

CORRESPONDANCE

L'analyse topologique des remontages archéologiques : la méthode TSAR et le package R Archeofrag

Sébastien PLUTNIAK

Limites actuelles de l'analyse taphonomique des remontages

Une part importante du travail archéologique consiste à reconnaître et déterminer les limites d'unités spatiales. Ces unités sont de natures diverses : limites entre couches sédimentaires, limites d'un creusement, limite entre l'intérieur et l'extérieur d'un habitat, etc. Plusieurs méthodes concourent à cette tâche, dont l'observation durant la fouille, l'analyse sédimentologique, l'étude de la distribution des objets archéologiques, et l'analyse des remontages entre les parties d'objets fragmentés. Une abondante littérature est consacrée à l'analyse des remontages (Cziesla, 1990 ; Schurmans et De Bie dir., 2007, etc.), qui sont employés à des fins diverses, dont reconstituer la forme des objets, déterminer des chaînes opératoires, ou évaluer la robustesse des divisions entre unités spatiales et éclairer la taphonomie d'un site. En dépit des nombreux travaux portant sur cette dernière application, plusieurs problèmes demeurent irrésolus, dont trois en particulier.

L'ignorance de la topologie

Distinguer des types de relations entre fragments a compté parmi les voies empruntées pour améliorer les méthodes d'analyse des remontages. Les approches les plus sophistiquées définissent ainsi jusqu'à sept types de relations (López-Ortega *et al.*, 2011). Les méthodes existantes reposent néanmoins toutes sur le *décompte* des relations, sans tenir compte de leurs *positions relatives* dans le volume de l'objet (leur topologie). Or, comme récemment démontré (Plutniak, 2021b), des ensembles de remontages suggérant des interprétations archéologiques différentes, à nombres de fragments et de relations égaux, ne peuvent être distingués qu'en tenant compte de leur topologie (fig. 1).

Les limites de l'intuition

Lorsque s'accroît la quantité de relations et la complexité de leurs configurations le jugement intuitif est rapidement limité. Ceci s'illustre par la diversité des réponses apportées par des archéologues invités à ordonner en fonction de leur mélange une série d'exemples où deux unités spatiales présentent des remontages internes et externes (Plutniak, 2021b). L'appréciation immédiate

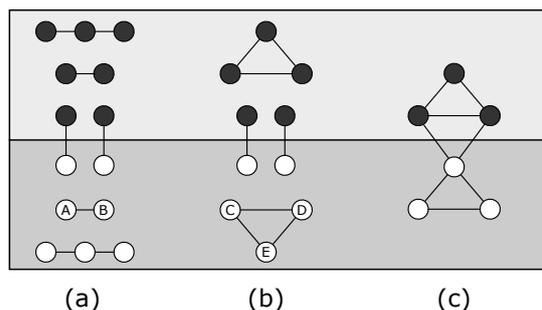


Fig. 1 – La nécessité de tenir compte de la topologie des relations : trois paires d'unités spatiales (e.g., des couches) contenant le même nombre de fragments et de remontages internes ($n=6$) et externes ($n=2$). Bien que le nombre de relations soit égal dans tous les cas, l'interprétation archéologique de chaque cas est très différente : la distinction entre les unités sera jugée valide en (a) ; valide également en (b) mais avec une certitude supérieure à propos de la position initiale de chaque objet ; et douteuse en (c).

d'un tableau de décompte ou de la représentation graphique de la spatialisation de remontages est donc insuffisante.

L'impossibilité de comparer

L'impossibilité d'observer les états antérieurs d'un site, et l'absence de référentiels expérimentaux, rendent difficile la définition de seuils pour qualifier l'importance des mélanges et perturbations : par exemple, comparant la répartition des relations dans et entre des couches, considèrera-t-on que le mélange de ces couches est « important » à partir de 2 %, 5 %, ou 10 % de relations externes ?

