

**Dossier de candidature MDC**  
**Concours Enseignants Chercheurs**  
**Section 20 - Anthropologie biologique, ethnologie, préhistoire**

**Université Paris 1 – Panthéon Sorbonne**

**Josef WILCZEK**

**PROGRAMME D'ENSEIGNEMENT ET RECHERCHE**

**Archéologie numérique**

## Table des matières

|  |    |
|--|----|
| <b>Exposé du candidat</b> .....  | 2  |
| Principales activités d'enseignement .....   | 2  |
| Méthodes d'enseignement .....  | 2  |
| Activités d'enseignement .....   | 2  |
| Activités en matière de responsabilité et charge collective .....  | 4  |
| Projet d'intégration en enseignement .....   | 4  |
| Recherche .....  | 5  |
| Bilan de recherche.....  | 5  |
| Administration de la recherche .....   | 7  |
| Valorisation de la recherche.....  | 7  |
| Intégration dans l'équipe de recherche : Mes thématiques de recherche à long terme - Approche systémique des civilisations du passé : Objectivation des données, systématisation et modélisations culturelles et socio-économiques des sociétés du second âge du Fer ..... | 7  |
| Projet à court terme : Automatisation de l'identification de la chaîne opératoire céramique ....   | 11 |
| Bibliographie .....  | 14 |
| <b>ANNEXE I : Curriculum vitae</b> .....   | 15 |
| <b>ANNEXE II : Détails sur les cours enseignés</b> .....   | 23 |
| <b>ANNEXE III : Résumé de la thèse de doctorat</b> .....   | 26 |

## Exposé du candidat

Depuis ma première année de thèse de doctorat en 2012-2013, j'ai choisi de mener de front des activités de recherche relatives à ma thèse et une **charge d'enseignement en France et en République Tchèque**. Cette activité menée pendant plus de quatre ans m'a permis d'appréhender les contours particuliers du métier d'enseignant-chercheur. J'ai eu la chance, au cours de l'avancement de mes recherches, de pouvoir prendre en charge différents types d'enseignements que l'on me confiait et que j'ai proposé. C'est ainsi que j'ai eu l'opportunité de construire *ex-nihilo* plusieurs cours en **statistiques, en acquisition 3D et en morphométrie géométrique** appliquées à l'archéologie de la protohistoire européenne. J'ai également enseigné **l'âge du Fer en Europe**.

Souhaitant augmenter mes compétences dans le monde des **humanités numériques**, j'ai intégré un **Master 2 en Informatique** spécialité « **Image et Intelligence Artificielle** ». Cela m'a permis d'acquérir une seconde compétence (programmation, traitement d'image, 3D scanning et modélisation, *Machine Learning* et *Deep Learning*), directement applicable au domaine archéologique.

### Principales activités d'enseignement

#### Méthodes d'enseignement

Ma participation au projet « **Innovations dans l'enseignement de l'archéologie et de la muséologie pour la pratique dans le cadre de la coopération interdisciplinaire et internationale** » à l'Université Masaryk à Brno (République Tchèque), m'a permis d'acquérir des expériences très formatrices pour l'enseignement moderne en école supérieure et les appliquer dans ma pratique d'enseignement. Ce projet était consacré à l'aspect **moderne et innovant de l'enseignement de l'archéologie et de la muséologie**, en s'appuyant sur la **pluridisciplinarité** (par exemple, anthropologie, géologie, botanique, zoologie), **l'internationalité** (invitation de spécialistes étrangers pour présenter leurs recherches aux séminaires), **sur les méthodes didactiques modernes et innovantes** (par exemple, e-learning/MOOC, jeux éducatifs, le support des modèles 3D interactifs en ligne pour apprentissage, etc.), l'initiation à la manipulation des **instruments et méthodes numériques** (par exemple, scanneur 3D, photogrammétrie, réalité augmentée et virtuelle), et **surtout sur les aspects pratiques** (stages, pratiques de laboratoire), augmentant considérablement les chances des étudiants dans leur insertion professionnelle. Dans le cadre du projet, j'ai été sollicité pour la rédaction d'un manuel de 100 pages portant sur l'acquisition en 3D des objets et structures archéologiques à destination d'étudiants de Licence et Master d'archéologie<sup>1</sup>.

#### Activités d'enseignement

Mes enseignements dans deux pays portent sur **l'application d'ensemble des méthodes modernes quantitatives et qualitatives en archéologie**. Ainsi, j'enseigne la morphométrie géométrique, les statistiques, les bases de données, la modélisation et le traitement d'information en 3D et les systèmes d'informations géographiques (SIG). Ces différents cours visaient à donner non seulement des connaissances approfondies de ces méthodes, mais surtout développaient des exemples directs de leurs applications en archéologie pour répondre à une vaste gamme de questions liées aux communautés humaines (p. ex. l'occupation du territoire, questions des subsistances, productions et échanges matérielles, artistiques, rituelles et sacrées). J'ai également donné des cours portant sur les sociétés de **l'âge du Fer en Europe**.

---

<sup>1</sup> <https://iwilczekdotcom.files.wordpress.com/2018/12/2013-3D.pdf>

|       | Cours  | Année                               | Institution  | Langue d'enseignement | Public                                       | Type | Rôle                          | Horaires par semestre | Horaires totaux |
|-------|--|-------------------------------------|--|-----------------------|--|------|-------------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1     | Documentation spatiale des artefacts et création de modèles 3D<br><i>Prostorová dokumentace artefaktů a vytváření 3D modelů</i>            | 2013-2014                           | Département d'archéologie et muséologie, Université Masaryk, Brno, République Tchèque      | Tchèque               | Licence<br>Master<br>Doctorat                | TD   | Enseignant                    | 32H                   | 32H             |
| 2     | Statistiques pour archéologues<br><i>Statistika pro archeology</i>   | 2013-2014<br>2015-2016<br>2017-2018 | Département d'archéologie et muséologie, Université Masaryk, Brno, République Tchèque      | Tchèque               | Licence<br>Master<br>Doctorat<br>Enseignants | TD   | Enseignant                    | 32H                   | 96H             |
| 3     | Bases de données   | 2014-2015<br>2015-2016              | ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon  | Français              | L3 archéologie (ACTES)                       | TD   | Enseignant                    | 16H                   | 32H             |
| 4     | Statistiques   | 2014-2015<br>2015-2016<br>2016-2017 | Sciences Vie Terre Environnement, Université de Bourgogne, Dijon                           | Français              | L3 PRO SVTE                                  | TD   | Enseignant                    | 12H                   | 36H             |
| 5     | Morphométrie géométrique en archéologie  | 2014-2015<br>2015-2016<br>2016-2017 | ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon  | Français              | Master 2 d'archéologie (AGES)                | TD   | Enseignant                    | 30H                   | 90H             |
| 6     | Statistiques pour archéologues   | 2014-2015<br>2015-2016<br>2016-2017 | ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon  | Français              | Master 1 d'archéologie (AGES)                | TD   | Enseignant                    | 8H                    | 24H             |
| 7     | Méthodes quantitatives modernes et analyse de forme en archéologie<br><i>Modern quantitative methods and shape analysis in archaeology</i> | 2018-2019<br>2019-2020              | Département d'archéologie, Université de Hradec Králové, Hradec Králové République Tchèque | Anglais               | Licence<br>Master<br>Doctorat                | CM   | Garant de cours<br>Enseignant | 40H                   | 80H             |
| 8     | Age du Fer en Europe<br><i>Iron Age in Europe</i>  | 2018-2019                           | Département d'archéologie, Université de Hradec Králové, Hradec Králové République Tchèque | Anglais               | Licence<br>Master<br>Doctorat                | CM   | Garant de cour<br>Enseignant  | 40H                   | 40H             |
| 9     | Numérisation et modélisation 3D en archéologie<br><i>3D skenování a modelování v archeologii</i>   | 2019-2020                           | Département d'archéologie, Université de Hradec Králové, Hradec Králové République Tchèque | Tchèque               | Licence<br>Master<br>Doctorat                | TD   | Garant de cours<br>Enseignant | 26H                   | 26H             |
| Total |  |                                     |  |                       |  |      |                               |                       | 456H            |

### Activités en matière de responsabilité et charge collective

Lors de mes activités à l'Université Hradec Králové, j'étais chargé de la création d'une première version des **maquettes pour l'enseignement d'un nouveau parcours universitaire intitulé « Digital Humanities »** (niveau *Bachelor* équivalent à niveau Licence en France). Le dossier, préparé en coopération avec mes collègues d'archéologie, d'histoire et de muséologie, est en cours de finalisation avant d'être envoyé auprès du Ministère de l'éducation de la République Tchèque (MŠMT) pour demande d'accréditation.

J'ai assuré également l'achat de matériel technique (scanneurs 3D, logiciels, appareils, tentes et équipements photographiques, tables tournantes, *etc.*) nécessaires au développement et au fonctionnement (rédaction du cahier des charges, appel d'offres) de plusieurs projets. Cette expérience me permet de **prendre la responsabilité d'une plateforme technique** (morphométrie, scanneurs 3D, photogrammétrie, informatique), aussi bien en termes de maintenance, que de jouvence et d'utilisation par les étudiants.

### Projet d'intégration en enseignement

Intégrer l'équipe des enseignants-chercheurs à l'Université de Sorbonne dans le domaine de l'archéologie numérique s'inscrit dans la continuité de mes activités. **Mon profil d'archéologue protohistorien qui maîtrise des outils informatiques me permet d'appliquer les domaines théoriques et pratiques** d'acquisition et de traitement de données numériques aux sciences humaines. C'est cette connaissance, toujours en mouvement, que je souhaite transmettre aux étudiants en archéologie.

Ainsi, je peux assurer instantanément les enseignements qui sont en lien avec les thématiques principales suivantes :

- 1) Techniques utilisables en archéologie pour la documentation, l'analyse et la présentation en 2D/3D : illustration, photographie, photogrammétrie, laserogrammétrie, réalité augmentée, réalité virtuelle, base de données, modélisation et restitution 3D.
- 2) Techniques utilisables en archéologie pour traiter des données statistiques : statistiques paramétriques, non-paramétriques, multivariés, *Machine Learning*, *Deep learning*, applications des simulations basés sur les agents.
- 3) Techniques utilisables en archéologie pour traiter des données géographiques : topographie, système d'information géographique (SIG).
- 4) Programmation : R, Python, C++, Java, Unity, *etc.*
- 5) Stages de terrain avec application des techniques listées ci-dessus : enregistrements topographiques, GPS, drone, station totale, scanneurs 3D/photogrammétrie.
- 6) Société d'âge du fer en Europe : historiographie, chronologie, économie, religion, thématiques actuelles de la recherche, *etc.*

Bien évidemment, le champ d'application et d'enseignement de ces techniques peut être élargi aux sciences humaines en général. Je peux également prendre en charge les responsabilités administratives et pédagogiques des modules, voire des filières, et contribuer à la création de futures maquettes d'enseignement.

Afin d'augmenter les chances d'insertion professionnelle des étudiants, je souhaiterais rapprocher au plus près ces thématiques de celles d'autres **acteurs locaux du patrimoine** (musées, sites régionaux, établissements d'archéologie préventive, *etc.*) par le **dépôt de projets communs** avec ces partenaires.

## Recherche

### Bilan de recherche

**L'étude de la culture matérielle protohistorique** et l'analyse spatiale d'occupation du territoire du second âge du fer occupent le cœur de mes recherches, avec comme point d'entrée, **la céramique**. Le choix de la céramique est évident : Il s'agit du matériel le plus abondant dans la documentation archéologique. Depuis son émergence à la préhistoire, elle porte les informations liées à la chronologie, à l'évolution des technologies, et aux relations humaines. Contrairement aux objets de prestige essentiellement dédiés aux élites, la céramique est utilisée et touchée par toutes les strates de la société. Elle reflète non seulement l'entité culturelle à laquelle appartiennent les individus, mais aussi leur goût. En les quantifiant et en examinant leurs caractéristiques intrinsèques (forme, décor, chaîne opératoire) et leurs distributions spatiales, nous, les archéologues, sommes capables de modéliser les dynamiques socio-économiques des populations anciennes.

Or, en travaillant avec le mobilier céramique, j'ai été confronté aux **difficultés récurrentes liées à la systématisation et la classification des données** - les typologies sont souvent considérées subjectives, souvent équivoques, tandis que leur adaptation à une autre fenêtre temporelle ou spatiale est délicate.

Confrontés à des problèmes très semblables, biologistes et paléontologues ont développé à partir des travaux effectués en mathématiques, des méthodes d'analyse des formes connues sous l'appellation générique « **morphométrie géométrique** ». Ces techniques permettent de traiter un grand nombre de données. L'approche morphométrique est objective, reproductible, rapide, et suffisamment généralisable pour être appliquée à une large variété d'objets. Elle offre des outils graphiques qui permettent de condenser une information complexe en un espace à 2 ou 3 dimensions. Par exemple, la représentation d'un large corpus est possible sur un seul diagramme définissant l'espace morphométrique, qui permet ensuite l'identification de groupes. L'espace des formes y est continu, contrairement à la typologie classique qui est basée sur une différenciation des différents types. Elle offre également des possibilités remarquables en termes de validation **statistique** ; chose qui n'était pas envisageable avec l'approche classique. Depuis peu, ces méthodes sont avantageusement appliquées à l'archéologie mais, malgré les bonnes volontés, la mise en place d'un transfert de technologies efficace entre **mathématiques** et archéologie n'est pas toujours simple du fait de l'éloignement des interlocuteurs, tant en termes de connaissances fondamentales, que dans la représentation mentale des concepts.

Les procédures présentées, discutées et démontrées dans la thèse<sup>2</sup> peuvent être appliquées (i) pour produire les dessins de la céramique de façon semi-automatique, (ii) pour la formation de classifications d'artefacts, (iii) pour l'identification automatique de l'analogie des objets, (iv) pour la reconstruction des artefacts complets à partir de fragments, (v) pour l'identification des centres de distribution, des entités sociales et culturelles, etc., (vi) pour comparer les différentes classes archéologiques (types, régions, genres), (vii) pour étudier et comparer le niveau de standardisation des productions, ou (viii) étudier la forme des artefacts dans l'espace et le temps.

Ces résultats ont fait l'objet de deux articles, écrits en collaboration, et publiés dans **trois revues internationales** (*Journal of Archaeological Sciences*, *Journal of Archaeological Sciences : Reports* et *Journal on Computing and Cultural Heritage*), de **déclarations d'invention et de création d'un logiciel**.

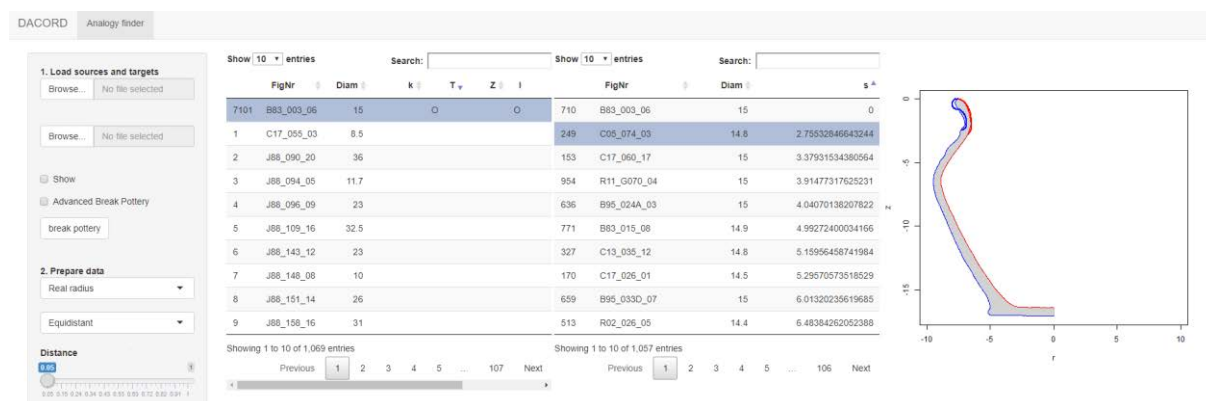
Ces recherches ont aussi été honorées par **quatre distinctions scientifiques** : meilleur travail en sciences sociales en République Tchèque (1<sup>ère</sup> place), médaille du recteur d'Université Masaryk pour

---

<sup>2</sup> Pour la version de la thèse en ligne : [https://is.muni.cz/th/xkprb/Plny\\_text\\_prace\\_bez\\_kapitoly\\_3\\_?lang=en](https://is.muni.cz/th/xkprb/Plny_text_prace_bez_kapitoly_3_?lang=en)

une excellente thèse, mention spéciale de jury pour le prix de de Thèse SHS PSL, et meilleur travail en archéologie en 2016-2019 (2<sup>ème</sup> place).

