



HAL
open science

Évaluer les unités spatiales et analyser la formation des ensembles archéologiques à partir des remontages : l'application archeofrag.gui, une chaîne opératoire intégrée

Sébastien Plutniak

► To cite this version:

Sébastien Plutniak. Évaluer les unités spatiales et analyser la formation des ensembles archéologiques à partir des remontages : l'application archeofrag.gui, une chaîne opératoire intégrée. Bulletin de la Société préhistorique française, 2025, 122 (3), pp.489-493. <hal-05352218>

HAL Id: hal-05352218

<https://hal.science/hal-05352218v1>

Submitted on 13 Nov 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

CORRESPONDANCE

**Évaluer les unités spatiales et analyser la formation
des ensembles archéologiques à partir des remontages :
l'application *archeofrag.gui*, une chaîne opératoire intégrée**

Sébastien PLUTNIAK

**Analyse spatiale et remontages :
la méthode TSAR**

L'identification d'unités spatiales distinctes est au fondement de l'investigation archéologique, qu'il s'agisse de couches stratigraphiques, de fossés sécants, de « zones d'activités », ou de tout autre sorte d'entité spatiale dont la définition constitue le préalable aux étapes ultérieures d'un raisonnement archéologique. Les relations de « remontages » sont, depuis la fin du XIX^e siècle¹, utilisées pour la détermination d'unités spatiales archéologiquement pertinentes, susceptibles de documenter les comportements humains ou, plus généralement, les processus de formation de l'ensemble archéologique considéré.

Compte tenu de ces enjeux fondamentaux, de nombreuses méthodes ont été publiées depuis la fin du XIX^e siècle. Aucune, néanmoins, n'a encore été intégrée dans des outils logiciels en facilitant la diffusion et l'usage, préalable pourtant nécessaire à l'harmonisation des pratiques et à la mise en commun des efforts de recherche.

La méthode d'« analyse topologique des remontages archéologiques » (TSAR, *Topological Study of Archaeological Refitting*) a fait l'objet de plusieurs publications. Elle repose sur des principes robustes et particulièrement parcimonieux.

Seuls les remontages physiques (dites relations de « connexion ») sont pris en compte. Ils doivent être décrits par paires de fragments jointifs, pour permettre l'analyse de la topologie des ensembles de relations identifiés.

Seuls les fragments concernés par au moins une relation de connexion sont pris en compte dans l'analyse (les fragments isolés sont écartés).

Les raisons et justifications de ces principes ont été publiées dans la note d'introduction parue dans les colonnes du *BSPF* (Plutniak, 2022), dans un chapitre non technique sur les problèmes généraux de l'analyse de remontage (Plutniak *et al.*, 2023), ainsi que dans un article technique et détaillé (Plutniak, 2021). Enfin, le package R *archeofrag* implémente cette méthode.

Cependant, la connaissance du langage R constituant une barrière importante pour l'utilisation de cet outil, une

application à interface graphique, *archeofrag.gui*, a été développée pour en faciliter l'usage.

L'application *archeofrag.gui*

Objectifs et diffusion de l'application

L'objectif d'*archeofrag.gui* ne se réduit pas à faciliter l'accès aux fonctionnalités du package *archeofrag*. Dans ce dernier, les unités spatiales sont analysées par paires². Or, les jeux de données archéologiques comportent généralement de nombreuses unités spatiales et, par conséquent, un nombre démultiplié de paires. L'application *archeofrag.gui* permet d'en explorer l'ensemble, rapidement et instantanément (fig. 1).

archeofrag.gui est distribuée sous licence libre (GNU General Public License v3.0), est diffusée sous la forme d'un package R publié sur le dépôt *Comprehensive R Archive Network* (CRAN)³ et conservé sur les plateformes d'archivage pérenne *Zenodo* (Plutniak, 2025) et *Software Heritage*.

Fonctionnalités

Élément essentiel, l'interface de l'application intègre une documentation didactique. Elle accompagne les utilisateurs et utilisatrices dans la mise en œuvre d'une chaîne opératoire analytique, déclinée en trois étapes (fig. 2) :

1°) La mesure des propriétés des ensembles de relations de connexion observés.

a) La mesure des cohésions des unités spatiales.

b) La détection d'anomalie dans la distribution spatiale des relations.

