

QUANTIFIER LES PROCESSUS ARCHÉOLOGIQUES

1. INTRODUCTION

De 1950 à 1990, l'application de la Statistique en Archéologie a consisté essentiellement à quantifier les données et à effectuer des traitements statistiques simples puis de plus en plus sophistiquées sur ces données. 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 ou de leur caractérisation physico-chimique (archéométrie).

Outre le fait d'avoir été l'un des principaux moteurs de l'innovation archéologique pendant ces années, le développement de l'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).

À partir des années 1990, vingt ans après les débuts de la révolution de l'analyse des données multidimensionnelles et des ses applications en Archéologie (HODSON, KENDALL, TAUTU 1971; DORAN, HODSON 1975; ORTON 1980; DJINDJIAN 1991), l'Archéologie semble avoir détourné le projecteur des Mathématiques vers l'Informatique, et notamment vers les Systèmes d'Information Géographique et la réalité virtuelle.

Sans vouloir revenir sur les raisons de ce changement de mode, qui a affecté de la même façon les Sciences économiques, sociales et humaines dès la fin des années 1970, et qui a été traité par ailleurs (DJINDJIAN 2009), nous nous attacherons ici à évoquer ce qui pourrait être un grand retour des mathématiques et des statistiques en Archéologie, à l'occasion d'une transition méthodologique fondamentale qui est en cours, celle du développement des processus archéologiques dans les problématiques archéologiques actuelles.

2. L'APPLICATION DES STATISTIQUES EN ARCHÉOLOGIE DE 1950 À 1990

L'application des statistiques en Archéologie depuis les années 1950 s'est développée dans le cadre d'un mouvement général de quantification dans les Sciences humaines et sociales. Très vite, cependant, les données accumulées par les archéologues vont permettre aussi bien et presque simultanément l'application des techniques statistiques et graphiques les plus élémentaires dans les années 1950 que les méthodes les plus récentes d'analyse multidimensionnelle des données dans les années 1960. L'archéologue se met alors à compter et à mesurer, ambition démesurée compte tenu du nombre considérable de vestiges

archéologiques enregistrés pendant les fouilles archéologiques ou d'objets présents dans les collections archivées dans les musées. De nombreuses publications jalonnent le développement des applications des mathématiques et des statistiques en Archéologie (VOORRIPS, LOVING 1985; DJINDJIAN, DUCASSE 1987; VOORRIPS 1990).

Les problématiques abordées sont la classification des objets archéologiques ou typométrie (SPAULDING 1953; BOHMERS 1956; DE HEINZELIN 1960), la sériation (BRAINERD 1951; ROBINSON 1951; MEIGHAN 1959; FORD 1962), l'identification des cultures matérielles (MIELKE 1949; BORDES, BOURGON 1953; LAPLACE 1966), l'analyse spatiale intrasite (CLARK, EVANS 1954), la démographie (ANGEL 1969; HASSAN 1981), la géoarchéologie (CREMASCHI 2000), l'archéogéographie (HIGGS 1975), l'échantillonnage en prospection (MUELLER 1975), etc. L'archéométrie naît à la fin des années 1950 des premières applications de la physique à l'Archéologie (caractérisation physico-chimique, prospection géophysique, datations absolues) qui génèrent de nombreuses données de mesures traitées également par les techniques statistiques (RENFREW, DIXON, CANN 1968).

L'amélioration des techniques de fouilles archéologiques a pour conséquence l'enrichissement considérable des données enregistrées, qui sont visualisées par des graphiques de projections stratigraphiques ou de distributions planigraphiques des artefacts, avec un besoin important de traitements statistiques associés (diagrammes de Harris, analyse spatiale intrasite).