Mes recherches, menées ensuite dans le cadre d'un contrat sur projet à l'Université Hradec Králové (République Tchèque ; 2018-2020), ont pour but de **développer un logiciel permettant de classer des fragments céramiques**. Le projet est en ce moment dans la phase de finalisation, tout comme l'article et le logiciel (Figure 1) qui sont en cours de soumission dans le *Journal on Computing and Cultural Heritage*.



**Figure 1.** Prototype de logiciel permettant classification automatique des fragments céramiques. Le tessons recherché (ici B83\_003\_06) est montré avec la forme la plus similaire (ici C05\_074\_03) trouvé dans la base de données contenant 1057 profils complets de céramiques.

Lors du développement de mes recherches, j'ai été employé en tant qu'ingénieur d'études par **plusieurs établissements universitaires et scientifiques** (CNRS, EPHE, Académie de Sciences de République Tchèque, Université Masaryk à Brno, Université Hradec Králové). Ces occasions m'ont permis de m'impliquer au sein de laboratoires mixtes de recherche archéologique, mais aussi biologique et géologique. Ainsi, j'ai pu contribuer activement à **plusieurs projets interdisciplinaires et interinstitutionnelles** (PCR, PEPS, PEPS-HUMAIN), portant sur les aspects de production, circulation et consommation des haches en bronze<sup>3,4</sup> et des céramiques celtiques<sup>5</sup>, et sur **les apports des technologies numériques aux restitutions des sites archéologiques**<sup>6</sup>.

Les résultats de mes recherches personnelles et collaboratives ont été communiqués lors de **nombreuses conférences** auprès des communautés scientifiques nationales et internationales, mais aussi auprès du grand public. Enfin, ces travaux collaboratifs ont été valorisés par des **publications d'articles dans des revues internationales**.

Parallèlement, j'ai contribué au développement, à l'adaptation et l'application de plusieurs procédures (provenant des modélisation 3D, SIG et *computer vision*) pour la documentation et la visualisation des artefacts archéologiques dans le domaine de l'**héritage culturel** et l'**archéologie numérique** (Magail *et al.*, 2017 ; Monna *et al.*, 2018, 2019, 2020 ; Rolland *et al.*, en préparation). J'ai également contribué à l'étude portée sur les méthodes de documentation et d'analyse des données paléontologiques (Lkebir *et al.*, en préparation).

<sup>3</sup> Projet collectif de recherche (PCR) - « *Etude typologique et technologique du dépôt de Loyettes (Ain)* », 2016-2017.

<sup>4</sup> Projet collectif de recherche (PCR) - « *Métallurgistes en France orientale au Bronze moyen (1500 avant notre ère)* », 2016-2017.

<sup>5</sup> Projets Exploratoires Premier Soutien (PEPS-HUMAIN) - « *Etude Morphométrique de la Céramique Celtique (EMC2)* », 2014-2015.

<sup>6</sup> Projets Exploratoires Premier Soutien (PEPS) - « *Apport des technologies numériques à l'étude et à la restitution d'un site néolithique (VirtualNEO)* », 2014-2015.

## Administration de la recherche

J'ai été l'un des **organiseurs de deux colloques internationaux** de jeunes chercheurs. Ce travail a nécessité la recherche de financement, ainsi que l'organisation matérielle et thématique du colloque. Pour l'un de ces colloques, j'ai assuré le **travail éditorial en coopération internationale**. Ce travail a impliqué la vérification de la qualité des écrits et de nombreux échanges avec le comité de relecture - composé de 38 chercheurs européens. J'ai été également sollicité pour réaliser la **relecture d'articles scientifiques** dans des revues nationales tchèques (Pravěk NŘ, Studia Hercynia) et internationales (Arkæologisk Forum).

## Valorisation de la recherche

La responsabilité d'un projet, dont l'aboutissement a constitué en la **déclaration d'invention et déclaration du logiciel** DACORD (Dessin Assisté de la Céramique par ORDinateur), a été pour moi l'occasion de **diriger une équipe** de six personnes, spécialistes en mathématiques, biologie et géochimie. Ma responsabilité au sens du collectif était d'assurer le suivi scientifique et administratif, comprenant de nombreux échanges avec l'organisation de transfert de technologies (Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies – SATT GRAND EST). Par ailleurs, j'ai eu l'occasion de **rédiger, assister et de déposer plusieurs projets scientifiques collectifs internationaux** (avec des collègues Tchèques, Français, Slovaques, Allemands, Canadiens, etc.)<sup>7,8,9</sup> dont un a abouti en 2019<sup>10</sup>.

Intégration dans l'équipe de recherche : Mes thématiques de recherche à long terme -  
Approche systémique des civilisations du passé : Objectivation des données, systématisation  
et modélisations culturelles et socio-économiques des sociétés du second âge du Fer

## Résumé

Mon projet de recherche à long terme a pour but d'approfondir les connaissances sur les sociétés celtiques de la période du second âge du Fer (époque dite de La Tène, circa 450 jusqu'à 1 avant notre ère) en Europe, en se basant sur des artefacts provenant des territoires occupés par les Celtes (Figure 2), et à travers les nouveaux outils numériques dont la recherche scientifique s'est saisie pour traiter ces grandes quantités de données (**big data**).

Les trois axes de mon projet de recherche peuvent trouver aisément leur place dans les **axes de recherche du laboratoire Trajectoires** : Economies et interactions société/environnement (axe 1-3) ; Espaces, Territorialité et Mobilité (axe 2-3) ; Temps, Communication et Identité (axe 2-3).

L'axe 1 - **Vers une archéologie numérique** - s'intéresse de manière détaillée comment **rendre le plus objectif possible l'acquisition** de l'intégralité des informations que peuvent contenir les objets archéologiques dans le paradigme de la recherche actuelle, et ce, grâce aux outils numériques. S'il peut y avoir comme conséquence la réduction du temps et du coût liés à l'enregistrement des artefacts et écofacts, le but est l'obtention d'un corpus d'objets dont les données sont uniformisées. Il devient alors possible de reconsidérer et d'**automatiser les classifications**, outil principal de l'archéologie, qui sert à l'élaboration des (typo-)chronologies, des productions, ainsi que des entités culturelles. Cette étape a pour but de **fiabiliser** ces interprétations archéologiques permettant la confrontation de la totalité des informations rendues les plus objectives possibles.

<sup>7</sup> Project EXPRO GAČR - « *Cultural and Molecular Genome – the Genesis of Europa Slavica in an interdisciplinary focus* », 2018.

<sup>8</sup> Project EXPRO GAČR - « *Cultural and Molecular Genome – the Genesis of Europa Slavica in an interdisciplinary focus* », 2019.

<sup>9</sup> Project NAKI GAČR - « *Development of effective methods of documentation and presentation of archaeological cultural heritage* », 2019.

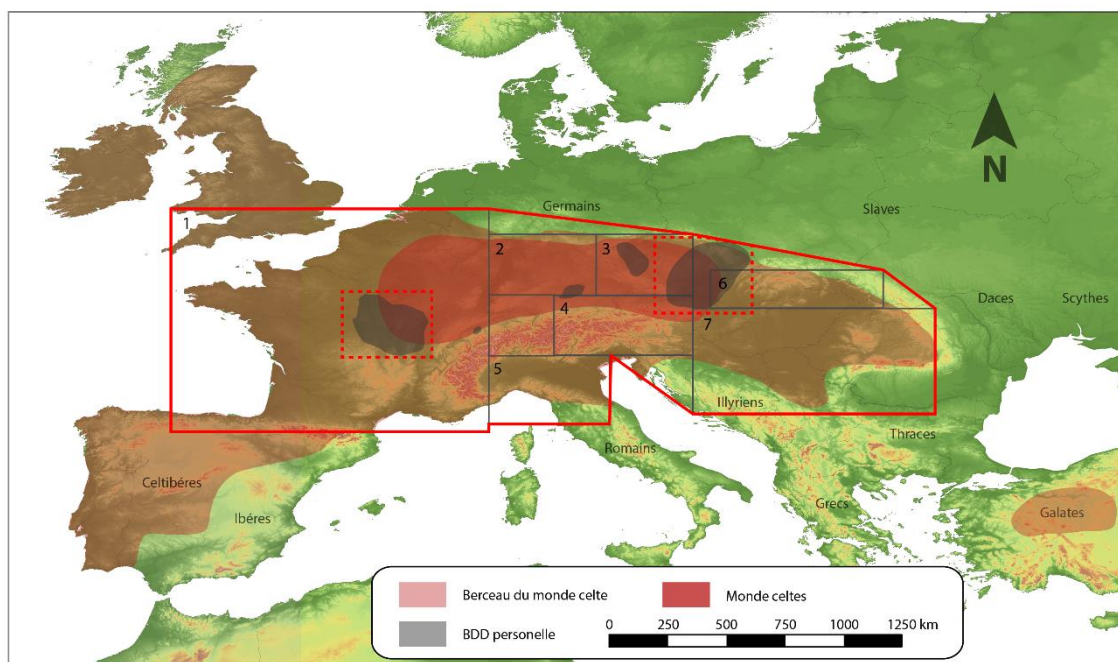
<sup>10</sup> Project IRC UHK - « *Automatic extraction and interpretation of the formation of archaeological pottery* », 2019-2021.



L'axe 2 - **Organisation et évolution des systèmes de productions en Europe celtique** - consiste à apporter de nouvelles connaissances concernant **les productions artisanales des sociétés du second âge du Fer au niveau européen**. Il s'agira plus particulièrement de synthétiser les connaissances sur les productions des artefacts inventés, élaborés, et utilisés par les communautés celtiques. La partie essentielle sera dédiée aux **objets céramiques et métalliques**, étant les artefacts quotidiennement utilisés par les sociétés celtiques, les plus abondants et les mieux documentés en archéologie. Cette partie va inclure l'identification des productions pour lesquelles nous ne connaissons pas les ateliers, et la reconstitution des processus de fabrication d'artefacts à travers l'expérimentation archéologique. Je vais également tenter d'**introduire un nouveau modèle** permettant d'appréhender quantitativement l'évolution de la spécialisation dans l'artisanat à travers les quatre derniers siècles avant notre ère.

L'axe 3 – **Modélisation de l'économie et des interactions culturelles** - s'attache à la **modélisation de l'économie et des interactions culturelles entre les communautés celtiques** et entre les celtes et leurs proches « voisins ». Mon but est de mettre en évidence de façon plus claire et lisible les **mécanismes de circulation et d'échange** des artefacts, portant des informations sur les idées, les technologies, les gestes, ou savoir-faire des populations anciennes à travers des modélisations statistiques et géographiques. Je vais aussi consacrer mes recherches à l'identification des faciès culturels celtiques au sein du territoire européen défini dans ma recherche, et **étudier l'évolution de leurs territoires au cours du temps**. La recherche comparative et quantitative basée sur les expressions des artefacts pourrait s'approcher des limites interprétatives des artefacts dans l'étude des migrations celtiques qui fait l'objet de recherche depuis plus de 100 ans.

Ces trois axes sont composés d'**ensemble de projets à court terme**, listés dans le tableau ci-dessous.



**Figure 2.** Carte d'occupation celtique en Europe (d'après Baray, 2018), avec les zones étudiées à moyen terme (deux carrés en pointillé rouge correspondant à la Bourgogne et la Moravie) et à long terme (polygone rouge). Les nombres dans les carrés noirs indiquent les bases de données existantes pour les zones correspondantes : 1) Huma-Num, Artefacts, Base Fer, Base de données diachronique sur les Bituriges, CHRONOCARTO ; 2) Arachne ; 3) Archeologická databáze Čech, Archeologická mapa České republiky, Digitální archiv AMČR ; 4) Montelius ; 5) Artefacts, ARIADNE ; 6) CEANS ; 7) Archaeology database, ARIADNE.

| Projets à court terme   | Cadre géographique et données  | Objectifs, résultats attendus et valorisation  |
|---|--|--|
| <p>Automatisation d'identification de la chaîne opératoire céramique (axes 1, 2)</p> <p>Nouvelles méthodes pour l'extraction automatique des descripteurs formels et stylistiques d'après des images 2D et modèles 3D (axe 1)</p> <p>Nouvelles méthodes pour la classification automatique des pâtes céramiques (axes 1, 2)</p> <p>Classification et reconnaissance automatique de la forme et du style des céramiques et fibules celtiques (axe 1)</p> <p>Mise en place du concept de datation, et observation des innovations de la forme des artefacts par la morphométrie géométrique (axe 1)</p> <p>Echanges et interactions culturelles des sociétés celtiques en Moravie à travers la modélisation statistique et l'analyse des réseaux (axes 1, 3)</p> <p>Base de données <i>Europa Celtica</i> (axe 1)</p> <p>Productions céramiques dans les contextes funéraires - différenciation formelle et stylistique de la céramique fine des habitats et des cimetières celtiques (axe 2)</p> <p>Coévolution des productions artisanales sur une région – investigation des relations entre les potiers et bronziers celtiques par l'étude de la forme (axes 2)</p> <p>Comparaison d'habiletés des potiers celtiques (axe 2)</p> <p>Productions, échanges et interactions culturelles des sociétés celtiques entre La Manche et Les Alpes à travers la modélisation statistique et l'analyse des réseaux (axes 2, 3)</p> <p>Economie et émergence, développement et effondrement de la culture Celtique (axe 2, 3)</p> <p>Productions, échanges et interactions culturelles des sociétés celtiques en Europe (axe 2, 3)</p> <p>Une ou des identités celtiques ? Faciès culturels européen celtiques et évolution de leurs territoires du 4<sup>e</sup> au 1<sup>er</sup> siècle av. n. é. (axe 3)</p> <p>Migrations celtiques – Mythe ou réalité archéologique ? (axe 3)</p> <p>Interactions entre les Celtes et leurs voisins à la frontière (Germanis, Daces, Romains, etc.)</p> <p>...</p> | <p><b>Région de la Bourgogne (notamment <i>oppidum Bibracte</i>) et Région Moravie</b></p> <p><i>Céramiques</i></p> <p><i>Céramiques, fibules, parures, armes</i></p> <p><i>Céramiques</i></p> <p><i>Céramiques et fibules</i></p> <p><i>Fibules et céramiques</i></p> <p><i>Céramiques (principalement), fibules, parures, armes</i></p> <p><i>Tous les artefacts et écofacts disponibles dans les publications</i></p> <p><i>Céramiques (principalement), artefacts des cimetières (fibules, parures, ceintures, armes).</i></p> <p><b>Moravie</b></p> <p><b>Bourgogne, Moravie</b></p> <p><b>Bourgogne, Moravie</b></p> <p><b>Zone 1 sur la Figure 2</b></p> <p><b>Zone 1 sur la Figure 2</b></p> <p><b>Territoire d'Europe</b></p> | <p><b>Objectifs méthodologiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introduction de nouvelles méthodes et outils quantitatifs pour étudier les artefacts archéologiques</li> <li>- Comparaison et discussion sur les avantages et désavantages de ces nouvelles approches par rapport aux méthodes actuelles</li> <li>- Création d'outils informatiques (logiciels)</li> </ul> <p><b>Objectifs interprétatifs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprendre les modalités d'échange et les principes d'organisation du réseau d'échanges en zones étudiées</li> <li>- Affiner les connaissances sur les productions céramiques</li> </ul> <p><b>Résultats attendus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution du temps et du coût nécessaires à l'analyse des artefacts</li> </ul> <p><b>Valorisation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Articles méthodologiques dans des revues archéologiques à fort impact</li> <li>- Communications lors de conférences internationales</li> <li>- Communications au plus large public sous forme d'articles de vulgarisation et courtes vidéos</li> <li>- Possibilité de déclarations d'invention sur les outils développés</li> <li>- Possibilité d'intégration de ces outils dans les services Huma-Num</li> </ul> <p><b>Objectifs interprétatifs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition précise des productions céramiques celtiques en Europe</li> <li>- Comprendre et affiner l'évolution dans la production céramique dans les zones étudiées</li> <li>- Comprendre la signification de la céramique dans les pratiques funéraires celtiques</li> <li>- Affiner les chronologiques globales des artefacts</li> <li>- Comprendre les modalités et les principes d'organisation du réseau d'échanges entre les entités culturelles celtiques, ainsi que son évolution dans le temps.</li> <li>- Comprendre l'organisation spatiale des sites</li> <li>- Identification plus précise des faciès culturels celtiques et détermination de leurs territoires au cours du temps</li> <li>- Répondre à la question concernant les migrations celtiques</li> <li>- Comparaison et discussion des résultats obtenus avec les sources historiographiques (en collaboration avec des experts)</li> </ul> <p><b>Résultats attendus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meilleure compréhension des phénomènes liés aux productions, consommation et échange des artefacts en Europe au second âge du Fer</li> </ul> |

Le projet à long terme peut réinterroger l'approche de la compréhension non seulement des sociétés du second Âge du Fer, mais également d'autres périodes chronologiques. **Les méthodes et outils présentés étant transposables, car s'adaptant à des corpus d'objets diversifiés, d'autres disciplines étudiant les objets créés par l'Homme** (p. ex. l'histoire de l'art, sur des corpus lapidaires) pourraient s'en saisir dans le courant actuel des humanités numériques.

