

## 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 entre 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-

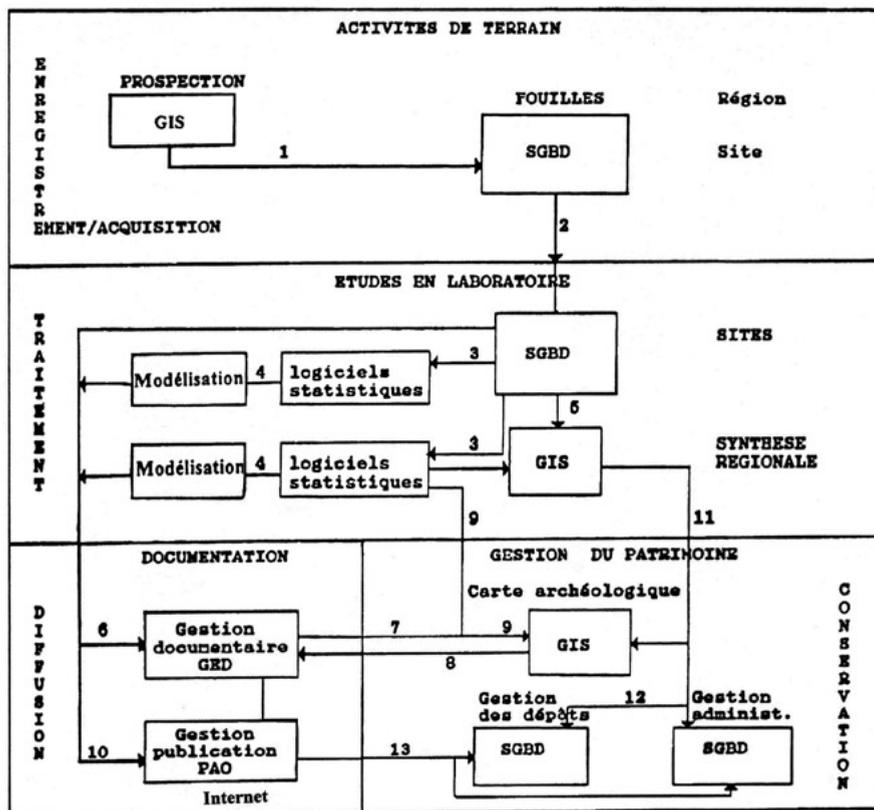


Fig. 1 – Système d'Information Archéologique (d'après DJINDJIAN 1993).

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.

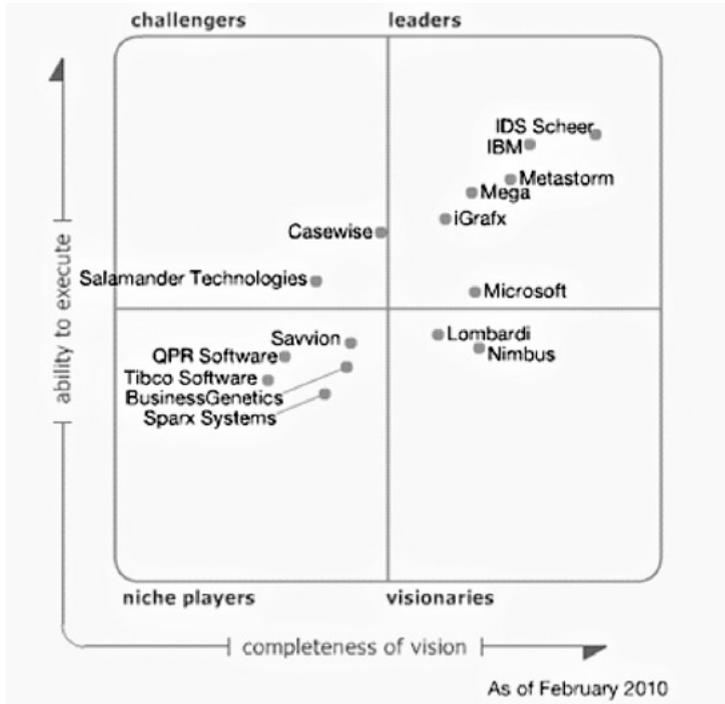


Fig. 2 – Quadrant des produits d'urbanisation (source Gartner Group 2010).

