

Application des concepts du SOLAP 3D à un contexte de fouille archéologique

Voyons maintenant comment nous avons mené une expérimentation afin d'optimiser le processus d'analyse en ligne de données 3D dans un domaine en particulier : l'archéologie. Avant de présenter en détails ces expérimentations et le prototype développé, ce chapitre propose un rappel des différents types de données archéologiques recueillies sur un chantier de fouilles archéologiques, des besoins spécifiques des fouilleurs en regard de l'analyse de leurs données 3D et plus particulièrement d'un outil d'analyse compatible avec le processus de compréhension d'un site archéologique. Nous concluons en examinant les réelles capacités du prototype et des concepts sous-jacents à répondre à notre objectif initial qui consistait à gérer adéquatement l'évolution des données (spatiales ou non) dans une structure multidimensionnelle et ce, simultanément à l'étape d'analyse du spécialiste.

4.1-La constitution des données archéologiques

Pour notre expérimentation, nous avons utilisé les données fournies par la fouille du site de Tell 'Acharneh, en Syrie, dirigé par Michel Fortin, professeur d'archéologie à l'Université Laval. Il s'agit d'un site de grandes dimensions : 70 hectares environ (1,2 km du nord au sud X 500-650 m d'est en ouest) qui se trouve dans la moyenne vallée de l'Oronte, à 35 km environ au nord-ouest de la ville moderne de Hama. L'idée d'inclure les technologies et les approches géomatiques dans un processus de fouille archéologique intéresse depuis plusieurs années le professeur Fortin. Certains travaux de *géomatization*⁵ ont été lancés ces dernières années en vue d'uniformiser le processus d'acquisition des données sur un chantier de fouilles archéologiques (Lachance *et al.*, 2006), d'inclure dans cette étape d'acquisition un balayeur laser (Marchand *et al.*, 2006) de modéliser en 3D les données extraites d'un tel chantier (Losier, 2005; Losier *et al.*, 2007) et même d'utiliser un SOLAP pour les besoins d'analyse (Rageul, 2004). Les données qui sont décrites ici sont donc celles propres au chantier de Tell 'Acharneh, un site dans un contexte proche-oriental.

⁵ Le terme *géomatization* sera utilisé dans ce document pour faire référence à l'introduction de méthodes et d'outils principalement exploités dans le monde de la géomatique (incluant ici plus spécifiquement les technologies de l'information, les disciplines de la cartographie numérique, des GPS, des SIG, des traitements numériques d'images).

Cependant, les mêmes catégories de données se retrouvent sur tous les sites archéologiques, peu importe les aires culturelles, à quelques différences mineures près.

Il va de soi, qu'étant donnée la nature de ce mémoire, la présentation de ces données sera ici sommaire et simplifiée. Parmi ces données, nous verrons celles qui sont d'observation et celles qui sont d'interprétation d'après les concepts tels que précédemment proposés comme classification au chapitre 3. Plus spécifiquement, ces données, et plus particulièrement les données d'observation ne sont pas encore exhaustives car la classification de données en « données d'observation » dépend directement de l'acquisition des données. Cette phase du projet n'étant pas encore complètement opérationnelle, ces données peuvent encore évoluer par rapport à la réalité du terrain et à l'intérêt porté par l'archéologue-fouilleur sur ce qu'il observe et ce qui l'intéresse pour son analyse.

4.1-1. Les objets archéologiques

Pour le chantier de Tell 'Acharneh, les fouilleurs reconnaissent deux classes d'objets archéologiques :

- les unités de fouille ou « UF » (auparavant appelées « lots »)
- les éléments de la culture matérielle inclus dans les UF et formant le catalogue

Les **unités de fouille** sont des entités volumétriques de terre (pour les UF-débris) ou de matériaux de construction (pour les UF-constructions) formant un site archéologique. Les UF sont arbitrairement délimitées par les fouilleurs en fonction de données observables sur le terrain (voir Figure 4-1). En somme, un site archéologique, lors de sa fouille, est fragmenté ou segmenté en un amalgame d'unités de fouille.



Figure 4-1 : Exemples d'Unités de Fouille–Construction (gauche) et – Débris (droite)

La **culture matérielle** trouvée dans ces unités de fouille peut être regroupée en quatre grandes catégories (Figure 4-2). Les **artéfacts** sont des objets qui ont été façonnés par un humain; ceux fabriqués à partir d'un matériau d'origine minérale sont plus nombreux étant donné leur haut degré de préservation (matériau non-périssable). Bien qu'étant en réalité un artéfact, la **céramique** est mise dans une catégorie à part en raison du nombre impressionnant de fragments recueillis lors d'une fouille archéologique. Les **écofacts** sont des restes naturels, non travaillés, d'un organisme végétal ou animal; un fragment d'os ou une tige de bois transformés en objets utilitaires ou esthétiques sont considérés comme des artéfacts. Les **restes humains** sont différenciés des ossements d'animaux et forment une dernière catégorie. L'ensemble de la culture matérielle forme le catalogue.

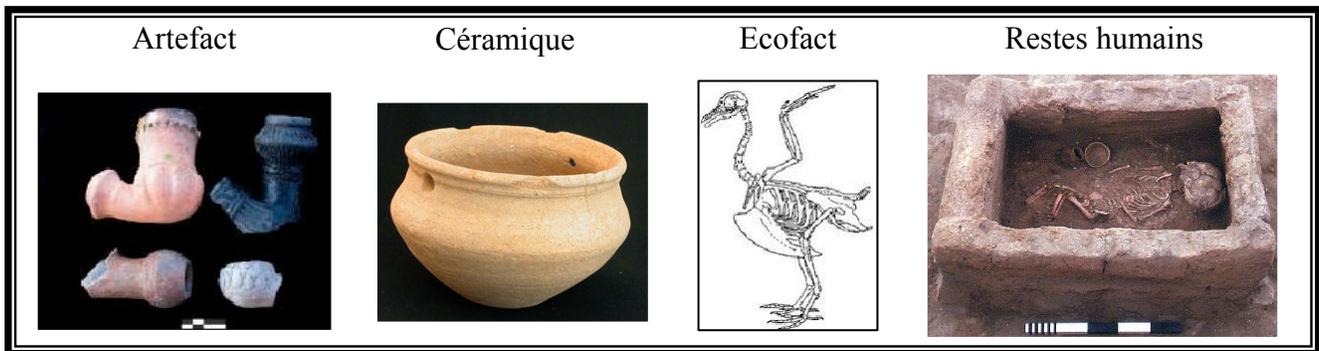


Figure 4-2 : Les quatre catégories de matériel archéologique retiré des unités de fouille d'un chantier archéologique

Autour de ces classes d'objets, vont graviter des données d'observation retenues pour l'analyse et des données d'interprétation.

4.1-2. L'interprétation des objets archéologiques

La compréhension d'un site archéologique passe dans un premier temps par la compréhension de la culture matérielle. Les spécialistes de la culture matérielle (ex. céramologue) inventorient le matériel archéologique retirés des unités de fouille puis le trient afin de retenir (cataloguer) les éléments qui apportent le plus d'informations (on élimine donc certaines données d'observation). On rappelle qu'une donnée d'observation est une donnée issue de systèmes d'acquisition des données ou de systèmes transactionnels (cf. chapitre3). Le matériel archéologique, notamment la céramique, est ensuite analysé afin de constituer les données d'interprétation qui les composent. On rappelle qu'une donnée d'interprétation est une donnée directement issue d'un besoin de l'utilisateur à revoir son analyse afin d'enrichir, de comprendre et/ou d'expliquer sa perception de la réalité, ceci

sans mettre à jour les données d'observation (cf. chapitre3). Le catalogue regroupe donc des données d'observation (jugées pertinentes pour l'analyse) et des données d'interprétation du matériel archéologique.

Dans un deuxième temps, la compréhension d'un site passe par la reconstitution virtuelle de ses constructions et de ses aires d'activité (cf. Figure 4-3). Les « Constructions » (ex. bâtiment) sont formées à partir de l'agrégation d'« Éléments de Constructions » (ex. murs, planchers, etc.) qui eux-mêmes résultent de l'agrégation d'UF-Constructions. Les aires d'activité sont constituées à partir de l'agrégation de « Constructions » et d'UF-débris ainsi que les éléments de culture matérielle que ces dernières contiennent. Toutes ces données ont été générées par une activité sociale dans le passé.