Mais si connaître c'est mesurer, mesurer n'est pas connaître, même si les techniques statistiques, surtout après la révolution de l'analyse des données multidimensionnelles dans les années 1970, permettent de traiter de grands volumes de données. L'échec de l'approche de J.-P. Benzecri (que nous pouvons caricaturer par la phrase: «Mesurez tout, l'analyse des données fera le nécessaire») au profit d'une description guidée et formalisée d'un objet dans le cadre d'une problématique explicitée, a montré le danger de l'utilisation de techniques statistiques sans leur nécessaire intégration dans un cadre méthodologique puis dans une épistémologie de la discipline surtout en Sciences humaines et sociales (DJINDJIAN 2002).

Cette erreur explique sans doute une certaine désillusion de ceux qui ont utilisé les statistiques et l'analyse des données dans les années 1980 par effet de mode ou par facilité sans mesurer toutes les difficultés liées au nécessaire contrôle de bout en bout de la chaîne formelle de la construction scientifique: problématique, acquisition des données, traitements quantitatifs, identification des structures, itérations, validation des résultats. Les uns, rapidement au fait de ces difficultés et réussissant à les maîtriser, ont continué à utiliser largement les statistiques dans le quotidien de leurs travaux. Les autres sont allés surfer sur l'effet de mode suivant (Système d'Information Géographique) voire se sont tournés vers l'herméneutique (archéologie post-moderne).

3. LES PROCESSUS ARCHÉOLOGIQUES

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 contradictoire 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). Cette nouvelle approche permettrait donc d'identifier des processus culturels, à l'origine du mot, qui aurait une valeur universelle ou locale. De ce fatras mal digéré 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 un background scientifique insuffisant les conduisant 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, de son approche formelle néopositiviste irréaliste et trop rigide pour des Sciences humaines, et de la replacer dans le cadre de la théorie des systèmes, où le concept de processus peut prouver toute son efficacité. Il reste cependant à rectifier le concept fourre-tout du "processus culturel" de la New Archaeology, en essayant de le définir plus précisément.

3.1 *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. Processus et procédure peuvent se rejoindre dans la finalité. Toutefois, nous pouvons reconnaître un processus par sa souplesse et la procédure par sa rigidité. Les deux peuvent comporter des étapes et des règles. 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. Enfin, le processus a un propriétaire qui est garant de la bonne fin et du bon fonctionnement de celui ci. Le terme processus

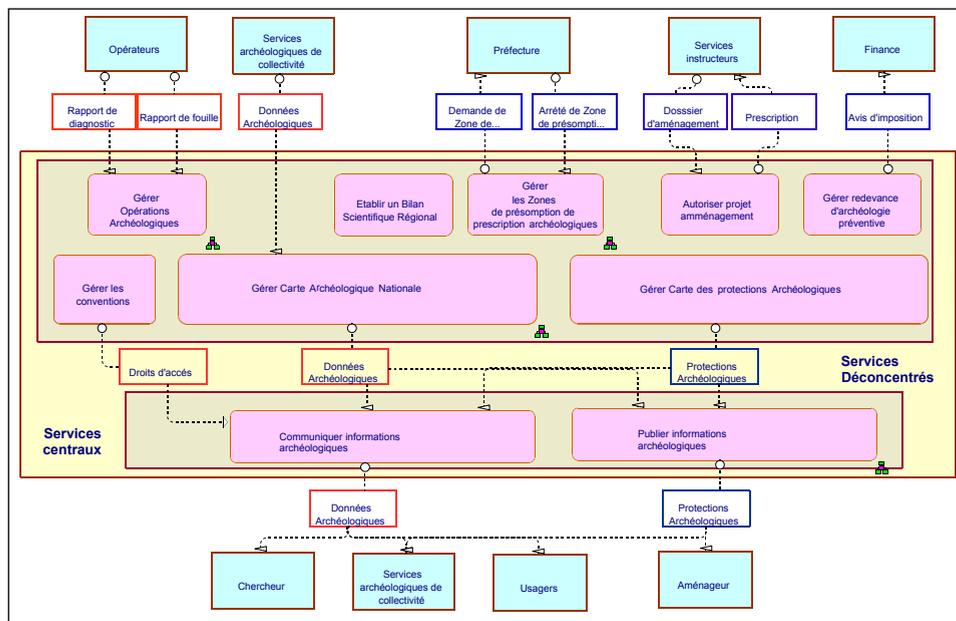


Fig. 1 – Exemple de processus métiers de l’administration de l’Archéologie en France.

est employé dans plusieurs domaines avec une signification spécifique. 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».