2°) L'exploration des caractéristiques produites par la fusion de certaines des unités spatiales considérées, afin d'identifier les options donnant lieu à une série d'unités spatiales davantage distinctes.

3°) La simulation de la formation des ensembles archéologiques considérés (par exemple : deux couches

1. Notamment, depuis les travaux des Britanniques Flaxman Spurrell à Crayford (1880) et Worthington George Smith à Caddington (1894).

2. Ceci, parce que les relations spatiales – et stratigraphiques en particulier – sont, en archéologie, définies comme des relations binaires.

3. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.archeofrag.gui> ; une publication sur le CRAN doit satisfaire une série de standards et de tests drastiques et suppose d'assurer une maintenance réactive.

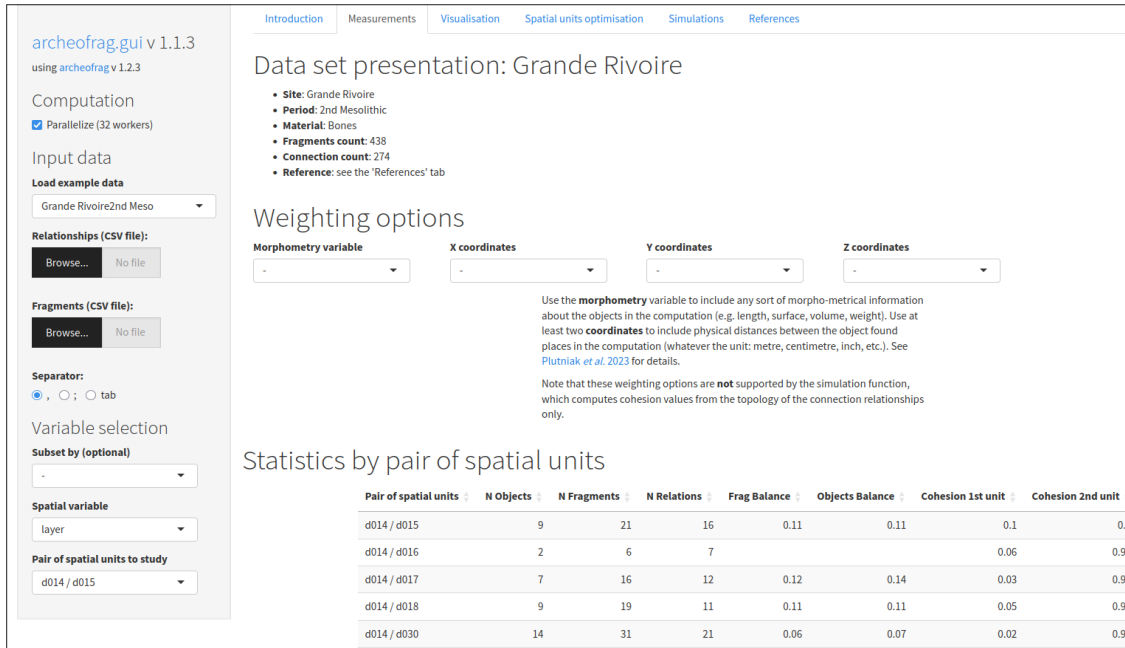


Fig. 1 – *archeofrag.gui* en action : fenêtre des mesures pour les remontages osseux des décapages associés au Second Mésoolithique du site de la Grande Rivoire. Chaque ligne du tableau correspond à une paire de décapages (par exemple d014 et d015). Données : Derbord et Angelin, 2025.

