

Rôle des petits obstacles transversaux sur la continuité sédimentaire des rivières à charges caillouteuses dans le bassin de la Seine (méthodologies et premiers résultats)

Frédéric Gob^{1*}, Vincent Tamisier¹, Geoffrey Houbrechts², Emmanuèle Gautier¹, Claire Leprêtre¹

¹ Université Panthéon-Sorbonne (Paris 1), Laboratoire de Géographie Physique, CNRS UMR8591, 1 Place Aristide Briand, FR-92195 Meudon cedex, France.

² Université de Liège, Laboratoire d'Hydrographie et Géomorphologie fluviale, 2 Allée du 6 août, Bât. B114000 Sart-Tilman, Belgique.

*frederic.gob@univ-paris1.fr

Résumé

Rôle des petits obstacles transversaux sur la continuité sédimentaire des rivières à charges caillouteuses dans le bassin de la Seine (méthodologies et premiers résultats)

La Haute-Marne est l'un des berceaux de la sidérurgie en France. Les premiers hauts-fourneaux y ont été installés dès le 15^e siècle et, au 19^e siècle, ce département occupait la première place de la sidérurgie française avec 90 hauts-fourneaux et plus de 15 % de la production nationale de fonte. La métallurgie haut-marnaise a prospéré grâce à un minerai de relativement bonne qualité, à l'abondance du bois et à l'énergie des cours d'eau, aménagés pour faire tourner les roues à aubes actionnant les soufflets et les bocards.

Pour une tonne de fonte produite, 1,25 t de scories étaient rejetées sur les crassiers à proximité des fourneaux. Celles-ci se sont rapidement retrouvées dans les rivières et ont été transportées par les crues avec la charge de fond. Aujourd'hui elles peuvent être utilisées comme marqueurs pour étudier le transport solide. Elles permettent de déterminer la compétence de la rivière, de calculer les vitesses de déplacement de la charge de fond (fraction grossière et fraction sableuse) et d'évaluer l'impact des obstacles transversaux (seuil et barrages) sur la continuité sédimentaire.

Dans ce rapport, sont présentés les premiers résultats de notre étude sur trois des principaux affluents de la haute Marne : le Rognon, le Rongeant et la Blaise. Une partie importante du travail a été consacrée à la localisation et à la datation des anciens hauts-fourneaux. Ces trois sous-bassins comptent des dizaines d'anciens sites de production installés pour certains depuis le 15^e siècle. Plusieurs prélèvements ont également été réalisés sur 15 sites de la vallée du Rognon et sur 6 de la vallée du Rongeant. Les analyses concernant la charge sableuse étant en cours, seuls les résultats concernant les macrosories pourront être présentés. Le très grand nombre de fourneaux présents au bord des cours d'eau ne facilite pas l'interprétation des résultats mais nos premières observations ont montré que nous pouvions d'ores et déjà tirer un certain nombre d'informations intéressantes. On voit que malgré des pentes assez faibles, le Rognon est relativement dynamique et transporte une charge plutôt grossière. Bien que très nombreux, les obstacles transversaux ne semblent pas totalement arrêter la charge.

1 Introduction

Les cours d'eau à faible énergie d'Europe occidentale ont depuis des siècles été aménagés pour faciliter le déploiement d'activités industrielles et agricoles et permettre les développements urbains. Ces aménagements ont évolué au cours du temps au gré des innovations technologiques et des usages : multiplication des seuils et déversoirs (associés notamment à la métallurgie ancienne et au moulinage) ; rectification des tracés pour la navigation, le flottage et l'agriculture ; extraction de graviers dans le lit des cours d'eau. Ils ont eu, à des échelles de temps variables, des impacts sur les écoulements solides et liquides, entraînant des répercussions plus ou moins importantes sur les systèmes fluviaux. Ces impacts se sont traduits par des modifications des caractéristiques du chenal ainsi que du substrat. Aujourd'hui, la plupart de ces ouvrages n'exercent plus leur fonction initiale et constituent des « friches hydrauliques » quiconditionnent bien souvent le fonctionnement actuel des rivières. Les usages et la perception de milieux fluviaux ont changé au cours de ces deux ou trois dernières décennies et les préoccupations écologiques prennent une place de plus en plus importante dans la gestion des cours d'eau. Pour rétablir leur état écologique, leur fonctionnement physique doit bien souvent être restauré, notamment en réduisant, autant que faire se peut, l'impact de ces aménagements historiques.

Ces restaurations passent de plus en plus par le rétablissement de la continuité écologique et sédimentaire et le désaménagement total ou partiel des seuils et barrages devenus obsolètes. A l'échelle du bassin de la Seine, l'état des lieux de 2013 réalisé par l'Agence de l'eau Seine-Normandie dans le cadre de l'Application de la DCE signale la présence de plus de 10000 ouvrages transversaux susceptibles d'altérer la continuité (AESN, 2014). Cela correspond à la moyenne d'un ouvrage tous les 5 km et dans certaines régions du bassin à un ouvrage tous les 500 m. Devant de tels chiffres, il est bien entendu illusoire d'imaginer supprimer la totalité de ces ouvrages et une meilleure connaissance de leur origine et de leurs impacts sur le milieu est essentiel pour prioriser les actions.

D'un point de vue physique, si l'impact des grands barrages a été beaucoup étudié, les conséquences des petits ouvrages sur le transit sédimentaire est moins évident. Ces derniers peuvent être en place depuis plusieurs siècles et leur rôle d'obstacle au transit sédimentaire n'est souvent que partiel et a généralement évolué au cours du temps. Dans les systèmes à faible énergie du bassin de la Seine, le transport est généralement considéré comme relativement limité, seule une partie de la charge étant réellement mobile. L'impact des ouvrages ne se traduirait donc que rarement par une incision importante mais plutôt par une modification de la composition granulométrique et de la structure des lits (pavage et armurage). Mais ces éléments n'ont que trop rarement été étudiés, et dans l'optique de restaurer le bon fonctionnement hydromorphologique de ces lits historiquement aménagés, les débits seuils de mise en mouvement, les distances de charriage, les volumes charriés, l'influence de la structure du substrat et de la végétation sont autant d'éléments qui restent à explorer. Pour rétablir la continuité sédimentaire, un certain nombre de questions sur le transport de la charge de fond doivent être résolues : Quels types d'ouvrages (seuils, barrages) trouve-t-on dans le bassin ? Depuis quand sont-ils présents ? Quelle fraction granulométrique (sableux, caillouteux) est capable de les franchir ? Dans quelle proportion et à quel rythme ce passage s'effectue-t-il ? Quelle conséquence en amont et en aval des ouvrages ?