3.2 Les processus archéologiques

L’évolution méthodologique de l’Archéologie a progressivement fait apparaître des processus et a mis en évidence la relation duale processus/données qui est par ailleurs fondamentale en Informatique appliquée à l’automatisation des processus métiers du monde socio-économique contemporain.

L’approche par les données concerne autant l’application des mathématiques que l’application de l’Informatique en Archéologie. Nous avons vu précédemment les données mises en jeu par l’application des mathématiques et des statistiques en Archéologie. Il est d’autres domaines où l’approche données est importante en Archéologie: l’enregistrement des données de fouilles, les banques de données, la diffusion de l’information archéologique, la gestion du patrimoine culturel (CRM), autant d’applications informatiques que l’on va trouver sous la responsabilité de la Direction du Patrimoine du Ministère de la Culture en France.

L'approche par les processus concerne de nombreux champs de l'Archéologie, par exemple:

- les processus métiers de l'Archéologie,
- les processus post-dépositionnels affectant un site archéologique,
- les processus taphonomiques,
- les processus technologiques ou processus de fabrication,
- les processus économiques,
- les processus de changement culturel,
- les processus d'adaptation à l'environnement,
- les processus fonctionnels,
- les processus comportementaux au niveau d'un groupe humain.

3.3 Les processus métiers de l'administration de l'Archéologie

L'Archéologie est un métier qui s'est récemment professionnalisé. Aussi, l'identification des processus métiers de l'Archéologie est-elle encore à réaliser. Elle concerne en France les tâches administratives des DRAC (Directions Régionales des Affaires Culturelles) en charge de la gestion du patrimoine culturel, et de l'INRAP (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives), 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. 1).

3.4 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, plusieurs étapes dans le processus général de la recherche archéologique (DJINDJIAN 1993):

1. Documentation
2. Prospection
3. Fouilles de sites archéologiques
4. Etudes en laboratoire
5. Etudes de synthèse
6. Conservation/restauration des sites et des objets
7. Muséographie
8. Publication/Diffusion

Chacun de ces grands processus généraux doit être détaillé. Un exemple ci-dessous 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 (Fig. 2).

Processus Phase	Tâche	Sous-tâche
Prospection		
Diagnostic		
Opération	Spécifier l'opération	<ul style="list-style-type: none"> 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 (musée) Définir les contraintes diverses s'exerçant sur la zone <ul style="list-style-type: none"> Politique, Budgétaire, Calendrier, Accessibilité (zones interdites), Juridique Réaliser un zonage préalable Valider le budget préalable Réaliser un calendrier détaillé Affecter les moyens (ressources, compétences, etc.)
	Documenter	<ul style="list-style-type: none"> Etudes muséologiques, Etudes archivistiques et onomastiques, Etudes cartographiques diverses, Téledétection par images satellites, Photographie aérienne, Etudes géomorphologiques, Carte archéologique,
	Mettre en place la logistique de l'opération	
	Mettre en œuvre le Système d'Information Géographique	<ul style="list-style-type: none"> Ressource expérimentée SIG Préparation de l'équipement informatique Récupération des cartes Numérisation des fonds de cartes Modèle des données Importation des données existantes DEM (courbes de niveaux) Zonage détaillé, balisage Plan d'échantillonnage Enregistrement des données documentaires Enregistrement des données de prospection Installation logiciels: lissage, krigeage, etc.
	Etablir le plan de prospection	
	Zoner	<ul style="list-style-type: none"> Les zonages à contraintes d'accès Les zones de bâtis <ul style="list-style-type: none"> Bâtis industriels, Bâtis isolés (stations), Aérodrômes, Bâtis linéaires (train, routes, canaux, etc.), Bâtis résidentiels Les zones agricoles aménagées: Vignes, Vergers, Serres, Terrasses, ... Les zones naturelles exclues Les zones inondées Les zones montagneuses Les zones d'érosion Les zonages géomorphologiques <ul style="list-style-type: none"> Cultures, prairies, forêts, etc. Versants, abrupts, lits, etc. Les zonages artificiels <ul style="list-style-type: none"> Macro-prospection (de 0,01 à 1 km²) Micro-prospection (de 100 à 10 000 m²)
	Baliser les zones	<ul style="list-style-type: none"> Trouver des repères existants: bornes, pylônes, amers, etc. Calculer des repères libres: triangulation, GPS
	Choisir les techniques de prospection	<ul style="list-style-type: none"> Prospection aérienne, Prospection géophysique, Ramassages de surface, Coupes stratigraphiques, Carottages, Sondages manuels (carrés) et par engins mécaniques (transects)
	Définir le plan d'échantillonnage	<ul style="list-style-type: none"> Plan probabiliste, Krigeage, Modèle prédictif Intégration de plusieurs plans successifs
	Réaliser le plan de prospection	
	Enregistrer les données de prospection dans le SIG	
	Etudier le matériel archéologique collecté	
	Rédiger le rapport d'opération	