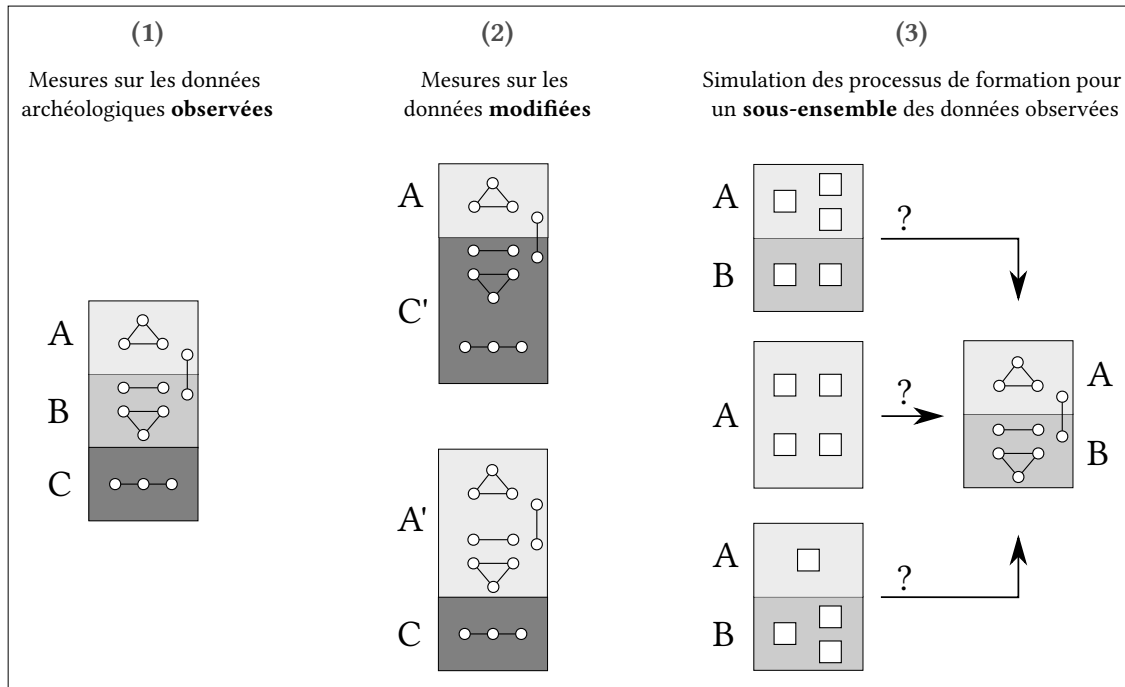


Fig. 2 – Étapes d'une analyse avec *archeofrag.gui*.
Cercles : fragments d'objets liés par des relations de remontage. Carrés : objets entiers.

stratigraphiques), permettant de tester des hypothèses de formation.

Ces étapes sont détaillées ci-après, présentées sous la forme de questions archéologiques et du type de réponse apportée par la méthode. *archeofrag.gui* comporte en outre les fonctionnalités contextuelles suivantes :

- La production de figures et de tableaux, ainsi que leur exportation (aux formats SVG et CSV, respectivement).

- La parallélisation optionnelle des calculs pour les accélérer, si l'ordinateur employé le permet.

- La génération automatisée de codes de calcul :
 - en R, pour sauvegarder, diffuser et reproduire les simulations réalisées dans *archeofrag.gui*, avec les mêmes paramètres;
 - dans le langage *openMOLE*, pour exécuter les méthodes disponibles sur cette plate-forme.

Mesurer les propriétés des données observées

Les distinctions entre unités spatiales sont-elles fiables ?

Dans la méthode TSAR, la mesure de la « cohésion » des unités spatiales vise à répondre à cette question. La cohésion correspond, intuitivement, au degré de « tenue », de « consistance » ou « d'auto-adhésion » interne que les remontages suggèrent pour une unité spatiale. Cette mesure est implémentée dans le package *archeofrag*, mais l'application *archeofrag.gui* permet de la calculer facilement pour toutes les paires d'une série d'unités spatiales.

- Une valeur de **cohésion** est calculée pour chaque unité spatiale d'une paire, et les deux valeurs sont résumées par une valeur de **mélange** attribuée à la paire.
- L'ensemble des unités spatiales sont ensuite ordonnées en fonction du nombre de paires où elles se révèlent être les plus cohésives (tabl. 1).

Ces résultats permettent d'apprécier la confiance à accorder aux unités spatiales et à leurs distinctions.

La série d'unités spatiales présente-t-elle des anomalies ?

Pour répondre à cette question, il s'agit d'abord d'admettre le principe selon lequel des unités spatiales spatialement proches sont davantage susceptibles de comporter des relations de remontage que des unités éloignées. Par exemple, dans une stratigraphie, des remontages entre couches adjacentes sont plus probables qu'entre les couches supérieures et les couches inférieures de la séquence.