Ce travail a pour objectif d'apporter des éléments de réponses à plusieurs de ces questions à travers l'étude de la haute Marne et de ses affluents. Il se base sur l'utilisation de marqueurs anthropiques présents depuis plusieurs siècles dans la charge solide de ces cours d'eau, les scories de la métallurgie ancienne. Ce sont des résidus de la production de la fonte qui participent au transport solide des rivières depuis leur rejet à proximité des cours. Si les lieux d'injection sont précisément localisés et la période de fonctionnement des hauts-fourneaux datée, les scories peuvent être utilisées comme marqueur pour caractériser le transit sédimentaire (Houbrechts et Petit, 2003 ; Houbrechtset al., 2011). Le département de Haute-Marne est l'un des berceaux de la sidérurgie française puisque les premiers hauts-fourneaux y ont été installés au bord des rivières dès le 15^e siècle.

Ce rapport présente l'histoire de la production du fer en Haute Marne et les tout premiers résultats des campagnes de prospection réalisées dans le courant de l'année 2016. Une partie importante du travail a été consacrée à la localisation et à la datation des anciens hauts-fourneaux. Nous avons pour l'instant centré

notre attention sur trois sous-bassins de la haute Marne, celui de la Blaise et de son principal affluent, le Blaiseron, celui du Rongeant et celui du Rognon.

2 Présentation du bassin amont de la Marne

2.1 Caractéristiques géologique et géomorphologique du bassin

À sa confluence avec la Blaise, le bassin versant de la Marne a une superficie de 3055 km², ce qui représente 25% du bassin à sa confluence avec la Seine (Figure 1). Les altitudes y varient entre 110 et 510 m et il est essentiellement constitué de roches sédimentaires du Crétacé et du Jurassique, avec une alternance répétée de roches dures (calcaire) et tendres (marne, argile) (Figure 2). Le relief y est caractérisé par une succession de fronts de cuesta orientés nord-est/sud-ouest, largement entaillé par le réseau hydrographique, et délimitant des zones de plateaux et de dépressions monoclinales.

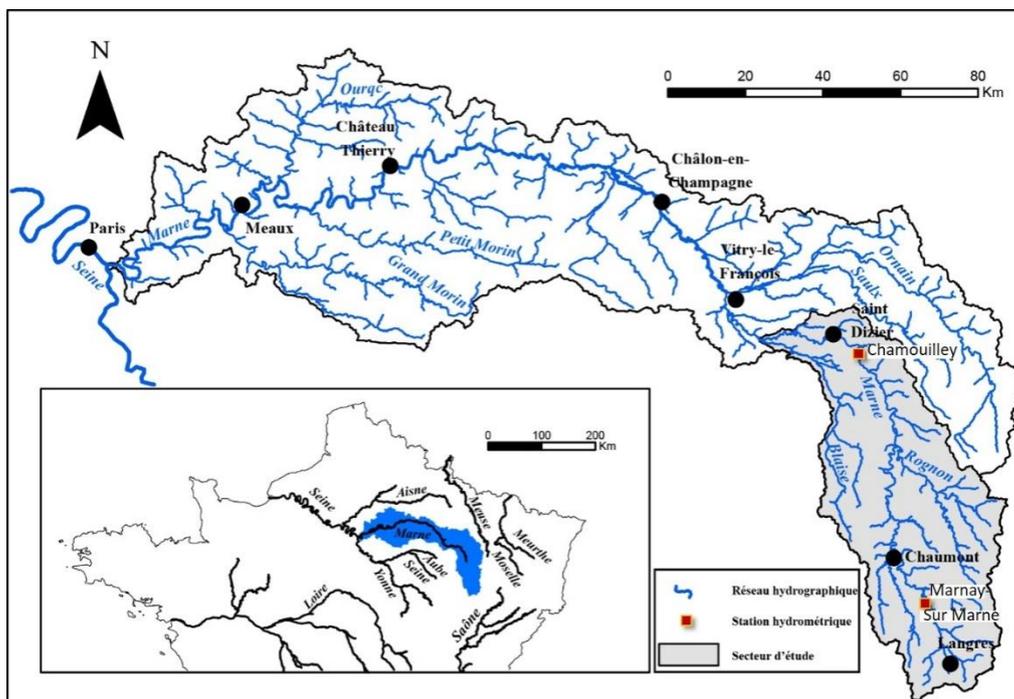


Figure 1: Carte de localisation du bassin versant de la Marne et du secteur d'étude.

Lejeune (2005) distingue plusieurs unités lithostructurales au sein de ce secteur (Figure 2) :

- La partie amont du bassin de la Marne correspond au revers de la Côte de Moselle et culmine à environ 400-450 m, elle est appelée « Le Bassigny ». Elle est constituée de formations essentiellement imperméables du Lias allant des calcaires marneux détritiques à des argiles et des schistes. Cette unité donne naissance à de nombreux petits ruisseaux, notamment la Marne.
- Les plateaux de Langres et du Chaumontais, présentent des altitudes plus élevées, en moyenne de 450 à 500 m. Les formations du Bajocien qui composent le plateau de Langres sont, à la base, principalement calcaires avec quelques bancs marno-calcaires, puis marneuse surmontées de calcaire dur. Le Chaumontais est lui composé essentiellement de calcaire dur du Bathonien. La densité de drainage de cette unité est presque nulle et l'infiltration y est généralisée.
- La dépression monoclinale très étroite orientée Nord-Est Sud-Ouest située au pied de la Côte de Meuse, dénommée « La Vallée », se compose de calcaires marneux et de marnes callovo-oxfordienne. Cette unité dont le substrat est principalement imperméable permet la formation d'un réseau hydrographique assez dense.
- Le revers de la côte de Meuse appelé « Haut-Pays », correspond à un plateau dont les altitudes

maximales atteignent 420m sur son rebord et s'abaissent jusqu'à à 300 m vers le nord-ouest. Ce plateau est principalement calcaire. On retrouve à la base des calcaires compacts de l'Oxfordien, surmontés à l'est de Marne par des calcaires coralliens et à l'ouest de calcaires marneux. La partie sommitale est composée d'une alternance de bancs calcaires compacts plus marneux. La densité de drainage y est très faible et le réseau hydrographique peu développé.