Réponses de l'analyse topologique (méthode TSAR)

Principes généraux

L'analyse topologique des remontages archéologiques (*Topological Study of Archaeological Refitting*, ou TSAR) apporte une solution à ces trois problèmes (Plutniak, 2021b) : 1) en tenant compte de la topologie des relations de connexion entre fragments (« remontages » au sens strict) ; 2) en définissant une méthode systématique fondée sur l'analyse de graphes et automatisée sous la forme d'un logiciel ; 3) en ayant recours à la simulation pour palier l'impossibilité d'observer les états antérieurs d'un site.

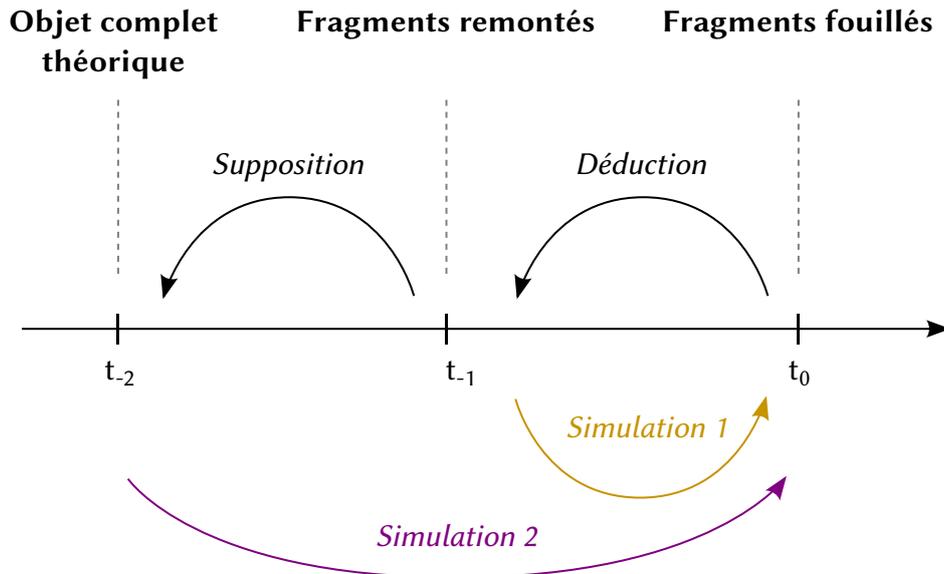


Fig. 2 – Simulation des processus de fragmentation : les trois points dans le temps sont liés par des opérations épistémologiques différentes, qui déterminent deux usages différents du simulateur.

L'idée de modéliser par des graphes les ensembles de relations de connexion entre fragments avait déjà été émise (Gouletquer, 1979, p. 26-30, Cziesla, 1990 ; Michel, 2002, p. 122-123). Elle n'avait, toutefois, jamais été systématiquement mise en œuvre et implémentée dans des outils pouvant être appliqués. Dans la méthode TSAR, l'évaluation de la pertinence des limites entre unités spatiales repose sur le calcul de la *cohésion* de ces unités. La cohésion reflète l'idée intuitive de consistance, la mesure dans laquelle chaque unité spatiale « adhère » à elle-même. Les valeurs de cohésion (*cohesion*) sont calculées pour une paire d'unités spatiales (par exemple, deux couches superposées). La cohésion de chaque unité est comprise entre 0 et 1 et leur somme n'excède jamais 1. Le mélange (*admixture*) de deux unités spatiales est égal à la valeur de cohésion d'une troisième unité virtuelle définie à l'intersection des deux unités spatiales considérées, soit : $1 - (\text{cohésion}_{\text{unité 1}} + \text{cohésion}_{\text{unité 2}})$.

L'interprétation des valeurs de cohésion et de mélange, une fois calculées à partir de données archéologiques, suppose des références auxquelles les comparer. L'approche la plus simple, quoique limitée, consiste à comparer les valeurs obtenues pour les différentes paires d'unités spatiales d'un site. Compte tenu de l'absence de jeux de données empiriques de référence, la méthode TSAR recourt à la simulation numérique. Un algorithme simulant la fragmentation et la dispersion d'objets archéologiques a été développé, admettant de nombreux paramètres (nombre d'unités spatiales à l'état initial, nombre d'objets initiaux, nombre de fragments ou de relations finales, etc.). Il devient ainsi possible de comparer des données empiriques avec les résultats de multiples scénarios de fragmentation. Cela permet, par exemple, d'estimer si les données observées correspondent davantage au résultat d'un processus ayant eu une ou deux unités spatiales initiales.