À partir de ce principe, *archeofrag.gui* propose des procédés graphiques et statistiques pour comparer les données archéologiques observées à ce qui serait attendu sous hypothèse d'absence de perturbations. Le cas échéant, des différences et anomalies sont mises en évidence (fig. 3).

Explorer d'autres découpages de l'espace archéologique

Les unités spatiales déterminées lors d'une fouille ou d'une prospection ne constituent pas des données définitives (Discamps *et al.*, 2023). Au contraire, ces unités font l'objet de discussions critiques impliquant différentes spécialités : typologie, pédologie, géoarchéologie, etc., dont l'analyse des relations de « remontages ». Il s'agit donc d'examiner si ces relations suggèrent le maintien des distinctions entre les unités considérées ou, au contraire, certaines fusions.

Certaines unités spatiales devraient-elles être fusionnées ?

Pour cela, *archeofrag.gui* examine l'ensemble des combinaisons de fusion de paires d'unités spatiales. Soient les couches A, B et C. Les combinaisons de paires pouvant être fusionnées sont : {A+B, C}, {A, B+C}, {A+C, B}. Pour chaque combinaison, on mesure la différence entre les deux valeurs de cohésion attachée à

	d143	>	d017	=	d018	>	d016	>	d149
Décompte	9		8		8		6		5

Tabl. 1 – Extrait de l'ordonnement décroissant des niveaux du second Mésolithique de la Grande Rivoire en fonction du nombre de paires où chaque unité spatiale est la plus cohésive. Les symboles « > » et « = » sont employés, respectivement, pour indiquer les rangs de cohésion décroissants et égaux.

chaque paire : par exemple, la cohésion de A+B moins la cohésion de C. Dans une situation idéale, où l'information archéologique disponible à propos de chaque unité spatiale serait égale, toutes les valeurs de cohésion seraient de 0,5 et, donc, les différences seraient nulles. *archeofrag.gui* affiche la médiane des différences observées pour chaque combinaison : les valeurs médianes inférieures à celle en l'absence de fusion suggèrent des combinaisons où les unités spatiales sont mieux distinguées les unes des autres.

Fusionner des unités spatiales

Une fois les fusions souhaitées identifiées, une fonctionnalité permet de les réaliser simplement. Les unités spatiales agrégées deviennent accessibles dans l'ensemble des menus de l'application. En répétant cette procédure, il est ainsi possible de fusionner plus de deux unités entre elles : par exemple C+D puis B+{C+D}, résultant à A, {B+C+D}.

Quelles sont les caractéristiques des processus ayant produit les données observées ?

Faute de référentiels empiriques ou expérimentaux auxquels comparer les données archéologiques, l'approche TSAR inclut des moyens d'expérimentation numérique par la simulation. Les fonctionnalités offertes se distinguent selon deux objectifs de simulation, relatifs à deux intervalles temporels différents (fig. 4) :

- Simulation partielle : depuis un point dans le temps (postérieur à l'instant de la déposition et antérieur à la fouille, mais dont la localisation temporelle précise est inconnue) jusqu'à l'instant de la fouille ;
- Simulation complète : depuis la déposition des objets entiers jusqu'à l'instant de la fouille.

La simulation *partielle* ne demande pas de ressources de calcul importantes et peut être exécutée dans *archeofrag.gui*. Cependant, elle ne couvre pas l'entièreté de l'empan temporel des réalités archéologiques étudiées. La simulation *complète* répond à cet objectif mais pose des difficultés computationnelles particulières impliquant le recours au calcul haute performance.

Combien d'épisodes dépositionnels ?

Quelle orientation pour les déplacements d'objet ?

