



HAL
open science

Les chaînes opératoires de production des céramiques anciennes revisitées : apports de l'apprentissage profond et des jumeaux numériques

Thaïs Wullemin, Gabriel Ducret, Suzanne Bussod, Serge Cohen, François Giligny,
Maxime Moreaud, Louise Gomart

► To cite this version:

Thaïs Wullemin, Gabriel Ducret, Suzanne Bussod, Serge Cohen, François Giligny, et al.. Les chaînes opératoires de production des céramiques anciennes revisitées : apports de l'apprentissage profond et des jumeaux numériques. *Approches Computationnelles et Quantitatives en Archéologie* 2026, Feb 2026, Tours, France. 2026. <hal-05584656>

HAL Id: hal-05584656

<https://hal.science/hal-05584656v1>

Submitted on 8 Apr 2026

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No
Derivative Works - International License

LES CHAÎNES OPERATOIRES DE PRODUCTION DES CERAMIQUES ANCIENNES REVISITEES : apports de l'apprentissage profond et des jumeaux numériques

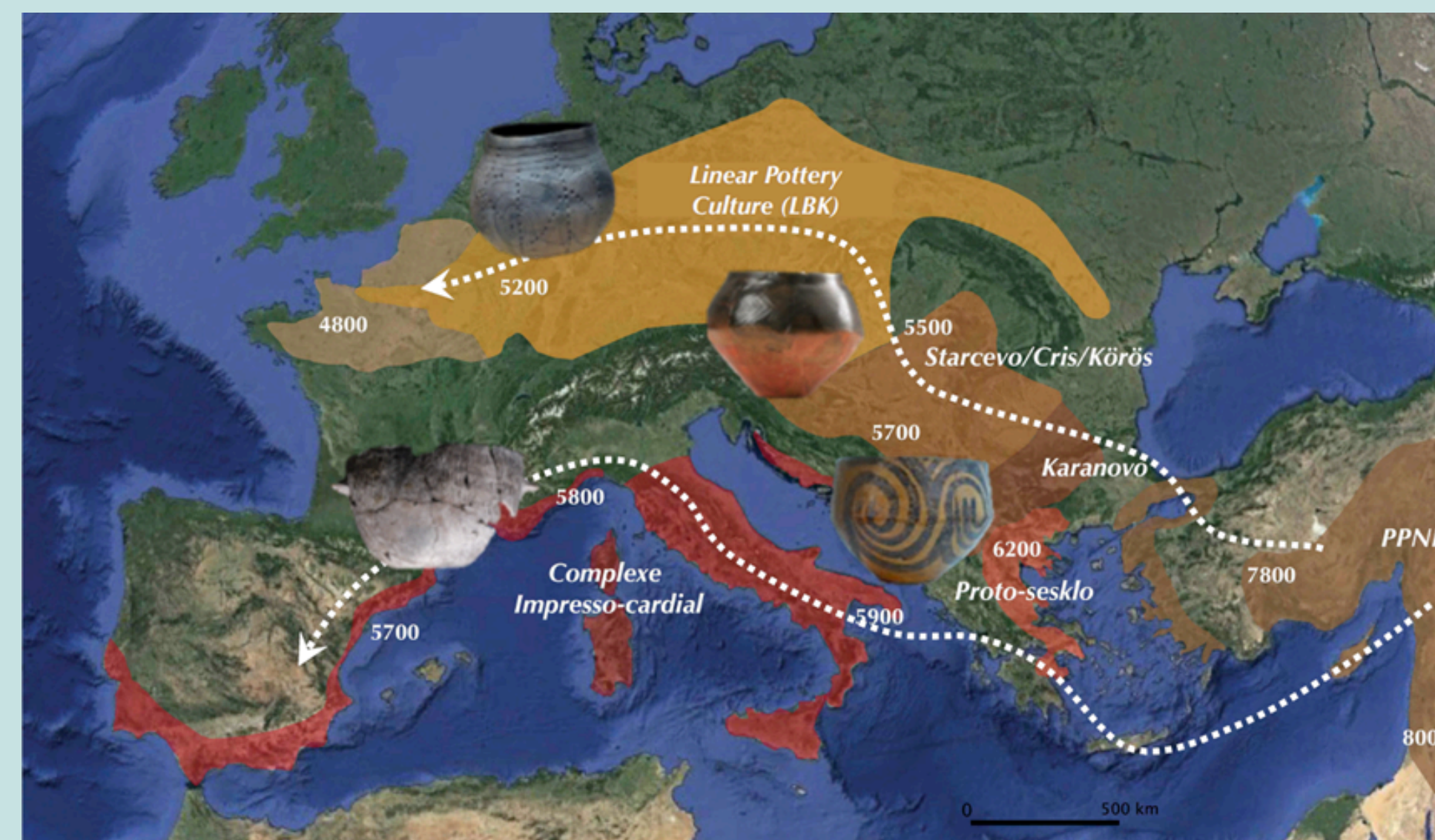
Thaïs Wullemin^{1,2,3} : thaïs.wullemin@crns.fr; Gabriel Ducret³; Suzanne Bussod³; Serge Cohen⁴; François Giligny^{1,2}; Maxime Moreaud⁵; Louise Gomart²
¹ Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne; ² UMR8215 Trajectoires; ³ IFP-Energies Nouvelles; ⁴ UAR 3461 IPANEMA; ⁵ Manufacture Française des Pneumatiques Michelin