Fig. 2 – Exemple de décomposition d'un processus métier de la prospection archéologique.

3.5 Les processus associés aux méthodes de fouilles archéologiques

3.5.1 Les processus géoarchéologiques

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 anthropiques.

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, événementiels 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 caractérisation 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 postérieurement 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 anthropiques sont le résultat d'actions humaines de sédimentation 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 incontournable (HARRIS, BROWN III, 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* de B. DESACHY, 2009).

3.5.2 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.

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 (JOCHIM 1976).

3.6 Les processus de construction de "bâtis"

Les processus de construction de "bâtis", dont le terme reste à définir, désignent les processus de choix d'emplacement, de construction, d'occupation et d'abandon des habitats tout comme les processus de réoccupation, de réaménagement et de réemploi, ces derniers étant à l'origine du terme d'archéologie du bâti (JOURNOT 1999).

3.7 Les processus technologiques

L'étude des processus technologiques concerne la reconstitution des processus de fabrication des objets. En France, le terme à la mode employé pour désigner un processus de fabrication est le mot "chaîne opératoire", qui a été utilisé par André Leroi-Gourhan en 1964 dans *Le geste et la parole*, sans doute inspiré par le concept de "schèmes opératoires" de Gilbert SIMONDON (1958), philosophe des techniques. André Leroi-Gourhan d'ailleurs ne l'a plus guère utilisé ensuite, en particulier dans ses "tableaux de morphologie descriptive" dans *La Préhistoire* (LEROI-GOURHAN 1968). C'est que le terme

1. Choix d'un support
2. Façonnage d'un plan de frappe PF1
3. Préparation d'un enlèvement et enlèvement E1
4. Itération Ei
5. Ravivage du plan de frappe PF1
6. Itération Ei
7. Façonnage d'un nouveau plan de frappe PF*i*
8. Itération Ei
9. Façonnage des biseaux
10. Réemploi de l'objet

Fig. 3 – Processus général de fabrication d'un burin.

“chaîne opératoire” est impropre. Le mot “opératoire” n’est guère utilisé en français que dans l’expression “champ opératoire” pour désigner une opération chirurgicale (quoique il possède étymologiquement la même connotation que le mot processus ce qui serait alors une redondance) et le mot “chaîne” décrit un objet en cours de fabrication passant de poste de travail en poste de travail comme dans une chaîne de fabrication industrielle.