Ces questions peuvent être abordées par une simulation partielle ou complète. Il s'agit de générer de

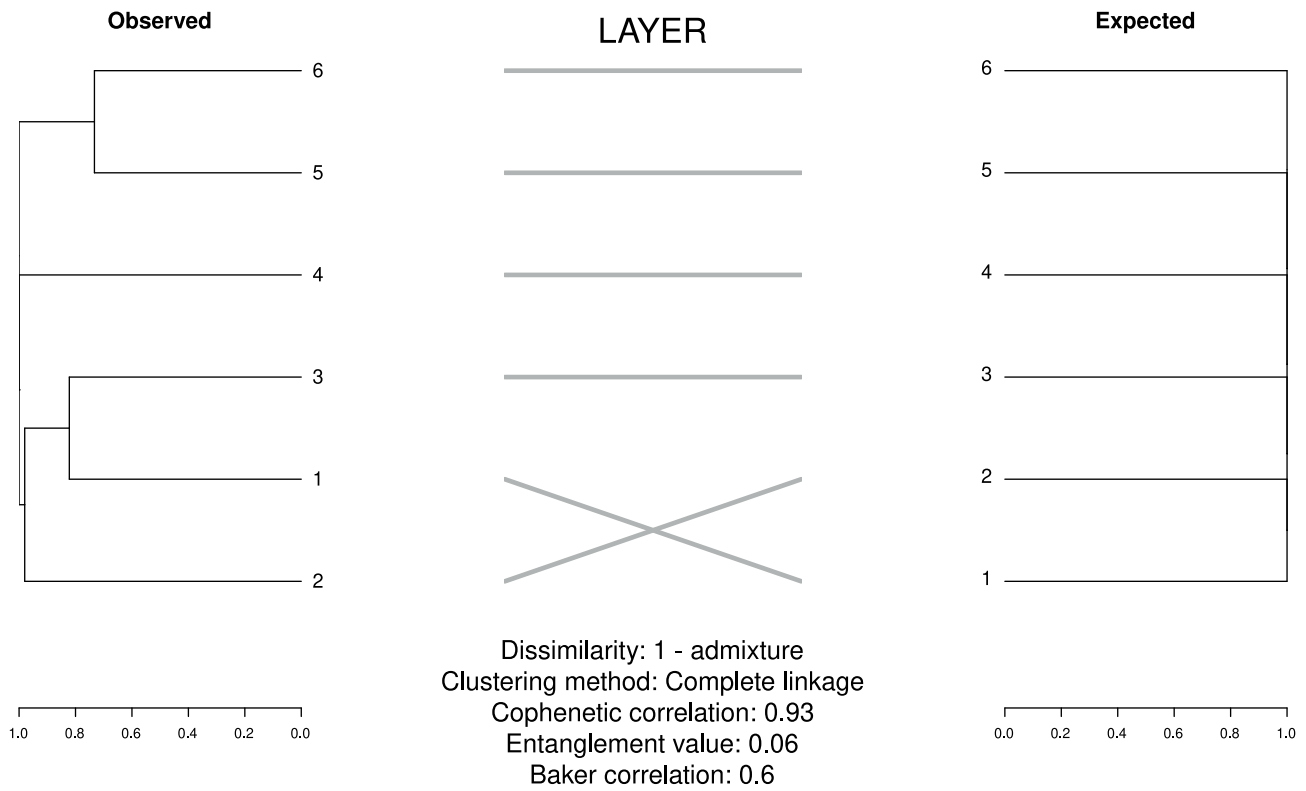


Fig. 3 – Détection des mélanges anormaux entre unités spatiales (branches des arbres). La situation archéologiquement observée (gauche) et comparée à celle attendue en l'absence de perturbation (droite). Les croisements de lignes entre les deux arbres soulignent les anomalies. Les indices statistiques synthétisent les performances de la méthode. Données artificielles « Rubish site ».