Introduction

Pour l'étude des **processus de néolithisation en Europe**, l'analyse des productions céramiques constitue un indicateur particulièrement pertinent des dynamiques spatio-temporelles des populations. Les chaînes opératoires céramiques, en particulier, offrent un proxy privilégié pour appréhender ces trajectoires (e.g. Gomart et al. 2020)

Parmi les étapes des chaînes opératoires, les **méthodes de façonnage** présentent une forte stabilité diachronique, liée à l'acquisition d'habitudes motrices acquises par les potiers et à leur transmission au sein des relations de tutorat (Roux 2020).

Dans le premier Néolithique européen, plusieurs techniques de façonnage sont attestées, notamment le colombinage, le moulage et la technique des patches spiralés (e.g. Gomart 2014; Gomart et al. 2017, 2022).



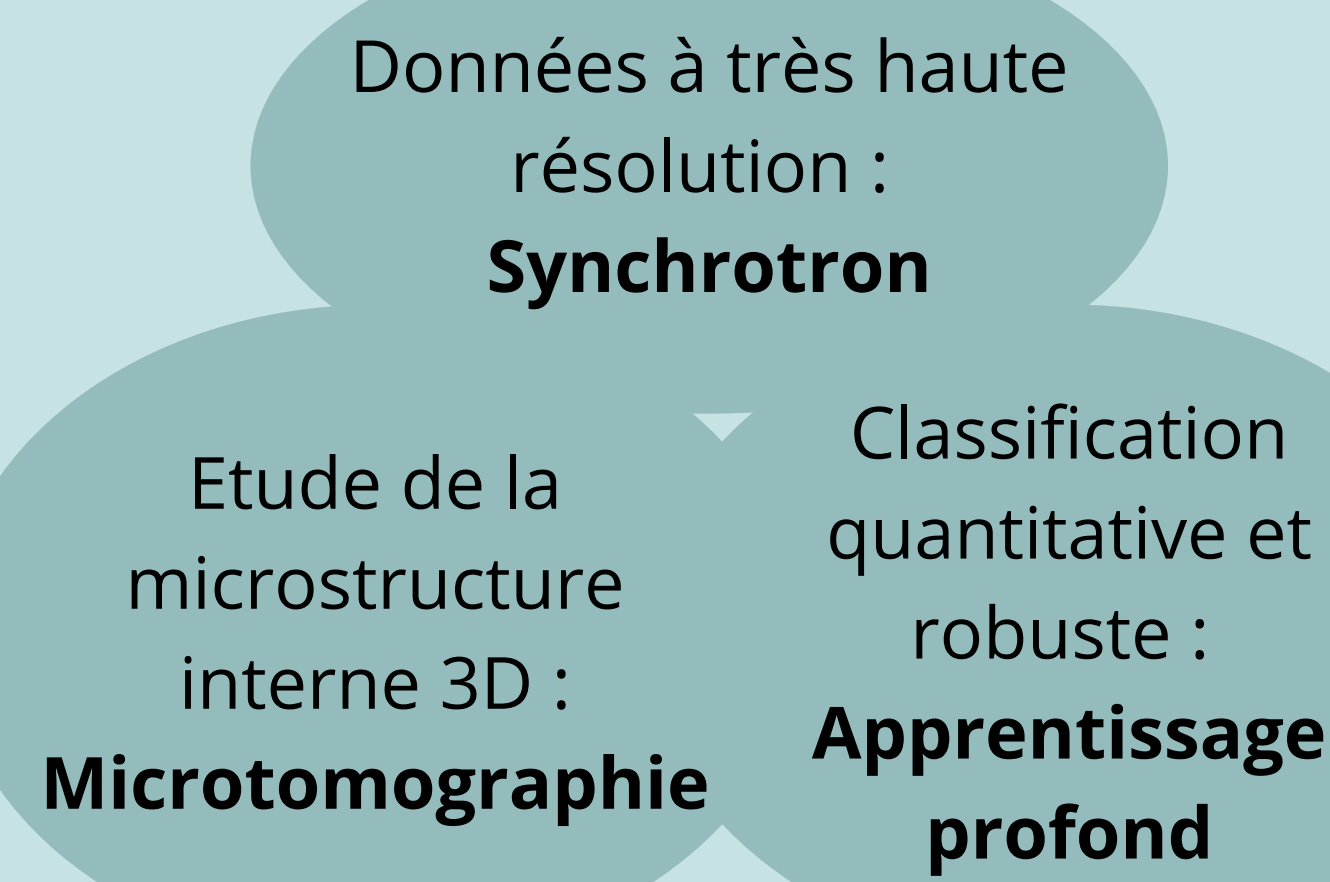
© Gomart

L'identification de ces techniques repose traditionnellement sur l'observation des **poros, des inclusions, des réseaux de fractures et de la topologie des surfaces**, en surface, en coupe ou en lame mince, à l'œil nu, à la loupe binoculaire ou au microscope électronique (e.g. Livingstone Smith 2001).

Ces approches reposent toutefois essentiellement sur **l'expertise de l'observateur** et sur **des analyses bidimensionnelles** en section.

Dans ce contexte, les archéologues soulignent aujourd'hui la nécessité de développer des méthodes de classification des techniques de façonnage à la fois robustes et objectives, afin de valider et de renforcer les résultats issus des analyses macroscopiques (en surface) et microscopiques (en lame mince).

Trois approches complémentaires, fondées sur les connaissances expertes des archéologues, sont proposées pour répondre à cet objectif :



Corpus

Le corpus est composé de **28 tessons**. 10 sont issus de la **Vallée de l'Aisne** (Picardie) et daté du **Néolithique ancien**.