Le projet pourra bénéficier, dès son départ, d'un réseau pluridisciplinaire et international, déjà tissé au cours de mes recherches (Tableau 1). Ce réseau, composé de spécialistes issus de l'archéologie, de l'anthropologie, des mathématiques, de l'informatique, de la biologie et de la géochimie, est réparti dans différentes institutions européennes. Plusieurs chercheurs ont déjà exprimé leur souhait de participer à la création du corpus de données que j'ai baptisé *Europa Celtica*. Ce corpus, dont le potentiel interprétatif est important, ainsi que les outils d'analyses développés dans le projet (p. ex. classification et reconnaissance automatiques des artefacts) pourront être intégrés dans les plateformes numériques (Huma-Num) et mis à disposition d'une large communauté scientifique.

L'organisation, le traitement des dossiers administratifs et la recherche de financement sont des aspects inhérents au monde universitaire et de la recherche et ainsi des tâches incontournables auxquelles je suis déjà aguerri. Afin d'assurer des fonds matériels et personnels pour différents projets, j'envisage de répondre aux appels à financements de **projets nationaux** (financement régionaux, ANR, BQR, PCR, PEPS-HUMAIN) **et Européens** (ERC Starting Grant). Je vais également chercher des financements dans des **projets scientifiques et éducatifs communs** avec d'autres établissements universitaires et scientifiques (p. ex. Programme Barrande, GAČR, TAČR avec des collègues tchèques).

Je souhaite intervenir dans des projets collectifs de recherche déjà en cours dans les laboratoires Trajectoires et ArScan. Il s'agit principalement des thématiques de recherche **De l'argile aux vaisseliers** et **Systèmes de productions et réseaux de circulation** et du projet **Argiles** et **Tessonnier** portant sur l'analyse de la production et la diffusion du mobilier céramique. Dans le cadre de ces projets, je souhaiterais proposer le développement de la classification et la reconnaissance automatiques des artefacts archéologiques à la base des modèles 3D, et d'automatiser l'identification de la chaîne opératoire céramique (voir projet à court terme développé ci-dessous). J'aimerais bien intervenir également aux projets **L'archéologie dans les Humanités numériques (ArcheoNum)** et **Archéologie et la cité : les défis globaux à la lumière du passé** dédiés à l'enseignement, et aux réflexions autour des nouvelles méthodes et outils d'acquisition, du traitement, de médiation et de la préservation en archéologie et patrimoine culturelle. Avec mes expériences de création de logiciels libres pour le traitement des données archéologiques, je souhaite également contribuer au développement du logiciel libre d'analyse de données conçu au sein du projet **Analyse** (projet en collaboration avec PIREH - Pôle Informatique de Recherche et d'Enseignement en Histoire).

Je suis également prêt à participer à **l'organisation de colloques et/ou sessions portant sur des Sociétés d'Âge du fer** (AFEAF, EAA, Celts/Keltové), et sur **l'application d'outils informatiques en archéologie** (CAA, JIAP, SMEF, Morph).

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Archéologie</b><br/> Phillipe Barral (UMR 6249 Chrono-Environnement, Besançon)<br/> Pierre Nouvel (UMR 6298 ARTEHIS, Dijon)<br/> Vincent Guichard (CAE, Bibracte)<br/> Fabrice Monna (UMR 6298 ARTEHIS, Dijon)<br/> Petra Goláňová (MU, Brno)<br/> Peter Ramsil (SAV, Bratislava)<br/> Tomasz Bochnak (Université de Rzeszów, Rzeszów)</p> | <p><b>Analyses des pates céramiques (XRF)</b><br/> Gilles Hamm (UMR 6298 ARTEHIS, Dijon)</p> <p><b>Analyses expérimentales</b><br/> Richard Thér (UHK, Hradec Králové)<br/> Tomas Mangel (UHK, Hradec Králové)</p> <p><b>Informatique et mathématiques</b><br/> Christian Gentil (UMR 6306 - Le2I, Dijon)<br/> Céline Roudet (UMR 6306 - Le2I, Dijon)<br/> Ahmed Jébrane (UMR 5584 - IMB, Dijon)</p> |
|--|--|

|  |   |
|--|---|
| + d'autres chercheurs souhaitant collaborer sous le réseau de l'Association Française pour l'Etude sur l'Âge du Fer (AFEAF), Keltové, Jeunes chercheurs des Rencontres doctorales d'EEPB | Catherine Labruère-Chazal (UMR 5584 - IMB, Dijon)<br><br><b>Biologie (Morphométrie géométrique)</b><br>Nicolas Navarro (UMR 6282 - Biogéosciences/EPHE, Dijon)<br>Sébastien Couette (UMR 6282 - Biogéosciences/EPHE, Dijon) |
|--|---|

**Tableau 1.** Coopérations.

## Projet à court terme : Automatisation de l'identification de la chaîne opératoire céramique

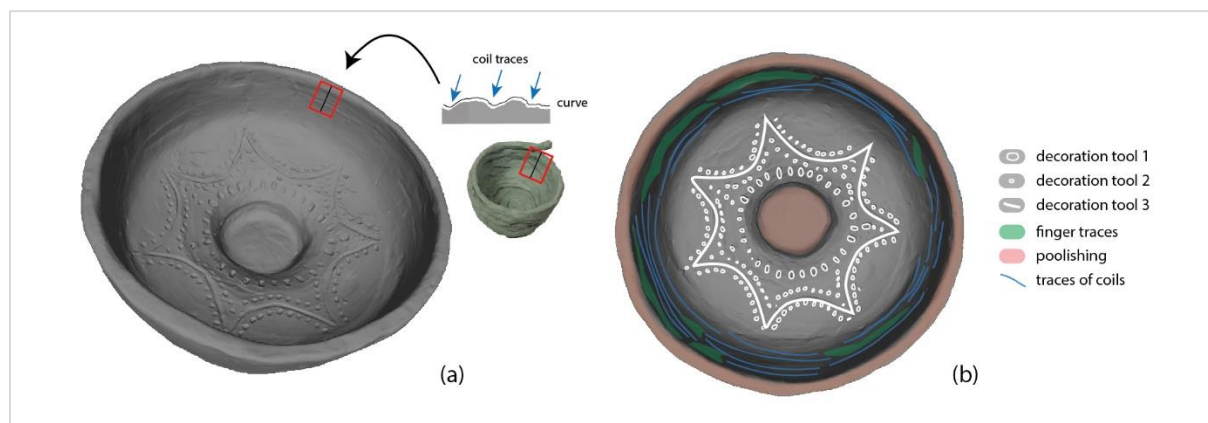
### Introduction

Le premier projet à court terme s'inscrit dans mes axe 1 et 2. Il fait écho à celui développé au sein de laboratoire Trajectoires sur des traces d'usure ou celle concernant la technologie de fabrication et utilisation des artefacts céramiques et lithiques.

**La création d'artefacts est l'une des activités humaines essentielles** et donc l'un des sujets les plus importants dans les enquêtes archéologiques. A la suite des avancées dans les domaines de l'ethnologie et de l'ethnographie, la recherche moderne vise également à identifier, tracer et interpréter des informations plus intimes, liées aux compétences et savoir-faire des potiers transférés de génération en génération par la reproduction des mêmes gestes et techniques (p. ex. Gosselain 2002 ; Roux 2017). Traditionnellement, les traces de fabrication sont identifiées macroscopiquement, à l'œil nu, par l'archéologue. Ce fait entraîne nécessairement des problèmes liés à l'effet de la subjectivité, l'absence du contrôle et de la reproductibilité des résultats...

### Objectifs de recherche

L'objectif principal du projet est de **proposer des solutions - workflows - permettant de mettre en évidence, de quantifier et d'interpréter les traces de fabrication sur la poterie**, et cela de façon (semi)automatique. Les procédures seront basées sur des analyses quantitatives de modèles de poterie 3D, contenant les informations intégrales sur l'objet. Les workflows proposés permettront d'**extraire et de représenter les informations sur l'historique de fabrication de chaque vase** - de sa formation à partir d'argile, en passant par le traitement de surface, jusqu'à la décoration finale - de manière très visuelle et facile à comprendre (**Figure 3**). Le projet visera aussi **d'automatiser le processus de détermination de la chaîne opératoire des vases** afin d'augmenter l'efficacité des analyses archéologiques concernant la poterie. Le projet discutera également des possibilités de **partage efficace de modèles de poterie 3D analysés**, parmi la communauté scientifique, avec les possibilités d'application de la réalité augmentée et virtuelle.



**Figure 3.** Modèle 3D original de la poterie (a) et exemple de visualisation possible de caractéristiques technologiques extraites automatiquement (b).

## Méthodes

Le projet nécessitera l'adaptation de méthodes récemment développées en informatique, physique, géographie, statistique et apprentissage automatique. Le cœur méthodologique du projet sera composé de quatre parties : (i) acquisition de données, (ii) caractérisation de surface, (iii) classification des traces, et (iv) détermination de la chaîne opératoire.

Les modèles 3D de la poterie seront acquis avec différents scanners 3D et des solutions de photogrammétrie. Afin d'assurer la robustesse des résultats des procédures proposées, plusieurs centaines d'échantillons archéologiques réels, fabriqués avec différentes techniques seront acquis. Parallèlement aux modèles 3D, d'autres représentations de poterie ayant un potentiel d'identification des traces de fabrication et décoration - par exemple des profils de poterie, des images ou des cartes de profondeur - seront testées, afin d'identifier la représentation de poterie optimale - c'est-à-dire la plus rapide à acquérir et la plus fiable.

**L'identification des traces** sera basée sur une variété de méthodes utilisées dans différents domaines scientifiques - en géographie pour mettre en évidence les caractéristiques naturelles du paysage (p. ex. visibilité, sky-view-factor ; Monna *et al.* 2018), en graphisme et en vision par ordinateur pour le rendu de modèles 3D (p. ex. occlusion ambiante ; Jones *et al.* 2003 ; Wilczek *et al.* 2018), en traitement du signal, imagerie informatique et morphométrie géométrique pour la compression de données et l'étude de la forme des objets (par exemple analyse en ondelettes, transformées en cosinus discret ; Meyer 1992 ; Wilczek *et al.* 2014), ou en tribologie, et en partie en archéologie, pour mettre en évidence des traces ou des surfaces de friction sur les objets (par exemple fractales, rugosité, courbure ; Podkorytov *et al.* 2014 ; Stemp 2014). Ces méthodes permettront de caractériser quantitativement les propriétés géométriques de chaque point ou région discrète sur la surface du modèle 3D.

Les traces seront extraites à partir des modèles 3D, puis classées par des méthodes développées en **statistiques et Machine Learning**. Ces méthodes ont montré leurs performances dans la reproduction d'activités humaines ou de tâches telles que la classification, la reconnaissance et la prise de décision (par exemple, jeu go, conduite automatique). De plus, ils prennent une place considérable dans de nombreux domaines scientifiques (médecine, biologie, etc.) et dans de nombreux domaines de la vie quotidienne (économie, santé). Les méthodes de *Machine Learning* du projet seront adaptées à deux fins : (i) regrouper des points ou des zones sur le modèle de poterie 3D ayant les mêmes caractéristiques, afin d'identifier des zones sur la poterie créées avec les mêmes techniques de fabrication (classification non supervisée effectuée par K-means, Cluster Analysis, DBSCAN, etc.), et (ii) évaluer, pour chaque point ou zone du modèle 3D, la probabilité d'être une technique définie *a priori* par un spécialiste (classification supervisée effectuée par k-Nearest Neighbours, Support Vector Machines, Neural Networks, etc.). Ces méthodes permettront ainsi de mettre en évidence des caractéristiques technologiques laissées par d'anciens fabricants et conservées à la surface de la poterie.

**La chaîne opératoire des vases** sera ensuite déterminée en observant la distribution et la relation spatiale entre les traces identifiées sur la poterie. Ces aspects seront quantifiés à l'aide de la théorie des graphes et de l'analyse de réseaux (p. ex. Brughmans, 2010 ; Knappet, 2013), largement utilisés en géographie et en médecine, par exemple pour étudier les modèles de trafic ou pour modéliser la propagation géographique des maladies. Ici, ces méthodes seront adoptées pour déterminer la succession de gestes - c'est-à-dire la succession d'éléments de fabrication identifiés - utilisés par les potiers pour former et décorer d'anciens récipients en céramique.

Les procédures proposées dans le cadre du projet permettront non seulement de visualiser les caractéristiques de la poterie archéologique, mais également de **prédire la technologie de production des fragments ou vase en céramique nouvellement trouvés**.

Afin d'offrir la possibilité de **partager efficacement des données acquises et analysées avec la communauté archéologique**, le projet cherchera également la solution pour la visualisation des modèles 3D acquis et annotés. Il sera possible de manipuler des modèles dans l'environnement de la réalité augmentée (smartphones, tablettes) et virtuelle (p. ex. Oculus rift, HTC Vive, Samsung Gear), qui commencent à être utilisés dans les « *serious games* » à des fins muséographiques et éducatives. Ces aspects seront fournis *via* des moteurs de développement disponibles gratuitement (Unreal ou Unity). Les résultats du projet seront publiés dans des revues scientifiques de haut niveau international (JAS, JAMT, JOCH, JOCCH).

