



HAL
open science

La production et la circulation du fer dans le royaume angkorien éclairées par les crampons architecturaux des temples d'Angkor

Stéphanie Leroy, Mitch Hendrickson

► **To cite this version:**

Stéphanie Leroy, Mitch Hendrickson. La production et la circulation du fer dans le royaume angkorien éclairées par les crampons architecturaux des temples d'Angkor. Philippe Charlier; Francois-Xavier Fauvelle; Dominique Garcia. Anthropologie et archéologie du fer, In press, 978-2-87772-973-4. hal-04367427

HAL Id: hal-04367427

<https://hal.science/hal-04367427>

Submitted on 30 Dec 2023

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

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

La production et la circulation du fer dans le royaume angkorien éclairées par les crampons architecturaux des temples d'Angkor

Stéphanie Leroy *

corresponding author

LAPA-IRAMAT, NIMBE, CEA, CNRS, CEA Saclay, Université Paris-Saclay
Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette, France

stephanie.leroy@cea.fr

Mitch Hendrickson

University of Illinois, Chicago, IL, USA.

Le royaume angkorien et le travail du fer

C'est à partir du site d'Angkor que le royaume khmer étend son territoire et son influence politique au Cambodge et sur une grande partie de la Thaïlande, du sud du Laos et du Vietnam entre les XI^e et XIII^e siècles. Notre connaissance actuelle sur l'histoire de ce royaume et ses processus d'expansion repose en grande partie sur la description des vestiges monumentaux, l'interprétation des sources épigraphiques et les résultats plus récents de l'archéologie. La civilisation matérielle des Khmers à l'origine des productions religieuses et utilitaires est quant à elle moins documentée. Pourtant, l'étude des formes d'organisation de ces productions et de leurs usages, tributaires des contextes environnemental (accès aux ressources, territoire), culturel (identité des artisans), religieux et socio-économique (échelles de productions) est une source inépuisable de connaissance des sociétés anciennes.

Pour le cas de la métallurgie du fer, il n'est plus à établir que les activités associées ont joué un rôle moteur dans le développement et les processus d'évolution du royaume. Néanmoins, notre compréhension du travail du fer dans cette région d'Asie du Sud-Est se limitait jusqu'à présent à l'identification de gîtes métallifères dans des espaces géographiques spécifiques, aux descriptions ethnographiques - surtout celles liées aux aspects matériels et rituels- des procédés de production contemporains, et à quelques données de terrain rapportées dans les récits d'explorateurs. Relevons que ces archives sont toutefois de véritables mines d'informations : les premiers explorateurs européens dans la province cambodgienne de Preah Vihear répertoriaient vers la fin du XIX^e siècle l'existence de mines de fer importantes au Cambodge. Des ingénieurs des Mines et des Ponts et Chaussées relevaient également des dépôts de scories et des gisements de fer dans cette même région et au Phnom Dek, la « montagne de fer ». Enfin, les enquêtes et travaux ethnologiques réalisés dans la région du Phnom Dek par Bernard Dupaigne en 1970 ont permis de compléter les connaissances sur le travail du fer au sein des populations Kuays (Dupaigne, 2016).

Si la production du fer est depuis longtemps attestée au Cambodge pour la période moderne, son origine historique n'est cependant pas connue et les critères techniques et socio-économiques en relation avec les activités métallurgiques anciennes n'ont jamais été caractérisés. Qui produisait le fer à l'époque angkorienne? Quelles étaient les techniques de production mises en œuvre? L'origine du fer est-elle locale ou extra-locale? Comment se diffusent les pratiques métallurgiques dans ces