Le simulateur permet ainsi à l'observation de « remonter le temps » en générant des séries d'états antérieurs possibles du site. Ces états peuvent correspondre à deux points dans le passé, définissant deux usages différents du simulateur (fig. 2). Appelons t_0 le moment de l'observation (lors de la fouille ou au laboratoire) des fragments épars et éventuellement incomplets d'un objet. L'identification des connexions entre ces fragments permet de reconstituer un état hypothétique de l'objet à t_{-1} . En paramétrant le simulateur avec les valeurs observées à t_{-1} il est donc possible de simuler le processus de fragmentation et de dispersion entre t_{-1} et t_0 . Néanmoins, lorsque les fragments des objets sont incomplets, t_{-1} ne correspond pas au moment de déposition initial, alors noté t_{-2} . Simuler la fragmentation entre t_{-2} et t_0 suppose d'introduire des hypothèses supplémentaires à propos de l'état initial t_{-2} (nombre d'objets initiaux, nombre de fragments perdus, etc.), définissant un second usage possible – et à ce jour encore non exploité – du simulateur.

Enregistrement des données

L'approche TSAR peut être appliquée à divers types d'objets fragmentés et d'unités spatiales archéologiques, par exemple : des fragments de céramiques répartis dans des couches sédimentaires ; des fragments d'os répartis entre l'intérieur et l'extérieur d'une structure d'habitat ; des fragments de pierres taillées répartis entre l'intérieur et l'extérieur de foyers, etc. Les données doivent néanmoins respecter certains critères.

- Une quantité suffisante de données : la quantité minimale est toutefois faible, puisque la distribution des relations entre une vingtaine de fragments dépasse largement nos capacités d'évaluation intuitive ou visuelle et requiert déjà la quantification et le calcul (cf. le deuxième problème signalé en introduction).

id	fragment 1	fragment 2
1	A	B
2	C	D
3	D	E
4	E	C

Tabl. 1 – Enregistrement des relations entre fragments (illustration à partir des exemples donnés dans la fig. 1).

- La description individuelle des relations entre fragments : un simple tableau suffit, dans lequel chaque ligne comprend les identifiants uniques de deux fragments jointifs (tabl. 1).

- La présence de topologies plus complexes que des paires de fragments (tel qu'en figure 1). Sans cela, l'approche TSAR n'apporte aucune plus-value particulière.

Implémentations logicielles

Le package R Archeofrag

Afin de faciliter son usage, l'approche TSAR est implémentée dans le package R Archeofrag (Plutniak, 2021a). Archeofrag est publié dans le dépôt *Comprehensive R Archive Network* (CRAN) et le code de la version de développement est déposé sur github¹. Le package contient plusieurs ensembles de fonctions permettant de :

- créer, vérifier et transformer un graphe de fragmentation ;
- le visualiser sous la forme d'un diagramme liens-nœuds ;
- attribuer une pondération aux relations (tenant compte des propriétés topologiques des sommets et, optionnellement, de la taille des fragments et des distances entre leurs lieux de découverte) ;
- pour une paire d'unités spatiales, compter le nombre de relations dans et entre ces unités spatiales, calculer leur cohésion et leur mélange ;
- simuler des graphes de fragmentation ;
- altérer un graphe de fragmentation (pour, par exemple, simuler des données manquantes) ;
- à partir d'un graphe de fragmentation empirique, simuler des graphes similaires, calculer et comparer plusieurs métriques (cohésion, etc.) et renvoyer les résultats dans un format facilitant la comparaison et l'interprétation ;
- au sein d'une unité spatiale, mesurer plusieurs caractéristiques topologiques du graphe de fragmentation ;
- enfin, indépendamment de l'analyse topologique, des fonctions concernent l'analyse des relations de similarité (établies entre des fragments dont on présume qu'ils proviennent d'un même objet sans pouvoir observer de relation de connexion permettant de les remonter).