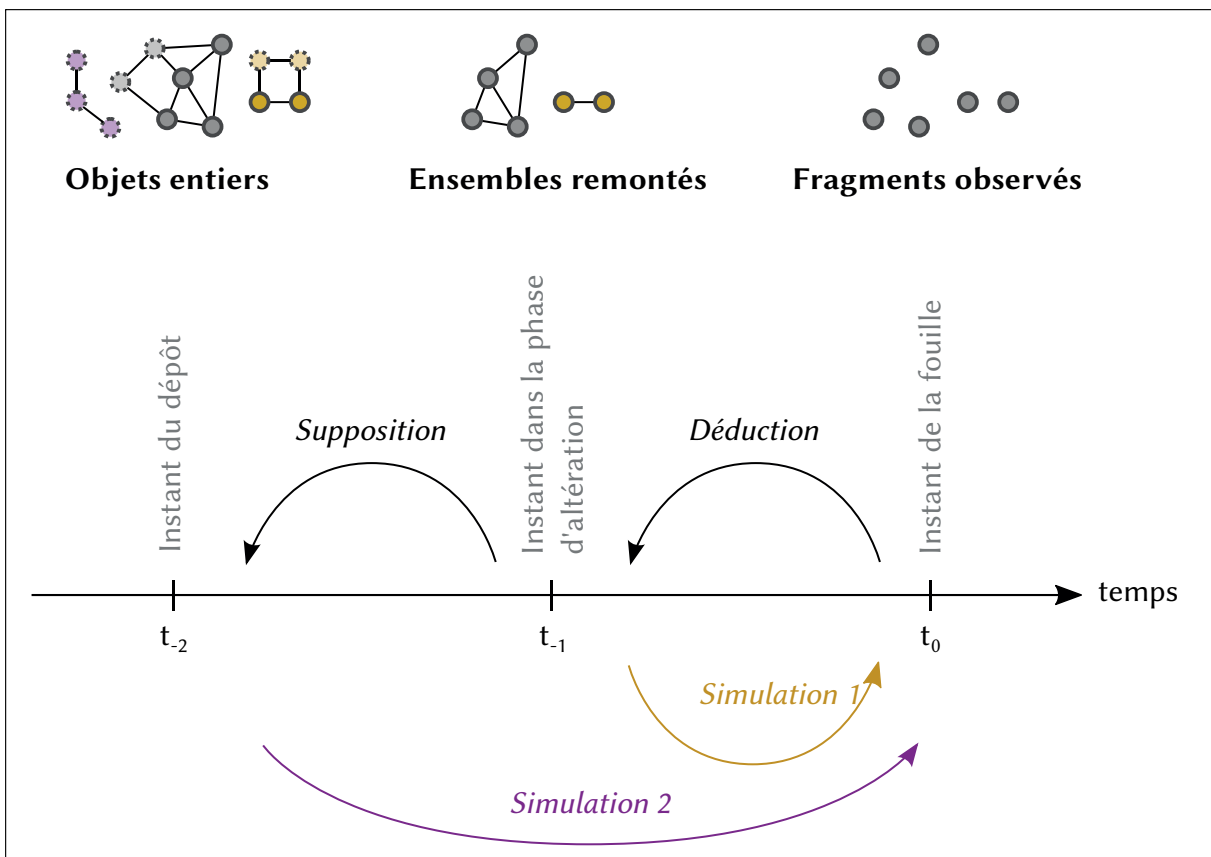


Fig. 4 – Repères temporels (en gris), forme des données impliquées (en haut), forme de raisonnement mis en œuvre (flèches noires), et objectifs de simulation pouvant être considérés (flèches colorées).

nombreux processus de formation aboutissant à des résultats *similaires* à ceux observés archéologiquement. Une part de hasard, intégrée dans le processus simulation, permet une certaine variabilité des résultats. Le contrôle des paramètres, facilement modifiables à travers l'interface d'*archeofrag.gui*, permet de tester différentes hypothèses a propos de deux unités spatiales considérées, dont notamment :

- le nombre d'épisodes dépositionnels : un ou deux ?
- la direction des déplacements des fragments : bidirectionnelle, de la première unité vers la seconde, ou l'inverse ?

archeofrag.gui génère des graphiques et des tableaux statistiques comparant les valeurs archéologiques avec les valeurs obtenues par simulation. Ceci permet de soutenir ou d'exclure les hypothèses testées.

Quelle est la taille initiale probable de l'assemblage archéologique ?

Face à un assemblage archéologique, estimer la part d'information manquante est un problème difficile : combien d'objets ont-ils été déposés ? Combien de fragments ont-ils été produits et non observés lors de la fouille ? Une approche consisterait à déterminer des intervalles de valeurs pour chaque paramètre. Puis, pour chaque combinaison de valeurs, exécuter le simulateur et la fonction de suppression de fragments d'*archeofrag* (afin de simuler la non-observation de certains fragments). Cependant, en pratique, même avec peu de paramètres, le nombre de combinaisons est trop élevé pour que cette approche puisse être mise en œuvre.