régions ? C'est dans ce contexte que s'inscrivent les recherches menées conjointement par les projets IRANGKOR et INDAP, qui cherchent à documenter dans une approche interdisciplinaire l'économie et la place du fer dans le royaume angkorien, aux périodes comprises entre le IX^e et le XV^e siècle, deux repères chronologiques qui balisent l'histoire angkorienne par son émergence et son déclin. Depuis 2013, ces travaux sont abordés dans la diachronie sous le prisme de la production, de la circulation des produits et de leurs usages. Cette recherche inscrite dans la durée à la faveur de l'accumulation des données et des connaissances repose sur une démarche qui associe fouilles archéologiques, prospections archéologiques et archéométriques, et analyses archéométallurgiques (archéométrie comprise) des vestiges matériels, dont la complémentarité des informations est une source d'enrichissements continus. Cette approche prend tout son sens dans un contexte où les autres sources de données, comme les textes, sont absentes. Elle s'appuie sur le matériel retrouvé sur sites ou conservé en musée, mais aussi sur la documentation primaire archéologique et patrimoniale rassemblée par l'ensemble des collaborateurs du projet.

Les agrafes ou crampons de fer : emploi dans l'architecture angkorienne

Dans le royaume angkorien, le fer se prête à la fabrication des outils agricoles et des armes. Il est aussi un élément indispensable pour bâtir : comme outil pour sculpter le grès mais aussi comme ancrage, appelé aussi agrafe ou crampon, pour manifestement assurer la stabilité et la cohésion de certaines parties des édifices (Boisselier et al., 1966). L'usage des crampons dans l'architecture angkorienne est ainsi un procédé de liaison repéré au cours des différents programmes de restauration des monuments dont ceux dirigés par l'Ecole française d'Extrême-Orient (EFEO), le World Monuments Fund (WMF), l'Autorité pour la Protection du Site et l'Aménagement de la Région d'Angkor (APSARA) et l'Indonesian Technical Assistance for Safeguarding Angkor (ITASA). Plutôt que le crampon lui-même, c'est surtout la présence de nombreux emplacements taillés dans la pierre et destinés à accueillir ces agrafes qui suggère leur utilisation régulière le plus souvent dans les assises des murs pour assurer une cohésion des blocs de la même couche (Groslier, 1921; J Dumarçay Royère, 2001; Royère, 2006). On les trouve aussi sur les angles saillants des architraves, ou plus généralement aux endroits des édifices qui présentent des faiblesses structurelles, auquel cas il n'est pas rare de les voir doublés (exemple de Beng Mealea). Les chantiers de restauration ont permis de découvrir des crampons en quantité variable qui reste donc faible eu égard aux nombreuses empreintes identifiées dans la pierre. Si le pillage systématique a souvent été évoqué pour expliquer leur disparition, la restauration par l'EFEO du Baphuon (XII^e s.) reconstruit par anastylose met aussi en évidence la présence de logements dépourvus de crampons au cœur même de la structure (Royère, 2006). Pour certains temples, il est donc possible que ces éléments n'aient été utilisés que durant la phase de montage de l'assise, une sorte de chaînage provisoire, avant d'être extraits pour être réemployés au fur et à mesure de la progression de la construction. L'hypothèse d'un tel montage demande à être discutée notamment au regard des nouvelles connaissances des contextes techniques et socio-économiques qui régissent la production et l'approvisionnement du fer à Angkor.

Preah Khan d'Angkor



Palais royal



Baphuon



Fig 1. Exemples de crampons et logements repérés dans la pierre. Preah Khan d'Angkor: crampon retrouvé par le WMF dans la « salle aux danseuses ». Palais royal : crampons retrouvés par ITASA dans les gopuras. Baphuon : logements identifiés dans l'arase d'une assise.

L'étude de cet objet se révèle intéressant car, fabriqué en fer à partir du X^e siècle, il présente la particularité d'avoir été mis en œuvre, au moins jusqu'au XIV^e siècle, pour un usage fonctionnel au gré des campagnes de construction des édifices angkoriens. Des crampons ont ainsi été retrouvés au palais royal (X^e-XI^e s.), au Baphuon (XI^e s.), à Angkor Vat (XII^e s.), au Preah Khan d'Angkor (fin XII^e s.), à Banteay Chhmar (fin XII^e s.), à Ta Som (fin XII^e s.) et au Bayon (XII^e-XIII^e s.). Une terminologie variée a souvent été employée pour décrire leurs formes, mais ils n'ont jamais fait l'objet d'une étude typomorphologique poussée. Aucune recherche ne s'était également employée à étudier le fer qui les compose. Pourtant, à ces périodes et dans ce contexte, le produit « métal » piège dans sa matière les traces des matières premières utilisées et des techniques mises en œuvre de la réduction à la post-réduction pour le cas des objets finis. L'étude matérielle et multi-échelle de l'objet est donc centrale puisque ce dernier enregistre, en quelque sorte, les informations de la chaîne opératoire complète. L'analyse de ces crampons se révèle donc un moyen d'éclairer le travail des artisans du fer à l'époque angkoriennne, l'organisation des productions, et la circulation des produits.