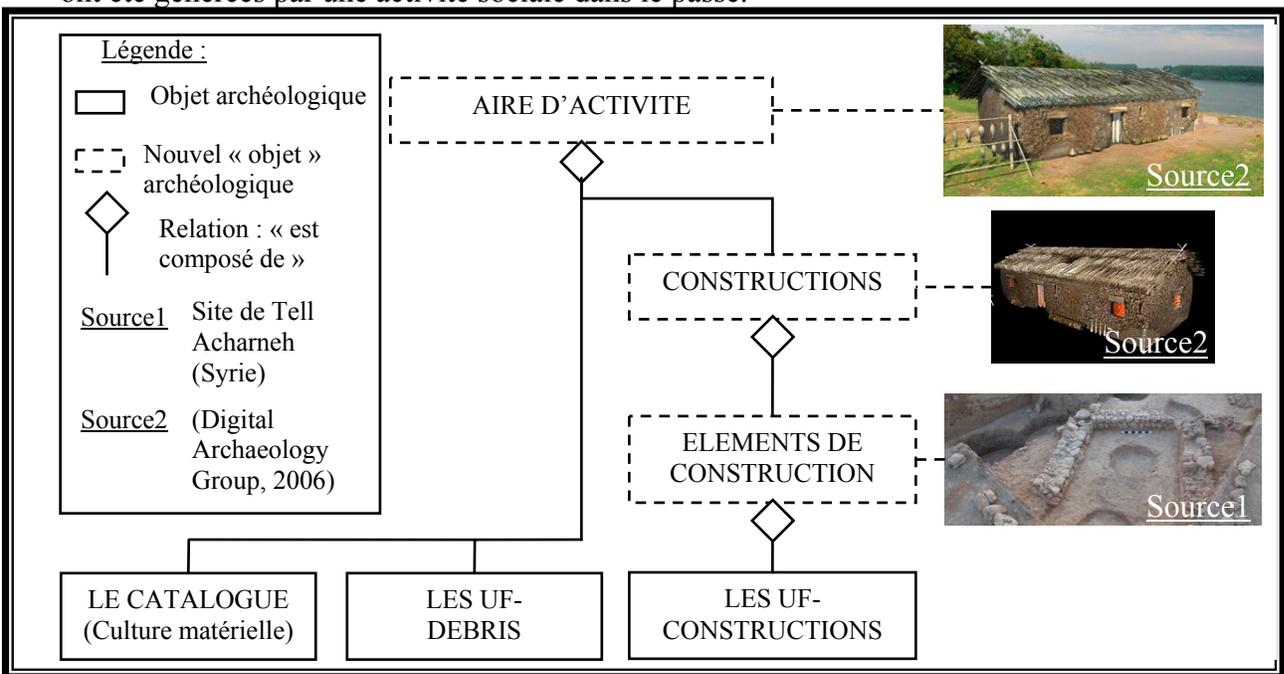


Figure 4-3 : Exemple simplifié de reconstitution de l'aire d'activité

En pratique, cependant, toutes les UF-constructions d'un site, ne pourront pas nécessairement être agrégées en « Éléments de Constructions ». Pareillement, des « Éléments de Constructions » ne pourront peut-être pas être agrégés en « Constructions ». Ainsi, en pratique, une aire d'activité pourra facilement inclure aussi des UF-constructions et des « Éléments de Constructions » non agrégés. Finalement, même si nous n'en tiendrons pas compte dans notre recherche, la dernière étape d'interprétation d'un site archéologique passe par la reconstitution de ses « Niveaux d'Occupation » superposés les uns aux autres.

Chaque « Niveau d'Occupation » regroupe des aires d'activités d'une même période temporelle ainsi que les « Constructions », « Éléments de Construction », « UF Constructions », « UF-débris » et « culture matérielle ». Il est pertinent de signaler ici que tous les éléments constitutifs d'un niveau sont contemporains, d'une part, et, d'autre part, que la datation d'un niveau est fournie par les éléments de culture matérielle.

4.1-3. Les données d'observation

La description des unités de fouille et des différentes catégories de la culture matérielle se fera à partir des données d'observation recueillies pendant la fouille. La Figure 4-4 montre, dans le contexte d'un chantier subdivisé en carrés de fouille, des exemples de données d'observation propres aux UF-Construction et aux UF-Débris. Elles comportent des attributs descriptifs (ex. consistance, granulométrie, couleur de la terre pour les UF-débris, sortes de matériaux pour les UF-constructions et mesures qui contiendront ultérieurement des données telles que l'archéologue les observera sans autre jugement de sa part). Toutes ces données sont des données d'observation car elles sont enregistrées par les archéologues/fouilleurs au moment même de la fouille, soit lors de la cueillette des données, avant qu'ils puissent leur attribuer une fonction ou une interprétation quelconque. Ce sont des données brutes, non-interprétées ou analysées.

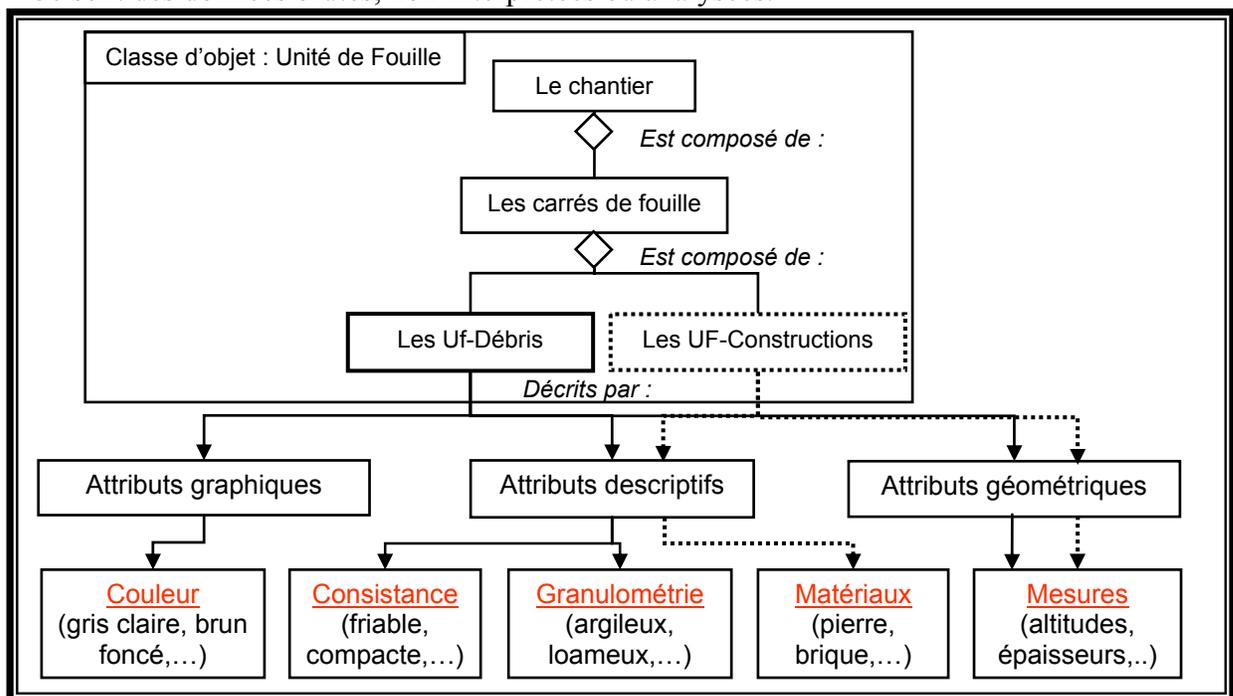


Figure 4-4 : Du chantier de fouille aux données d'observation.

Par conséquent, à cette étape, très peu de données d'observation seront notées en regard du matériel archéologique (culture matérielle); ce seront essentiellement :

- l'UF dans laquelle le matériel archéologique est trouvé. En effet, le matériel archéologique est enregistré comme « composante » de l'UF et non comme un objet spatial à part entière avec ses propres coordonnées;
- le « nombre total » des éléments de chaque catégorie de la matériel archéologique

4.1-4. Les données d'interprétation

Les données d'interprétation, comme son nom l'indique, sont issues de l'interprétation des objets archéologiques. Elles regroupent donc les données produites lors du catalogage des éléments de la culture matérielle (artéfacts) (cf. Figure 4-5) et la reconstitution des aires d'activités.