Le mot adéquat est “séquence”, désignant une suite ordonnée d’opérations d’après le dictionnaire *Le Petit Robert*, qui décrit bien la suite des gestes de l’artisan fabriquant l’objet. Dès lors, le bon français nous conseille l’expression “séquence de fabrication” qui peut être déclinée plus précisément en séquence de débitage, séquence de façonnage, etc. Le terme processus est sans doute plus adapté que le terme séquence qui possède la connotation d’une suite ordonnée répétitive alors que la suite des gestes de l’artisan possède une variabilité plus grande et non répétitive dans la forme sinon dans l’esprit. En anglais, l’équivalent de processus (étymologie latine *processus*) est *process*. Le mot anglo-saxon de chaîne opératoire pour la taille du silex (*core reduction sequence*) n’est pas plus heureux non pas dans le choix du mot *sequence* mais dans celui de *core reduction*, qui laisse à penser que le but du débitage d’un nucléus est sa “réduction” et non la production de supports standardisés.

L’analyse typologique des années 1960-1980 a été essentiellement morphologique (ce qui a un sens pour décrire des formes pertinentes par leurs proportions: céramiques, armatures, plans de structures, objets d’art, etc.). Il est néanmoins tout à fait possible de réaliser une description technologique de l’objet, c’est-à-dire du processus de fabrication de l’objet, en décrivant les gestes techniques en séquence. Le premier exemple d’une telle approche est l’étude des burins aurignaciens et gravettiens de La Ferrassie (DJINDJIAN 1980, 1996).

Support (cf. description standard d'un support)
Plan de frappe
Nature du plan de frappe: Cassure, surface de débitage, pan naturel, surface retouchée (troncature ou retouche latérale ou encoche), négatif d'enlèvement de chute de burin, face d'éclatement.
Orientation du plan de frappe (par rapport à l'axe de débitage): Transversal (normal, oblique), latéro-transversal, latéral,
Morphologie du plan de frappe: rectiligne, concave, convexe, sinuose
Inclinaison du plan de frappe sur la face d'éclatement: Normale (entre 80° et 100°), aigüe (inf. à 80°), obtuse (sup. à 100°).
Profondeur de la troncature
Enlèvement lamellaire
Nombre (de négatifs) d'enlèvements visibles,
Type d'enlèvement: A: avec une arête sur la face inférieure et l'autre sur la face supérieure du support, B1: avec une arête sur un négatif d'enlèvement antérieur et l'autre sur la face d'éclatement, B2: avec une arête sur un négatif d'enlèvement antérieur et l'autre sur la face supérieure, C1: avec les deux arêtes sur la face inférieure, C2: avec les deux arêtes sur la face supérieure, E: avec les deux arêtes sur un ou deux négatifs d'enlèvement antérieur.
Direction des enlèvements suivant l'axe de débitage: rentrante, parallèle, oblique, transverse
Inclinaison de l'enlèvement sur la face d'éclatement: Uniquement pour les enlèvements A: normale, aigüe, obtuse
Longueur du négatif de l'enlèvement,
Préparation de l'enlèvement: retouche, encoche d'arrêt, absence,
Section de l'enlèvement: trapézoïdal, triangulaire, plano-convexe,
Torsion et convexité (du négatif) de d'enlèvement.
Ravivage du plan de frappe
Reprise partielle du plan de frappe par des enlèvements dièdres, Retouche tertiaire, Retouche quaternaire, Retroncature
Biseau
Latéralité du biseau du burin: droite, gauche Multiplicité du biseau: unique, double, triple, quadruple, Dièdre du biseau (angle), Position du biseau: d'angle, déjeté, d'axe, droite ou gauche, Position du biseau sur le support: distale, proximale, indéterminé Morphologie: dièdre, trièdre, polygonal, circulaire, front, museau
Réemploi
Vestige d'ancien burin, Vestige de négatif d'enlèvement correspondant à un burin indéterminé. Burin cassé

Fig. 4 – Processus général de fabrication d'un burin: vocabulaire descriptif.