Etude interdisciplinaire de l'objet. Pour une archéologie de la matière

Les recherches en sciences archéométriques, notamment celles développées sur l'objet par l'Institut de Recherches sur les Archéomatériaux (IRAMAT-LAPA, NIMBE, CEA Saclay), contribuent largement à éclairer les problématiques liées aux procédés et savoir-faire techniques, et aux circuits de distribution des métaux ferreux. Ce type d'analyse, pleinement intégré aux contextes historiques et archéologiques, engendre de la donnée mesurée qu'il faut pouvoir extraire des archéomatériaux, interpréter au regard des particularités voire des singularités des contextes, et *in fine* faire parler. Elle

est donc subordonnée à la mise en place de méthodes ou méthodologies souvent innovantes qui se doivent d'être adaptées à la complexité de la matière hétérogène et/ou composite interrogée. Depuis 2010, les avancées ont été particulièrement significatives sur le sujet de la provenance et de la datation directe du fer. Il est aujourd'hui possible, grâce à une démarche par essence interdisciplinaire, de relier les métaux ferreux aux ateliers de production, de tester des hypothèses de provenance et, enfin, de déterminer les dates de production des métaux par datation radiocarbone du métal, démarche encore exploratoire il y a peu.

Pour la problématique de provenance, les études sur les caractéristiques des vestiges mobiliers ont montré que différentes empreintes (ou signatures) liées aux techniques de production ou aux matières premières utilisées étaient « chimiquement » préservés à la fois dans les scories de réduction mais aussi dans l'objet, sous la forme d'impuretés inclusionnaires (voir les références citées dans (Leroy et al., 2014)). Caractériser et comparer ces signatures est un moyen de tester la correspondance entre les sites de production, les gisements et l'objet, et donc l'attribution potentielle d'une origine à l'objet inconnu. La possibilité de dater de manière directe les alliages ferreux anciens est, quant à elle, une approche plus récente, résultat d'une collaboration étroite entre l'IRAMAT-LAPA et le Laboratoire de Mesure du Carbone 14 (LSCE, CEA Saclay) (Leroy et al., 2015a). Cette mesure nouvelle s'intègre pleinement dans la dynamique de recherche qui est ici menée car elle permet d'interroger plus précisément l'évolution diachronique des procédés métallurgiques et des circuits commerciaux établis. Elle peut aussi apporter des données essentielles pour dater les chantiers de construction d'un monument. A titre d'exemple, le fameux Bouddha couché du Baphuon à Angkor ne date pas du XVI^e siècle mais du XV^e siècle. Quant au monument lui-même, sa construction a été remontée de 50 ans plus tôt au XI^e siècle (Leroy et al., 2015b).

Depuis 2014, un corpus de 385 échantillons (160 crampons) a pu être rassemblé sur toute la période angkoriennne grâce à l'implication des différents partenaires du projet. Son étude, poursuivie jusqu'à aujourd'hui, offre l'opportunité unique d'une analyse comparative des techniques anciennes et des réseaux d'acheminement ayant permis l'usage du fer dans les édifices angkoriens. Elle se base sur la combinaison des approches de caractérisation technique, de provenance et de datation, dans le but de comprendre les trajectoires spatio-temporelles des procédés, des objets - de leur conception à leur usage – en relation avec les aspects techniques et économiques des sociétés anciennes.