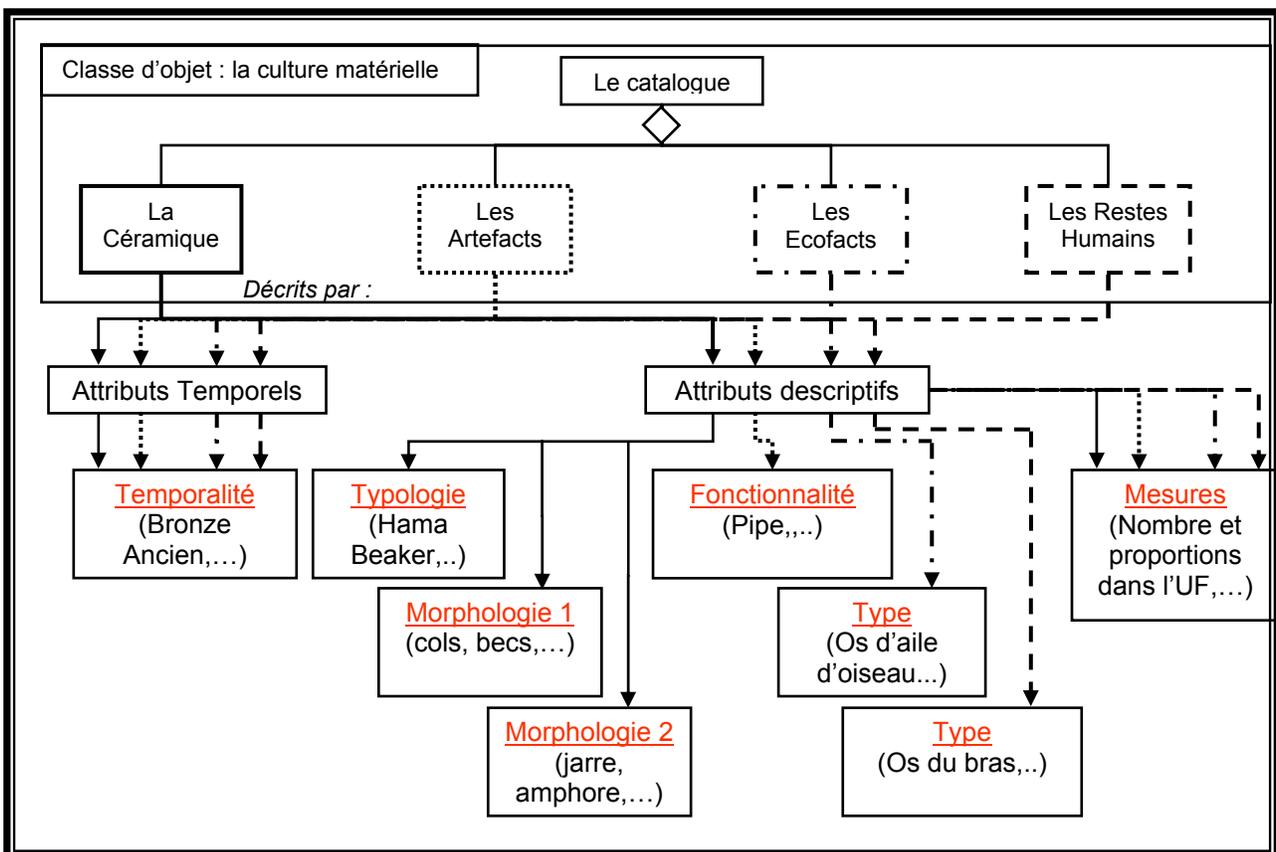


Figure 4-5 : Les données d'interprétations générées au cours de l'opération catalogage d'éléments de la culture matérielle

On remarquera sur la Figure 4-5 que les attributs temporels et les mesures sont omniprésents dans les différents objets constituant la culture matérielle. Plus spécifiquement, la céramique se distingue par des attributs descriptifs relatifs à la typologie et la morphologie (qui passe par une double interprétation). Les « Artefacts », quant à eux, se démarquent par un attribut descriptif portant sur leurs fonctionnalités alors que les « Ecofacts » ou les « Restes Humains » se différencient par leur type.

Concernant la classe d'objet « Unité de Fouille », la Figure 4-6 montre quelles peuvent être les données d'interprétation issues de l'analyse des unités de fouille. Ainsi, les attributs temporels résultent bien évidemment de l'interprétation de données temporelles relatives à la culture matérielle contenue dans cette UF. Les « Éléments de Construction » sont décrits par des attributs descriptifs de fonctionnalité et les « Constructions » sont quant à elles décrites par des attributs descriptifs d'inventaire. Ces « Constructions » et « Éléments de Construction » étant formés à partir d'UF-Constructions de même temporalité, ils héritent chacun de ces attributs temporels. Nous avons déjà vu à la Figure 4-4 une classe d'objet « Unité de Fouille ». Cependant cette classe d'objet était arbitraire puisque qu'elle dépendait du découpage en carrés de fouille du site archéologique. Il devient alors nécessaire de composer une nouvelle classe d'objet « unité de fouille » qui permettra la reconstitution des « Constructions ».

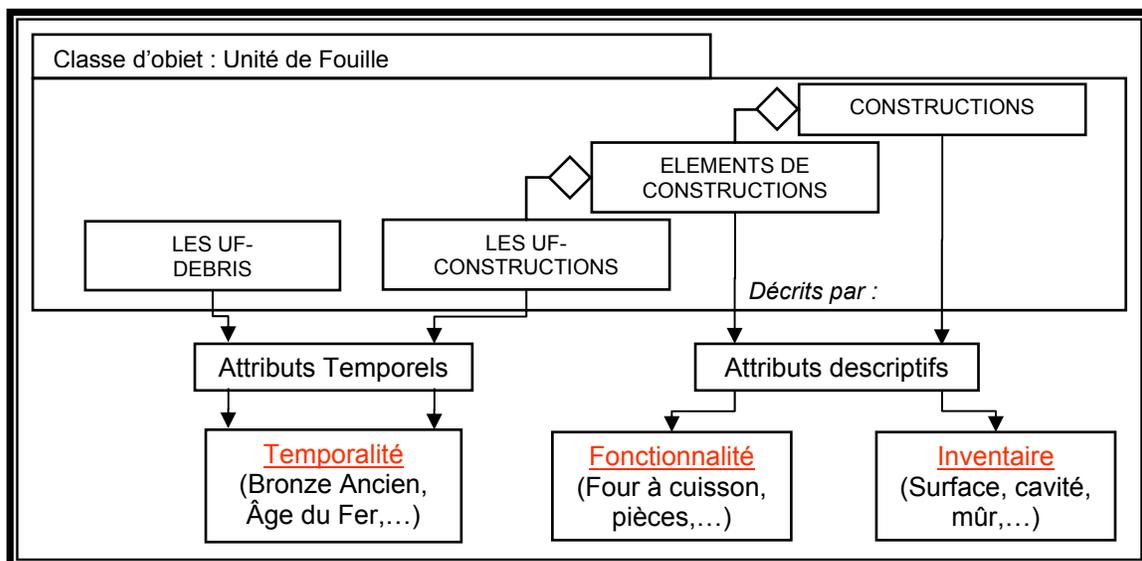


Figure 4-6 : Les données d'interprétations archéologiques issues des unités de fouille

Dans une structure multidimensionnelle, d'autres données d'interprétation seront les membres agrégés des dimensions (cf. Figure 4-7). Les membres les plus détaillés (i.e. le niveau le plus bas) de ces dimensions seront les données d'observation issues de l'observation des objets archéologiques et les données d'interprétation provenant de l'interprétation des mêmes objets.

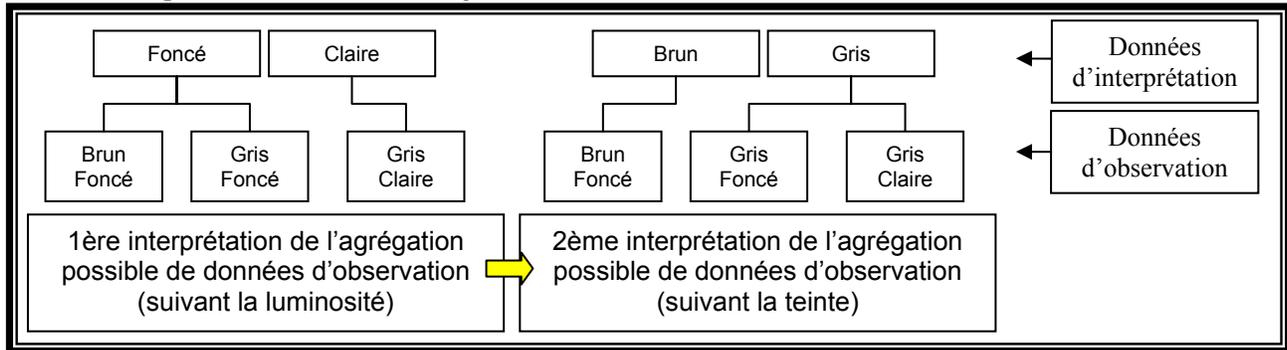


Figure 4-7 : Les données d'interprétations issues des dimensions (exemple de la couleur)

4.1-5. Les modèles 3D archéologiques

Pour l'aider dans son interprétation du site et sa reconstitution des aires d'activité, l'archéologue peut, dans des conditions idéales, documenter son site en constituant des modèles tridimensionnels. Ces modèles sont construits à partir des attributs géométriques et éventuellement graphiques des unités de fouille. En se fondant sur des données issues du chantier de Tell 'Acharneh, Losier (2005) a étudié les différents modèles géométriques qui pouvaient être générés pour un chantier de fouilles archéologiques. Parmi les trois modèles étudiés (surfaccique, tétraédrique et voxel, cf. Figure 4-8), le modèle tétraédrique semble le mieux adapté à l'archéologie car il permet la gestion de la transparence, est peu volumineux pour un jeu conséquent de données, léger à manipuler, rapide à l'affichage (Losier, 2005; Losier et al., 2007).