## Bibliographie

- Baray, L., 2018. Les Celtes, les Sénon et les autres... des identités partagées. In : Baray, L. (éd.) - *Les Sénon. Archéologie & histoire d'un peuple gaulois*. Gand, Snoeck, pp. 18-21.
- Brughmans, T., 2010. *Connecting the dots: towards archaeological network analysis*. Oxford Journal of Archaeology 29, 3, 277-303.
- Gosselain, O. 2002. *Poteries du Cameroun méridional. Styles techniques et rapports à l'identité*. CNRS, Paris.
- Iones, A., Krupkin, A., Sbert, M., Zhukov, S. 2003. Fast, realistic lighting for video games. *IEEE Computer Graphics and Applications* 23, 3, 54-64.
- Knappett, C., 2013. *Network Analysis in Archaeology. New Approaches to Regional Interaction*. Oxford University Press, Oxford.
- Lkebir, N., Rolland, T., Monna, F., Massrour, M., Bouchaou, L., Fara, E., Navarro, N., Wilczek, J., Beeraouz, E.H., Perez-Lorenté, F. en préparation. Anza palaeoichnological site, Late Cretaceous. Morocco. Part III: comparison between traditional and photogrammetric records. *Journal of African Earth Sciences*.
- Magail, J., Monna, F., Esin, Y., Wilczek, J., Yeruul-Erdene, C., Gantulga, J.-O., 2017. Applications de la photogrammétrie à la documentation de l'art rupestre, des chantiers de fouilles et du bâti - Mission du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco. *Bulletin du Musée d'anthropologie préhistorique de Monaco* 56, 69-92.
- Meyer, Y., 1992. *Wavelets and Operators*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Monna, F., Esin, Y., Magail, J., Granjon, L., Navarro, N., Wilczek, J., Saligny, L., Couette, S., Dumontet, A., 2018. Documenting carved stones by 3D modelling-Example of Mongolian deer stones. *Journal of Cultural Heritage* 34, 116-128.
- Monna, F., Magail, J., Rolland, T., Navarro, N., Wilczek, J., Gantulga, J.-O., Esin, Y., Granjon, L., Allard, A.-C., Chateau-Smith, C., 2020. Machine learning for rapid mapping of archaeological structures made of dry stones – Example of burial monuments from the Khirgisuur culture, Mongolia –. *Journal of Cultural Heritage* January <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.01.002>
- Monna, F., Navarro, N., Magail, J., Guillon, R., Rolland, T., Wilczek, J., Esin, Y., Chateau, C., 2019. Contextualization of Archaeological Information Using Augmented Photospheres, Viewed with Head-Mounted Displays. *Sustainability* 11, 1-13.
- Podkorytov, S., Gentil, Ch., Sokolov, D., Lanquetin, S. 2014. Joining primal/dual subdivision surfaces. In : Floater, M., et al. (eds.) - *Mathematical Methods for Curves and Surfaces*. Springer, Berlin and Heidelberg, pp. 403-424.
- Roux, V. 2017. Ceramic Manufacture: The chaîne opératoire Approach. In : Hunt, A. (éd.) - *The Oxford Handbook of Archaeological Ceramic Analysis*. Oxford University Press, Oxford, 17 pp.
- Stemp, W.J. 2014. A review of quantification of lithic use-wear using laser profilometry: a method based on metrology and fractal analysis. *Journal of Archaeological Science* 48, 15-25.
- Rolland, T., Monna, F., Magail, J., Esin, Y., Navarro, N., Wilczek, J., Chateau, C. en préparation. Documenting carved stones from 3D models. Part II - ambient occlusion to reveal carved parts. *Journal of Cultural Heritage*.
- Wilczek, J., Monna, F., Barral, P., Burlet, L., Chateau, C., Navarro, N., 2014. Morphometrics of Second Iron Age ceramics – strengths, weaknesses, and comparison with traditional typology. *Journal of Archaeological Science* 50, 39-50.
- Wilczek, J., Monna, F., Jébrane, A., Labruère-Chazal, C., Navarro, N., Couette, S., Chateau Smith, C., 2018. Computer-assisted orientation and drawing of archaeological pottery. *Journal on Computing and Cultural Heritage* 11, 4, Article 22, 1-15.



## ANNEXE I : Curriculum vitae

**Josef Wilczek**

**né le 30/06/1985 à Třinec (République Tchèque)**

chez Sandra Gallet, 2bis rue Armand Thibaut, 21000-Dijon.

0783376087

[josef.wilczek@hotmail.com](mailto:josef.wilczek@hotmail.com)

<https://jwilczek.com>

### Enseignant-chercheur



#### Cursus universitaire

---

- depuis 2019 **Master 2 en Informatique - Image & Intelligence Artificielle.** Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon.
- 2013 – 2017 **Doctorat en co-tutelle en Archéologie.** UMR 6298 ARTEHIS, Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon.  
Titre : « New approaches for the acquisition, systematisation and interpretation of archaeological artefacts » / Nouvelles approches d'acquisition, systématisation et d'interprétation des mobiliers archéologiques. Mention excellent. [web](#) ; [web](#)
- 2012 – 2017 **Doctorat d'Archéologie.** Département d'archéologie et muséologie (Ústav archeologie a muzeologie), Université de Masaryk, Brno, République Tchèque (ÚAM MU Brno).
- 2007 – 2010 **Master d'Archéologie.** Département d'archéologie et muséologie (Ústav archeologie a muzeologie), Université de Masaryk, Brno, République Tchèque (ÚAM MU Brno).  
Titre : "Hrnčířské dílny ve Višňovém v kontextu laténského osídlení povodí řeky Jevišovky" / L'atelier laténien de Poterie de Višňové. Mention excellent. [web](#) ; [web](#)
- 2004 – 2007 **Licence d'Archéologie.** Département d'archéologie et muséologie (Ústav archeologie a muzeologie), Université de Masaryk, Brno, République Tchèque (ÚAM MU Brno).  
Titre : "Laténské sídliště v Blansku - V Dílech" / L'habitat laténien de Blansko – « V Dílech ». Mention excellent. [web](#) ; [web](#)

#### Séjours universitaires internationaux

---

- 2015/03 – 2015/06 **UMR 6298 ARTEHIS,** Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France, Erasmus+.
- 2008/09 – 2009/06 **Facultad de Filosofía y Letras,** Universidad de Zaragoza, Espagne, LLP Erasmus.

#### Prix, distinctions et réalisations

---

- 2019/05 **Prix Jan Rulf** (Institut d'archéologie, Académie des Sciences, Prague) : 2<sup>ème</sup> place pour les années 2016–2019 (meilleur travail en archéologie pour les auteurs de moins de 36 ans). [web](#)
- 2018/06 **Prix Jacques Derrida** (Ambassade de France en République Tchèque, MBA et Karel Janeček) : 1<sup>er</sup> place pour la meilleure thèse en Sciences Humaines et Sociales. [web](#)
- 2018/06 **Premier prix de Thèse SHS PSL** (PSL Université Paris) : Mention spéciale du jury. [web](#)
- 2018/05 **Prix du Recteur d'Université Masaryk** (Université Masaryk, Brno) : Prix pour un Excellent travail de thèse. [web](#) ; [web](#) ; [web](#)



- 2012/04 **Prix Jan Rulf** (Institut d'archéologie, Académie des Sciences, Prague) : 1<sup>er</sup> place pour les années 2009–2011 (meilleur travail en Licence/Master en archéologie pour les auteurs de moins de 36 ans). [web](#)
- 2012/04 **Prix Jan Rulf** (Institut d'archéologie, Académie des Sciences, Prague) : 3<sup>e</sup> place pour les années 2009–2011 (meilleur travail en archéologie pour les auteurs de moins de 36 ans). [web](#)
- 2018/02 **Qualifié Maître de conférences** (Conseil National des Universités) :  
**Section 20** - Anthropologie biologique, ethnologie, préhistoire.  
**Section 21** - Histoire, civilisation, archéologie et art des mondes anciens et art des mondes anciens et médiévaux.
- 2016 **Déclaration d'invention & Déclaration du logiciel DACORD** (SATT Grand EST, Dijon).
- 2013 – 2016 **Bourse du Gouvernement français** (Institut Français de Prague) : doctorat en co-tutelle en France.

## Capacités linguistiques

---

|          |   |
|----------|---|
| Tchèque  | Langue maternelle.  |
| Slovaque | Courant.  |
| Français | Niveau C1 (Erasmus+ Online Linguistic Support - 2015), cours CIEF (2013/10–12). |
| Anglais  | Niveau B2 (Certificat international - 2004).                                    |
| Espagnol | Niveau B2.  |
| Polonais | Niveau B2.  |

## Expériences professionnelles - Recherche (4 ans, 2 mois)

---

- 2018 – 2020 **Chercheur** (2 ans), post-doc, KA, Université de Hradec Králové, Hradec Králové, Rép. Tchèque  
Documentation, classification et recherche automatique d'artefacts archéologiques.
- 2018 **Ingénieur de recherche** (1 mois), CNRS/UMR 6298 ARTEHIS, uBFC, Dijon.  
Traitement morphométrique et statistique des haches de l'âge du Bronze.
- 2017 **Ingénieur d'études** (2 mois), CNRS/UMR 6298 ARTEHIS, uBFC, Dijon.  
Traitement morphométrique et statistique des haches de l'âge du Bronze.
- Ingénieur d'études** (2 mois), EPHE/UMR 6282 Biogéosciences, Paris/Dijon.  
Mise en place et mise au point de scanners 3D et mise au point de protocole d'acquisition automatique sur la plateforme MorphOptics de l'UMR 6282 Biogéosciences.
- Ingénieur d'études** (1 mois), DRAC Auvergne - Rhône Alpes, Lyon.  
Acquisition 3D et traitement morphométrique et statistique des haches de l'âge du Bronze.
- Ingénieur d'études** (2 mois), CNRS/UMR 6298 ARTEHIS, uBFC, Dijon.  
Acquisition 3D et traitement morphométrique et statistique des objets dans le Musée archéologique de Dijon.
- 2015 – 2017 **Projets d'acquisition 3D en France et international.**  
Silex de Volgu, Musée Denon, Châlon-sur-Saône, France.  
Pierres à cerf, art pariétal, sanctuaires et sites archéologiques à Tsatiin Ereg et Jargalant, Mongolie (1 mois).  
Site de hauteur fortifié Guayen et art pariétal dans La Vallée des Merveilles, Monaco, France.  
Vestiges paléontologiques à Agadir, Maroc.  
Les hypogées néolithiques, Vert-Toulon, France.  
Les foies divinatoires en céramique de Mésopotamie, Musée du Louvre, Paris, France.
- 2016 **Développeur du logiciel DACORD** (3 mois), SAS SATT GRAND EST, Dijon.  
Développement du logiciel pour créer les dessins automatiques de la céramique archéologique.
- 2012 – 2013 **Ingénieur d'études** (12 mois), ÚAM FF, MU, Brno.  
Acquisition 3D des objets archéologiques, préparation des manuels pour l'enseignement.

2012 **Ingénieur d'études** (3 mois), CNRS/UMR 6298 ARTEHIS, uB, Dijon.  
Traitement morphométrique de la céramique Celtique.

### Expériences professionnelles - Enseignement (456 heures) et encadrement \_\_\_\_\_

- Depuis 2019 **Chargé de cours**, KA UHK Hradec Králové (146 heures). Niveau : Licence, Master, Doctorat.  
Sujets : (i) Iron Age in Europe, (ii) Modern quantitative methods and shape analysis in archaeology, (iii) Numérisation et modélisation 3D en archéologie.
- 2014 – 2017 **Chargé de cours**, UMR 6298 ARTEHIS & SVTE, uBFC, Dijon (182 heures). Niveau : Licence et Master.  
Sujets : (i) Morphométrie, (ii) Statistiques pour SVTE, (iii) Bases de données, (iv) Statistiques pour archéologues.
- Depuis 2013 **Chargé de cours**, ÚAM MU Brno (128 heures). Niveau : Licence, Master, Doctorat.  
Sujet : (i) Documentation spatiale des artefacts et création de modèles 3D, (ii) Statistiques pour archéologues.
- 2016 – 2017 **Encadrement de stages professionnels** (formation à la céramique celtique et au logiciel DACORD), Centre Archéologique Européen Bibracte, Glux-en-Glenne.
- 2015 **Formation des étudiants en Master et en doctorat aux techniques de photogrammétrie**, Université de Agadir, Maroc (avec L. Bouchaou, M. Masrour, H. Beraaouz et F. Monna).
- 2019 **Chargé de la création des maquettes pour enseignement d'un nouveau parcours universitaire « Digital Humanities » (niveau Bachelor équivalent à niveau Licence en France)**.  
Université de Hradec Králové, Hradec Králové, Rép. Tchèque.
- Depuis 2019 **Garant de 2 cours**. Département d'Archéologie, Université de Hradec Králové, Hradec Králové, Rép. Tchèque.
- Membre du jury - Thèse du doctorat**  
Unger, J., 2019. *Možnosti využití 3D rekonstrukčních počítačových vizualizací pro archeologii / The utilization of 3D computer reconstruction visualizations in archaeology*, Université Charles de Prague, Prague.
- Depuis 2015 **Membre des jury - Mémoires de Licence et Master**, uBFC/MU.
- Depuis 2013 **Encadrement et co-encadrement de 4 stages de Licence et Master**, uBFC/MU.  
Dhesse, P., 2015. *Modélisation et analyse tridimensionnelle : Etude de la paroi et des outils d'excavation de l'hypogée néolithique 1, à Vert-Toulon (Vert-la-Gravelle) «La Crayere» (Marne)*. Mémoire de Master. UMR 6298 ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon.  
Gala, O., 2015. *Model sídelních lokalit z doby laténské na území mikroregionu Vyškov a jejich vztah k hradišti Černov*. Mémoire de Licence. ÚAM MU Brno.  
Berini, N. 2014. *Modélisation 3D par photogrammétrie d'objets archéologiques : Methodologies et comparaisons de logiciels (Agisoft PhotoScan et Visual SFM)*. Mémoire de Master. UMR 6298 ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon.  
Rush, L., 2013. *Morphométrie des objets de l'âge du Bronze Moyen, Analyse de haches à rebords*. Mémoire de Master. UMR 6298 ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon.

### Expériences professionnelles - Archéologie de terrain (3 ans, 6 mois) \_\_\_\_\_

- 2014 **Fouilles de sauvetage et étude de post-fouille** (2 mois), sites et périodes variés, Ústav Archeologické památkové péče (ÚAPP Brno), Brno (Rép. Tchèque).
- 2011 **Inventaire et conditionnement du mobilier archéologique, saisie informatique** (2 mois), Paleotime, Dijon.

|             |  |
|-------------|--|
|             | <b>Fouilles de sauvetage</b> (2 mois), site multiculturel Villeneuve-au-Châtelot, Institut National de la Recherche Archéologique Préventive, Châlons-en-Champagne.  |
| 2009 – 2010 | <b>Dessin assisté par ordinateur des plans de sites archéologiques</b> (9 mois), ÚAPP Brno, Brno (Rép. Tchèque).   |
| 2009        | <b>Dessin assisté par ordinateur des plans de sites archéologiques</b> (1 mois), Département d'Archéologie de l'Académie de Sciences de République Tchèque (Archeologický Ústav Akademie Věd České republiky), Brno (Rép. Tchèque).                              |
| 2008 – 2009 | <b>Prospections archéologiques</b> (2 mois), Universidad de Zaragoza, Zaragoza (Espagne).<br><b>Fouilles programmées</b> (2 mois), site Bibracte - oppidum, Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, Glux-en-Glenne / ÚAM MU Brno (France / Rép. Tchèque). |
| 2004 - 2006 | <b>Fouilles de sauvetage et étude de post-fouille</b> (14 mois), sites et périodes variés, Archaia o.p.s. Brno, Brno (Rép. Tchèque).   |
| 2005        | <b>Fouilles programmées</b> (1 mois), site Těšetice - habitat néolithique, ÚAM MU Brno.  |
| 2003 – 2005 | <b>Fouilles programmées</b> (7 mois), site Chotěbuz-Podobora - habitat hallstattien et alto-médiéval, Muzeum Těšínska, Český Těšín (Rép. Tchèque).   |

## Formation continue

---

|            |   |
|------------|---|
| 2013, 2014 | <b>L'acquisition 3D et l'analyse morphométrique des objets</b> (Brno, Rép. Tchèque). Department of Anthropology, MU Brno.   |
| 2013       | <b>Using Structure from Motion-based Applications in Archaeology</b> (Wien, Autriche), IC ArchPro International Workshop.   |
| 2012       | <b>Amphores : reconnaissance et typologie</b> (Mt. Beuvray, Bibracte, France). Centre de recherche archéologique, Bibracte (Mt. Beuvray), France.   |
| 2011       | <b>Geometric Morphometrics Workshop</b> (Telč, Rép. Tchèque). The Institute of Animal Physiology and Genetics, Academy of Sciences of the Czech Republic and Department of Anthropology, MU Brno, Telč. |

## Direction des projets de recherche

---

|             |  |
|-------------|--|
| 2019 – 2021 | <b>International Research Team (IRT)</b> - « Automatic extraction and interpretation of the formation of archaeological pottery », KA UHK Hradec Králové & uB Dijon. |
|-------------|--|

## Contribution à des projets de recherche

---

|             |   |
|-------------|---|
| 2016 – 2018 | <b>Projet collectif de recherche (PCR)</b> - « Etude typologique et technologique du dépôt de Loyettes (Ain) », DRAC Auvergne - Rhône-Alpes.<br><b>Projet collectif de recherche (PCR)</b> - « Métallurgistes en France orientale au Bronze moyen (1500 avant notre ère) », DRAC Bourgogne - Franche-Comté. |
| 2014 – 2015 | <b>Projets Exploratifs Premier Soutien (PEPS)</b> - « Apport des technologies numériques à l'étude et à la restitution d'un site néolithique (VirtualNEO) ».<br><b>Projets Exploratifs Premier Soutien (PEPS-HUMAIN)</b> - « Etude Morphométrique de la Céramique Celtique (EMC2) ».                        |
| 2014 – 2015 | <b>Projets Exploratifs Premier Soutien (BQR)</b> - « Etude Morphométrique de la Céramique Celtique (EMC2) ».  |

2012 – 2013      **Projet Ministère de l'éducation, jeunesse et sports de République Tchèque** - « Innovation of Archaeology and Museology Education for Practice in the Interdisciplinary and International Frame ».