- L'unité de l'Ornois correspond à une région de collines et de vallons, composée d'une alternance de couches épaisses de calcaire et de marnes du Kimméridgiens. Cette alternance, permet la présence de nombreuses sources, qui sont à l'origine d'un réseau hydrographique pérenne plus dense que sur les autres plateaux.
- Au nord de la Côte des Bars on retrouve l'unité du Barrois et du Vallage. Il s'agit d'un plateau, traversé par le fossé tectonique de la Marne, dont les altitudes maximales sont d'environ 420 m en rebord du front de cuesta, pour s'abaisser progressivement à environ 220 m vers le nord-ouest dans la région de Saint-Dizier. Ce plateau est constitué de calcaires massifs Thitonien, interrompus par des faciès marneux dans la partie basale, des calcaires plus indurés dans la partie médiane et des calcaires dolomitiques au sommet. Au nord-ouest, des formations argilo-sableuses viennent recouvrir les calcaires thitonien. Les drains pérennes sont peu nombreux lorsque le calcaire est sub-affleurant, mais en présence des formations crétacées des écoulements peuvent se mettre en place.
- Au nord du bassin, se situe l'unité du Perthois, une dépression monoclinale crétacée, positionnée entre la Côte de Champagne à l'ouest et le plateau du Barrois-Vallage à l'est. Cette unité peut se subdiviser en deux. D'une part le Perthois Crétacé, dont les altitudes restent assez élevées (autour de 200 m) et est composé de formation argilo-sableuse imperméables. Et d'autre part le Perthois alluvial dont les altitudes sont plus faibles, ne dépassant que très rarement les 150 m, et dont le substrat crétacé a été recouvert d'alluvions dont l'épaisseur varie entre 5 et 7 m.

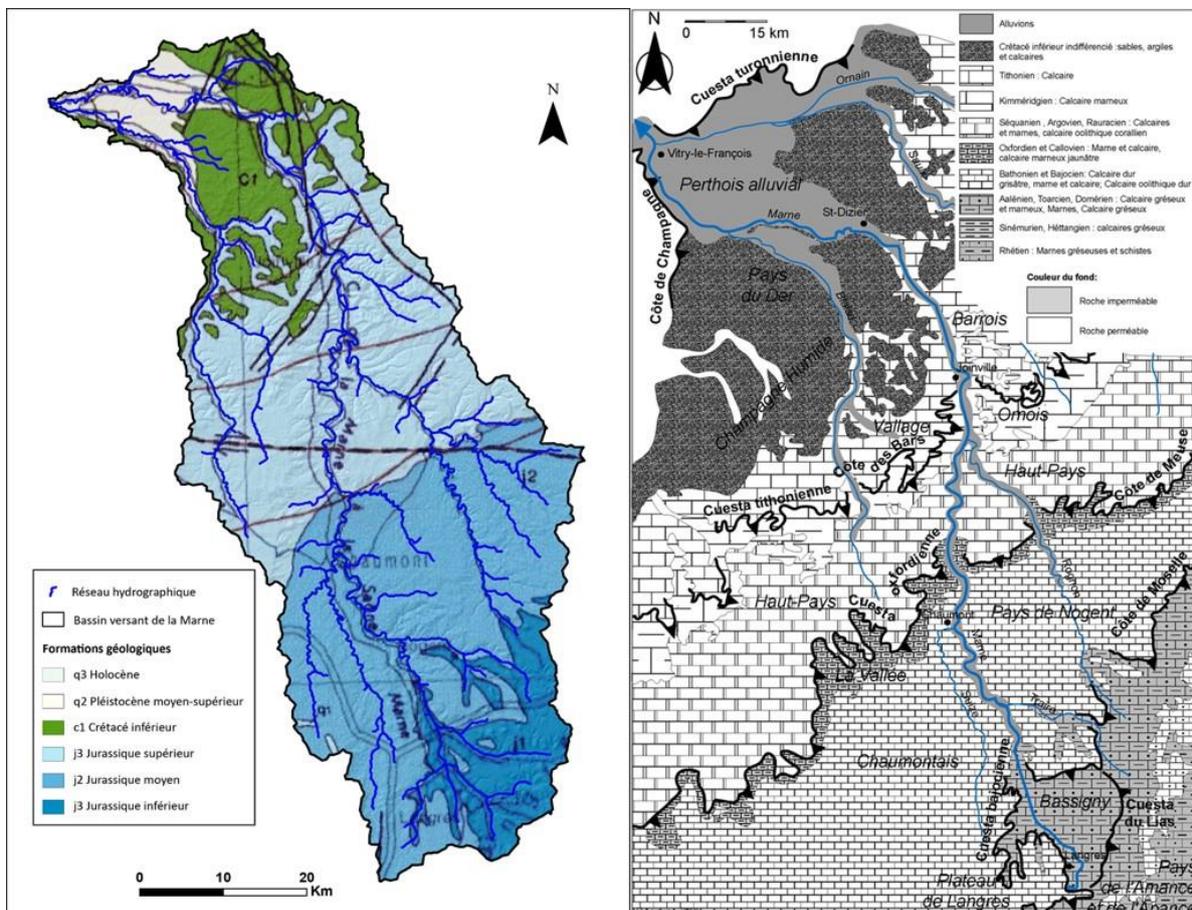


Figure 2 : Carte géologique simplifiée du bassin versant de la Marne en amont de la confluence avec la

Blaise (à gauche) et localisation des unités lithostratigraphiques composant le haut bassin de la Marne (Lejeune, 2005) (à droite).

2.2 Caractéristiques hydrologiques de la Marne en amont de la confluence avec la Blaise.

Le secteur d'étude est concerné par un régime climatique à dominante océanique altérée, avec des influences continentales sensibles, notamment en période hivernale. Ce climat se caractérise par des hivers longs et froids et des étés chauds et orageux. Les précipitations, largement orographiques, sont assez abondantes (entre 810 et 1070 mm par an) et se répartissent assez régulièrement tout au long de l'année. Elles sont toutefois plus marquées de novembre à mars et en mai. Ces conditions climatiques déterminent le régime hydrologique de la Marne qui est de type simple pluvio-évaporal océanique, les écoulements étant fortement assujettis aux précipitations. Cependant le contexte géologique et géomorphologique joue un rôle non négligeable, puisqu'il pondère plus ou moins les écoulements selon les secteurs du cours d'eau.