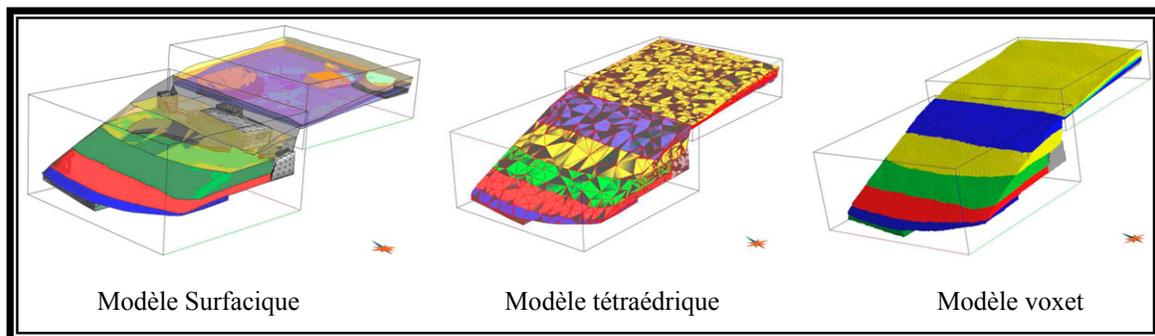


Figure 4-8 : Exemples de modèles 3D archéologiques (Tell 'Acharneh) (Losier, 2005).

4.2-L'analyse des besoins des archéologues

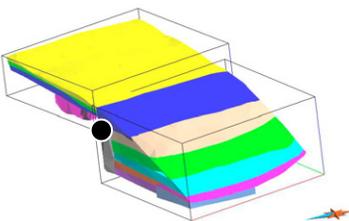
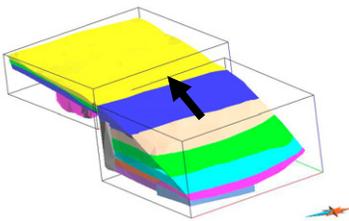
L'objectif des archéologues/fouilleurs est de reconstituer les aires d'activité constituant le site archéologique à partir des données acquises et décrites dans la section précédente. Cette partie présente les besoins recensés des archéologues quant à l'analyse de leurs données.

4.2-1. Les besoins généraux sur l'analyse des données

Les archéologues ont un premier besoin sur le type d'analyse (cf. sections 2.3-1.) à effectuer. L'**analyse descriptive** porte autant sur l'UF (« *Existe-t-il des unités de fouilles ayant une consistance, une granulométrie particulière ?* »,...) que sur la culture matérielle (« *De quelle morphologie est la céramique qui est en plus grand majorité dans une unité de fouille particulière ?* », « *Existe-t-il des unités de fouille ayant une couleur particulière avec un céramique d'un type particulier ?* »,...). Cette analyse est très importante puisqu'elle permet, par l'analyse des caractéristiques de la céramique, de dater celle-ci et par la même occasion d'attribuer une datation à l'UF.

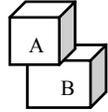
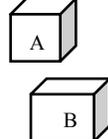
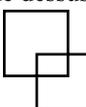
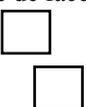
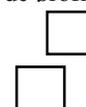
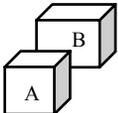
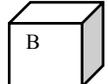
L'**analyse spatiale** s'applique exclusivement aux UF puisque ce sont les seules données qui portent la référence spatiale. Le besoin est tant sur l'aspect métrique (« *De combien de mètres sont distancés les deux unités de fouille* », « *Où sont positionnées les UF ayant une couleur, une consistance et une granulométrie particulière* »,...) que topologique de l'analyse spatiale. Les opérateurs spatiaux métriques utilisés sont des opérateurs métriques 3D : la position, la longueur/distance, l'aire/superficie, le volume et le corridor (cf. Tableau 4-1).

Tableau 4-1 : Exemple d'analyses spatiales métriques 3D appliquées à l'archéologie

Analyse métrique de position	Analyse métrique de distance
 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; background-color: #e0f2f1;">Analyse spatiale</p> <p>X : 2899.94 m Y : 2904.91 m Z : 213.17 m Objet : TEW2-lc01</p> </div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p style="text-align: center; background-color: #e0f2f1;">Analyse spatiale</p> <p>3D dist. = 2.73 m Map dist. = 2.481 m Vertical dist. = 1.12 m</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;"> <p><u>First point</u>: 2897.25, 2902.07, 213.033 <u>Last point</u>: 2899.56, 2902.97, 214.154 <u>Vector</u>: 2.31299, 0.897217, 1.12138</p> </div> </div>

Des opérateurs spatiaux topologiques 3D peuvent aussi être appliqués à une « Unité de Fouille ». Ils proviennent d'une adaptation des opérateurs topologiques 2D. Comme les opérateurs métriques, les opérateurs spatiaux topologiques concernent exclusivement les unités stratigraphiques (cf. Tableau 4-2).

Tableau 4-2 : Exemple d'analyses spatiales topologiques 3D appliquées à une UF

Les opérateurs topologiques 3D		Exemple			
Disjonction		Aucun lien entre les deux objets			
Adjacence	Adjacence verticale avec contact		Vue de dessus 	Vue de face 	Vue de profil 
	Adjacence verticale sans contact		Vue de dessus 	Vue de face 	Vue de profil 
	Adjacence horizontale		Vue de dessus 	Vue de face 	Vue de profil 
Inclusion			Coupe intérieure : 		
Égalité		Les deux objets sont confondus			

Comme l'analyse spatiale, l'**analyse temporelle** est aussi extrêmement importante pour l'analyse de données issues d'une fouille archéologique et principalement pour l'analyse stratigraphique. Cette analyse se fait suivant une échelle chronologique (cf. Figure 4-9) qui n'est pas figée puisqu'elle dépend de l'interprétation des archéologues en fonction, entre autres, de la localisation du site en question, des phases évolutives déjà connues, des différents groupes humains ayant vécu dans la région ou se trouve le site fouillé et des découvertes ayant été faites par d'autres archéologues ayant fouillés dans la même région. Les époques, et les périodes incluses dans cette chronologie le seront en regard des *matériaux* utilisés par l'Homme, des *artefacts*, en regard également de ses *modes de vie*, voire même en tenant compte des noms des peuples qui y ont vécu et dont les noms nous sont connus par des écrits anciens (ex. période perse ou romaine). L'analyse métrique temporelle ne repose pas nécessairement sur des dates absolues car pour les périodes anciennes ces dates ne sont pas toujours connues avec exactitude. Donc à la différence

d'une analyse métrique de distance dont l'unité de mesure est le nombre d'années par exemple, on pourrait avoir une analyse temporelle métrique de distance dont l'unité de mesure serait les époques.

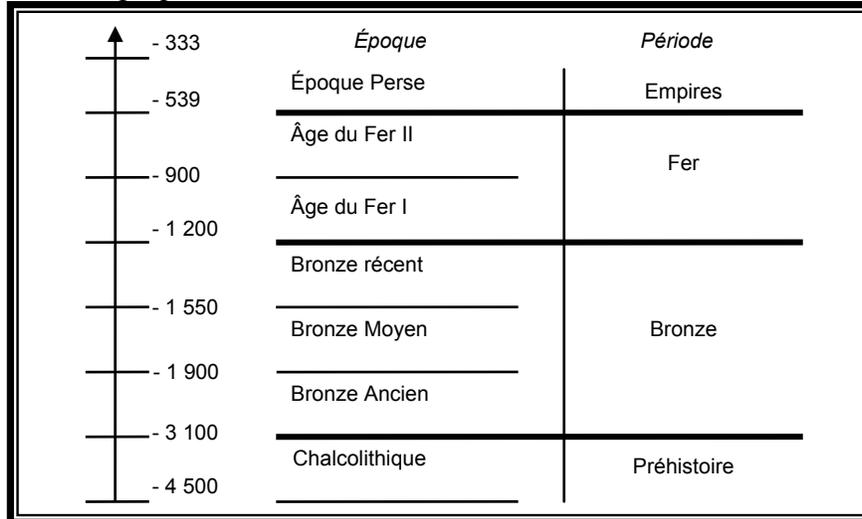


Figure 4-9 : Exemple d'échelle temporelle archéologique

Les opérateurs temporels topologiques peuvent aussi être adaptés à l'archéologie. Les opérateurs sont plus simples puisqu'ils mettent en évidence des durées qui ne se chevauchent pas. Les opérateurs retenus sont : avant sans continuité, avant avec continuité, pendant, après avec continuité, après sans continuité. De plus, les archéologues sont attachés tant sur les époques que sur les périodes. Nous pouvons alors coupler les différents opérateurs temporels ce qui nous donne le Tableau 4-3.