L'usage de méthodes d'exploration de modèle et du calcul haute performance permet de dépasser cette limite. La procédure *High Dimension Origin Search Exploration* (HDOSE), implémentée dans la plate-forme *openMOLE*⁴, répond à ce besoin (Reuillon *et al.*, 2013). *archeofrag.gui* facilite son usage en générant le code de calcul *openMOLE* adapté. Les résultats produits, une fois analysés, permettent d'identifier des nombres possibles d'objets initiaux et de fragments générés, proposant ainsi des scénarios couvrant toute la période d'existence et de transformation de l'ensemble archéologique considéré.

Pérenniser et diffuser les jeux de données de remontage

La recherche de remontages est une procédure lente et fastidieuse, dépendante de l'espace disponible pour étaler le matériel, coûteuse en temps et, par conséquent, en argent. En dépit de l'investissement important que la création de ce type de jeux de données réclame, ceux-ci sont très rarement publiés et diffusés. En attendant la création de standards de description et d'une base de données à large échelle (comme y appelaient déjà Romagnoli et Vaquero, 2019), l'initiative « *archeofrag* » contribue à remédier à cette situation. Le package *archeofrag* inclut

depuis peu une copie des jeux de données de remontages ayant été publiés (dont, par exemple Derbord et Angelin, 2025). L'application *archeofrag.gui* permet d'accéder et d'explorer aisément et rapidement ces jeux de données. À ce jour, 16 jeux de données sont ainsi intégrés et valorisés. Présentés dans un format harmonisé, ils concernent 11 sites, 11 540 fragments et 8 277 relations de remontage. Les contributions à cet effort d'ouverture des données sont les bienvenues.

Références bibliographiques

- DERBORD L., ANGELIN A. (2025) – Mesolithic Artefact Refitting Data from la Grande Rivoire (Sassenage, Isère), *Zenodo*, doi : 10.5281/zenodo.15289796.
- DISCAMPS E., THOMAS M., DANCETTE C., GRAVINA B., PLUTNIAK S., ROYER A., ANGELIN A., BACHELLERIE F., BEAUVALL C., BORDES J.-G., DESCHAMPS M., LANGLAIS M., LAROUANDIE V., MALLYE J.-B., MICHEL A., PERRIN T., RENDU W. (2023) – Breaking free from field layers: The interest of post-excavation stratigraphies (pes) for producing reliable archaeological interpretations and increasing chronological resolution, *Journal of Paleolithic Archaeology*, 6, 29, doi : 10.1007/s41982-023-00155-x.
- PLUTNIAK S. (2025) – *Archeofrag.gui: Spatial analysis in archaeology from refitting fragments (gui)*, doi : 10.32614/CRAN.package.archeofrag.gui.
- PLUTNIAK S. (2022) – L'analyse topologique des remontages archéologiques : la méthode TSAR et le package R *archeofrag*, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 119, 1, 110-113.
- PLUTNIAK S. (2021) – 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., CARO J., MANEN C. (2023) – Four Problems for Archaeological Fragmentation Studies. Discussion and Application to the Taï Cave's Neolithic Pottery Material (France), in A. Sörman, A. Noterman, et M. Fjellström (dir.), *Broken Bodies, Places and Objects: New Perspectives on Fragmentation in Archaeology*, London, Routledge, p.124-142, doi : 10.4324/9781003350026-10.
- REUILLON R., LECLAIRE M., REY-COYREHOURCQ S. (2013) – OpenMOLE, a Workflow Engine Specifically Tailored for the Distributed Exploration of Simulation Models, *Future Generation Computer Systems*, 29, 8, 1981-1990, doi : 10.1016/j.future.2013.05.003.
- ROMAGNOLI F., VAQUERO M. (2019) – The Challenges of Applying Refitting Analysis in the Palaeolithic Archaeology of the Twenty-first Century: An Actualised Overview and Future Perspectives, *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 9, p. 4387-4396, doi : 10.1007/s12520-019-00888-3.

Sébastien PLUTNIAK
CNRS, UMR Citeres, Tours, France

4. <https://openmole.org>.