Pour être publié sur le CRAN, un package doit satisfaire à une batterie de tests et à des prérequis exi-

geants, dont le fait d'être documenté. La documentation d'Archeofrag contient ainsi de nombreuses explications et exemples sur ses différentes fonctions. En outre, ces fonctions sont également présentées par la pratique dans un tutoriel (Plutniak, sous presse).

L'application R/Shiny

Archeofrag facilite l'usage de la méthode TSAR. Néanmoins, l'implémentation sous la forme d'un package R constitue un possible frein à son utilisation. Cette limite a été levée par le développement d'une interface graphique sous la forme d'une application web² (fig. 3). Cette application, codée en R/Shiny, est actuellement hébergée sur les serveurs du consortium Huma-Num. L'utilisateur est guidé dans les différentes étapes et fonctionnalités d'une analyse TSAR, qu'il peut alors réaliser de manière autonome sur ses données.

Perspectives

Le développement de la méthode TSAR se poursuit, qu'il s'agisse du package R, de l'interface web, ou de leurs applications. Cette approche a déjà été employée pour le matériel céramique des sites de Liang Abu (Indonésie, Plutniak, 2021b) et du Taï (France, Caro *et al.*, 2022). Explorer et perfectionner les potentialités de cette méthode requerra, d'une part, des applications supplémentaires et leur diversification, notamment à des types de matériaux et d'unités spatiales différents, et à des objets fracturés en conditions expérimentales permettant la constitution de référentiels (séquence de taille lithique, fragmentation de vase, piétinement d'objets osseux, etc.). D'autre part, le potentiel du simulateur reste encore largement à explorer, ce qui pourrait être mené en tirant parti du calcul haute performance et de méthodes d'exploration de variables.

Références

- CARO J., MANEN C., BAUX A., PLUTNIAK S. (2022) – Les productions céramiques du Néolithique ancien et moyen : approches céramo-stratigraphique, technologique et morpho-stylistique, in C. Manen (dir.), *Le Taï (Remoulins – Gard). Premières sociétés agropastorales du Languedoc méditerranéen (6^e–3^e millénaire avant notre ère)*, Toulouse, Archives d'Écologie Préhistorique, p. 616-687.
- CZIESLA E. (1990) – On Refitting of Stone Artefacts : International Symposium on Refitting stone artefacts, in E. Czesla *et al.* (dir.), *The Big Puzzle*, Bonn, Holos (coll. Studies in modern archaeology), p. 9-44.
- GOULETQUER P. (1979) – *Préhistoire du futur : Connaître les pays est un repos*, Morlaix, Éditions Bretagnes, 112 p.
- LÓPEZ-ORTEGA E., RODRÍGUEZ X.P., VAQUERO M. (2011) – Lithic Refitting and Movement Connections : The NW area of level TD10-1 at the Gran Dolina site (Sierra de Atapuerca,

1. <https://github.com/sebastien-plutniak/archeofrag>.

2. <https://analytics.huma-num.fr/Sebastien.Plutniak/archeofrag>.