#### 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

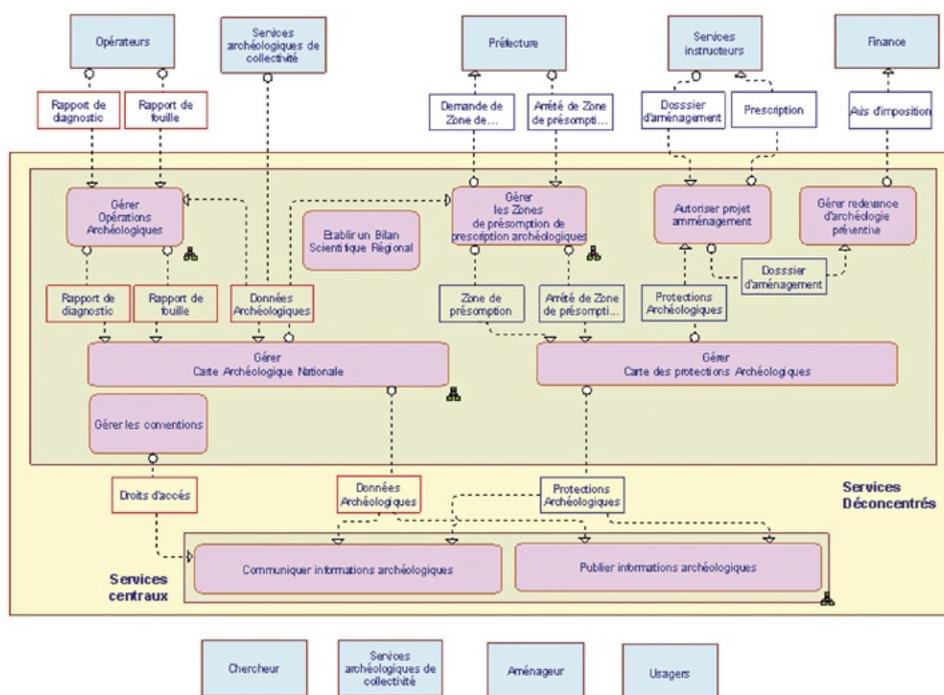


Fig. 3 – Un exemple de formalisation des processus métiers de l'administration de l'Archéologie (blocs roses: processus; blocs verts: acteurs; blocs blancs à liseré rouge et bleu: données en entrée et en sortie des processus). Voir Pl. IX, a.

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	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 zone	
			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  $^{14}\text{C}$ , 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, SEYMOUR 1983) 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 2
  - Etape 1 Réalisation d'un burin
  - Etape 2 Réalisation d'un plan de frappe
    - Tâche composite 1 Préparation et obtention des chutes de burin
    - Tâche composite 2 Chute première de burin
  - Etape 3 (équivalent à 1) Chutes de burin suivantes (répétitive)
  - Etape 4 (équivalent à 2) Ravivage du plan de frappe
    - Tâche composite 1 Préparation et obtention des chutes de burin
    - Tâche composite 2 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

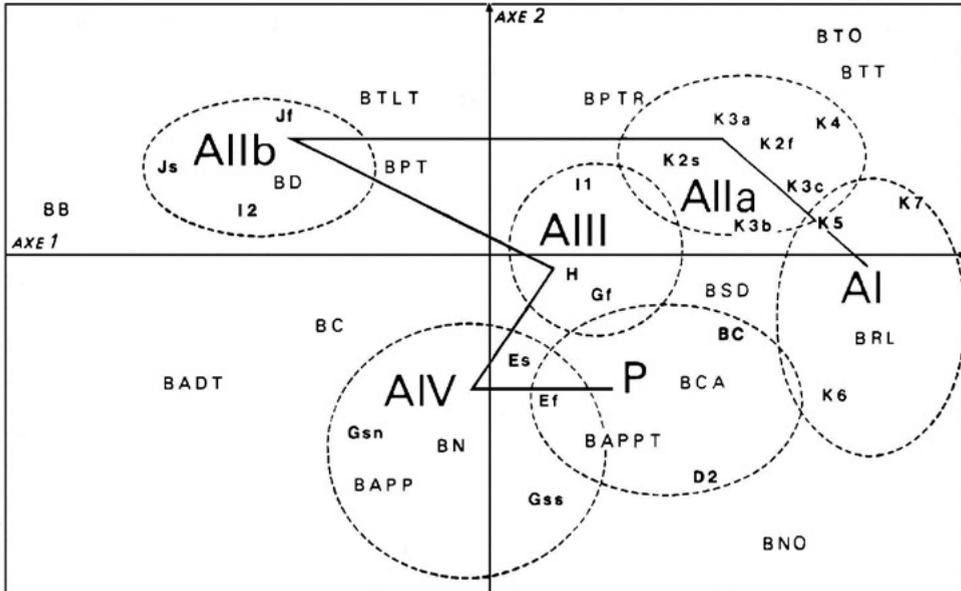


Fig. 5 – Changements dans les procédés de fabrication des burins de la séquence du Paléolithique supérieur ancien de La Ferrassie (Périgord).

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
  - Épargne 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 événementielle 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, *Facès 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, Harvard.
- 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.