Production et Acquisition du métal: du geste technique aux réseaux

Une étape essentielle à la description des paramètres techniques et des savoir-faire associés à la fabrication du crampon est l'étude de la nature et la qualité du matériau employé ainsi que des procédés de mise en forme de l'objet. Cette analyse des propriétés du métal consommé à Angkor entre le IX^e et le XIV^e siècle se base sur l'analyse combinée des études métallographiques, typologiques, et chronologiques (Leroy et al., 2017). Les résultats révèlent un changement ou une évolution dans les qualités du métal et donc dans les techniques de production puisque deux tendances de classification se dégagent selon des périodes chronologiques précises. Ainsi, avant le XII^e siècle, on observe à la fois la mise en œuvre d'un acier carburé et une grande variabilité dans les techniques de mises en forme du crampon au sein même d'un édifice (exemple du palais royal). Les propriétés mécaniques de cet acier sont particulières puisque le matériau est dur, ce qui le rend d'autant plus cassant. Il est possible que l'usage de ce fer dans la construction avant le XI^e siècle soit involontaire étant donné la difficulté à forger le métal pour fabriquer le crampon. A partir du XII^e et jusqu'au XIV^e siècle, les bâtisseurs

emploient très majoritairement un matériau homogène faiblement carburé, en lien avec l'adoption d'une mise en forme plus standardisée du crampon. La détection de signatures de différents ateliers dans un seul crampon n'est pas rare à cette période et suggère l'assemblage de barres de fer d'origine différente pour fabriquer l'objet, ce qui est à mettre en lien avec la présence d'intermédiaires commerciaux au sein du réseau de distribution. De manière générale, l'analyse des procédés techniques mis en œuvre entre le IX^e et le XIV^e siècle montrent différents savoir-faire mobilisés, insérés au sein de réseaux d'acquisition qui semblent clairement se codifier à partir du XII^e siècle, période à laquelle une uniformité des productions devient visible, tant du point de vue des procédés que des techniques de mises en forme.