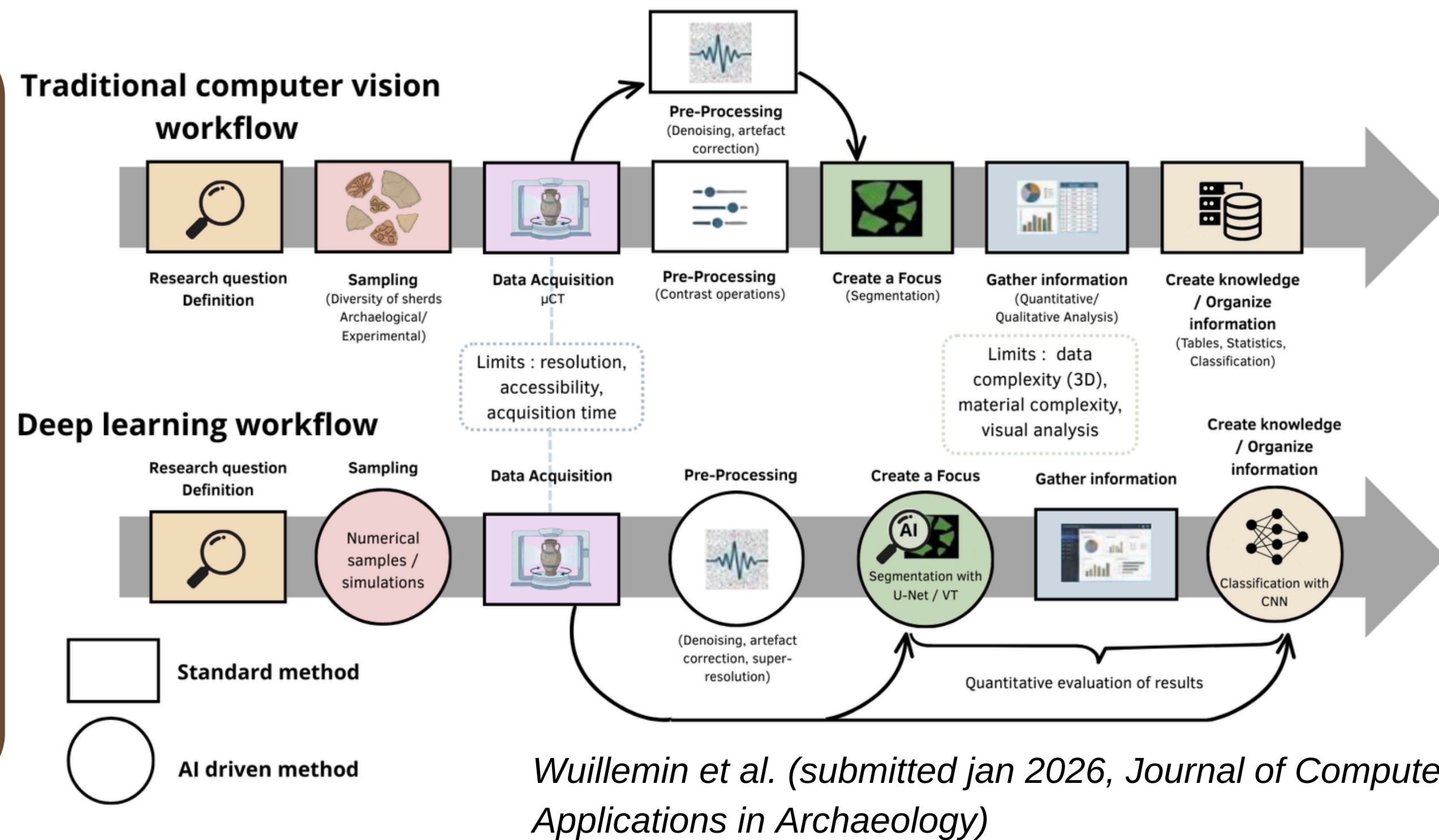
18 sont des tessons issus de **productions expérimentales**.

Les compositions matérielles et les méthodes de façonnages sont identifiées pour chaque tesson et variées.

Etat de l'art

La microtomographie a déjà été mobilisée par les archéologues pour l'étude des céramiques anciennes, avec des protocoles d'analyse reposant sur des techniques de vision par ordinateur et des méthodes statistiques (e.g. Park et al. 2019)

En parallèle, dans d'autres champs disciplinaires, tels que la science des matériaux ou les sciences biomédicales, l'analyse des structures internes de matériaux poreux s'appuie de manière systématique sur des approches d'apprentissage profond, adaptées au traitement de grands volumes de données complexes (e.g. Tsamos et al. 2023)



Wullemin et al. (submitted jan 2026, Journal of Computer Applications in Archaeology)