La méthode est la suivante (Figs. 3-5):

- identification d'une séquence type générale par la décomposition élémentaire des gestes du tailleur;
- définition du vocabulaire décrivant le résultat d'un geste élémentaire qui est un enlèvement lamellaire ou une retouche, à partir de son négatif sur l'objet;
- simplification des occurrences rares de gestes élémentaires;
- transformation du modèle entité-relation en un modèle objet représenté par un tableau de données;

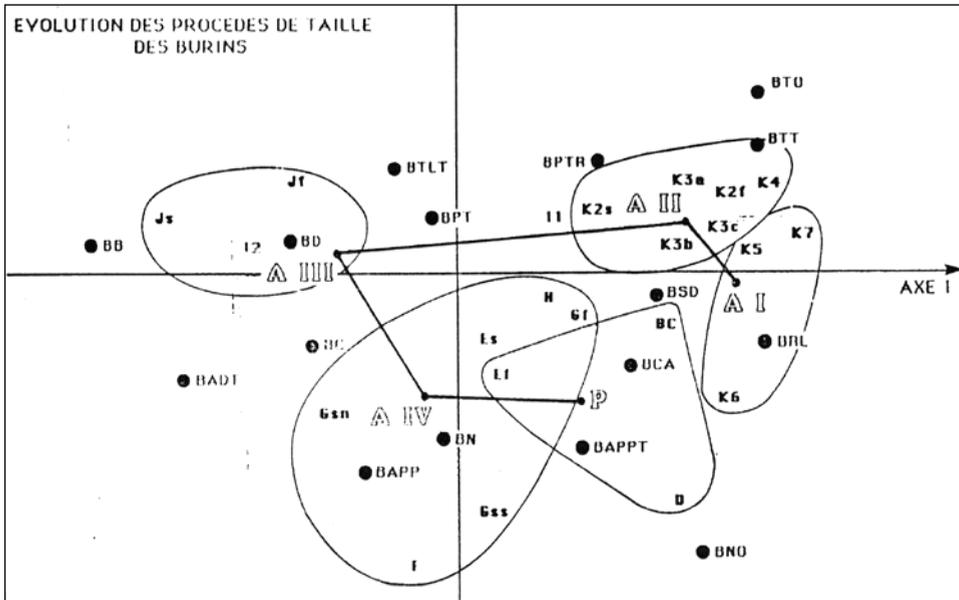


Fig. 5 – Evolution des procédés de taille des burins dans l'Aurignacien et le Gravettien du site paléolithique supérieur de la Ferrassie (Dordogne) (DJINDJIAN 1996).

- recodification des variables si nécessaire;
- traitements statistiques d'analyse des données sur le tableau de Burt.

Il faut malheureusement constater que les études technologiques font peu appel aujourd'hui aux approches quantitatives comme celle précédemment évoquée, se limitant à des expérimentations. Or l'approche expérimentale, qui est également un processus, ne peut donner tout son potentiel scientifique qu'en étant accompagnée d'une quantification et du traitement de données statistiques associé, sous peine de tomber dans un narcissisme technique qui ne peut être ni évalué, ni comparé, ni partagé.

3.8 Les processus économiques

Dans les années 1970, Hodder (HODDER, ORTON 1976) et Renfrew (RENFREW 1977) ont développé l'utilisation du graphique de décroissance en fonction de la distance pour étudier l'influence de la diffusion d'une matière première ou d'un objet manufacturé en fonction de la distance et de la direction, c'est-à-dire l'anisotropie (DJINDJIAN 1991). Puis ils ont essayé, sans succès cette fois, de mettre en relation la forme de cette courbe avec des

processus d'échange (échange de proche en proche, redistribution, comptoir, etc.). En fait, la diffusion de l'objet ne suffit pas pour déterminer l'ensemble du système, mais il faut également prendre en compte plusieurs systèmes: production, stockage intermédiaire, transport et les acteurs du processus commercial, ce qui oblige à l'identification des structures au sol pour la production, le stockage et le marché d'échanges.

Dans ce nouveau contexte, la quantification du processus met en œuvre plusieurs techniques statistiques, qui permettraient de renouveler l'approche des années 1970:

- séries chronologiques,
- matrices de flux, traitées par analyse des données,
- modèles mathématiques.