Les caractéristiques hydrologiques de la Marne dans le secteur d'étude ont été analysées à partir des deux stations hydrométriques de Marnay-sur-Marne et de Chamouilley (Figure 1). La station de Marnay-sur-Marne est située entre Chaumont et Langres. Elledraine un bassin versant de 360 km² correspondant à 11% du bassin étudié. La station de Chamouilley est située à environ 10 km en amont de Saint-Dizier et contrôle un bassin versant de 2213 km², ce qui représente un peu plus de 70% du bassin.

Le module de la Marne à Marnay-sur-Marne est de 3,71 m³/s et de 31 m³/s à Chamouilley. Les hautes eaux ont lieu durant la période froide (le maximum au mois de janvier, février et parfois mars) et les basses eaux en saison chaude (le minimum est atteint entre juillet et septembre) (Figure 3). Les coefficients de pondération sont assez faibles pour ces deux stations, 5,01 et 7,49 respectivement et sont représentatifs des cours d'eau de bassins sédimentaires en milieu tempéré. La nature principalement calcaire du bassin étudié permet une vidange progressive des principales nappes aquifères en raison de la perméabilité des fissures affectant les calcaires. Pour les stations de Marnay-sur-Marne et Chamouilley, le débit mensuel maximal est atteint au mois de janvier (7,17 et 62,1 m³/s) alors que le minima a lieu au mois de septembre pour Marnay (1,43 m³/s) et en juillet pour Chamouilley (8,29 m³/s).

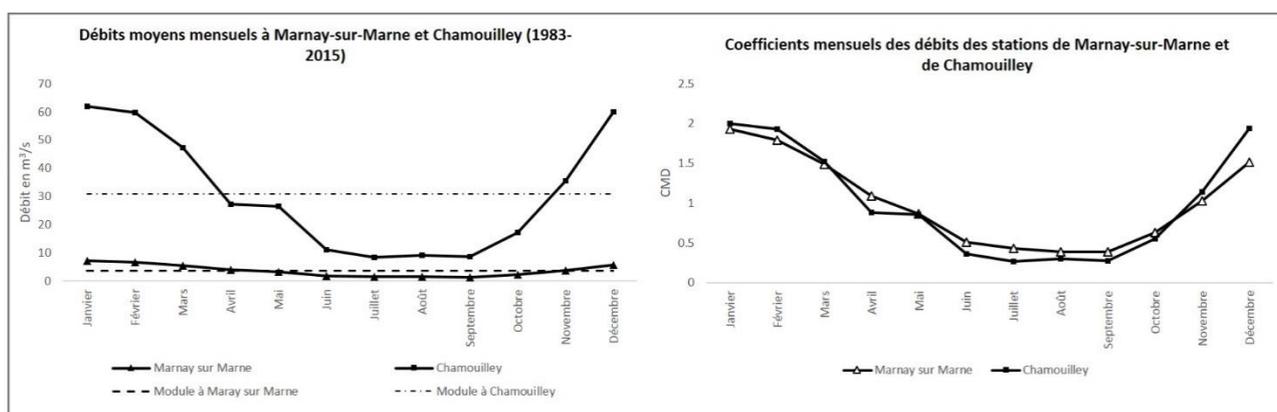


Figure 3 : Régimes hydrologiques de la Marne aux stations de Marnay-sur-Marne et de Chamouilley (Figure 1).

Les étiages sont profonds et souvent de longue durée. Le débit mensuel minimal (QMNA) quinquennal sec est de 0,9 m³/s pour la station de Marnay-sur-Marne et de 2,9 m³/s pour celle de Chamouilley. Pour ces deux stations les QMNA se répartissent de juillet à octobre, ce qui est caractéristique des cours d'eau de la région.

Les crues de la Marne dans ce secteur sont majoritairement hivernales et environ un tiers des crues ont lieu à l'automne. Au cours de l'été et du printemps, les crues sont rares (Lejeune, 2005). Les débits moyens journaliers maximaux de crue biennale sont de 29 m³/s à Marnay et de 220 m³/s à Chamouilley, et ceux de crue décennale sont de 46 m³/s et de 330 m³/s pour Marnay et Chamouilley respectivement. Les pointes de crues se propagent rapidement de l'amont vers l'aval, avec une vitesse d'environ 2 km/h entre Marnay-sur-

Marne et Saint-Dizier (Lejeune, 2005). Deux types de crues peuvent être considérés, les crues simples et les crues composites. Les crues simples se produisent principalement en été, engendrées par un épisode pluvieux élémentaire circonscrit à secteur limité du bassin versant. Leur durée est courte variant de quelques jours à quelques semaines. Les crues complexes se produisent essentiellement en automne et en hiver. Elles sont générées par des flux d'ouest provoquant des épisodes pluvieux durables entre octobre et avril. La durée de ce type de crue peut s'étendre sur plusieurs mois. Elles sont constituées de pics multiples plus ou moins conséquents (ruissèlement) se superposant à un gonflement général de l'hydrogramme (vidange des nappes) (Lejeune, 2005).

3 La métallurgie en Haute-Marne

Au 19^e siècle, la Haute-Marne occupait la première place de la sidérurgie française avec 90 hauts-fourneaux et plus de 15 % de la production nationale de fonte (Robert-Dehault, 2010). Le département doit cette première place à la combinaison de facteurs géographiques (présence de matières premières abondantes et de qualité) et à l'évolution des pratiques et techniques qui ont permis le développement de l'activité. La présentation simplifiée de cette évolution qui est faite ici repose principalement sur des travaux de géographes et d'historiens synthétisés dans un numéro spécial de la revue *Fontes* paru en 2010 consacré au haut-fourneau de Dommartin-le-Franc (Robert-Dehault, 2010) et dans l'article référence de Marcel Bulard (1904) sur l'industrie de fer dans la Haute-Marne.