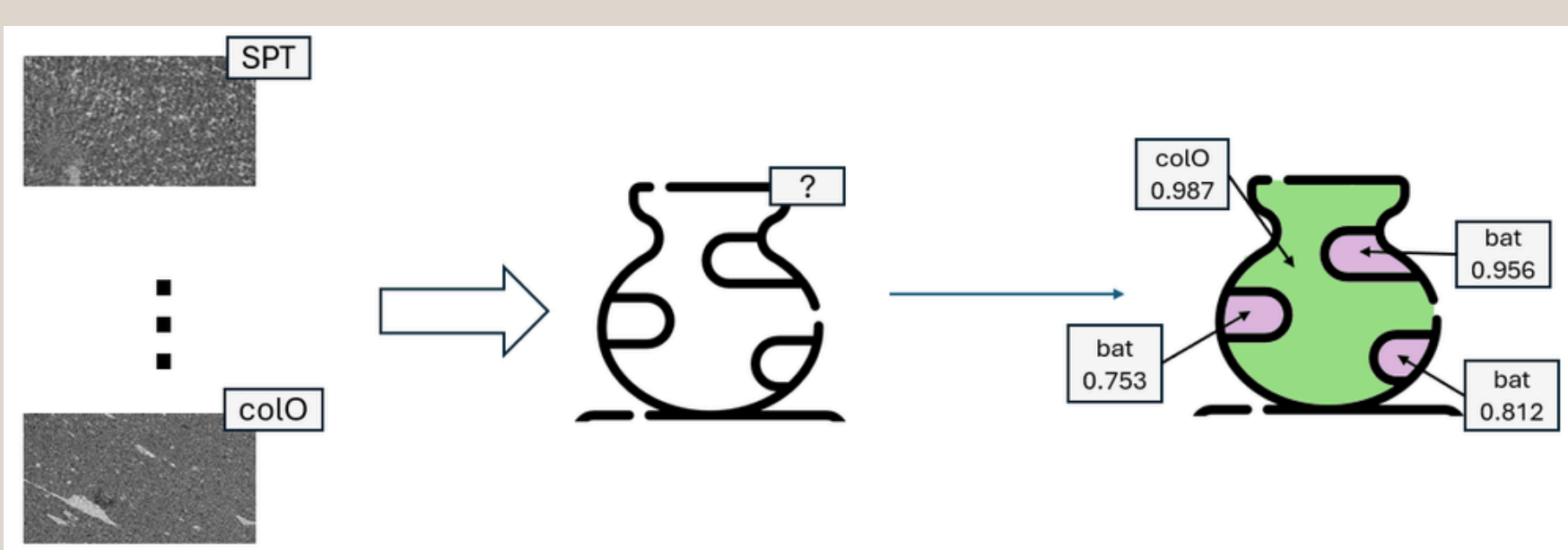
Apprentissage profond

Architecture adaptée

- + Base de données annotée
- + Optimisation des paramètres de l'apprentissage
- = Modèle d'apprentissage profond entraîné