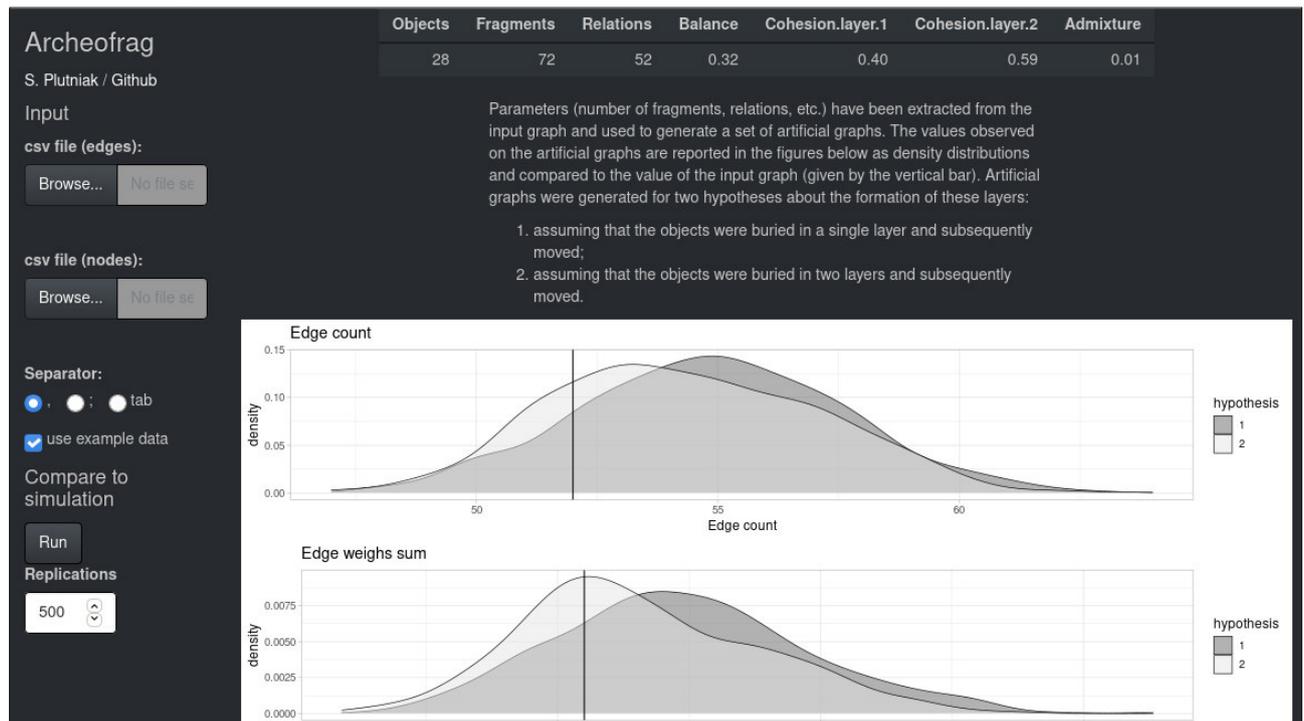


Fig. 3 – L'application web R/Shiny pour archeofrag/TSAR.

Burgos, Spain), *Journal of Archaeological Science*, 38, 11, p. 3112-3121.

MICHEL R. (2002) – *Saint-Blaise/Bains des Dames, 3. Typologie et chronologie de la céramique néolithique : Céramostratigraphie d'un habitat lacustre*, Neuchâtel, Service et musée cantonal d'archéologie (coll. Archéologie neuchâteloise, 27), 222 p.

PLUTNIAK S. (2021a) – *Archeofrag: An R Package for Refitting and Spatial Analysis in Archaeology*, 2021, DOI : 10.5281/zenodo.4720392, consultable à <https://CRAN.R-project.org/package=archeofrag>.

PLUTNIAK S. (2021b) – The Strength of Parthood Ties. Modeling Spatial Units and Fragmented Objects with the TSAR Method – Topological Study of Archaeological Refitting, *Journal of Archaeological Science*, 136, 105501, DOI : 10.1016/j.jas.2021.105501.

PLUTNIAK S. (sous presse) – Archeofrag: An R Package for Refitting and Spatial Analysis in Archaeology, *Journal of Open Source Software*.

SCHURMANS U., DE BIE M. (dir.) (2007) – *Fitting rocks: Lithic refitting Examined*, Oxford, Archaeopress (coll. British Archaeological Reports International series, 1596).

Sébastien PLUTNIAK
UMR Traces

Université Toulouse - Jean Jaurès
Maison de la Recherche
5, allées Antonio Machado
31058 Toulouse Cedex 9
sebastien.plutniak@posteo.net