## Publications

---

### Article dans des revues à comité de lecture (9x)

Monna, F., Magail, J., Rolland, T., Navarro, J., **Wilczek, J.**, Gantulga, J.-O., Esin, Y., Granjon, L., Allard, A.-C., Chateau-Smith, C. **2020**. Machine learning for rapid mapping of archaeological structures made of dry stones – Example of burial monuments from the Khirgisuur culture, Mongolia –. *Journal of Cultural Heritage* January [Jimp, Q1] [pdf](#)

Monna, F., Navarro, J., Magail, J., Guillon, R., Rolland, T., **Wilczek, J.**, Esin, Y., Chateau, C. **2019**. Contextualization of Archaeological Information Using Augmented Photospheres, Viewed with Head-Mounted Displays. *Sustainability* 11(14): 3894, 13 p. [Jimp, Q2, IF=2.592] [pdf](#)

**Wilczek, J.**, Monna, F., Jébrane, A., Labruère-Chazal, C., Navarro, N., Couette, S., Chateau Smith, C., **2018**. Computer-assisted orientation and drawing of archaeological pottery. *Journal on Computing and Cultural Heritage*, Vol. 11, No. 4, Article 22, p.1-15. [Jimp, Q1, IF=0.6] [pdf](#)

Monna, F., Esin, Y., Magail, J., Granjon, L., Navarro, N., **Wilczek, J.**, Saligny, L., Couette, S., Chateau, C., **2018**. Documenting carved stones by 3D modelling and computational geography techniques - Case study of Mongolian deer stones. *Journal of Cultural Heritage*. [Jimp, Q1, IF=1.706] [pdf](#)

Magail, J., Monna, F., Esin, Y., **Wilczek, J.**, Yeruul-Erdene, C., Gantulga, J.-O., **2017**. Applications de la photogrammétrie à la documentation de l'art rupestre, des chantiers de fouilles et du bâti. *Missions du Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco. Bulletin Musée d'Anthropologie préhistorique de Monaco*, 56, p. 69-92. [Jost] [pdf](#)

**Wilczek, J.**, Monna, F., Gabillot, M., Navarro, N., Rusch, L., Chateau, C. **2015**. Unsupervised model-based clustering for typological classification of Middle Bronze Age flanged axes. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 3, p. 381-391. [Jimp, Q1] [pdf](#)

**Wilczek, J.**, **2015**. Hrnčířské dílny ve Višňovém. *Pravěk - Nová řada* 22/1, p. 167-256. [Jost] [pdf](#)

**Wilczek, J.**, Monna, F., Barral, Ph., Burlet, L. Chateau, C., Navarro, N. **2014**. Morphometrics of Second Iron Age ceramics - strengths, weaknesses, and comparison with traditional typology. *Journal of Archaeological Science*, 50, p. 39-50. [Jimp, Q1, IF=3.061] [pdf](#)

**Wilczek, J.**, **2013**. Laténské sídliště v Blansku - "V Dílech". *Acta Musei Moraviae - Scientiae sociales* 98/1, p. 75-108. [Jost] [pdf](#)

### Article dans des revues à comité de lecture (3x avant soumission)

**Wilczek, J.**, Monna, F., Navarro, N., Chateau-Smith, C. A computer tool for pottery fragment shape classification. *Journal on Computing and Cultural Heritage*.

Rolland, T., Monna, F., Magail, J., Esin, Y., Navarro, N., **Wilczek, J.**, Chateau, C. Documenting carved stones from 3D models. Part II - ambient occlusion to reveal carved parts. *Journal of Cultural Heritage*.

Lkebir, N., Rolland, T., Monna, F., Massrour, M., Bouchaou, L., Fara, E., Navarro, N., **Wilczek, J.**, Beeraouz, E.H., Perez-Lorenté, F. Anza palaeolithic site, Late Cretaceous. Morocco. Part III: comparison between traditional and photogrammetric records. *Journal of African Earth Sciences*.

### Direction d'ouvrage (1x)

**Wilczek, J.**, Cannot, A., Le Cozanet, T., Rémy, J. (Eds.) **2017**. Interdisciplinarity and new approaches in the research of the Iron Age. *Masarykova univerzita, Brno*, 210 p. [pdf](#); [web](#)

## Chapitre d'ouvrage (2x)

Cannot, A., Le Cozanet, T., Rémy, J., **Wilczek, J., 2017.** Introduction. In : Wilczek, J., Cannot, A., Le Cozanet, T., Rémy, (Eds.): Interdisciplinarity and new approaches in the research of the Iron Age. Masarykova univerzita, Brno, p. 7-11. [D] [pdf](#)

**Wilczek, J., 2017.** Morphometrics of (especially ceramic) Celtic artefacts - new methods of acquisition, systematization and valorisation of the past. In : Wilczek, J., Cannot, A., Le Cozanet, T., Rémy, (Eds.): Interdisciplinarity and new approaches in the research of the Iron Age. Masarykova univerzita, Brno, p. 73-76. [D] [pdf](#)

## Article dans des actes de colloques et congrès (3x)

Gabillot, M., **Wilczek, J.**, Monna, F., **2017.** La production métallique au Bronze moyen entre la Manche et les Alpes : des relations complexes entre zones-ateliers interdépendants. In : Lachenal, T., Mordant, C., Nicolas, T., Véber, C. (Eds.), Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final en Europe occidentale, de la Méditerranée aux pays nordiques (xviii-xiii siècle av. J.-C.), Colloque APRAB "Bronze 2014", Strasbourg 17 au 20 juin 2014, Collection Rhin-Meuse-Moselle 6, Strasbourg, pp. 351-362. [Jost] [pdf](#)

**Wilczek, J.**, Monna, F., Gabillot, M., Navarro, N., Rusch, L., Chateau, C. **2014.** Neřízené modely typologické klasifikace archeologických artefaktů. In : Počítačová podpora v archeologii 13, Svratka (Česká republika), p. 7-8. [Jost] [pdf](#)

**Wilczek, J.**, Monna, F., Barral, Ph., Burlet, L. Chateau, C., Navarro, N., **2013.** Morfometrie keramiky mladší doby železné - výhody, nevýhody a porovnání s tradiční typologií. In : Počítačová podpora v archeologii 12, Kočovce (Slovenská republika), p. 28. [Jost] [pdf](#)

## Matériel éducative (1x)

**Wilczek, J., 2013.** Metody 3D akvizice a jejich aplikace v archeologii. E-learning materials, Masarykova univerzita, Brno, 119 p. [pdf](#)

## Autres

**Wilczek, J., 2018.** Nouvelles approches d'acquisition, systématisation et interprétation des mobiliers archéologiques, Sur le toit – Infolettre d'ARTEHIS 3, 19-20. [pdf](#)

Esther Idris Beshirová (interview). Josef Wilczek: Instituce ve Francii jsou více provázány s univerzitami. [web](#)

## Co-organisation de colloques et édition des actes \_\_\_\_\_

2016/04 **Rencontres doctorales de l'École Européenne de Protohistoire de Bibracte**, Glux-en-Glenne.

2015/05 **Interdisciplinarité et les nouvelles approches dans les recherches sur l'âge du Fer**, Glux-en-Glenne.

## Conférences internationales \_\_\_\_\_

**Wilczek, J.**, Monna, F., M., Navarro, Chateau Smith, **2018.** Brooches in motion: tracing shape evolution in La Tène brooches by geometric morphometrics (poster). Le 10ème Symposium de Morphométrie et Evolution des Formes, Bordeaux, France, 18-20.6.

**Wilczek, J.**, Monna, F., Gabillot, M., Navarro, N. Couette, Le Carler, C., Delrieu, F., Jébrane, A., Labruère-Chazal, C., Chateau Smith, C., Tondou, M., **2017.** 3D Geometric morphometrics of Middle Bronze Age axes and ingots. MORPH2017: A Conference on the Archaeological Application of Geometric Morphometrics, Aarhus, Denmark, 4-5.5.

**Wilczek, J.,** Monna, F., Jébrane, A., Labruère-Chazal, C., Navarro, N., Couette, S., Chateau, C., **2017.** DACORD - Computer-Assisted Drawing of Archaeological Pottery (the CADAPtable system) (poster). MORPH2017: A Conference on the Archaeological Application of Geometric Morphometrics, Aarhus, Danemark, 4-5.5.

**Wilczek, J., 2016.** Du dessin automatique à l'identification des formes en 3D. De la Gaule à la Méditerranée - Perception des phénomènes d'acculturation au travers de la céramique. Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, Glux-en-Glenne, France, 18.11.

**Wilczek, J., 2016.** Quelques nouvelles approches pour dessiner et classer la céramique celtique. Ite Rencontres Doctorales de l'EEPb, Glux-en-Glenne, France, 27.-28.5.

**Wilczek, J., 2016.** L'habitat laténien de Višnové (poster). Ite Rencontres Doctorales de l'EEPb, Glux-en-Glenne, France, 27.-28.5.

**Wilczek, J.,** Monna, F., Barral, P., Jébrane, A., Navarro, N., Couette, S., Guichard, V., Bolte, J., **2015.** Etude morphométrique de la céramique celtique (EMC2). 39e colloque international de l'Association Française pour l'Etude de l'Age du Fer, Nancy, France, 14.-17.5.

Gabillot, M., Monna, F., **Wilczek, J.,** Cattin, F., Forel, B., Alibert, P., Dommergues, C.-H., Laffont, R., Navarro, N., Chateau, C., Jebrane, A., Camizuli, E., Gerber, S., Lagarde-Cardona, C., Petit, C., 2014. Middle Bronze Age metalworking from the english Channel to the Alps: complex relationships between interdependent manufacturing areas. « Le Bronze moyen et l'origine du Bronze final 2014 », Strasbourg, France, 17.-20.6.

**Wilczek, J.,** Monna, F., Gabillot, M., Navarro, N., Rusch, L., Chateau, C., **2014.** Unsupervised models for typological classification of archaeological artefacts. Le 8ème Symposium de Morphométrie et Evolution des Formes, Dijon, France, 2.-3.6.

**Wilczek, J.,** Monna, F., Gabillot, M., Navarro, N., Rusch, L., Chateau, C., **2014.** Neřízené modely typologické klasifikace archeologických artefaktů. Počítačová podpora v archeologii 13, Svratka, République Tchèque, 28.-30.5.

**Wilczek, J.,** Monna, F., Barral, P., Burlet, L., Chateau, C., Navarro, N., **2013.** Morfometrie keramiky mladší doby železné - výhody, nevýhody a porovnání s tradiční typologií. Počítačová podpora v archeologii 12, Kočovce, Slovaquie, 22.-24.5.

**Wilczek, J., 2011.** Laténské sídliště ve Višnové (poster). Keltové 2011, 12. mezinárodní konference - Doba laténská v Čechách, na Moravě a na Slovensku, přehrada Slapy, République Tchèque, 22.-27.5.

**Wilczek, J., 2011.** Prostorové analýzy laténských sídelních areálů v povodí reky Jevišovky. Počítačová podpora v archeologii, Dalešice, République Tchèque, 18.-20.5.

**Wilczek, J., 2008.** Laténské sídliště v Blansku-Dílech. Keltové 2008, 9. mezinárodní konference - Doba laténská v Čechách, na Moravě a na Slovensku, Roztoky u Křivokláta, République Tchèque, 13.-16.5.

**Wilczek, J., 2007.** Pozdně laténské sídliště v Blansku. Třetí mezinárodní protohistorická konference, Mikulov, République Tchèque, 29.10-2.11.

## Communications et interventions scientifiques (sélection)

---

**Wilczek, J. 2018.** DACORD, Computer-assisted Drawing of Archaeological Pottery. ENS, Paris, France, 18.12.

**Wilczek, J. 2018.** Documentation, classification et recherche automatique d'artefacts archéologiques. Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, Glux-en-Glenne, France, 25.9.

**Wilczek, J. 2018.** Morphométrie géométrique des objets archéologiques. OpenLabs, ARTEHIS, Dijon, France, 26.3.

**Wilczek, J. 2018.** Brooches in motion: tracing shape evolution in La Tène brooches from Central Europe. Biogeosciences, Dijon, France, 12.2.

**Wilczek, J. 2017.** Le système DACORD - Dessin assisté de la céramique par ordinateur. Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, Glux-en-Glenne, France, 16.10.

Gabillot, M., **Wilczek, J.** 2017. Le dépôt de haches de l'âge du bronze de Granges-sous-Grignon. Musée archéologique de Dijon, Dijon, France, 12.10.

**Wilczek, J.,** 2017. DACORD - Dessin Assisté de la Céramique par ORDinateur, Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, Glux-en-Glenne, France, 30.3.

**Wilczek, J.,** 2016. Dessin Assisté de la Céramique par ORDinateur (DACORD). Institut National de Recherches Archéologiques Préventives, Paris, France, 4.4.

**Wilczek, J.,** 2016. Un nouvel outil pour l'acquisition et la restitution des profils de céramique. Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, Glux-en-Glenne, France, 25.3.

**Wilczek, J.,** 2016. A co když se to udělá samo? Ústav archeologie a muzeologie FF MU Brno, Brno, Rép. Tchèque, 29.1.

Monna, F., **Wilczek, J.,** Barral, P., Jébrane, A., Navarro, N., Couette, S., Guichard, V., Bolte, J., **2015.** Etude Morphométrique de la Céramique celtique. Centre national de la recherche scientifique, Paris, France, 5.2.

**Wilczek, J.** 2015. Etude Morphométrique de la Céramique celtique, Université de Bourgogne, Dijon, France, 19.10.

**Wilczek, J.** 2015. Quelques applications de la Morphométrie géométrique en archéologie, Université de Bourgogne, Dijon, France, 2.10.

**Wilczek, J.** 2015. 3D scanneurs en archéologie, Université de Bourgogne, Dijon, France, 13.2.

**Wilczek, J.** 2014. Využití statistiky a metod geometrické morfometrie pro klasifikaci keramiky, Univerzita Karlova, Praha, Rép. Tchèque, 16.4.

**Wilczek, J.** 2014. L'oppidum Hrazany et la fonction des sites de hauteurs fortifiés de l'époque laténienne en Bohême (et Moravie), Université de Bourgogne, Dijon, France, 20.1.

**Wilczek, J.** 2013. Morphométrie des céramiques du second âge du Fer - forces, faiblesses et comparaison avec l'approche traditionnelle de la typologie céramique, Université de Bourgogne, Dijon, France, 7.10.

## Compétences \_\_\_\_\_

**Statistiques (plus que 10 ans) :** R, PAST, STATISTICA, IBM SPSS Statistics

**Programmation (5 ans) :** Java, Python, C++, HTML, ...

**Graphisme 3D (plus que 10 ans) :** 3D Studio MAX, Blender, Rhinoceros

**3D scanners (9 ans) :** Mephisto, NextEngine, Artec Leo, Artec Eva, Artec Spyder, Vectra, Microscan, MatterForm, 3DSense, Shining 3D, David, Atos 2M, S660E Keyence, ...

**Photogrammétrie (9 ans) :** Metashape/PhotoScan, VisualSfM, 3D SOM

**SIG (plus que 10 ans) :** ArcGIS, Quantum GIS, IDRISI, SAGA, R

**Bases de données (plus que 10 ans) :** MS Access (VBA Scripts), File Maker

**Morphométrie géométrique (plus que 10 ans) :** TPS, IMP, MorphoJ, Shape, Morphologica, R

**Graphisme (plus que 10 ans) :** GIMP, Corel DRAW Graphic Suite, Suite Adobe (Photoshop, Illustrator, InDesign)

**Bureautique (plus que 10 ans) :** MS Office, Open Office, Debian, Ubuntu

**Pilotage du drone (4 ans)**

## ANNEXE II : Détails sur les cours enseignés

### 1. Documentation spatiale des artefacts et création de modèles 3D (ÚAM, Université Masaryk, Brno)

L'objectif principal de ce cours est de présenter aux étudiants de nouvelles méthodes de documentation 3D en archéologie. À la fin de ce cours, les étudiants seront capables de créer eux-mêmes des modèles 3D d'objets archéologiques par scanner 3D et photogrammétrie. Les supports théoriques et techniques (manuels, tutoriels...) seront disponibles en e-learning, la partie pratique du cours (ateliers) sera focalisée sur la documentation 3D de différents types d'artefacts.

