

Offre de contrat doctoral : Analyse et modélisation de l'organisation des territoires et des échanges en sidérurgie ancienne

Intitulé du projet et laboratoire d'accueil :

36 mois de contrat doctoral de la région Bourgogne-Franche-Comté dans le cadre du projet : Dynamiques techniques et territoriales en métallurgie du fer (TerriFer). Ecole doctorale SEPT.

Encadrant HDR : Pierre Nouvel, Professeur en archéologie, Université de Bourgogne, ArteHis-UMR6298 ;

Co-encadrant : Marion Berranger, Ingénieure de recherche, archéométallurgiste – LMC-IRAMAT-UMR7065-CNRS (50%)

Contact : envoyer CV, relevé de notes du master et lettre de motivation avant le 24 juin 2022 à pierre-stanislav.nouvel@u-bourgogne.fr et marion.berranger@utbm.fr

Contexte et problématique :

Le développement de la métallurgie du fer dans en Europe occidentale intervient entre le VIIIe et le Ve s. av. J.-C., période durant laquelle les techniques de réduction connaissent une diffusion et une adoption progressive notamment dans une large moitié nord de la France actuelle. Ces techniques connaissent au cours de cette période, puis durant l'Antiquité et la période médiévale une succession d'innovations majeures. L'objectif de cette thèse est de proposer une caractérisation multiméthode des territoires dans lesquels s'implantent des concentrations d'ateliers de réduction, à partir d'une démarche menée à l'échelle de la région BFC, qui présente des zones de production de fer très importantes (plus de 5000 ateliers connus). L'approche se basera sur l'interprétation de données LiDAR acquises sur des territoires couvrant plusieurs centaines d'hectares, afin de restituer l'organisation spatiale des ateliers, de reconnaître les principaux axes d'échanges et de mettre en évidence des occupations humaines associées (habitats). L'objectif est également d'identifier des extractions minières, très difficiles à mettre en évidence par les méthodes traditionnelles. Il s'agira, en croisant acquisitions 3D sur les ateliers (pour restituer les volumes des tas de déchets), prélèvements volumiques en stratigraphie (pour déterminer la concentration des déchets dans les tas) et analyses chimiques in situ à la fluorescence X portable (pour établir des bilans chimiques des déchets, et définir des rendements) d'établir les quantités de métal produits et échangés. L'objectif est d'appréhender l'évolution des techniques de réduction en fonction de leur positionnement spatial et chronologique (des âges du fer au Moyen Âge). L'objectif est également de contribuer au développement d'outils de modélisation, qui permettront de transposer ces méthodologies à d'autres districts sidérurgiques afin de comparer les dynamiques économiques à l'œuvre sur le temps long et sur de vastes espaces de l'ouest européen.

Objectifs :

L'objectif de cette thèse est d'appréhender sur les temps longs l'évolution des productions sidérurgiques au sein de différentes zones de production de fer brut, caractérisées par de grandes disparités dans le nombre d'ateliers qu'elles renferment (différences dans les capacités de production), dans leur chronologie et dans les techniques mises en œuvre. Il s'agit également de développer une méthode permettant de modéliser les volumes de production et donc les quantités de matériaux échangés tant en amont de la chaîne de production (approvisionnements en minerais) qu'en aval (diffusion des produits ferreux). Dans le cadre du projet région TerriFer (Dynamiques techniques et territoriales en métallurgie du fer), cette thèse se situe à l'interface de l'axe 1, centré sur l'étude des

territoires et l'axe 2, visant la restitution des techniques et des savoir-faire. Elle est également complémentaire d'un post-doctorat ayant pour objectif de préciser la provenance des matériaux anciens, afin de restituer précisément les flux d'échanges et le rayonnement socio-économique des aires de production.