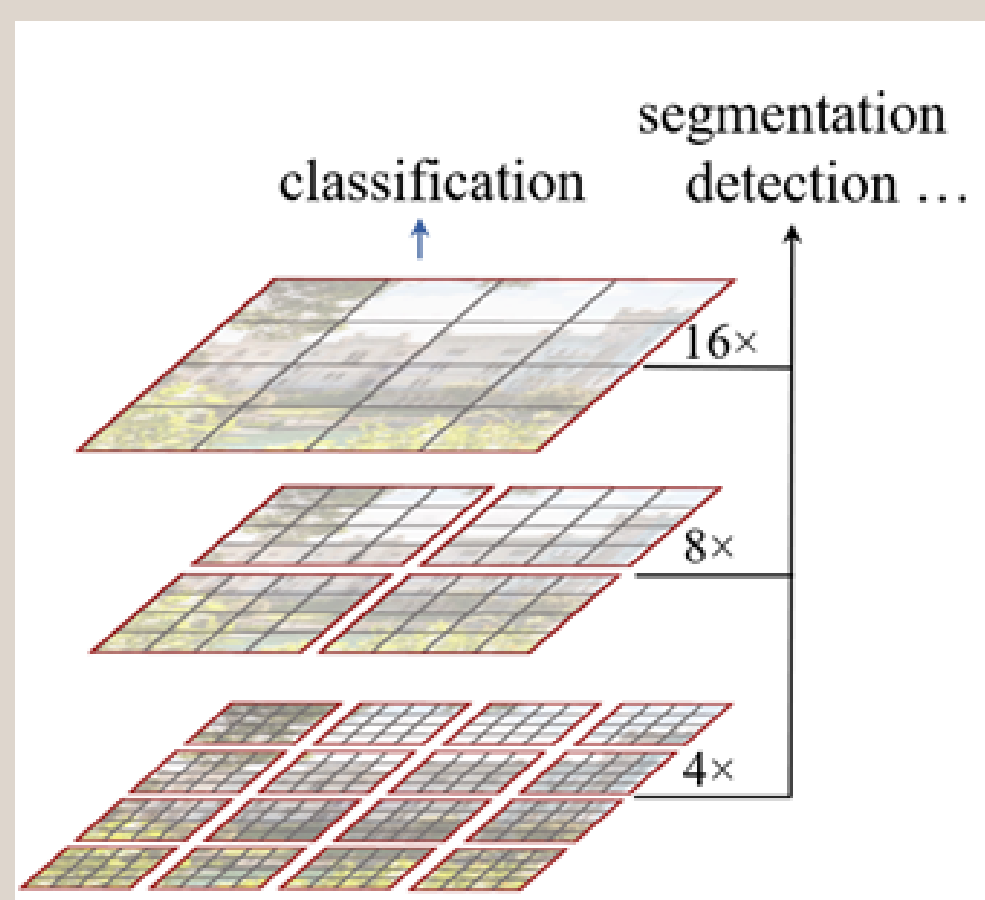
Méthode

Classification par Apprentissage Profond



Développement d'un modèle capable d'identifier localement les méthodes de façonnage mises en œuvre lors de la production céramique. L'entraînement du modèle sur des sous-volumes permettra de produire des cartes de probabilité d'appartenance à une méthode de façonnage à l'échelle de l'ensemble d'un objet.

Choix d'architecture : SWIN Transformers



Liu et al. (2021)

