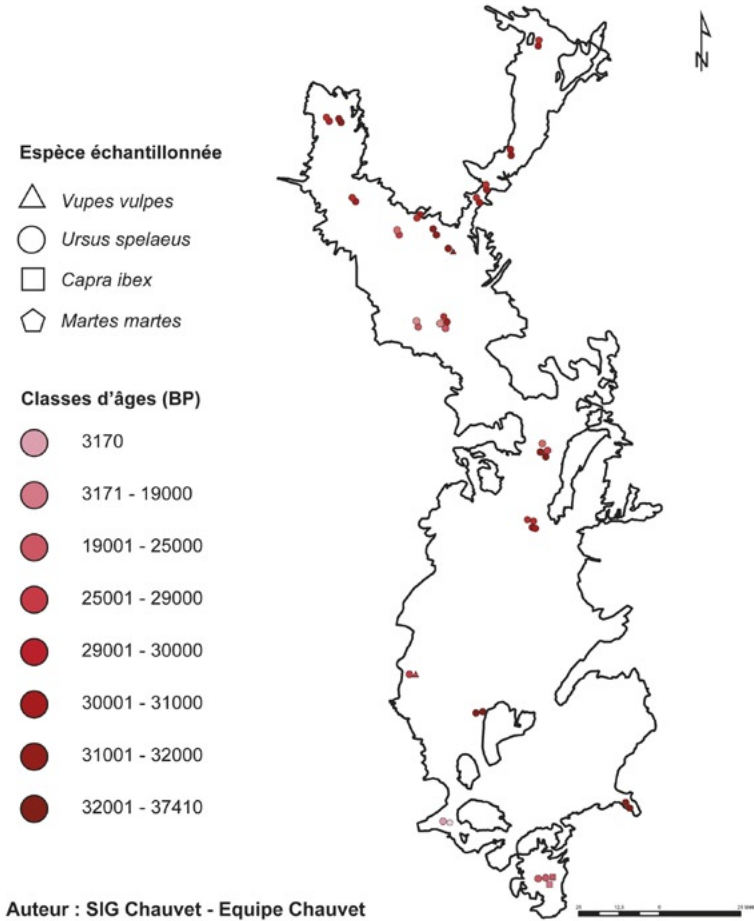


Fig. 10 – Datation des ossements de la grotte Chauvet.

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., SADIÉ 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.