Tableau 4-3 : Exemple d'analyses temporelles topologiques 3D appliquées à l'archéologie

Opérateurs – Période	Opérateurs – Époque	Exemple (cf. Figure 4-9)
Avant Discontinuité	Avant avec discontinuité	Chalcolithique → Age Fer I
Avant Continuité	Avant avec discontinuité	Chalcolithique → Bronze Récent
	Avant avec continuité	Chalcolithique → Bronze Ancien
Pendant	Avant avec Discontinuité	Bronze Ancien → Bronze Récent
	Avant sans Discontinuité	Bronze Ancien → Bronze Moyen
	Pendant	Bronze Moyen → Bronze Moyen
	Après sans discontinuité	Bronze Récent → B.M.
	Après avec discontinuité	Bronze Récent → B.A.
	Après continuité	Après avec continuité
Après sans continuité	Après sans continuité	Empire Perse → Age Fer I
	Après sans continuité	Empire Perse → Bronze Récent

L'**analyse visuelle** est finalement tout aussi importante pour les archéologues dans l'analyse de leurs données. Elle nécessiterait entre autres : une présence de vues 3D, un forage graphique 3D (manipulation interactive graphique), de générer des vues 2D par slicer (coupes interactives 2D à partir d'un solide 3D), une fenêtre de manipulation des données 3D, une navigation assistée pour explorer le résultat d'une requête (cf. Figure 4-10).

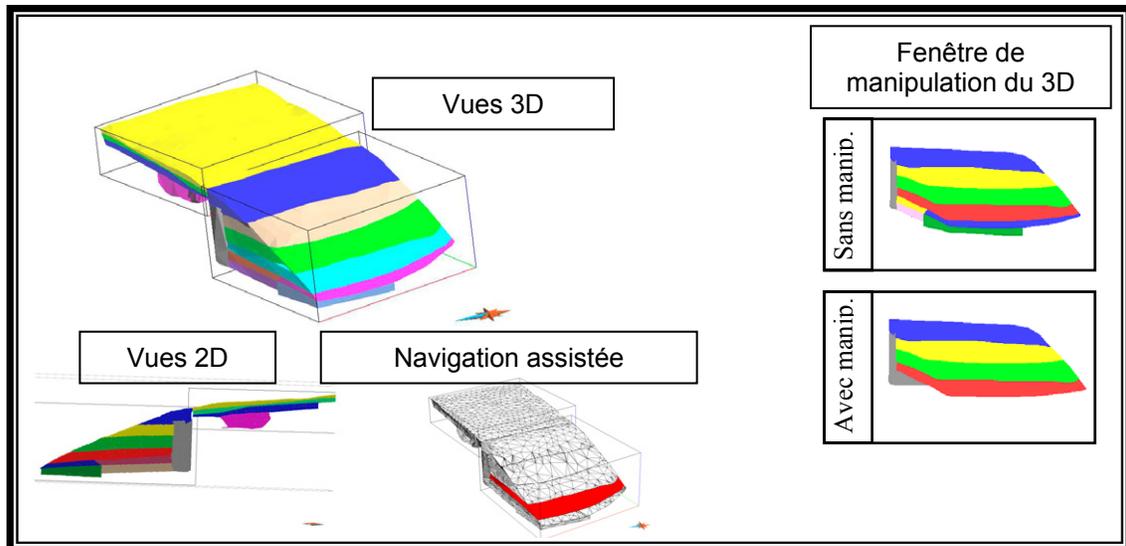


Figure 4-10 : Exemple d'analyses visuelles 3D appliquées à des « Unités de Fouille »
(Image tirée de la modélisation de Losier 2005)

4.2-2. Un besoin spécifique : la compatibilité cognitive

Un besoin spécifique des archéologues concerne la manière d'analyser les données. La recherche archéologique relative à la compréhension et l'interprétation des données issues d'un chantier de fouilles archéologiques s'inscrit dans un processus de **découverte de connaissance**. Nous prétendons que ce processus est constitué de quatre grandes étapes itératives (cf. Figure 4-11) :

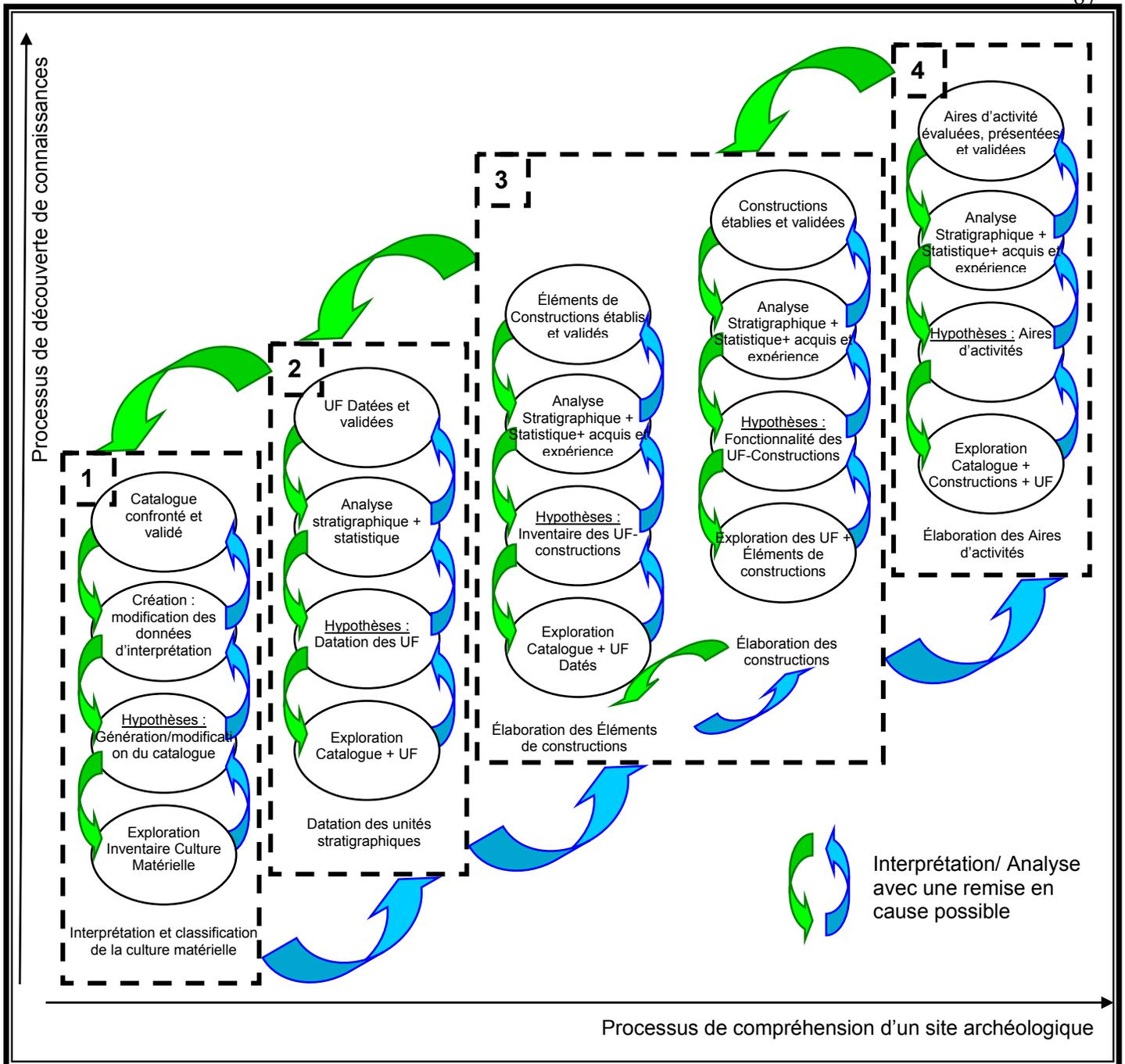


Figure 4-11 : Les quatre étapes de la compréhension d'un site archéologique

Étape 1 : Interprétation et classification de la culture matérielle (cf. encadré 1 Figure 4-11). Cette étape permet de mettre en évidence ce qui est appelé le catalogue, qui regroupe toutes les données (d'observation et d'interprétation) concernant la culture matérielle (ex. « Artefacts »).