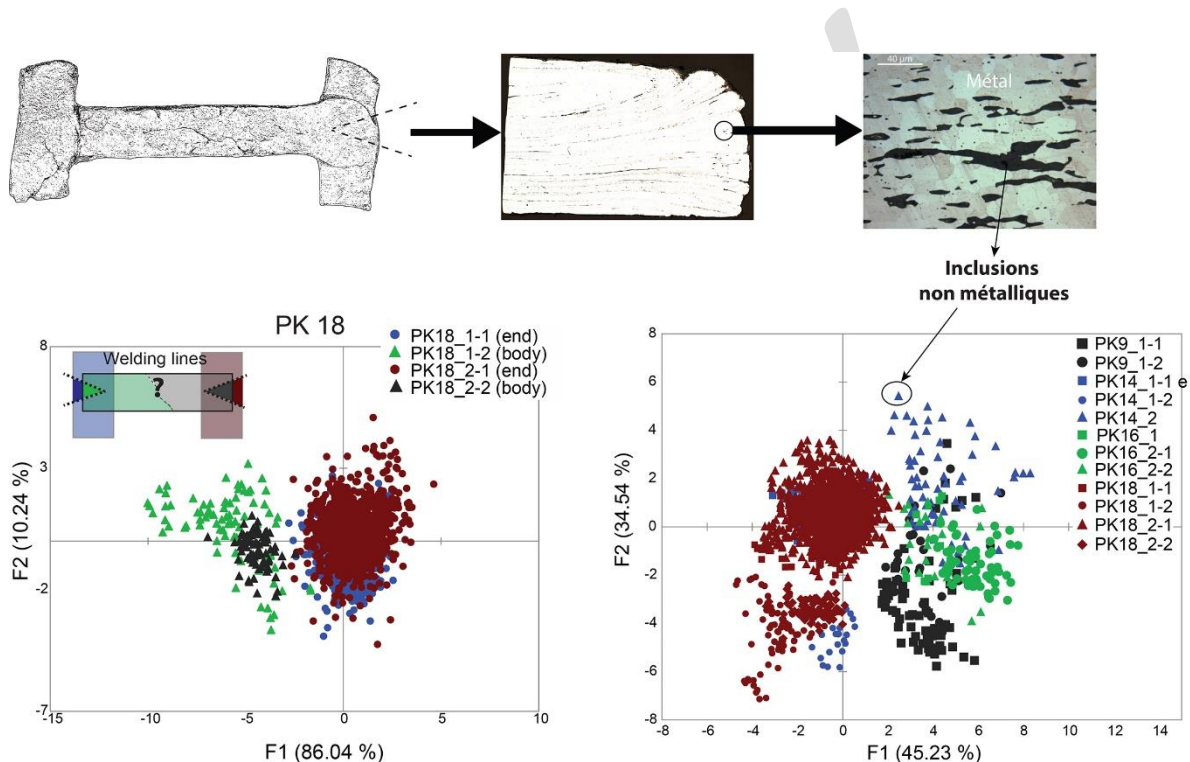


Fig 2. Exemples d'analyse multi-échelle de l'objet (ici crampon du Preah Khan d'Angkor avec mise en forme standardisée). Etude des inclusions non métalliques, caractérisation et comparaison des signatures chimiques pour les études de provenance.

L'étude des réseaux d'approvisionnement du fer consommé à Angkor ne peut être dissociée de la recherche des artisans qui en sont l'origine. Elle implique donc de documenter l'organisation des productions en dressant la cartographie des lieux de réduction à l'époque angkorienne et en étudiant les vestiges matériels qui y ont été mis au jour. Dans ce contexte, des prospections initiées en 2011, et multipliées en 2016 et 2017 dans la zone comprise entre le Preah Khan de Kompong Svay (PKKS) et le Phnom Dek ont permis d'appréhender l'ampleur, la nature et la chronologie des activités de réduction au sein de ce vaste territoire (Hendrickson et al., 2017). La présence d'une industrie du fer établie depuis la période préangkorienne et jusqu'à la période moderne est aujourd'hui attestée. La fouille archéologique du site de Tonle Bak (XII^e-XIII^e s.), seul atelier présentant des vestiges de four et d'habitat dans la région du Phnom Dek, a fourni les premiers indices du système technique mis en œuvre au XIII^e siècle au Cambodge (Hendrickson et al., 2019). L'étude archéométallurgique des déchets de réduction retrouvés sur plus d'une centaine de sites a pu être couplée aux données chronologiques et spatiales,

révélant des épisodes de transition et d'évolution explicites dans la mise en place des procédés métallurgiques. Des phases successives d'occupation des territoires et de procédés techniques, en lien avec l'accès aux ressources et les moments stratégiques de l'expansion de l'Empire angkorien sont aujourd'hui précisées (Leroy et al., soumis). Les signatures des ateliers de cette vaste région métallurgique ont été caractérisées à partir de l'étude chimique *in situ* et de laboratoire des déchets de production, scories de fer essentiellement. Le croisement des données selon une méthodologie ajustée aux contextes a abouti à la proposition d'une classification des ateliers ou ensembles d'ateliers définissant ainsi nos référentiels d'étude.



Fig 3. Fouille de l'atelier métallurgique de Tonle Bak (XII^e-XIII^e siècle) dans la région du Phnom Dek. (Haut) Amas de scories de fer et vestige d'un four de réduction de l'époque angkorienne.

Ressources et Circuits de distribution

L'étude des ateliers de réduction, zones d'approvisionnement potentielles, et celle des crampons ont permis d'envisager l'analyse de l'origine du fer en contexte d'utilisation à Angkor. Il s'agit ici de mettre en lien les sites, lieux de production et sites de consommation, en pistant les signatures des déchets mis au jour sur les ateliers et/ou des ressources en minerai dans les inclusions des objets grâce aux