Programme : 1. Introduction (plan du cours, formation théorique et technique) ; 2. Formation pratique avec scanner 3D (étalonnages, etc.) ; 3. Numérisation des artefacts (poterie I) ; 4. Numérisation des artefacts (poterie II) ; 5. Numérisation des artefacts (petites artefacts - broches, monnaies, autres mobilier métalliques I) ; 6. Numérisation des artefacts sélectionnés (petites artefacts - broches, monnaies, autres mobilier métalliques II) ; 7. Numérisation des artefacts (artefacts de grande taille I) ; 8. Numérisation des artefacts (artefacts de grande taille II) ; 9. Méthodes de la photogrammétrie (principes, formation, tests) ; 10. Méthodes de photogrammétrie (poterie et objets plus grands) ; 11. Méthodes de photogrammétrie (mobilier métalliques et d'autres petites objets) ; 12. Finalisation des projets individuels (consultations) ; 13. Examen.

Site-web officiel : [https://is.muni.cz/predmet/phil/podzim2013/AEB\\_141?lang=en](https://is.muni.cz/predmet/phil/podzim2013/AEB_141?lang=en)

### 2. Statistiques pour archéologues (ÚAM, Université Masaryk, Brno)

L'objectif du cours est de présenter les méthodes statistiques de base utilisées en archéologie récente. Le cours couvrira principalement l'utilisation de graphiques et de tests d'hypothèses. A la fin de ce cours, les étudiants seront capable de : (i) comprendre les termes statistiques de base ; (ii) calculer et interpréter les valeurs de la tendance centrale ; (iii) créer les graphiques de base et les interpréter ; (iv) interpréter les distributions de variables ; (v) calculer et interpréter la corrélation entre les variables ; (vi) calculer le modèle de régression linéaire et l'utiliser pour prédiction ; (vii) définir l'hypothèse nulle et alternative ; (viii) comprendre la distribution de probabilité, la signification statistique et les bases des statistiques inférentielles ; (ix) utiliser les tests paramétriques de base (t-test pour les échantillons indépendants et dépendants, t-test pour les coefficients de corrélation et l'analyse de la variance) ; (ix) comprendre le traitement des données statistiques dans MS Excel, PAST et StatSoft Statistika.

Programme : 1. Les termes statistiques ; 2. Types de variables ; 3. Statistiques descriptives et inférentielles ; 4. Statistiques descriptives (tableaux de fréquences, graphiques, caractéristiques de la tendance centrale, caractéristiques de la variabilité, distribution) ; 5. Corrélation ; 6. Régression linéaire ; 7. La distribution de probabilité ; 8. Hypothèses et leurs tests ; 9. Tests paramétriques statistiques unidimensionnels (t-test pour les échantillons indépendants et dépendants, t-test pour les coefficients de corrélation, ANOVA).

Site-web officiel : [https://is.muni.cz/predmet/phil/jaro2018/AEB\\_105?lang=en](https://is.muni.cz/predmet/phil/jaro2018/AEB_105?lang=en)

### 3. Bases de données (ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon)

L'objectif de ce cours est de présenter l'utilisation des bases de données et de la statistique descriptive en archéologie. Les étudiants seront amenés à concevoir différents types de bases de données pour différents objectifs (par exemple pour inventaire, bibliographie, gestion, recherche). Ils seront amenés à créer des tableaux et graphiques descriptifs de données quantitatives et qualitatives. Les bases de données pratiques seront faites principalement en MS Access, les statistiques en MS Excel et en PAST, qui est un logiciel libre.

Programme : 1. Bases de données. Introduction aux bases de données dans MS Access, types de variables, tableaux, importations ; 2-4. Bases de données. Exercices avec formulaires (formulaires avec 1, 2 et 3 niveaux) ; 5. Introduction de statistiques pour les archéologues. Définitions, logiciels, variables, statistiques descriptives, graphiques ; 6. Introduction de statistiques pour les archéologues. Statistiques descriptives, distributions, tendances centrales, variance, écart-type, coefficient de variation ; 7. Examen.

Site-web : <https://jwilczek.com/teaching/licence-3-archeo-bases-des-donnees/>



#### 4. Statistiques (SVTE, Université de Bourgogne, Dijon)

L'objectif du cours est de présenter les termes statistiques et tests statistiques de base. A la fin de cours, l'étudiant sera capable de : (i) comprendre les termes statistiques de base ; (ii) définir l'hypothèse nulle et alternative ; (iii) comprendre les distributions de probabilité, la signification de la signification statistique et les bases des statistiques inférentielles ; (iv) utiliser les tests paramétriques de base (t-test pour les échantillons indépendants et dépendants et l'analyse de la variance).

Programme : 1. Bases. Distribution normale, intervalles de confiance ; 2. Hypothèses et leurs tests. Introduction aux hypothèses, tests statistiques paramétriques unidimensionnels, t-test pour échantillons indépendants ; 3. Quelques autres tests. t-test pour échantillons dépendants, ANOVA, exercices.

Site-web : <https://jwilczek.com/teaching/l3-pro-statistiques/>

#### 5. Morphométrie géométrique en archéologie (ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon)

L'objectif du cours est d'apprendre à exprimer et à traiter de manière quantitative les informations de la forme des objets archéologiques. À la fin de ce cours, les étudiants devraient être en mesure de choisir la méthode appropriée pour une question donnée et de procéder de manière autonome à la collecte, à la préparation et à la standardisation des données pour effectuer le calcul des variables de forme (*shape variables*). Une partie essentielle du cours sera consacrée à l'application des statistiques inférentielles et multidimensionnelles (PCA, CA, DA, Model Based CA, Model Based DA, ANOVA, MANOVA).

Programme : 1. La terminologie morphométrique de base ; 2. Collecte de données (acquisition de données 2D / 3D) ; 3. Préparation des données (analyse de Bookstein, méthodes Procrustes, méthodes de régression, méthodes de Fourier) ; 4. Traitement des données morphométriques (analyse en composantes principales, analyse discriminante) ; 5. Application de la morphométrie en archéologie (création de *morphospace*, classification, comparaison de groupes, prédiction, ...) ; 6. Études de cas (modèles non supervisés pour la classification des objets archéologiques) ; 7. Exercices pratiques.

Site-web : <https://jwilczek.com/teaching/m2-ages-morphometrie/>

#### 6. Statistiques pour archéologues (ARTEHIS, Université de Bourgogne, Dijon)

L'objectif du cours est d'évaluer la capacité des étudiants à résoudre un problème de recherche *via* des méthodes statistiques de manière autonome. Le cours est composé de deux sessions. Lors d'une première session, un problème de recherche donné et un ensemble de questions sont présentés. Les étudiants ont ensuite plusieurs semaines pour trouver une solution et élaborer le rapport sous forme d'article scientifique de trois à cinq pages. Au cours de la deuxième session, les étudiants présentent et discutent leurs résultats.

Programme : 1. Présentation du projet ; 2. Présentation des résultats du projet et discussion.

Site-web : <https://jwilczek.com/teaching/m1-ages-statistiques/>

#### 7. Méthodes quantitatives modernes et analyse de forme en archéologie (KA, Université de Hradec Králové)

Le cours a pour objectif de présenter les méthodes quantitatives modernes d'étude de la forme des objets archéologiques. Les étudiants seront familiarisés avec les méthodes morphométriques géométriques traditionnelles et modernes (analyse des *landmarks* 2D / 3D, analyses des contours ouverts ou fermés, *etc.*). Une partie essentielle du cours sera consacrée aux techniques récentes d'acquisition de formes (scan 3D, photogrammétrie, *etc.*), suivies du traitement statistique des données morphométriques. À la fin du cours, les étudiants devraient être en mesure de choisir une méthode appropriée pour résoudre diverses questions archéologiques concernant diverses productions d'artefacts (pierre, céramique, métal), datées de différentes périodes chronologiques.

Programme : 1. Introduction à la morphométrie. Brève introduction aux méthodes morphométriques traditionnelles et modernes ; 2. Techniques d'acquisition. Méthodes récentes (et les plus utiles) pour l'acquisition de formes d'objets 2D et 3D ; 3. Dessins automatiques d'objets archéologiques. Méthodes et outils pour le dessin (semi-)automatique d'objets archéologiques ; 4. Applications des statistiques et de la morphométrie. Bref aperçu des statistiques. Statistiques utilisées pour le traitement des informations de la forme ; 5. Analyse de *landmarks* 2D I - théorie. Étude de cas de céramiques, des monnaies romaines, de flèches paléolithiques et des fibules de l'âge du Fer ; 6. Analyses de *landmarks* 2D II - pratique. Exercices ; 7. Analyses de *landmarks* 3D I - théorie. Nouvelles méthodes d'analyse de forme basées sur la méthode d'ICP 3D. Étude de cas sur des lingots de l'âge du Bronze ; 8. Analyse des *landmarks* 3D II pratique. Exercices ; 9. Aperçu des autres méthodes morphométriques - théorie. Analyses des contours ouverts et fermés. Étude de cas sur des haches à rebord de l'âge du Bronze, étude de cas sur des céramiques d'âge du Fer ; 10. Aperçu des autres méthodes morphométriques - pratique. Exercices.

Site-web officiel :

[https://stag.uhk.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc\\_pagenavigationalstate=AAAAAQAGMjlzOTkwEwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjlzMzcyMDM2ODUONzc1NDU3AAAAAA\\*\\*&pc\\_lang=en](https://stag.uhk.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAGMjlzOTkwEwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjlzMzcyMDM2ODUONzc1NDU3AAAAAA**&pc_lang=en)

## 8. Âge du Fer en Europe (KA, Université de Hradec Králové)

L'objectif de ce cours est de présenter et de discuter de nouvelles découvertes et thématiques de recherche en archéologie de l'âge du Fer. Les étudiants seront initiés aux thématiques liés à l'émergence d'entités archéologiques/culturelles européennes, à leur développement social et économique, à leurs relations et interactions, aussi bien qu'à leur déstabilisation et/ou transformations finales. Le cours va se focaliser sur les problématiques liées à la complexité et aux limitations des certaines approches méthodologiques concernant par exemple la chronologie, les zones funéraires ou autosuffisance économiques des *oppida*. Le cours va également présenter quelques nouvelles découvertes et thématiques de recherche sur l'âge du Fer en Europe. Le contexte théorique sera complété par la présentation de plusieurs études de cas.

Programme : 1. Introduction. Caractérisation de l'âge du Fer dans le contexte européen ; 2. Ethnicité, dogme et politique. Le rôle de l'archéologie, de l'histoire et de la politique sur la compréhension de l'âge du Fer. ; 3. Inventions à l'âge du Fer. Inventions dans la production matérielle ; 4. Art, artisanat et beauté à l'âge du Fer ; 5. La vie à l'âge du Fer. Villages, forts sur des collines, *oppida* et centres de productions ; 6. Mort à l'âge du Fer I. Témoignages et transformations des zones funéraires I ; 7. Mort à l'âge de Fer II. Témoignages et transformations des zones funéraires II ; 8. Culte à l'âge du Fer. Témoignages de pratiques rituelles et religieuses à l'âge du Fer ; 9. Temps de guerre. Témoignages de guerre et de conflits à l'âge du Fer ; 10. À l'intérieur et à l'extérieur. Contacts, commerce et civilisation de la Méditerranée.

Site-web officiel :

[https://stag.uhk.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc\\_pagenavigationalstate=AAAAAQAGMjlzOTkwEwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjlzMzcyMDM2ODUONzc1MzU2AAAAAA\\*\\*&pc\\_lang=en](https://stag.uhk.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAGMjlzOTkwEwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjlzMzcyMDM2ODUONzc1MzU2AAAAAA**&pc_lang=en)

## 9. Numérisation et modélisation 3D en archéologie (KA, Université de Hradec Králové)

L'objectif du cours est de familiariser les étudiants avec les méthodes, les principes et les dispositifs utilisés pour créer le modèles 3D des chantiers et des artefacts archéologiques (par exemple objets, bâtiments ou paysage culturelle). Les cours comprennent les parties théoriques et pratiques. La partie théorique se focalise sur la présentation des méthodes d'acquisition 3D (par exemple, les scanners de triangulation laser, la lumière structurée, la tomodynamométrie, la photogrammétrie). La partie pratique consiste en la numérisation des artefacts archéologiques de différentes tailles (poterie, statuette, bâtiments, paysage).

Programme : 1. Introduction ; 2-4. Théorie I-III. Méthodes actives d'acquisition 3D, méthodes passives d'acquisition 3D, notions d'acquisition 3D et de post-traitement ; 5-7. Numérisation pratique des artefacts I-III ; 8-10. Reconstruction 3D pratique par photogrammétrie I-III ; 11-12. Modélisation pratique en terrain I-II. Acquisition et post-traitement ; 13. Examen et discussion finale.

Site-web officiel :

[https://stag.uhk.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc\\_pagenavigationalstate=AAAAAQAGMjlzOTkwEwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjlzMzcyMDM2ODUONzc1NDk5AAAAAA\\*\\*&pc\\_lang=en](https://stag.uhk.cz/portal/studium/prohlizeni.html?pc_pagenavigationalstate=AAAAAQAGMjlzOTkwEwEAAAABAAhzdGF0ZUtleQAAAAEAFc05MjlzMzcyMDM2ODUONzc1NDk5AAAAAA**&pc_lang=en)

## ANNEXE III : Résumé de la thèse de doctorat

### Nouvelles approches d'acquisition, systématisation et d'interprétation des mobiliers archéologiques<sup>11</sup>

(New approaches for the acquisition, systematisation and interpretation of archaeological artefacts)

#### Introduction

L'univers qui nous entoure est composé d'innombrables éléments. À la plus grande échelle, il est composé de galaxies, de systèmes solaires et de planètes, à une échelle plus humaine, il est composé de structures naturelles, d'organismes biologiques et d'objets anthropiques. Enfin, à la plus petite échelle, il est composé de molécules, d'atomes, de protons, d'électrons et de quarks. Tous ces systèmes et structures sont interdépendants, subissant constamment des changements profonds dans leurs caractéristiques, ainsi même les structures considérées comme stables sont affectées par le changement au fil du temps (Reeves et al., 2016).

L'identification, la caractérisation et la dénomination de ces structures peuvent être considérées comme des activités spécifiquement humaines. Elles sont partagées, copiées et transmises au sein d'une civilisation ou d'une culture donnée – par la perception collective – de manière similaire à la transmission de matériel génétique, sous forme de gènes. Ce phénomène a été introduit par Dawkins (1976) dans les années 1970 avec la notion de *mème* défini comme « *an element of a culture or system of behaviour passed from one person to another by imitation or other non-genetic means* »<sup>12</sup> (Oxford Living Dictionaries, 2017 ; voir aussi Blackmore, 1999, p. 46). À chaque instant, tous les mèmes existants dans la population forment un ensemble de pensées nommées « pool mémétique » (*meme pool* ; Dawkins, 1976). Ainsi, dans la théorie de Dawkins, les humains copient des idées, des compétences et des comportements par l'imitation et l'apprentissage. Ce processus génère des variations, soit en raison d'une erreur, soit par des changements volontaires, soit par la créativité.

Dans le contexte de l'histoire de la science, la notion de mème peut être comparée à celle de paradigme, définie comme : « *...what the members of a scientific community share* »<sup>13</sup> (Kuhn, 1977, p. 294) ou « *... the universally recognized scientific discoveries that, for a time, provide typical problems and solutions to a community of researchers* »<sup>14</sup> (Kuhn 2008, p. 11). Dans la communauté archéologique, plusieurs mèmes ou paradigmes (évolutifs, historico-culturelle, processuels et post-processuels) peuvent coexister dans le même pool mémétique.