Étape 2 : Analyse stratigraphiques pour la datation des « Unités de fouille » (cf. encadré 2 Figure 4-11). L'archéologue/fouilleur va chercher à établir des relations implicites entre la culture matérielle et les unités de fouille (- construction et/ou - débris) qui la contiennent et, d'autre part, la relation entre les UF. Cette dernière analyse est plus simple par une analyse spatiale. Il s'aide pour cela d'une analyse topologique spatiale et temporelle afin de comparer les UF en fonction de leur voisinage et de vérifier la cohérence notamment en ce qui nous concerne de la datation des UF en cause. Ce type d'analyse est souvent appelé une analyse stratigraphique par les fouilleurs car leur préoccupation première est de reconstituer la superposition stratigraphique du site fouillée qui témoigne d'une séquence événementielle passée. De nouvelles analyses statistiques sur la culture matérielle sont effectuées au cours du processus et une révision des données d'interprétation relatives au matériel archéologiques peut remettre en cause l'Étape 1 via une nouvelle interprétation.

Étape 3 : Interprétation des UF-constructions pour former des « Éléments de Construction » et des « Constructions » (cf. encadré 3 Figure 4-11). Au moment des analyses stratigraphiques, statistiques et de voisinage, et fort des acquis et expérience de l'analyste, les UF-Construction s'agrègent en Éléments de Construction. Un inventaire (surface, cavité, mur,...) de ces nouveaux objets archéologiques est dressé. Puis de nouvelles explorations des données et principalement concernant les UF-construction non agrégés et les « Éléments de Construction » nouvellement créés sont faites. De nouveaux objets archéologiques, les « Constructions », apparaissent et des interprétations sur leur fonctionnalité (four à cuisson, mur de défense,...) sont élaborées. Il est très important de noter qu'une mauvaise datation des Unités de Fouille (retour à l'étape 2) et/ou un catalogue mal interprété (retour à l'étape 1) peuvent remettre en cause le processus d'interprétation et de restitution des « Constructions » voire même l'ensemble du processus de compréhension du site fouillé.

Étape 4 : Reconstitution de l'aire d'activité (cf. encadré 4 Figure 4-11). L'archéologue va ensuite poursuivre son processus analytique en agrégeant toutes les UF (incluant les artefacts compris dans ces UF), les « Éléments de Construction », les « Constructions » qui sont contemporains afin de reconstituer des aires d'activités appartenant à un seul et même niveau d'occupation du site fouillé. Pour cela, il va devoir analyser à nouveau la culture

matérielle, visualiser les données spatiales (UF-débris, UF-constructions, « Éléments de Constructions », « Constructions ») précédemment interprétées, donc datées, et s'aider des données d'interprétation (inventaire et fonctionnalité) qu'il s'est créé. Des hypothèses sont alors posées quant aux agrégations possibles des différents objets archéologiques. Toutes ces analyses sont utiles et nécessaires à l'archéologue pour l'aider dans sa recherche. Une nouvelle analyse stratigraphique sur les Unités de Fouille, de nouvelles statistiques sur la culture matérielle, l'expérience de l'archéologue/fouilleur,... sont autant de facteurs permettant de confirmer ou de réfuter l'hypothèse. De mauvaises interprétations sur les constructions et/ou éléments de constructions (retour à l'étape 3), sur la datation (retour à l'étape 2) et sur la culture matérielle (retour à l'étape 1), sont autant de possibilités pour réitérer les étapes.

Cette découverte de connaissance doit donc être favorisée par une **compatibilité cognitive** entre l'outil d'analyse et les réflexions de l'archéologue. Comme nous l'avons vu au chapitre 2, les premiers critères de sélection de ces outils sont la rapidité des résultats et la facilité d'utilisation. Les outils d'analyse en ligne répondent parfaitement à ces deux critères. L'autre critère de sélection est la possibilité de réviser les données d'interprétation dans le but de comprendre le site archéologique. La section suivante présente une expérimentation du processus de révision en archéologie.

4.3- La révision de la structure multidimensionnelle : de la théorie à la pratique

Il apparaît, donc, que tout le processus analytique relatif à l'interprétation des données issues d'un chantier de fouille archéologique en vue de la compréhension du site fouillé et la restitution de son aspect originel est un processus d'analyse qui exige des révisions constantes des données fondamentales. Un prototype a été construit et expérimenté afin de vérifier nos observations théoriques sur le sujet.

Les objectifs du prototype développés doivent permettre de vérifier simplement si les efforts pour réviser une donnée d'interprétation peuvent être compatibles avec les efforts requis pour un SOLAP afin d'en conserver la fluidité d'exploration interactive. Les outils de type SOLAP sont caractérisés par leur rapidité dans les réponses aux requêtes et leur

facilité d'utilisation (Caron, 1998). De plus, ces outils donnent accès à une variété de vues de n'importe quelles informations de façon rapide, concise et interactive (Cios *et al.*, 2005). C'est pourquoi, les objectifs du prototype devront se porter sur les mêmes critères qui caractérisent l'outil SOLAP. En effet, l'intérêt d'un tel prototype peut être remis en question s'il bloque le processus cognitif de l'utilisateur. C'est pourquoi, les objectifs vont se porter tant sur la **faisabilité** d'un tel outil (est-il possible de garder la simplicité et la facilité d'utilisation ?) que sur l'**efficacité** de celui-ci (est-il possible de garder la rapidité d'exécution ?).

4.3-1. Présentation du prototype

Un SOLAP 3D archéologique

Comme nous l'avons vu, la structure multidimensionnelle sera de type ROLAP sous la simulation de schéma en étoile avec la modélisation des dimensions en « parent-enfant ».

Nous nous inspirerons d'un premier travail réalisé par Rageul (Rageul, 2004). La structure MOLAP avait alors été utilisée. Nous avons gardé les mêmes dimensions (8) avec quelques légères modifications pour certaines (cf. Annexe A pour une description détaillée de chaque dimension) :

- la couleur de la terre de l'unité de fouille ;
- la granulométrie de la terre de l'unité de fouille ;
- la consistance de la terre de l'unité de fouille ;
- le numéro d'unités de fouille (contient la référence spatiale) ;
- la temporalité de l'unité de fouille ;
- le type de tesson ou type de céramique ;
- la temporalité de la céramique ;
- la proportion de la céramique dans l'unité de fouille en fonction de la temporalité et/ou de ses caractéristiques ;

D'autres dimensions, comme par exemple la relation spatiale topologique, la relation temporelle topologique et l'élaboration des constructions, aires d'activités et niveaux, ont été envisagées mais n'ont pas été implantées dans la structure multidimensionnelle sur

laquelle nous avons élaboré le prototype. Celles-ci sont présentées à titre indicatif en annexe B.

Les mesures utilisées pour notre prototype sont présentées dans le Tableau 4-4

Tableau 4-4 : Les mesures utilisées et leur fonction d'agrégation

Mesures utilisées	Fonction d'agrégation
Nombre de céramiques	Somme
Nombre d'unités de fouille	Somme
Altitude Supérieure de l'unité de fouille	Maximum
Altitude Inférieure de l'unité de fouille	Minimum
Épaisseur de l'unité de fouille	Moyenne

Présentation du prototype de révision des données d'interprétation

Le prototype a été conçu au travers d'un langage de programmation *Visual Basic* et le système de gestion de base de données *Microsoft Access 2003*. Ce prototype permet tout d'abord de reconstruire intégralement le cube ROLAP à partir des données entrantes. Cette reconstruction se compose de trois étapes :

- Uniformiser les tables, insérer les clés étrangères des dimensions dans les tables uniformisées et créer la table des faits (12 secondes)
- Créer la table des faits élargie pour générer un fichier texte lisible par le logiciel SAS (29secondes)
- Exécuter le fichier texte sous le logiciel SAS (environ 40 heures)

Le prototype permet aussi de modifier le cube ROLAP et les tables entrantes. Deux interfaces sont prévues à cet effet. (cf. Figure 4-12 et Figure 4-15). La première (cf. Figure 4-12) qui fait aussi « interface d'accueil », présente l'évolution des clés étrangères (tous les clics de souris offrent un affichage dans la seconde sauf le module D).