études de provenance. Les empreintes d'une partie des ateliers de la région métallurgique du Phnom Dek ont pu être détectées dans certains lots de crampons qui répondent à une classification propre. La complémentarité des données chronologiques, datation charbon de bois pour les ateliers et datation du fer pour les crampons, est un apport fort dans ce contexte car elle rend possible la restitution dans le temps de l'organisation des circuits de distribution. Ainsi, si l'époque préangkorienne se caractérise par une pluralité des origines sans avoir pu identifier pour le moment les centres de production, c'est au tournant des XI^e-XII^e siècles que l'organisation des productions et celle des circuits d'approvisionnement se transforment lorsque l'industrie du fer connaît un essor dans la région du Phnom Dek. Dans un contexte d'évolution des pratiques métallurgiques et de besoins croissants en métal pour le royaume, le temple du Preah Khan de Kompong Svay établi au XI^e siècle semble jouer un rôle clé (Hendrickson and Leroy, 2020). A la fois pour l'accès aux ressources métallurgiques - matières premières et produits - dans la province du Phnom Dek, excentrée d'Angkor, et en tant que centre de redistribution pour le transport du fer des ateliers vers la capitale. Une relation étroite entre demandes en métal, phases d'expansions du royaume et logique territoriale au sein du système étatique angkorien peut être mise en évidence.

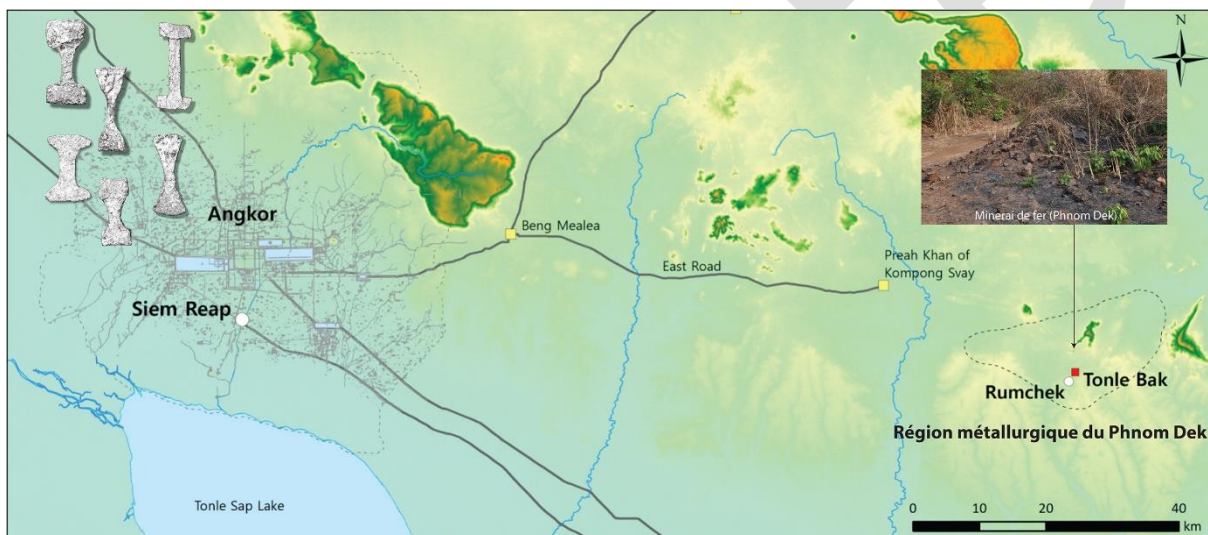


Fig 4. Sites d'intérêt en lien avec les activités de production et la circulation du fer dans le royaume angkorien: Angkor-capitale du royaume, le Phnom Dek « montagne de fer », les ateliers métallurgiques de la région du Phnom Dek, et le temple de Preah Khan de Kompong Svay.

Conclusions

Si le travail du fer dans le royaume angkorien avait été jusqu'à présent documenté sous le spectre de l'ethnologie essentiellement et plus récemment celui de l'archéologie avec la recherche des ateliers de réduction anciens, les études en archéométallurgie et en archéométrie permettent aujourd'hui l'étude approfondie de l'assemblage mobilier de la chaîne opératoire du fer et en particulier celle de l'objet lui-même par la mobilisation de démarches scientifiques innovantes issues de l'interdisciplinarité. De ces apports émergent de nouvelles connaissances scientifiques qui contribuent à affiner notre compréhension du fonctionnement du royaume angkorien. Ces données nouvelles sont également le résultat de la collaboration avec l'APSARA et le Ministry of Culture and Fine Arts au Cambodge, l'EFEQ, le WMF, et le Japan-Apsara Safeguarding Angkor.