Il existe un élément qui relie tous les paradigmes en archéologie : la forme. L'importance de la forme pour les Hommes provient de leurs perceptions cognitives – la forme d'un objet dans le monde réel peut être déduite principalement par la vue et le toucher. L'identification et la classification des objets et structures naturelles par leur couleur et leur forme ont été et sont toujours essentielles pour la survie de l'Homme.

En archéologie, la forme de l'artefact fournit des informations précieuses sur la chronologie, les modèles socio-économiques et l'identité socioculturelle. Ces informations peuvent être obtenues en identifiant les schémas structurels et relationnels entre les artefacts, en fonction de leurs positions spatiales et temporelles et de leurs

---

<sup>11</sup> Pour la version de la thèse en ligne : [https://is.muni.cz/th/xkprb/Plny\\_text\\_prace\\_bez\\_kapitoly\\_3\\_?lang=en](https://is.muni.cz/th/xkprb/Plny_text_prace_bez_kapitoly_3_?lang=en)

<sup>12</sup> « un élément de la culture ou du système d'un comportement transféré d'une personne à une autre par imitation ou par un autre moyen non-génétique »

<sup>13</sup> « ... que les membres de la communauté scientifique partagent »

<sup>14</sup> « les découvertes scientifiques universellement reconnues qui, pendant un certain temps, fournissent des problèmes et des solutions typiques à une communauté de chercheurs »

aspects formels intrinsèques (ces aspects peuvent être par exemple la forme, la décoration, la méthode de fabrication ou la composition du matériau).

L'outil fondamental pour évaluer l'organisation formelle des artefacts est la taxonomie, la classification, et la typologie. L'élément essentiel de la typologie est le type, défini comme : « *a class of artefacts defined by the clustering of attributes* »<sup>15</sup> (Renfrew et Bahn, 2012, p. 584). Traditionnellement, le type est censé représenter une forme idéale à laquelle tous les artefacts doivent être comparés (Lestrel, 2000, p. 86).

Bien que des typologies aient été adoptées et soient utilisées avec succès pour organiser de nombreuses catégories différentes d'artefacts (p. ex., la céramique, les lithiques et les bijoux), leurs conceptions et applications font parfois l'objet de débats (p. ex., Rouse, 1960 ; Hayden, 1984 ; Adams et Adams, 1991).

Les typologies sont initialement intuitives, basées sur l'expérience du chercheur. Cette expérience est acquise au fil du temps, par l'exposition à de nombreux artefacts, et donc difficiles à reproduire par d'autres chercheurs qui ne partagent pas exactement la même expérience et exposition, même dans le même pool mémétique. Les typologies, également pour une classe d'artefacts similaire, peuvent aussi varier d'une région à l'autre, car plusieurs mêmes ou paradigmes archéologiques différents peuvent coexister. L'ensemble des descripteurs utilisés pour établir une typologie est généralement basé sur un corpus donné d'artefacts et a été construit pour tenir compte des spécificités et des variations existant dans ce corpus, ceci afin de fournir une classification exhaustive qui comprend tous les artefacts dans le corpus. Au fur et à mesure des découvertes archéologiques et de nouveaux artefacts, il devient souvent nécessaire d'étendre la typologie existante en introduisant de nouveaux descripteurs ou variantes. La création de typologies est donc dans une certaine mesure un processus sans fin.

Dans le même temps, les techniques d'illustration peuvent varier d'un expert à un autre, ce qui rend difficile le partage efficace des données interprétées entre les communautés. L'acquisition manuelle de données permettant de classer les artefacts dans une typologie est un processus fastidieux et long. Le temps requis pour enregistrer de manière exhaustive les nombreux artefacts résultant d'une excavation archéologique signifie souvent que tous les artefacts ne sont pas enregistrés, limitant ainsi encore plus l'information disponible pour la recherche. Cela est d'autant plus vrai pour l'artefact le plus découvert lors des fouilles archéologiques : la céramique.

Bien que des milliers d'artefacts soient enregistrés dans de grandes bases de données, il n'existe toujours pas d'outil analytique qui puisse être utilisé pour les classer dans les classes typologiques existantes (types), ni même pour identifier la meilleure analogie pour un fragment donné. En outre, pour de nombreux artefacts, notamment la céramique, le niveau de préservation rend difficile l'attribution d'un type à un fragment, réduisant ainsi la quantité d'informations disponibles pour l'interprétation.

Ainsi, les objectifs de cette thèse de doctorat sont d'étudier l'acquisition et la systématisation de formes d'artefacts pour leur interprétation archéologique. Plusieurs solutions innovantes méthodologiques et techniques sont proposées pour les différents problèmes mentionnés ci-dessus.

La thèse est composée d'une introduction (chapitre 1), suivie de trois chapitres présentant les méthodes proposées pour simplifier plusieurs tâches clés nécessaires à l'illustration, à l'identification, à la reconstruction et à l'interprétation de l'artefact. Le reste de ce volume se compose de trois chapitres présentant des études de cas traitant de la classification axée sur la forme de différents types d'artefacts, suivis d'une conclusion générale, résumant les principaux résultats et avantages des méthodes employées dans ce travail.

Le deuxième chapitre – La morphométrie géométrique en archéologie – donne un aperçu de la morphométrie géométrique, thème général et orientation de cette thèse. Le but de ce chapitre est de fournir une brève introduction

---

<sup>15</sup> « une classe d'artefacts définie par un groupe d'attributs »

à la morphométrie et ses applications pour l'étude de la forme de l'artefact en archéologie : de l'acquisition à l'analyse statistique des données de forme.

La qualité des données utilisées dans les analyses morphométriques revêt une importance cruciale. Comme dit précédemment, dessiner des artefacts, en particulier des fragments de poterie, est un processus long et fastidieux. Le but de ce troisième chapitre – Computer-Assisted Drawing of Archaeological Pottery – est donc de présenter et de tester une méthode (semi-automatique) d'acquisition de données de forme de poterie. Ces méthodes sont incluses dans un système logiciel, DACORD, récemment développé en collaboration entre chercheurs de l'Université de Bourgogne Franche-Comté à Dijon (France) et Masarykova univerzita à Brno (République Tchèque).

Le quatrième chapitre – Reconstructing the past from fragments – présente une série de processus pour classer les fragments de poterie, dont deux sont probabilistes.

Le cinquième chapitre – Morphometrics of Second Iron Age ceramics - strengths, weaknesses, and comparison with traditional typology – est une étude de cas comparant la morphométrie géométrique avec deux approches traditionnelles pour la classification morpho-typologique de la céramique.

Le sixième chapitre – Unsupervised model-based clustering for typological classification of Middle Bronze Age flanged axes – est une étude de cas des haches de l'Âge du Bronze Moyen, confirmant la validité de la typologie générique existante et présentant une classification non-supervisé à base de forme plus fine pour le même corpus.

Le septième chapitre – Brooches in motion: tracing shape evolution in La Tène brooches by geometric morphometrics – est une étude de cas des fibules de La Tène, reconstituant l'évolution de leur forme au fil du temps.

Enfin, le huitième et dernier chapitre – Conclusion – résume les aspects les plus importants de cette exploration de la forme dans les artefacts archéologiques, dans le contexte de la morphométrie géométrique.

Chacun des cinq chapitres centraux (chapitres 3 à 7) est présenté sous la forme d'un article scientifique, dont trois ont déjà été publiés (chapitres 3, 5 et 6).

### **Matériaux et méthodes**

Afin de couvrir le spectre le plus vaste d'artefacts d'un point de vue chronologique et géographique, les bases de données pour les études de cas et pour tester les processus proposés, ont été choisies parmi des artefacts bien documentés et accessibles, de régions d'Europe centrale et occidentale. Les données ont été recueillies à partir de la littérature disponible sous la forme d'images 2D, ou par des modèles 3D d'artefacts, acquis directement à partir de collections de musées ou d'institutions.

Les chapitres ont plusieurs objectifs différents, tous nécessitant l'application, l'adaptation ou le développement de diverses méthodes utilisées dans la morphométrie géométrique, les statistiques multivariées et la géographie.

La morphométrie est souvent considérée comme l'étude de la variation de la forme et sa covariance avec d'autres variables (Bookstein, 1991 ; Dryden et Mardia, 1998 ; Adams et al., 2004). L'élément commun de toutes ces méthodes est qu'elles représentent la forme d'un artefact de manière quantitative continue, sous la forme de variables de forme. Ces variables de forme caractérisent la forme de l'artefact, tout comme sa composition chimique caractérise les éléments qui la composent. Elles peuvent également exprimer la quantité et les directions de transformation de la forme nécessaire pour métamorphoser la forme d'un objet donné dans celui d'un autre.

Une introduction à la morphométrie et ses applications pour l'étude de la forme sont fournies au chapitre 2. Plusieurs méthodes morphométriques géométriques, basées sur l'étude des contours ouverts (Transformée en cosinus discrète ; p. ex., Dommergues et al., 2007), des contours fermés (Elliptic Fourier Analysis, Kuhl et Giardina, 1982), des landmarks (General Procrustes Analysis, Gower, 1975) ou des traits non homologues (Algorithme itératif du point proche, Besl et McKay, 1992), sont utilisées dans les chapitres 4, 5, 6 et 7.

Plusieurs méthodes statistiques multivariées ont été utilisées dans cette thèse, telles que l'Analyse en composantes principales (Principal Component Analysis ; p. ex., Jolliffe, 2002), Analyse en coordonnées principales (Principal Coordinate Analysis ; p. ex., Legendre et Legendre, 1998), Model-Based Cluster Analysis (p. ex., Fraley et Raftery, 2002), Model-Based Discriminant Analysis (p. ex., Fraley et Raftery, 2002), Analyse discriminante linéaire (Linear Discriminant Analysis ; p. ex., McLachlan, 1992), Analyse de variance multivariée (Multivariate Analysis of Variance), Self-Organised Maps (p. ex., Kohonen, 2001), Multivariate Regression (p. ex., Drake et Klingenberg, 2008) et PROcrustean Randomization TEST (Jackson, 1995).

Les sites géographiques des artefacts dans cette thèse ont été cartographiés en utilisant les systèmes d'information géographique (SIG ; p. ex., Conolly et Lake, 2006). Les répartitions spatiales des artefacts ont en outre été cartographiées en appliquant une fonction kernel gaussienne (Gaussian kernel function ; Baxter et al., 1997). La signification statistique des groupes géographiques a été testée à l'aide du modèle statistique d'analyse Multinomial (Multinomial scan statistics ; Jung et al., 2007).

### **Résultats et Conclusion**

Les objectifs de ce projet de doctorat étaient de proposer de nouvelles solutions méthodologiques et techniques pour l'acquisition, la systématisation et l'interprétation des artefacts archéologiques, en fonction de leur forme. Le processus d'acquisition a été discuté dans le chapitre consacré au programme DACORD, tandis que la systématisation et l'interprétation des artefacts archéologiques basés sur la forme ont été discutés dans les autres chapitres.

#### *Acquisition*

Le logiciel informatique DACORD, développé au cours de ce projet, fournit plusieurs processus par lesquels un fragment peut être orienté et dessiné. Tout processus sélectionné par l'opérateur peut être entièrement automatisé. Le taux de réussite du flux de production entièrement automatique de l'orientation de la céramique est de 91% sur des données synthétiques. Il est de 69% sur les fragments archéologiques, toutefois, lorsque l'artefact est pré-orienté manuellement, le taux de réussite atteint près de 100%.

Les graphiques issus de DACORD correspondent à la plupart des normes et standards utilisés dans l'illustration traditionnelle de la poterie. Le fragment peut être tracé en mode linéaire, photographique ou ombré, auquel on peut ajouter l'échelle, l'indicateur de conservation et les mesures de base. Le système produit des graphiques qui ne peuvent pas être obtenus par des méthodes conventionnelles. Par exemple, le contrôle visuel de la symétrie de la poterie permet à l'opérateur de vérifier l'orientation des fragments, et l'étude des irrégularités peut donner une meilleure idée des différents modes de production de la poterie. Les dessins produits par le système peuvent servir à établir des typologies et peuvent également être utilisés pour le catalogage et l'archivage de données dans des formats numériques, ce qui augmente la quantité d'informations partageables disponible pour la communauté archéologique.

De l'acquisition du modèle 3D par l'orientation du fragment, à l'illustration graphique, l'ensemble du processus ne prend pas plus de 10 minutes, quelle que soit la complexité du fragment. Le système peut gérer tous les types de poteries archéologiques, fabriqués à la main ou tournés, et peut reproduire des fragments de n'importe quelle partie de la poterie (bord, panse et fond), quelle que soit la période chronologique.

La grande amélioration apportée par ce système est la vitesse du traitement, la reproductibilité et l'augmentation de la disponibilité, de la qualité et de la quantité d'informations valides découlant des données enregistrées dans le corpus existant d'objets archéologiques.

Bien que DACORD ait été conçu à l'origine pour orienter et dessiner des poteries archéologiques, des tests supplémentaires (non présentés ici) ont confirmé qu'il peut traiter une gamme encore plus large d'objets archéologiques, y compris les éléments lithiques et les haches de l'âge du Bronze.

### *Systematisation*

L'aspect de la systématisation dans ce travail a été présenté par la proposition de processus d'identification de la forme la plus similaire aux fragments de poterie dans les bases de données de référence (chapitre 4), et par la proposition et la démonstration de la classification non-supervisée des différents types d'artefacts (chapitre 5 et 6).

#### *Proposition de processus d'identification de la forme la plus similaire aux fragments de poterie dans les bases de données de référence*

Dans le chapitre 4 (Reconstructing the past from fragments), trois processus ont été proposés pour identifier la meilleure analogie et pour classer des fragments de poterie. Les processus proposés permettent un contrôle complet des critères utilisés pour identifier les analogies et pour la classification. En prédéfinissant les critères, ces trois processus peuvent être entièrement automatisés. Les procédures permettent également à l'utilisateur de décider quelle est la probabilité pour un fragment d'être classé dans une catégorie donnée.

Les résultats ont confirmé que la meilleure analogie pour un fragment donné peut être identifiée dans une base de données référentielle contenant des poteries existantes mais aussi des formes potentielles de poteries, produits en fonction de la variabilité globale de la forme des poteries complètes existantes.

Les résultats ont également montré que l'attribution et la classification restent possibles, même pour les petits fragments sans bord. L'importance pour l'archéologie des petits fragments, souvent rejetés ou du moins partiellement enregistrés, pourrait être réévaluée. De plus, le nombre de fragments utiles disponibles peut augmenter significativement la quantité d'informations. Savoir quel fragment est morphologiquement classifiable dépend en grande partie de la variabilité de la forme des poteries complètes disponibles dans la littérature. Les recherches archéologiques devraient donc viser à identifier autant de formes complètes que possible et à mettre cette information à la disposition de la communauté. Il a été démontré qu'il est possible de reconstruire les poteries complètes à partir de leurs fragments. En superposant les zones des concentrations des meilleurs candidats pour tous les fragments d'une poterie dans l'espace morphométrique, il a été possible de déterminer les formes qui sont les plus similaires à la forme de la poterie originale.

#### *La proposition et la démonstration de la classification non-supervisée et la comparaison avec les typologies existantes*

Les avantages et les inconvénients des classifications traditionnelles et non supervisées, basées sur la forme ont également été discutés. Cette discussion s'est faite sur la base de deux corpus différents d'artefacts : les poteries de l'oppidum de Bibracte (chapitre 5) et les haches de l'âge du Bronze Moyen en Europe occidentale (chapitre 6). La typologie chrono-morphologique établie a également été testée sur un ensemble de fibules de La Tène d'Europe centrale (chapitre 7).

Les résultats de ces chapitres ont révélé que toutes les morpho-typologies traditionnelles examinées dans ces études de cas sont fiables et cohérentes avec les classifications obtenues par la classification non-supervisée. Les classifications morphométriques géométriques non-supervisées peuvent être utilisées pour classer les artefacts aussi efficacement que les classifications morphologiques intuitives créées, modifiées et partagées par plusieurs générations d'archéologues.