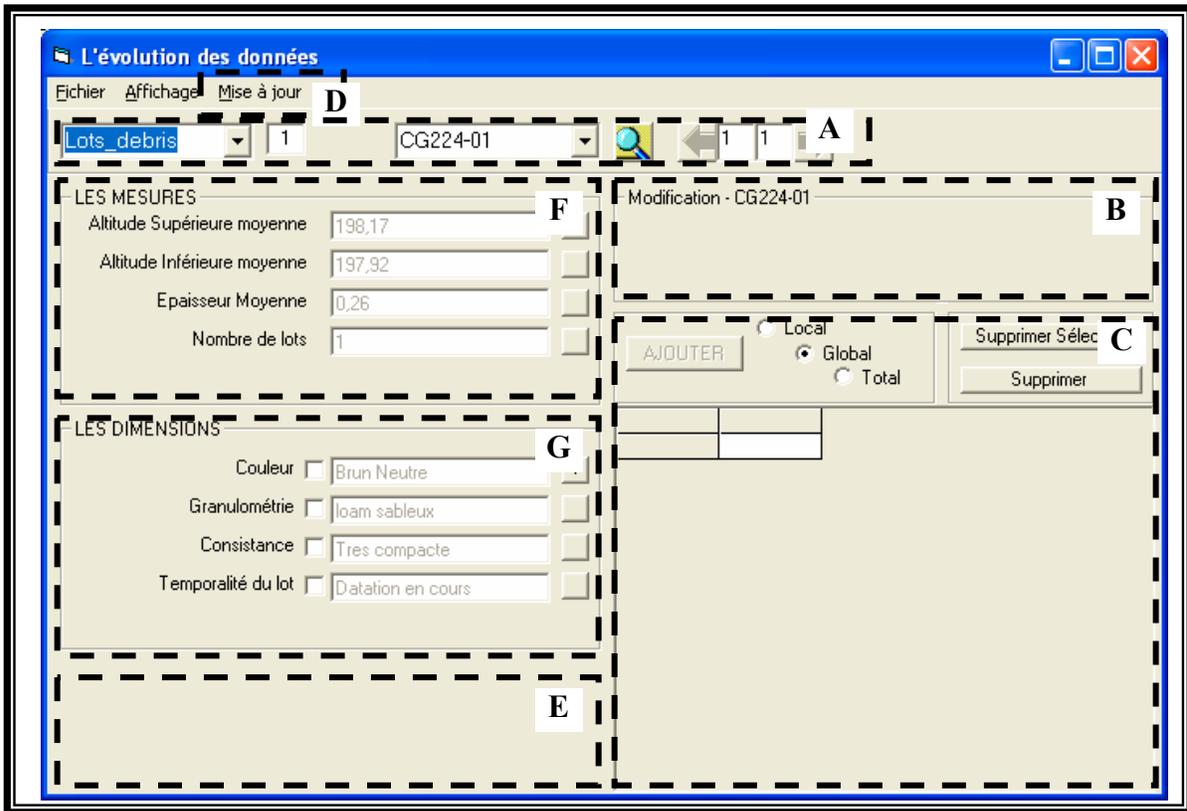


Figure 4-12 : Interface « Évolution des clés étrangères et mesures »

A) Permet à l'utilisateur de rechercher les éléments qu'il souhaite modifier et entraîne automatiquement les mesures (F) et les dimensions (G) associées (cf. Figure 4-13)

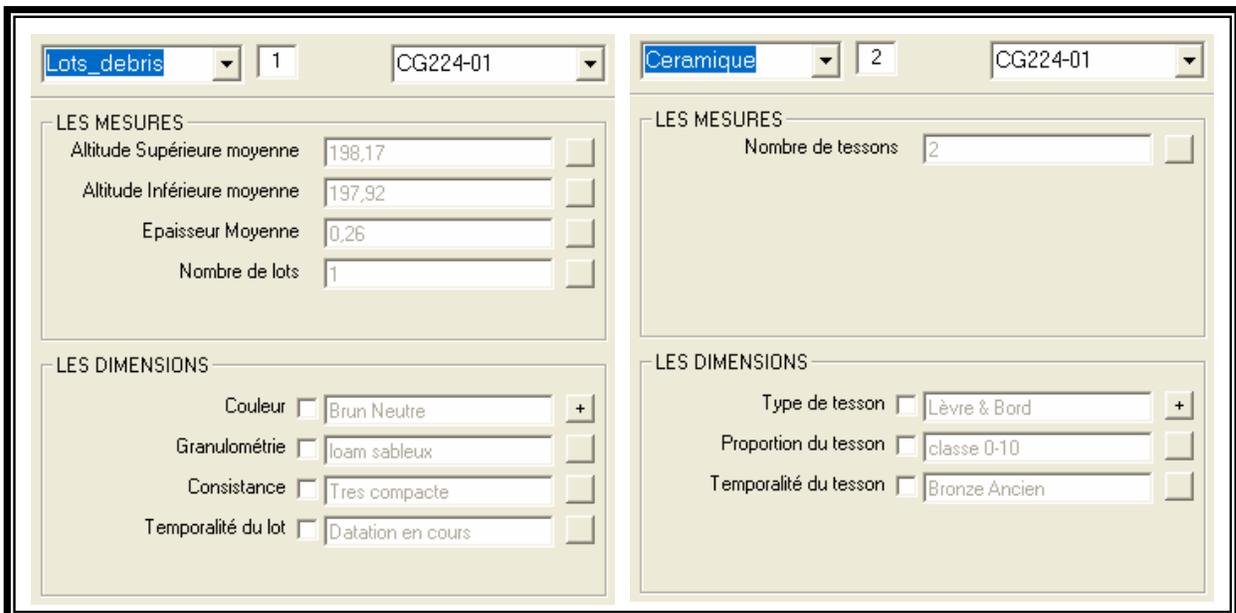


Figure 4-13 : Les mesures et les dimensions

B) Affiche le type de modification : c'est dans cette partie du programme que l'on pourra effectuer les modifications souhaitées (cf. Figure 4-14) :

B.1) L'évolution des mesures

B.2) L'évolution des dimensions

B.2.a. S'il s'agit d'une clé étrangère

B.2.b. S'il s'agit de la hiérarchie de la dimension

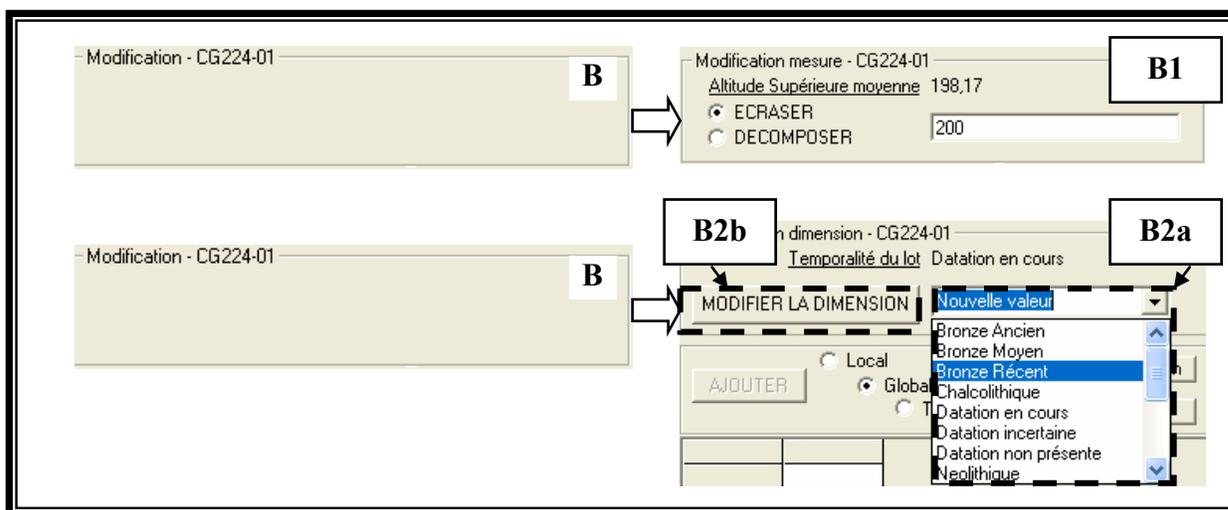


Figure 4-14 : Les différents types de modifications

C) Affichent la liste de toutes les modifications (cf. Tableau 4-5)

Tableau 4-5 : Exemple de liste de modifications

N°	Id_Pri	Typ	Nom	Avant	Après
1	CG224-01	Mes	Altitude Supér	198,17	200
2	CG224-01	Dim	Temporalité du	Datation en co	Bronze Moyen
3		Rer	Couleur	Brun	Marron
4	Tenon	Chg	Type de tesso	Secondaire	Principal

N°1 : Pour l'UF CG224-01 : écrase la valeur de la mesure « altitude supérieure » actuelle (198,17) par la valeur « 200 » ;

N°2 : Pour l'UF CG224-01 : change la clé étrangère de la dimension temporalité de l'UF « datation en cours » par la clé étrangère « Bronze moyen » ;

N°3 : Renomme dans la dimension Couleur, la donnée interprétée « brun », par la donnée « marron » ;

N°4 : Dans la dimension « type de tesson », la donnée « tenon » change de père (passe de « secondaire » à « principal ») ;

- D) Exécute les mises à jour. Les mises à jour sur toutes les tables se font dans la seconde (dimensions, table des faits, etc...). Faute de temps, nous n'avons pas pu tester la connexion avec la table finale ROLAP. Cependant, nous estimons que l'actualisation de la table ROLAP reste largement inférieure aux 40 heures que nécessite sa mise en place. En effet, des requêtes SQL (simples et complexes) ont été effectuées sur cette table de 7,5 millions d'enregistrements. Les requêtes offrent des résultats sous la minute, ce qui peut être plus intéressant que les 40 heures de reconstruction sous le logiciel SAS.
- E) Affiche l'historique de la révision des données. En effet, le caractère itératif que nécessite le processus de révision de données peut impliquer aussi de revenir sur des révisions faites par l'analyste. Un rappel de l'historique peut simplifier cette démarche.