Les premières traces archéologiques témoignant d'une activité sidérurgique pratiquée in situ datent du 1^{er} siècle après Jésus-Christ et ont été retrouvées à proximité de Saint-Dizier. Durant les siècles qui ont suivi, l'activité s'est développée et les sites de production se sont multipliés à travers la région. Les forges, bas fourneaux puis forges à bras, étaient alors implantées sur les plateaux, à proximité des zones d'extraction de minerai et de production de charbon de bois (Figure 4). À partir du 12^e siècle, apparaissent les premiers «moulins à fer». Ceux-ci utilisaient la force hydraulique pour actionner les soufflets et marteler les loupes de fer pour en extraire les impuretés et les scories. Les forges, essentiellement contrôlées par les abbayes, ont dès lors été installées dans les fonds de vallée et les cours d'eau et ont subi un certain nombre d'aménagements pour faire tourner les roues à aubes. Des retenues ont été créées et des biefs creusés, modifiant durablement le fonctionnement hydrologique et sédimentaire de la Marne et ses affluents. La première forge de ce type aurait été installée sur la commune de Wassy en 1157 dans la vallée de la Blaise et est aujourd'hui considérée comme la première forge industrielle de France.

L'utilisation de la force hydraulique a permis de multiplier le rendement des fourneaux par 10, passant d'une production de 5 à 50 kgde fer. Mais c'est avec l'arrivée des haut-fourneaux au 15^e siècle que l'activité a pris un caractère réellement industriel avec une production atteignant progressivement 1 tonne par coulée. Ces nouveaux types de fourneau ne produisaient plus directement de fer « pur » mais bien de la fonte. Leur plus grande taille (jusqu'à 10 m de hauteur) induisait une réduction plus lente du minerai qui se chargeait alors en carbone (Figure 5).

Les premiers haut-fourneaux apparaissent à Saint-Dizier sur la Marne et à Dommartin-le-Franc sur la Blaise respectivement en 1450 et 1459. Puis rapidement, 12 autres sites de productions s'installent sur la Blaise et ses affluents entre Wassy et à la confluence avec la Marne, sur l'Aujon, le Rognon et la Sueurre. Au 16^e et 17^e siècle ce sont une cinquantaine de nouveaux établissements qui s'installent dans la région (Figures 4). Les cartes de la Figure 4 montrent clairement le déplacement des fourneaux vers les fonds de vallée mais également la dispersion des sites de production de fer dans tout le bassin. Le faible rendement des premières exploitations nécessitait en effet un minerai très riche en fer (gisements du Neocomien inférieur et supérieur localisé autour de Saint-Dizier) alors que plus tard, avec l'amélioration des techniques, les minerais moins riches ont pu être utilisés et l'ensemble des sources du département ont été exploitées (gisements moins riches du centre (oxfordien) et du sud (liasique) du bassin) (Bulard, 1904). En Haute Marne, les dépôts ferrugineux remaniés (alluvions) ou en place ont une teneur en fer comprise entre 20 et 45 % et sont superficiels. Ils ont été exploités depuis la surface et plus rarement grâce à des puits pouvant atteindre 50 ou 60 m de profondeur.

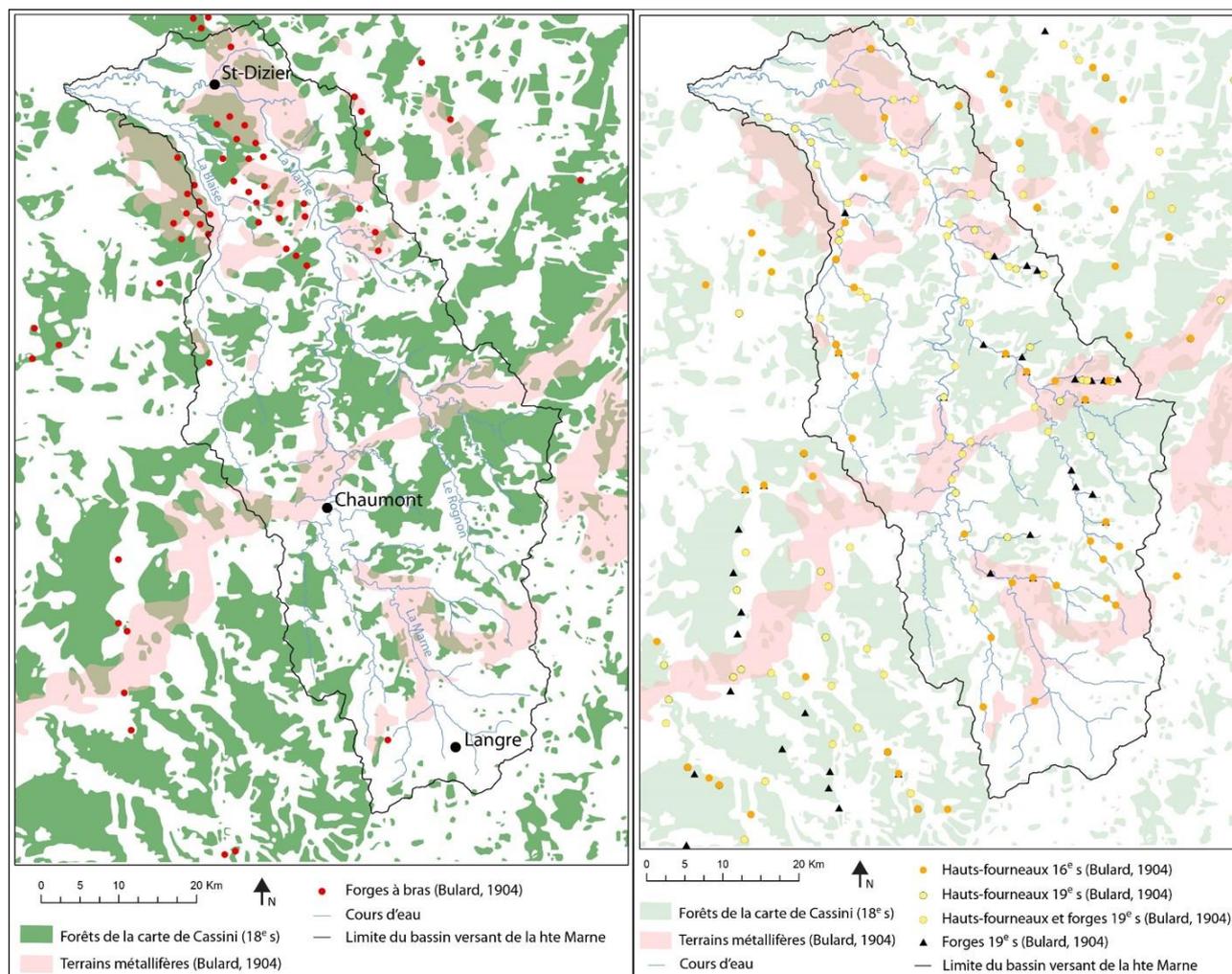


Figure 4 : Carte de localisation des Forges à bras de Haute Marne (d'après Bulard, 1904) (à gauche) et Carte de localisation des hauts-fourneaux et forges de Haute Marne (d'après Bulard, 1904) (à droite).