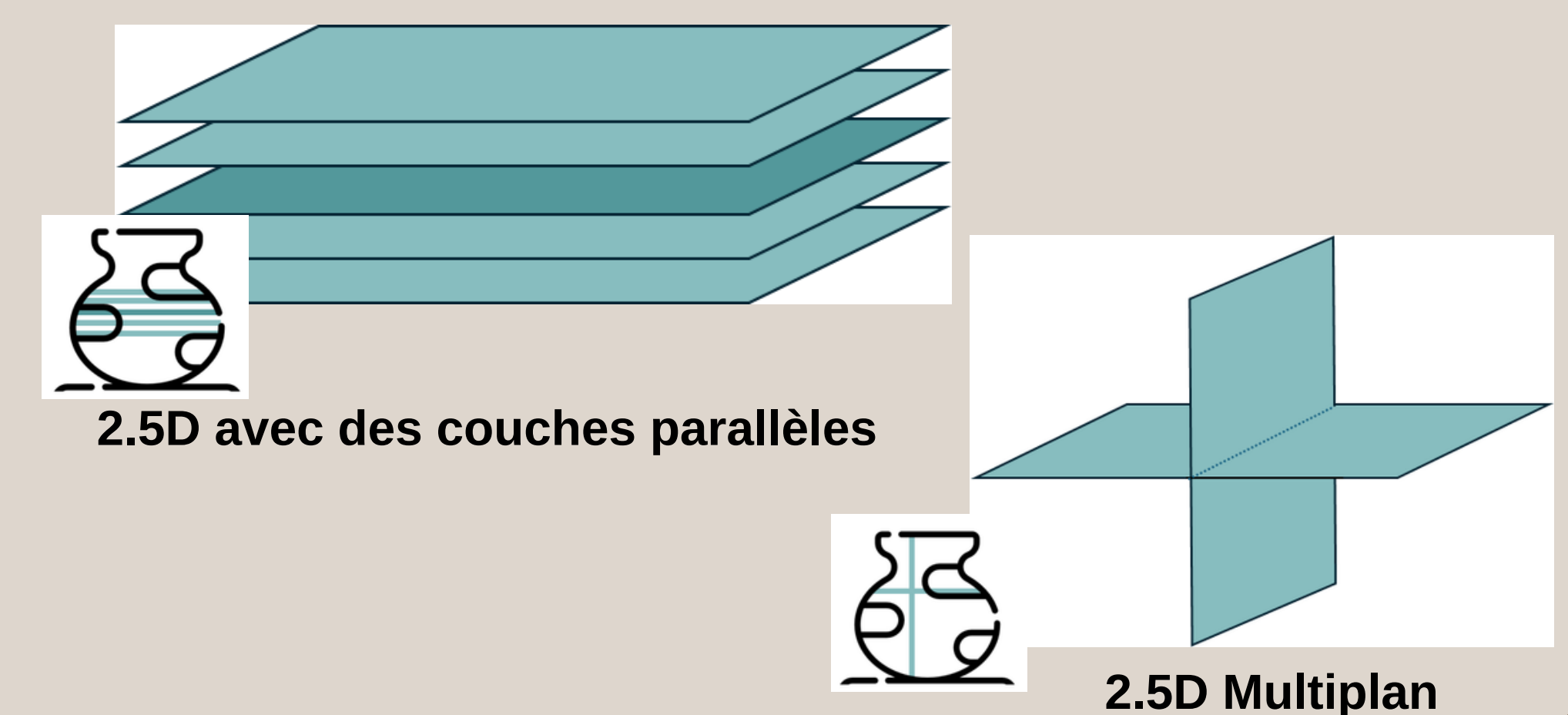
Les SWIN Transformers sont l'état de l'art en terme de classification d'image. Ils se basent sur la « self attention », c'est-à-dire que chaque patch va utiliser l'information contenue dans d'autres patches et va leur porter plus ou moins d'importance. Ces calculs de self attention vont être faits dans des fenêtres locales qui vont changer de couches en couches pour pouvoir transmettre des informations de plus en plus globales.