Le/la doctorant(e) participera à l'acquisition des données sur le terrain et à leur traitement. L'analyse sera conduite à plusieurs échelles. La plus réduite, d'ordre kilométrique couvre les zones de concentration d'ateliers. A cette échelle, par la classification des données acquises par LiDAR, il restituera l'organisation spatiale des ateliers et mettra en évidence des occupations humaines associées (habitat), afin de restituer l'emplacement, l'importance et l'organisation des zones de production, tout en restituant les axes d'échanges. Il s'agira également de discriminer des critères d'identification des zones d'extractions minières très difficiles à mettre en évidence en prospections pédestres. A plus large échelle, il sera nécessaire de recourir aux outils de modélisation de l'organisation des territoires et donc de développer des outils de SIG, afin d'analyser l'intégration des ateliers dans leur territoire à différentes échelles et définir par exemple leur aire d'approvisionnement probable tant en minerai qu'en bois.

A une échelle rapprochée, un nombre réduit d'ateliers sera étudié de manière plus précise, de façon à développer une méthodologie de discrimination des structures annexes plus furtives que les amoncellements de déchets (plateformes de travail, zones d'habitats temporaires etc). Les acquisitions LiDAR, l'analyse de la composition des tas et les analyses archéométriques auront pour objectif de déterminer, le plus précisément possible, les quantités de déchets métallurgiques et de les rapporter au volume de métal produit. La caractérisation se basera sur l'analyse élémentaire, par fluorescence X portable, des déchets. Il faudra développer une méthode déjà expérimentée, permettant de calculer des rendements en métal en se basant sur des bilans matière issus de l'analyse de minerais, parois et scorie, (rapports Al-Si-K-Ca-Fe-Na-Mg). Dans le cadre de cette thèse, il faudra rendre cette méthode reproductible et facile d'accès (développement méthodologique). Une démarche *in situ* permettra de traiter un grand nombre d'échantillons. Sur cette base, il sera possible d'isoler une sélection de déchets qui feront l'objet d'une analyse plus précise de leurs caractéristiques morphologiques, microscopique et chimiques, afin de préciser les techniques dont ils résultent. Les paramètres retenus pour les calculs de rendement seront modélisés et testés lors d'expérimentations. Deux districts sidérurgiques seront sélectionnés pour la conduite de cette approche intégrée en archéologie, associant traitements LiDAR, fouilles ciblées, analyses archéométriques et modélisation mathématiques. La Puisaye (Yonne et Nièvre), en tant que zone de production majeure, livrant environ 2500 sites sur 1500 km². Sa densité en ateliers et sa longue amplitude chronologique en font un terrain d'étude privilégié pour appréhender un territoire sidérurgique dans toute sa diversité. La seconde zone, le secteur de Berthelange (Doubs) livre 120 amas sur une surface de 140 km², permettra d'approcher la caractérisation d'un territoire sidérurgique aux ateliers plus dispersés, et connaissant un développement plus ponctuel dans l'espace et le temps.

Résultats escomptés :

- Proposer un catalogue d'anomalies LiDAR caractéristiques d'activités métallurgiques anciennes
- Réaliser un SIG de type carte archéométrique à l'échelle des territoires étudiés
- Développement d'une méthode de quantification des volumes de métal produit et donc des flux d'échange, basée sur des analyses élémentaires à la FluoX portable
- Modélisation des rendements en fer en sidérurgie ancienne d'un point de vue diachronique
- Modélisation de l'organisation diachronique des territoires en métallurgie (lien zones de production - espaces habités - espaces exploités)



- Participer au développement d'outils permettant de transposer ces méthodologies à d'autres districts sidérurgiques de façon à pouvoir comparer des dynamiques économiques sur le temps longs et sur de vastes espaces

Partenariat et environnement scientifique :

La thèse s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre trois laboratoires dont les recherches sur les interactions homme-territoire sont reconnues tant nationalement qu'internationalement. Les thématiques du laboratoire Métallurgies et Cultures (IRAMAT), centrées sur la restitution des techniques métallurgiques anciennes et la caractérisation (microscopie, chimique) des matériaux seront associées aux travaux développés par la MSHE dans l'acquisition de données haute résolution de sites indétectables par une approche classique, ainsi qu'à ceux de ArTeHis centrés sur l'analyse de la construction des paysages. Il est donc attendu que le/la doctorant(e) s'intègre aux travaux développés par ces trois équipes de recherche, ce qui impliquera des déplacements réguliers.