3.9 *Les processus d'occupation du territoire (Landscape Archaeology)*

L'occupation d'un territoire, à différentes périodes et par différentes économies de production alimentaire et artisanale, est le résultat de stratégies variées mais toutes réussies, puisque elles ont laissé des vestiges importants témoignant d'un système stable et organisé (HIGGS 1975; VITA-FINZI 1978). Cette organisation résulte de l'essai et du succès de modèles de sociétés testés puis développés qui impliquent, sinon une optimisation au sens mathématique du terme, du moins une intégration dans les codes établis par ces sociétés (us et coutumes, conduite morale, sacralisation religieuse) pour l'application disciplinée des bonnes pratiques.

Il y a donc, pour chaque société étudiée par l'archéologue, un système à découvrir, avec ses processus. L'apport spectaculaire de l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique dans ce domaine ne doit pas cacher la face cachée de l'iceberg, c'est-à-dire la mise en œuvre de techniques statistiques élémentaires ou complexes comme la modélisation mathématique pour identifier et caractériser les processus de localisation des sites, leur hiérarchisation, leur spécialisation administrative, commerciale ou logistique, l'organisation de la production et du commerce, la gouvernance, etc. (CHAPMAN 2006).

3.10 *Les processus de changement culturel*

Les problématiques d'études de processus de changement culturel sont certainement les sujets les plus ambitieux en Archéologie mais aussi les plus complexes. Ils concernent aussi bien l'étude des mécanismes d'adaptation des sociétés aux changements climatiques que les changements économiques et techniques (révolution néolithique, développement de la métallurgie, urbanisation, étatisation, etc.). Actuellement, et sous l'impulsion depuis les années 1980 de J. DORAN (2000), ces problématiques sont traitées par la modélisation par des systèmes multi-agents.

4. CONCLUSIONS

Les applications de la quantification, des mathématiques et des statistiques aux processus archéologiques, bien qu'elles aient souvent existé dès les débuts de l'archéologie quantitative dans les années 1970, n'ont pas encore couvert tout le champ possible de ses applications en Archéologie. Les techniques utilisées sont très variées, allant des statistiques élémentaires à l'analyse des données et de la recherche opérationnelle à la modélisation multi-agents, le tout intégré aujourd'hui dans des applications informatiques. La prise de conscience que l'application concerne un processus archéologique est sans aucun doute la première étape importante, qui doit être suivie d'une identification de tous les processus implicites gérés par les problématiques archéologiques. Alors, il sera possible de parler d'une nouvelle révolution quantitative en Archéologie.

FRANÇOIS DJINDJIAN
Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne
CNRS – UMR7041