Cependant, il a également été démontré que les méthodes morphométriques peuvent fournir des résultats non atteignables par des approches classiques, telles que (i) la visualisation de la forme moyenne (mean shape), (ii) la quantification et la visualisation des variations de forme au sein d'un type, et surtout (iii) la quantification du degré de certitude avec lequel un artefact est attribué à une classe donnée. Les classifications proposées et utilisées dans ces études de cas sont (iv) reproductibles et (v) permettent de tester statistiquement les inférences objectives.

Les classifications proposées ici sont basées sur la forme, mais d'autres descripteurs peuvent également être inclus dans le processus de classification (p. ex., matériel, décoration, chaîne opératoire).

Toutefois, comme pour toute classification, le processus est infini et doit être répété à mesure que de nouvelles informations sont disponibles. L'automatisation d'un tel processus présente des avantages évidents, notamment en termes de temps gagné.

#### *Interprétations archéologiques*

Les objectifs généraux de ce travail étaient méthodologiques. Cependant, plusieurs résultats obtenus dans les études de cas suite à l'application de méthodes d'analyse morphométriques et statistiques sur des données archéologiques, peuvent servir à l'interprétation des pratiques sociales et culturelles anciennes, et techniques de fabrication.

Le chapitre 2 (Geometric morphometrics in archaeology) a présenté une brève introduction à la morphométrie et à ses applications pour l'étude de la forme de l'artefact en archéologie. Elle a aussi fourni la description du schéma général de ces méthodes, depuis l'acquisition des données de la forme, en passant par le calcul des variables des formes, jusqu'à leurs analyses statistiques. Il peut donc servir de vue d'ensemble de la littérature sur l'utilisation de la morphométrie géométrique dans l'archéologie et fournir une base solide pour le développement de futures applications morphométriques. Ce chapitre ouvre aussi des pistes de recherche.

Dans le chapitre 4 (Reconstructing the past from fragments), il a été trouvé que les formes de poteries potentielles reconstruites dans l'espace morphométrique (« morphospace »), et qui étaient les plus proches des poteries complètes existantes, pourraient correspondre à des formes qui aurait pu être techniquement et technologiquement produites par des anciens fabricants. La morphométrie peut donc contribuer à l'identification de certaines conceptions idéologiques et cognitives des populations anciennes. L'un des processus (workflow 1) utilisés peut aussi servir à étudier quelques aspects liés à la fonction de la céramique, aux processus de fabrication, en termes de technologie, de technique, de geste et de savoir-faire. Par exemple, « la signature » du fabricant de la poterie devient plus facilement identifiable, même pour des poteries très différentes. L'alignement d'une série de poteries complètes confirme que les bords, qui sont traditionnellement censés être très importants pour la classification typologique, sont parfois beaucoup moins importants que la forme globale de la poterie. C'est parce que la variabilité de la forme du bord – reflétant les différences chronologiques, spatiales et technologiques – peut être beaucoup plus grande que la variabilité de la forme globale de la poterie, ce qui est généralement lié à sa fonction.

Dans l'étude de cas des haches de l'âge du Bronze Moyen (chapitre 6 ; Unsupervised model-based clustering for typological classification of Middle Bronze Age flanged axes), l'analyse statistique a confirmé l'existence de deux traditions de production distinctes. Une enquête plus approfondie, axée sur la forme, a mis en évidence une organisation interne plus complexe. Une nouvelle classification a été créée et validée par la distribution spatiale (Kernel density) et les géo-statistiques (Multinomial Scan Statistics). Elle a révélé l'existence de 6 productions de hache à rebords (G1-G6) situées dans quatre zones géographiques distinctes (G1 et G2 en Aquitaine - zone A ; G3 et G4 dans les Alpes - zones B et C ; et G5 et G6 en Normandie - zone D). Bien que les haches aient été échangées sur de grandes distances entre l'ouest et l'est, pratiquement aucune hache d'Aquitaine (zone A) n'a été trouvée en Normandie (zone D) et vice versa. Ce résultat suggère que les consommateurs dans chacune de ces régions ont suivi leurs propres traditions. Ce modèle ne correspond pas parfaitement à l'idée ancienne d'un Age du Bronze plutôt homogène dit « monde atlantique » (Briard, 1965 ; Coffyn, 1985 ; Brun, 1991) et qui englobaient toutes les régions européennes de la côte atlantique vers la mer du Nord. En fait, la présence de deux zones distinctes : (i) la zone A, avec des haches à rebords appartenant à G1 et G2, et (ii) la zone D, avec des haches en G5 et G6, tend à confirmer une structuration plus fine de l'espace géographique déjà évoqué par Butler (1963) et récemment



soutenu par l'étude de tous les artefacts métalliques de l'Âge du Bronze Moyen découverts dans le nord-ouest de la France (Gabillot, 2003). La zone D correspond également à une zone présentant une densité élevée de haches à talon contemporaines normandes (Forel et al., 2009 ; Monna et al., 2013), suggérant l'existence d'un espace culturel spécifique (Gabillot, 2006 ; Monna et al., 2013). La comparaison avec les typologies existantes révèle que la plupart des artefacts de G5 et G6 sont des haches à rebords à lames concaves.

Les résultats du chapitre 7 (*Brooches in motion: tracing shape evolution in La Tène brooches by geometric morphometrics*) démontrent que le temps archéologique peut être considéré non seulement comme une variable quantitative discrète (p. ex., une période ou une phase archéologique), mais aussi comme un vecteur continu. Ce vecteur, défini par les positions des fibules laténiennes dans les séquences chronologiques relatives, représente probablement le vecteur d'innovation des fibules. Le test des différences entre les fibules datées de LT B1 (type Duchcov et Münsingen) de deux zones géographiques différentes (Moravie et Jenišův Újezd) a révélé que l'origine géographique a plus d'impact sur la différenciation des fibules que le type. La difficulté de la différenciation de type est cohérente avec la difficulté de classer les fibules incomplètes (p. ex., les fibules sans bouton caractéristiques du type « Duchcov » ou le disque pour le type « Münsingen ») observées dans la littérature. Ce résultat indique que les deux types de fibules ont été construits selon les mêmes procédures de base. Bien que les pratiques funéraires et les artefacts archéologiques de Moravie doivent être liés culturellement à la Bohême datant de LT B1 (Čižmář, 1993), les résultats ont montré que les fibules « Duchcov » de Moravie diffèrent de celles trouvées à Jenišův Újezd. Il semble que la population de chaque région ait suivi son propre modèle de production de fibules, probablement du fait de facteurs liés à l'habillement régional et à l'identité collective (Adams, 2005), mais peut-être aussi parce que Jenišův Újezd est l'un des sites de Bohême le plus éloigné de Moravie. Décider si les fibules de Duchcov trouvées en Moravie ont été produites sous l'influence du bassin moyen du Danube et des Carpates, comme proposé par Ludíkovský (1964), ou bien liées à des productions voisines de la Bohême, pourraient valider d'autres recherches morphométriques sur les fibules. Ceci, sur une région géographique plus large.

#### *Implications et développement futur*

Les résultats présentés sont basés sur les méthodes quantitatives dont les statistiques inférentielles qui peuvent donc être considérés comme scientifiquement objectifs et reproductibles.

Le logiciel DACORD développé au cours de la thèse peut être utilisé pour l'acquisition et le traitement rapide des données archéologiques ciblées pour l'archivage, le catalogage et l'étude de la forme des objets. Ses principaux avantages sont (i) des économies en temps et en coûts associés à la documentation, (ii) la reproductibilité des résultats, et surtout (iii) l'augmentation de la quantité d'objets traités et en conséquence de la base d'informations, sur lesquelles sont fondées les interprétations liées à l'étude des artefacts archéologiques.

La plupart des procédures proposées ou utilisées pour l'étude de certains types d'objets (céramiques, haches, fibules) peuvent être généralisées pour toutes les catégories d'objets archéologiques. Les procédures peuvent être utilisées à l'avenir, notamment : (i) pour la formation de classifications d'artefacts (ii) pour l'identification de l'analogie, (iii) pour la reconstruction des artefacts complets à partir de fragments, (iv) pour l'identification des centres de distribution, des entités sociales et culturelles, etc., (v) pour comparer les différentes classes archéologiques (types, régions, genres), (vi) pour étudier et comparer le niveau de standardisation des productions, ou (vii) étudier la forme des artefacts dans l'espace et le temps.

L'application de méthodes morphométriques géométriques ainsi que d'autres méthodes statistiques utilisées dans les études présentées ici peuvent contribuer à rapprocher l'archéologie des solutions normatives et standardisées pour le traitement des données des formes des artefacts et la production de typologies dans le but de surmonter les limitations linguistiques, spatiales, temporelles et mémétiques.

Ce projet de doctorat, sous la supervision conjointe de Natalie Venclová (Masarykova univerzita) et de Fabrice Monna (Université de Bourgogne Franche-Comté) a été financé en partie par une bourse du Gouvernement Française et par les projets de mobilité Erasmus+ et Freemovers.

Les chapitres 3, 4 et 5 de cette thèse de doctorat font partie des projets suivants : DACORD (Dessin Assisté de la Céramique par ORDinateur) et Etude Morphométrique de la Céramique Celtique (EMC2), financés par PEPS HUMAIN 2014 2015 (CNRS, n° 43661) et PEPS HUMAIN 2015 2016 (CNRS, n° 43661).

## Bibliographie

- Adams, D.C., Rohlf, F.J., Slice, D.E., 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology* 74 (1), 5–16.
- Adams, S., 2005. The social distribution of Roman artefacts: The case of nail-cleaners and brooches in Britain. *Journal of Roman Archaeology* 18 (1), 139-160.
- Adams, Y.A., Adams, E.W., 1991. Archaeological typology and practical reality. A dialectical approach to artefact classification and sorting. Cambridge University Press, Cambridge, 427 p.
- Baxter, M.J., Beardah, C.C., Wright, R.V.S., 1997. Some archaeological applications of kernel density estimates. *Journal of archaeological science* 24, 347–354.
- Besl, P.J., McKay, N.D., 1992. Method for registration of 3-D shapes. In: *Robotics-DL tentative*. International Society for Optics and Photonics, 239-256.
- Blackmore, S., 1999. *The Meme Machine*. Oxford University Press, Oxford, 288 p.
- Bookstein, F.L., 1991. *Morphometric tools for landmark data: Geometry and Biology*. Cambridge University Press, New York, 435 p.
- Briard, J., 1965. *Les dépôts bretons et l'âge du Bronze atlantique*. Travaux du laboratoire d'anthropologie de la Faculté des Sciences, Rennes, 352 p.
- Brun, P., 1991. Le Bronze atlantique et ses subdivisions culturelles: essai de définition. In: Chevillot, C., Coffyn, A. (Eds.), *L'Âge du Bronze atlantique, ses facies, de l'Écosse à l'Andalousie, et leurs relations avec le Bronze continental et la Méditerranée*. Actes du 1er colloque du parc archéologique de Beynac, 10–14 septembre 1990. Association des Musées sarladais, Beynac, pp. 11–24.
- Butler, J.J., 1963. Bronze Age connections across the North Sea, a study in prehistoric trade and industrial relations between the British Isles, the Netherlands, North Germany and Scandinavia, 1700–700 B.C. *Palaeohistoria* IX, Groningen, 286 p.
- Čížmář, M., 1975. Relativní chronologie keltských pohřebišť na Moravě. *Památky archeologické* 66 (2), 417-437.
- Čížmář, M., 1993. Keltská okupace Moravy (doba laténská). In: Podborský, V. (Ed.), *Pravěké dějiny Moravy. Muzejní a vlastivědná společnost v Brně*, Brno, pp. 380-423.
- Coffyn, A., 1985. Le Bronze final atlantique dans la Péninsule ibérique. *Publications du Centre Pierre Paris (U.A. 0991)* 11. Collection de la Maison des Pays ibériques (G.I.S. 35) 20. Diffusion de Boccard, Paris, 441 p.
- Conolly, J., Lake, M., 2006. *Geographical Information Systems in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge, 338 p.
- Dawkins, R., 1976. *The Selfish Gene*. Oxford University Press, Oxford, 224 p.
- Dommergues, C.H., Dommergues J.-L., Verrecchia, E.P., 2007. The Discrete Cosine Transform, a Fourier-related Method for Morphometric Analysis of Open Contours. *Mathematical Geology* 39, 749-763.
- Drake, A.G., Klingenberg, Ch.P., 2008. The pace of morphological change: historical transformation of skull shape in St Bernard dogs. *Proceedings of the Royal Society B* 275, 71-76.
- Dryden, I.L., Mardia, K.V., 1998. *Statistical shape analysis*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 347 p.
- English Oxford Living Dictionaries, 2017. Meme. <https://en.oxforddictionaries.com/definition/meme>

- Forel, B., Gabillot, M., Monna, F., Forel, S., Dommergues, C.H., Gerber, S., Petit, C., Mordant, C., Chateau, C., 2009. Morphometry of Middle Bronze Age palstaves by discrete cosine transform. *Journal of archaeological science* 36, 721–729.
- Fraley, C., Raftery, A.E., 2002. Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation. *Journal of the American Statistical Association* 97, 611–631.
- Gabillot, M., 2003. Dépôts et production métallique du Bronze moyen en France nord-occidentale. *British Archaeological Reports - International Series* 1174, Oxford, 471 p.
- Gabillot, M., 2006. Les manipulations après la fonte des objets en alliage cuivreux: caractéristique sociale, économique, culturelle? L'exemple des haches à talon du Bronze moyen du Nord-Ouest français. In: Astruc, L., Bon, F., Léa, V., Milcent, P.-Y., Philibert, S. (Eds.), *Normes techniques et pratiques sociales, de la simplicité des outillages pré- et protohistoriques. Actes des XXVIe Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, Antibes, pp. 287–296.
- Gower, J.C., 1975. Generalized Procrustes analysis. *Psychometrika* 40 (1), 33–51.
- Hayden, B., 1984. Are Emic Types Relevant to Archaeology? *Ethnohistory* 31(2), 79–92.
- Hodson, F.R., 1978. Relative chronology from mechanical seriation. *Das keltische Gräberfeld bei Jenišův Újezd in Böhmen - II. Band Aruswertung*. J. Waldhauser. Teplice, Krajské muzeum Teplice. 6–7, 32–38.
- Jackson, D.A., 1995. PROTEST: a PROcrustean Randomization TEST of community environment concordance. *Écoscience* 2 (3), 297–303.
- Jolliffe, I.T., 2002. *Principal Component Analysis*. Springer, New York, 489 p.
- Jung, I., Kulldorf, M., Klassen, A.C., 2007. A spatial scan statistic for ordinal data. *Statistics in Medicine* 26, 1594–1607.
- Kohonen, T., 2001. *Self-organizing Maps*. Springer Series in Information Series, 30. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 501 p.
- Kuhl, F.P., Giardina, G.R., 1982. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing* 18, 236–258.
- Kuhn, T.S., 1977. Second thoughts on paradigms. In: Suppe, F. (Ed.), *The Essential Tension*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 293–319.
- Kuhn, T.S., 2008. *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris, 284 p.
- Legendre, P., Legendre, L., 1998. *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam, 853 p.
- Lestrel, P.E., 2000. *Morphometrics for the Life Sciences*. World Scientific Press, Singapore, 312 p.
- Ludikovský, K., 1964. Akeramický horizont bohatých hrobů žen na Moravě. *Památky archeologické* 55, 321–349.
- McLachlan, G.J., 1992. *Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition*. Wiley, New York, 526 pp.
- Monna, F., Jebrane, A., Gabillot, M., Laffont, R., Specht, M., Bohard, B., Camizuli, E., Petit, C., Chateau, C., Alibert, P., 2013. Morphometry of Middle Bronze Age palstaves. Part II - spatial distribution of shapes in two typological groups, implications for production and exportation. *Journal of archaeological science* 40, 507–516.
- Reeves, H., Casanave, D., 2016. *L'univers. Créativité cosmique et artistique*. Le Lombard, Bruxelles, 72 p.
- Renfrew, C., Bahn, P., 2012. *Archaeology: Theories, Methods and Practice*. Thames & Hudson Ltd, London, 656 p.
- Rouse, I., 1960. The Classification of Artifacts in Archaeology. *American Antiquity* 25 (3), 313–323.
- Waldhauser, J., 1978. *Das keltische Gräberfeld bei Jenišův Újezd in Böhmen - I. Band Quellen und Gutachten*. Krajské muzeum Teplice, Teplice.