Ces travaux cherchent également à s'intéresser à la réalité de la vie quotidienne du peuple khmer en ouvrant l'étude aux vestiges mis au jour sur les sites d'habitat, afin de nourrir le tableau de connaissances que nous avons commencé à tisser sur la place et le rôle du fer dans la société angkoriennne. A une échelle de compréhension plus large, l'introduction de la métallurgie du fer et des techniques mises en œuvre dans cette région d'Asie du Sud-Est n'est pas connue, mais nous savons que cette aire géographique est fortement influencée par les mondes indiens et chinois. Là aussi, la description fine des procédés et l'analyse des vestiges matériels ont un rôle majeur à jouer dans la connaissance de la diffusion des techniques et des civilisations.

Références

- Boisselier, J., Hierche, Henri., Coedès, G., 1966. Manuel d'archéologie d'Extrême-Orient, Picard. ed, Asie Du Sud-Est. Paris.
- Dupaigne, B., 2016. Les maîtres du fer et du feu dans le royaume d'Angkor.
- Groslier, G., 1921. Recherches sur les Cambodgiens, A. Challamel. ed. Paris.
- Hendrickson, M., Leroy, S., 2020. Sparks and needles: Seeking catalysts of state expansions, a case study of technological interaction at Angkor, Cambodia (9th to 13th centuries CE). *J. Anthropol. Archaeol.* 101141–101141.
- Hendrickson, M., Leroy, S., Castillo, C., Hua, Q., Vega, E., Phon, K., 2019. Forging empire: Angkorian iron smelting, community and ritual practice at Tonle Bak. *Antiquity* 93, 1586–1606. <https://doi.org/DOI: 10.15184/aqy.2019.174>
- Hendrickson, M., Leroy, S., Quan, H., Phon, K., Voëun, V., 2017. Smelting in the Shadow of the Iron Mountain: Preliminary field investigation of the industrial landscape around Phnom Dek, Cambodia (9th to 20th centuries CE). *Asian Perspect.* 56, 55–91.
- J Dumarçay Royère, P., 2001. *Cambodian Architecture Eighth to Thirteenth Centuries*. M. Smithies.
- Leroy, S., Dillmann, P., Dissler, A., L'Héritier, M., Bauvais, S., Fluzin, P., 2014. Provenance et circulation des alliages ferreux, in: Dillmann, P., Bellot-Gurlet, L. (Eds.), *Circulation Des Matériaux et Des Objets Dans Les Sociétés Anciennes*. Editions des Archives Contemporaines, Paris, pp. 79–108.
- Leroy, S., Hendrickson, M., Bauvais, S., Vega, E., Blanchet, T., Dissler, A., Delque-Kolic, E., 2017. The ties that bind: archaeometallurgical typology of architectural crampons as a method for reconstructing the iron economy of Angkor, Cambodia (tenth to thirteenth c.). *Archaeol. Anthropol. Sci.* <https://doi.org/10.1007/s12520-017-0524-3>
- Leroy, S., L'Héritier, M., Delqué-Kolic, E., Dumoulin, J.-P., Moreau, C., Dillmann, P., 2015a. Consolidation or initial design? Radiocarbon dating of ancient iron alloys sheds light on the reinforcements of French Gothic Cathedrals. *J. Archaeol. Sci.* 53, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.10.016>
- Leroy, S., Hendrickson, M., Delqué-Kolic, E., Vega, E., Dillmann, P., 2015b. First Direct Dating for the Construction and Modification of the Baphuon Temple Mountain in Angkor, Cambodia. *PLOS ONE* 10, e0141052–e0141052. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141052>
- Leroy, S., Hendrickson, M., Vega, E., Dillmann, P., Hua, Q. soumis. Follow the Smelting Recipe: Using in-field pXRF prospection, data mining and systematics to model spatio-temporal variation of bloomery slags across an iron production landscape in Cambodia (9th to 20th centuries).
- Royère, P., 2006. Notes architecturales relatives à la construction du Baphuon à Angkor. *Indes Savantes* 245–273.

Accepted