Avec le minerai et l'énergie hydraulique, le bois est le troisième pilier du triptyque sur lequel repose le développement de l'industrie sidérurgique ancienne. Le charbon de bois était produit localement dans des charbonnières qui produisaient de l'ordre de 24 kg de charbon par hectolitre de bois (Robert-Dehault, 2010). Au 19^e siècle, l'usine du Chatelier situé à Louvemont sur la Blaise consommait 1,3 tonnes de charbon de bois (15 à 18 stères) pour produire une tonne de fonte (Sombornet *al.*, 2002). Robert-Dehault (2010) propose des chiffres similaires avec une consommation annuelle de 20000 à 24000 stères de bois (chêne, hêtre, charme, bouleau, sapin) pour une production de 100 à 120 tonnes de fontes par mois. On le voit, les besoins en bois étaient considérables et la métallurgie a profité des très nombreux espaces forestiers que comptait le département à cette époque. Près de 3 siècles après l'installation du premier haut-fourneau, la carte de Cassini (Figure 4) montre qu'à l'exception des fonds de vallée, des plateaux de Langre et du Bassigny et de la dépression située au pied de la Côte de Meuse, la forêt était toujours très présente dans le bassin.

L'apparition de la houille et le renouvellement des techniques associées serait d'ailleurs l'un des principaux facteurs responsables du déclin de la production du fer en Haute-Marne. Les fourneaux haut-marnais ont en effet essentiellement fonctionné au charbon de bois jusqu'à la fin du 19^e siècle. Malgré la reconversion de certains sites de production, c'est à partir des années 1860 que l'industrie métallurgique haut-marnaise commencera à décliner avec le développement en France et en Europe des fourneaux dits anglais fonctionnant au « charbon de terre » (Figure 5). La progressive disparition de l'activité aurait également été favorisée par l'industrialisation de l'activité et la signature du Traité de commerce franco-anglais en 1860 par Napoléon III. Au plus fort de son activité, la Haute Marne a compté jusqu'à 90 hauts-fourneaux, 11 laminoirs et 13 forges à Marteaux produisant annuellement près de 100000 tonnes de fonte et 50000 tonnes de fer (Robert-Dehault, 2010; Ricard, 2015).



Figure 5 : Photographies du haut-fourneau de Dommartin-le-Franc (gauche) et de minerai de fer (droite) et évolution du nombre de haut-fourneaux en activité en Haute Marne depuis la seconde moitié du 15^e siècle (en bas).

4 L'utilisation des scories de la métallurgie ancienne pour suivre le déplacement de la charge de fond

4.1 Utilisation des scories en dynamique fluviale

Contrairement aux bas-fourneaux, les hauts-fourneaux ne produisent pas directement du fer mais bien de la fonte. On parle dans ce cas de réduction indirecte. La fonte est soit directement moulée à la sortie de la coulée au pied du haut-fourneau ou coulée sous forme de barres (les gueuses) qui seront transformées en fer « pur » lors d'une seconde étape dans des forges d'affinage (Houbrechts et Petit, 2004). Les hauts-fourneaux fonctionnaient en continu pendant plusieurs semaines, il était chargé par le haut (gueulard) en alternant couches de minerai, de charbon et de fondant (pierre calcaire facilitant la fonte du minerai). Lorsqu'une quantité suffisante de fonte en fusion s'était accumulée à la base du fourneau, le fondeur laissait s'écouler la fonte dans des rigoles ou des moules en sable humide. Au-dessus de la fonte, surnageait le laitier, résidu de la combustion du fondant et de la gangue du minerai, qui en refroidissant formait les scories (Figure 6). Il était éliminé au fur et à mesure de la coulée et les scories étaient stockées sur des crassiers. Elles sont principalement composées de silice, d'impuretés (alumine, chaux, manganèse) et de fer partiellement réduit (Houbrechts et Weber, 2007). D'après une étude menée à partir d'archives historiques, Houbrechtset Weber (2007) ont montré que les hauts-fourneaux wallons produisaient 1,25 t de scories pour une tonne de fonte. Ce qui, selon la production annuelle wallonne au 16^e siècle, aurait correspondu à une production de 80 m³ de scories par an.

Houbrechtset *al.* (2011) ont classé les scories en deux grands types : les scories vitreuses et les scories denses. Les premières sont produites dans les hauts-fourneaux et comptent généralement de nombreuses vacuoles issues du dégazage consécutif au refroidissement du laitier. En fonction de leur teneur en fer, de la nature du fondant et de la température du fourneau, elles prennent des couleurs très variées allant du bleu turquoise au noir en passant par le vert. C'est leur forte teneur en silice et la rapidité de leur refroidissement qui leur confèrent leur aspect vitreux. Elles présentent généralement des cassures conchoïdales, ont une densité de 2,2 à 2,5 g/cm³ et sont souvent de petite taille car, une fois refroidie, elles étaient concassées pour récupérer les nodules de fer. Les secondes, les scories denses, sont quant à elles issues des bas- et des hauts-fourneaux ainsi que des forges d'affinage. Elles sont généralement de couleur noire et ont une densité bien supérieure aux scories vitreuses. Elles sont d'origines variées (fond de cuve des bas-fourneaux, température trop basse des hauts-fourneaux, décarburation de la fonte dans les forges, etc.) et ont une teneur en fer parfois très importante (supérieure à celle du minerai). Elles pouvaient être refondues mais il semble qu'elles étaient souvent rejetées car contenant une grande quantité d'impuretés.