BIBLIOGRAPHIE

- ANGEL J.L. 1969, *The bases of paleodemography*, «American Journal of Physical Anthropology», 30, 427-437.
- 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.
- BOHMERS A. 1956, *Statistics and graphs in the study of flint assemblages*, «Palaeohistoria», 5, 15-37.
- BORDES F., BOURGON M. 1953, *Levalloisien et Moustérien*, «Bulletin de la Société Préhistorique Française», 50, 226-235.
- BRAINERD G.W. 1951, *The place of chronological ordering in archaeological analysis*, «American Antiquity», 16, 301-313.
- CHAIX L., MENIEL P. 2001, *Archéozoologie*, Paris, Errance.
- CHAPMAN H. 2006, *Landscape Archaeology and GIS*, London, Stroud.
- CLARK P.J., EVANS F.C. 1954, *Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations*, «Ecology», 55, 445-453.
- CREMASCHI M. 2000, *Manuale di geoarcheologia*, Roma-Bari, Laterza.
- DE HEINZELIN DE BRANCOURT J. 1960, *Principes de diagnose numérique en typologie*, Mémoires de l'Académie Royale de Belgique, 14, 6.
- 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*, «Archéologia» (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», 3-4, 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., DUCASSE H. (eds.) 1987, *Data Processing and Mathematics Applied to Archaeology/ Mathématiques et Informatique appliquées à l'Archéologie*, «Pact», 16.
- DJINDJIAN F., MOSCATI P. (eds.), *Proceedings of the Commission 4 Symposia, XIV UISPP Congress (Liège 2001)*, «Archeologia e Calcolatori», 13.
- 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.
- FORD J.A. 1962, *A Quantitative Method for Deriving Cultural Chronology*, Washington 1962, Dpt. of Social Affairs, Pan-American Union.
- GARDIN J.-Cl. 1979, *Une archéologie théorique*, Paris, Hachette.
- HARRIS E.C., BROWN M.R. III, BROWN G.J. (eds.) 1993, *Practices of Archaeological Stratigraphy*, London, Academic Press.
- HASSAN F.A. 1981, *Demographic Archaeology*, New-York, Academic Press.
- HIGGS E.S. (ed.) 1975, *Palaeoeconomy*, Cambridge, Cambridge University Press.
- HODDER I., ORTON Cl. 1976, *Spatial Analysis in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University 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.
- JOCHIM M.A. 1976, *Hunter-gatherer Subsistence: a Predictive Model*, New York, Academic Press.
- JOURNOT F. 1999, *Archéologie du bâti*, in A. FERDIÈRE (ed.), *La construction en pierre*, Paris, Errance, 133-162.
- LAPLACE G. 1966, *Recherches sur l'origine et l'évolution des complexes leptolithiques*, «Mélanges d'archéologie et d'histoire», Ecole française de Rome, Suppl. 4, Paris, E. de Boccard.
- 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. 1964, *Le geste et la parole*, Paris, Albin Michel.
- LEROI-GOURHAN A. 1968, *Tableaux de morphologie descriptive*, in *La Préhistoire*, Paris, PUF.
- MEIGHAN C.W. 1959, *A new method for seriation of archaeological collections*, «American Antiquity», 25, 203-211.
- MUELLER J.W. (ed.) 1975, *Sampling in Archaeology*, Tucson, The University of Arizona Press.
- ORTON Cl. 1980, *Mathematics in Archaeology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- RAPP G. JR., HILL C.L. 2006, *Geoarchaeology. The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation*, New Haven, Yale University Press.
- RENFREW C. 1977, *Alternative models for exchange and spatial distribution*, in T.K. EARLE, J.E. ERICSON (eds.), *Exchange Systems in Prehistory*, New York, Academic Press, 71-90.

- RENFREW C., DIXON J.E., CANN J.R. 1968, *Further analysis of Near East obsidian*, «Proceedings of the Prehistoric Society», 34, 319-331.
- ROBINSON W.S. 1951, *A method for chronologically ordering archaeological deposits*, «American Antiquity», 16, 293-301.
- SIMONDON G. 1958, *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier.
- SPAULDING A.C. 1953, *Statistical techniques for the discovery of artifact types*, «American Antiquity», 18, 4, 305-313.
- VITA-FINZI C. 1978, *Archaeological Sites and Their Setting*, London, Academic Press.
- VOORRIPS A. (ed.) 1990, *Mathematics and Information Science in Archaeology: a Flexible Framework*, Studies in Modern Archaeology, 3, Bonn, Holos Verlag.
- VOORRIPS A., LOVING S.H. (eds.) 1985, *To Pattern of the Past*, «Pact», 11.

ABSTRACT

Since 1950, in the history of Quantitative Archaeology, the data approach has been the essence of the mathematical and statistical applications in Archaeology. In the present paper, it is proposed to focus on the process approach and to point out new fields of mathematical applications in Archaeology. Several archaeological processes are shown, for example, archaeological business process, stratigraphy process, post-depositional process, taphonomic process, technological (manufacturing) process, building process, intersite spatial process (landscape archaeology), exchange process, cultural change process. The list is not exhaustive and has only the purpose of illustrating the interest of such an approach. Several examples of applications are given, which show the differences between the data approach and the process approach. The mathematical techniques, which are used, are mainly the description and the quantification of the processes, elementary statistics, data analysis, stochastic models and the simulation by multi-agent systems.