Les SWIN Transformers sont donc très efficaces pour repérer **des motifs du local au plus global**, mais nécessitent cependant une très grande base d'apprentissage.

Solution de compromis : 2.5D

Les SWIN Transformers 3D permettent d'analyser des volumes complets, mais exigent une grande quantité de volumes dans la base d'apprentissage et de ressources en mémoire.

Une approche 2.5D constitue un compromis efficace : on utilise quelques coupes 2D parallèles ou perpendiculaires pour conserver l'information contextuelle, tout en réduisant les calculs.



Résultats préliminaires : pipeline de l'utilisation des données microtomographiques

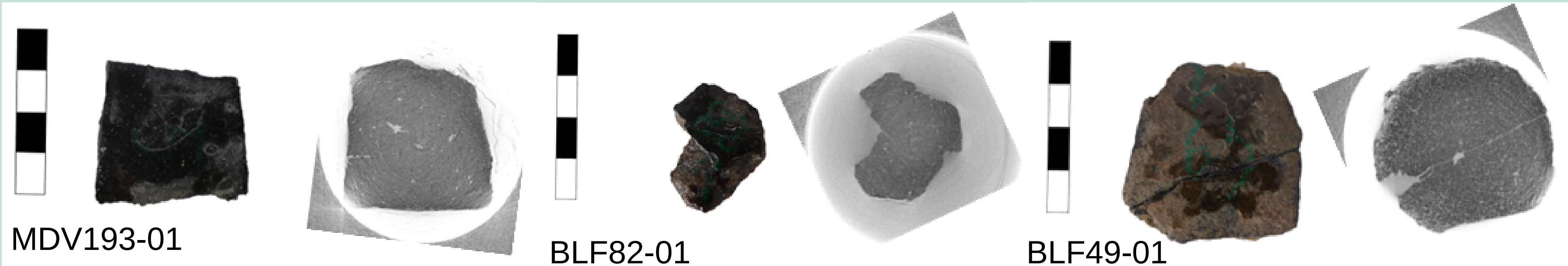
Volumes acquis et reconstruits numériquement

Coupes virtuelles	Résolution	Volume de données
~76 000	7.5 µm	16 To

Les volumes sont en cours de reconstruction numérique à partir des projections acquises au Synchrotron Soleil

Création de la base d'apprentissage

Une nomenclature adaptée permet de faire l'annotation des volumes par batchs automatiquement. Des imagerie sont construites pour faire des premiers tests de classification sur une architecture SWIN Transformers 2D.



Conclusion et perspectives

- ➔ Complétion de la **base d'apprentissage** :
 - Création des objets 2.5D
 - Augmentation des données
- ➔ Réalisation de **tests et de comparaison de plusieurs modèles** et choix de paramètres pour la classification des techniques de façonnage.
- ➔ **Dialogue constant avec les céramologues** pour orienter les choix techniques IA.
- ➔ **Intégration de données extérieures** au projet de plus en plus variées et différentes du contexte d'origine.
- ➔ Utilisation de **méthodes d'explicabilité** pour offrir une interprétabilité des modèles IA aux archéologues