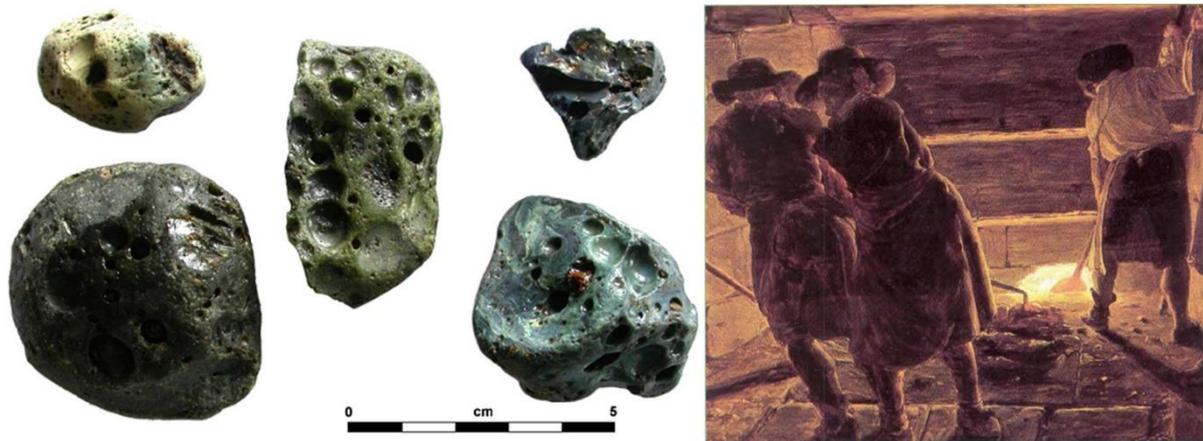


Figure 6 : Scories vitreuses prélevées dans la charge grossière de rivières ardennaises (Belgique) Houbrechts et al. (2011) (à gauche) et extraction du laitier par écrémage du creuset (scène extraite d'un intérieur de fonderie peint par Léonard De France ; Houbrecht et Weber, 2007)

Dans cette étude, seule les scories vitreuses seront utilisées car elles sont très faciles à identifier macroscopiquement et ont une densité proche de celle de la charge de fond naturelle des cours d'eau. Les crassiers sur lesquels elles étaient rejetées étaient localisés à proximité de la rivière. Lors des inondations ou du déplacement latéral du cours d'eau, elles étaient injectées dans le système et pouvaient être transportées avec la charge solide.

L'idée d'utiliser ces résidus de la métallurgie ancienne comme marqueur du fonctionnement sédimentaire des cours d'eau a été proposée par plusieurs chercheurs de l'Université de Liège. D'abord pour étudier la sédimentation en plaine alluviale (Hanrottait, 1972 ; 1973) puis pour évaluer la vitesse de déplacement de la charge de fond des rivières caillouteuses ardennaises (Sluse et Petit, 1998 ; Houbrechts et Petit, 2003 ; Houbrechts, 2005 ; Houbrechtset al., 2011) et l'épaisseur de leur couche active de charriage (Houbrechtset al., 2012). Pour l'étude de la charge de fond, la méthode repose sur un postulat que les scories, une fois introduites dans les cours d'eau, progressent à la même vitesse que la charge de fond naturelle de la rivière (Figure 7). Si l'on connaît le site d'injection et sa période de fonctionnement, en prélevant d'amont vers l'aval les plus grosses scories présentes dans le lit, on peut évaluer la compétence de la rivière et la vitesse de progression de la charge de fond. Ce postulat peut être posé car la densité des scories est très proche de celle des matériaux naturels ($2,2-2,5 \text{ g/cm}^3$ pour $2,6 \text{ g/cm}^3$). De plus, même si les scories sont des particules individuelles, la quantité de scories présente dans la rivière est telle, qu'il est permis de considérer qu'il s'agit en quelque sorte de la propagation d'une « vague sédimentaire ». Les scories sont soumises aux mêmes conditions hydrologiques et de piégeage que les particules composant la charge de fond et ont pu être piégées dans des bancs de convexité ou être remaniées par érosion latérale (Sluse et Petit, 1998).

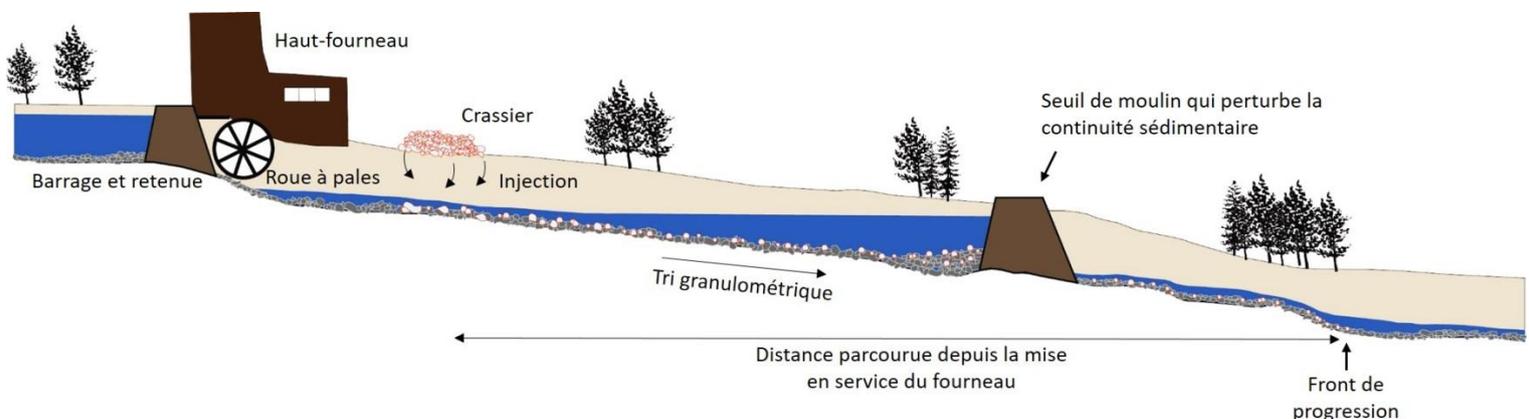


Figure 7 : Schéma théorique de la dispersion des scories au sein du système fluvial

Cette étude se propose d'utiliser ces marqueurs anthropiques pour évaluer la compétence de la haute Marne et de ses affluents. Les scories devraient nous permettre de déterminer quelles fractions granulométriques sont régulièrement déplacées par ces cours d'eau et la vitesse de déplacement de celles-ci. Nous travaillerons plus spécifiquement sur deux fractions granulométriques distinctes : la charge grossière (caractérisée par les plus grosses scories présentes sur les dépôts) et la charge sableuse (à travers l'étude des scories de diamètre compris entre 0,5 et 2,6 mm). Le déplacement des sables au sein de la charge de fond des rivières caillouteuses est très peu connu car très difficile à étudier avec les techniques habituellement déployées en dynamique fluviale (marquage, piégeage, etc.). Une attention particulière sera par ailleurs portée sur le rôle des obstacles transversaux sur le transit de ces deux fractions granulométriques. Par rapport aux techniques traditionnelles, l'utilisation des scories permet de considérer ces questions liées au transport de la charge fond sur le temps long (plusieurs siècles) permettant ainsi d'intégrer l'évolution historique des lits et de pleinement intégrer le caractère très discontinu du transport (difficilement considéré lorsqu'on travaille avec le marquage de particules individuelles) (Houbrechts et Petit, 2003 ; Houbrechtset al., 2011).