La deuxième interface (cf. Figure 4-15) permet de modifier la dimension. Cette interface est accessible via B2b de la Figure 4-14.

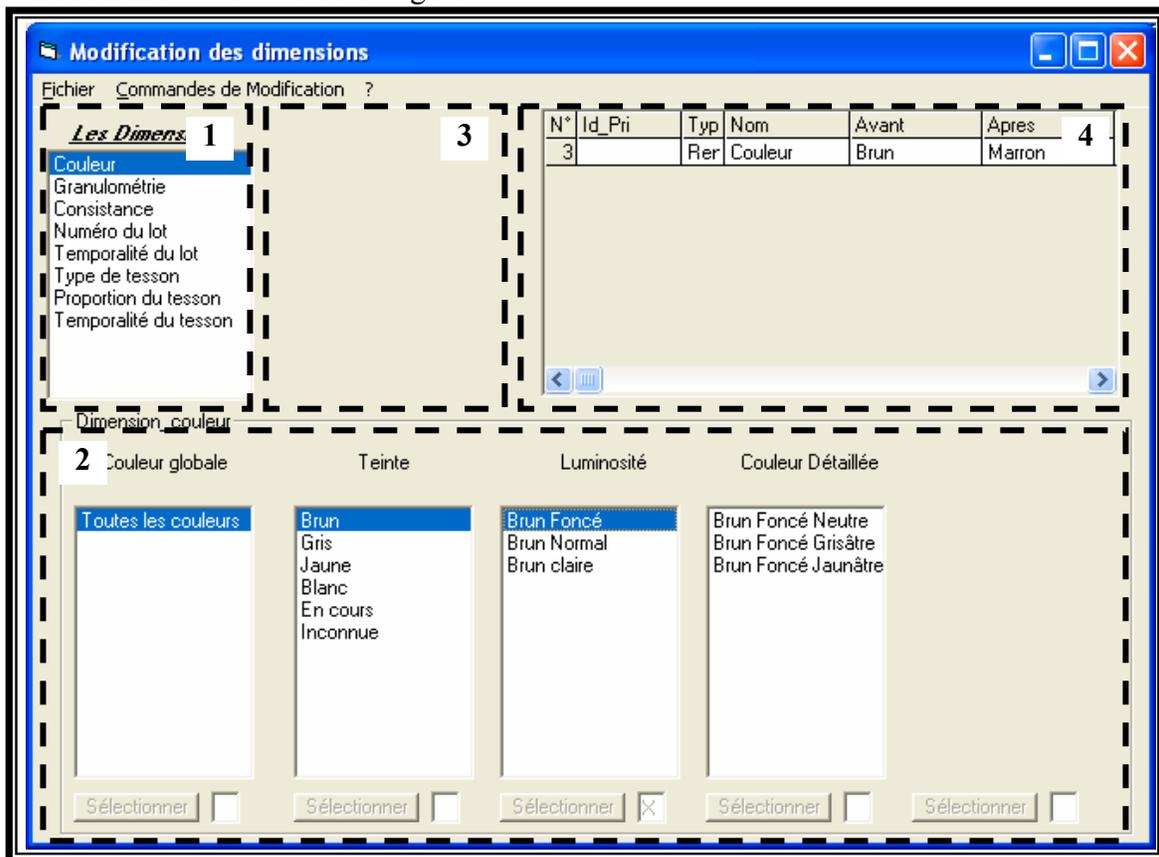


Figure 4-15 : Interface « Modification des dimensions »

1. Liste des dimensions
2. Navigation dans les dimensions
3. Type de modification : c'est dans cette partie du programme que l'on pourra effectuer les modifications souhaitées (cf. Figure 4-16)
4. Affiche la liste de toutes les modifications

Figure 4-16 : Liste des modifications des dimensions

4.3-2. Analyse des résultats

Nous avons décidé d'élaborer un prototype afin de pouvoir explorer techniquement le processus de révision des données dans une structure multidimensionnelle. Cette maîtrise n'avait pas pour objectif principal d'élaborer un prototype fonctionnel sur tous les points de vue mais plutôt de tester et comprendre ce processus dans une structure multidimensionnelle. Après quatre mois de recherche et de programmation dans notre expérimentation, des conclusions sur l'évolution de données d'interprétation dans une structure multidimensionnelle peuvent en être tirées.

Le premier point concerne la faisabilité. Nous avons pu conserver ce qui fait la force d'une structure multidimensionnelle : l'intuition et la facilité d'utilisation (navigation par clic et non par requête SQL). Il est donc possible pour un usager, qu'il soit analyste ou débutant, de pouvoir effectuer tous les changements nécessaires avec une extrême facilité.

Le deuxième point concerne l'efficacité. Même si la connexion avec le ROLAP n'a pas pu être faite, l'ensemble des fonctionnalités du prototype offre des résultats sous la minute (de l'uniformité des tables à la reconstruction du fichier lisible sous SAS : 41 sec.) et dans la

seconde pour toutes les modifications des tables. De ce point de vue le prototype a pu montrer une performance évidente puisqu'il gagne 35 secondes à chaque modification au lieu des 41 secondes prévues. En effet, seulement 6 secondes sont nécessaires soit 3 secondes pour effectuer le changement - dépendant du type de modification - et 3 secondes pour reconstruire le fichier lisible sous SAS. La reconstruction totale des agrégations quant à elle se fait en 40 heures. Après un test sur des requêtes SQL simples (portant sur un champ) ou même complexe (portant sur une combinaison de champs), le temps de réponse résultant a toujours été sous la minute. Même si nous n'avons pas pu expérimenter complètement cet aspect du prototype, nous avons pu montrer où seraient les possibilités d'optimisation et d'évolution du prototype en tenant compte des différentes règles théoriques émises au chapitre 3.

4.4- Conclusion

Pour bien optimiser l'analyse de données issues d'une fouille archéologique, nous nous sommes attachés à connaître le type de données issues de cette fouille et à comprendre le processus d'élaboration de connaissance archéologique. Cette compréhension est essentielle pour pouvoir aider les archéologues dans l'analyse de leurs données. Bien que nous ayons pu la rationaliser un petit peu, force est de constater que le processus de compréhension d'un site archéologique est extrêmement complexe et itératif. Il demande souvent beaucoup d'efforts de connaissances et d'association entre diverses connaissances pour l'archéologue car, à ce jour, aucun système informatique n'a permis de clairement les aider dans l'analyse de leurs données. C'est d'ailleurs grâce à cette compréhension, que de nouveaux concepts géomatiques d'analyse de données, tels que vus au chapitre 3, ont pu être mis en évidence.

Un objectif, vis à vis de cette science humaine/sociale, était de comprendre les besoins d'analyse des archéologues, de les expliciter et de proposer une optimisation possible. Tout d'abord, nous nous sommes attachés à étudier les différents types d'analyse et d'appliquer certains opérateurs d'analyse à l'archéologie. De plus, l'étude des besoins en analyse des archéologues nous a permis d'étudier un concept nouveau pour une structure multidimensionnelle : la révision des données d'interprétation pendant la phase d'analyse.

Puisque très peu explorée à ce jour, la modification des données d'une structure multidimensionnelle pendant son utilisation est difficilement quantifiable du point de vue de l'effort (facilité et rapidité) que doivent fournir tant l'outil que l'utilisateur. Le prototype conçu et présenté dans ce chapitre, a permis de répondre en partie à cette quantification des efforts en étudiant tant la faisabilité (l'évolution des données doit se baser, pour l'utilisateur, sur des clics et non des requêtes SQL) que l'efficacité de notre outil (efficacité sur la mise en place : temps de construction du cube SOLAP et efficacité sur la révision : le temps de modification de la table devant être strictement inférieur au temps de reconstruction).