4.2 Les prélèvements et le traitement en laboratoire

Le prélèvement des scories est préférentiellement réalisé sur les seuils. En effet, dans les systèmes seuils-mouilles, selon la théorie de réversibilité des forces tractrices en fonction des débits, les seuils agissent comme des filtres dans la progression de la charge de fond. Aussi, la taille du matériel sur ces faciès permet d'avoir une estimation de la taille des particules charriées par la rivière et donc une estimation de la compétence effective de celle-ci (Bravard et Petit, 2000). La procédure pour prélever ces scories consiste à récolter les plus grosses macroscories (axe $b > 5\text{mm}$) présentes sur le dépôt et un échantillon de sables grossiers en veillant à éviter la sous-couche pour y déterminer sa concentration en mésoscories (fraction sableuse). Le transport de la charge grossière est considéré en calculant la moyenne des 10 plus grosses macroscories. Houbrechtset al. (2011) ont montré d'une part que l'utilisation de cette moyenne permet de réduire le risque de considérer une scorie isolée qui n'aurait pas été apportée sur le site de prélèvement par la rivière ; et d'autre part que cette moyenne est proche du D_{95} de la rivière, un excellent indicateur de sa compétence effective.

Les échantillons sableux sont quant à eux tamisés en laboratoire. Dans un premier temps, un tamisage est effectué sous l'eau avec des tamis de 5, 1 et 0,5 mm. Les particules supérieures à 5 mm et inférieures à 0,5 mm sont jetées. Celles piégées dans les tamis de 1 mm et 0,5 mm sont séchées à l'étuve. Dans un second temps, la fraction supérieure à 1 mm est tamisée à sec à travers deux tamis (2,5 et 1,6 mm). Au final, les concentrations en scories des fractions sableuses comprises entre 0,5 et 1 mm et 1,6 et 2,5 mm sont calculées. Ces deux gammes granulométriques ont été choisies car elles représentent, pour les rivières à énergie faible et moyenne, la taille des particules transportées à la limite entre le roulage sur le fond du lit et la suspension gradée (Houbrechtset al., 2013).

Pour mesurer les concentrations en mésoscories, un séparateur magnétique (Frantz MagneticBarrierLaboratorySeparator, LB-1) est utilisé (Figure 8). Cet appareil permet, grâce à un électroaimant dont la puissance peut être ajustée, d'isoler les éléments faiblement magnétiques des éléments non magnétiques. Leprêtre (2015) a testé la méthode sur des échantillons contenant des scories de plusieurs rivières de Normandie (Figure 8). En comparant des échantillons traités à la loupe binoculaire (comptage manuel des scories présents dans 5 g de sédiment) avec d'autres traités grâce au séparateur magnétique, elle a montré que le séparateur magnétique permettait d'obtenir des résultats tout à fait satisfaisants. Un protocole de traitement a ainsi pu être ajusté. L'emploi du séparateur magnétique pour trier les scories présente l'avantage majeur de pouvoir travailler sur des fractions granulométriques fines et permet d'analyser de grandes quantités de sédiments.

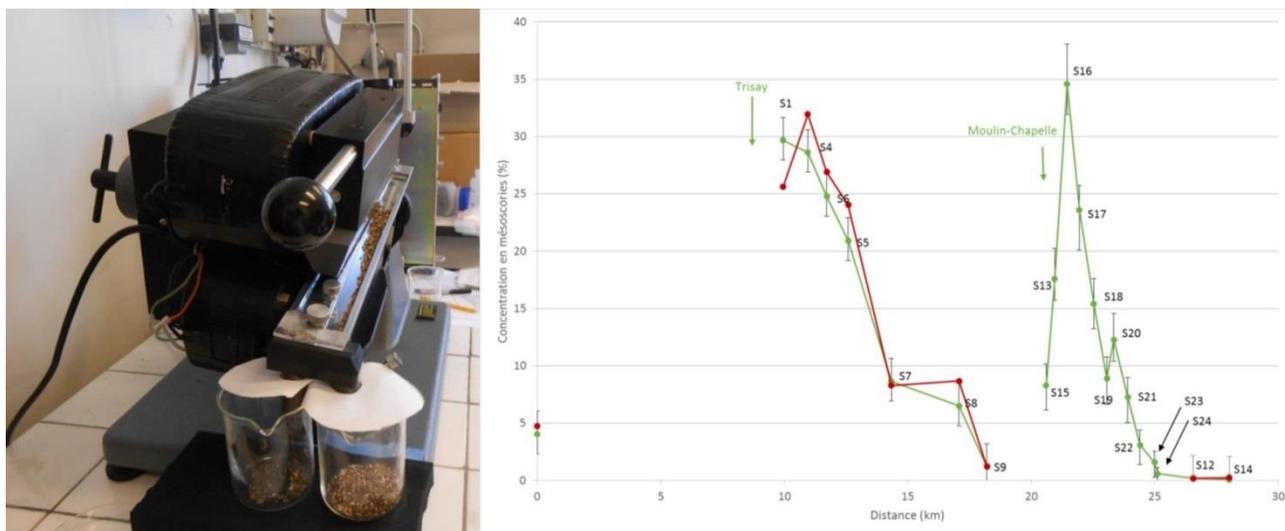


Figure 8 : Séparateur magnétique permettant d'isoler les mésoscories (à gauche). Evolution longitudinale de la concentration de mésoscorie dans la Risle : en rouge, concentration mesurée à l'aide du séparateur magnétique ; en vert, comptage à la loupe binoculaire (à droite) (Leprêtre, 2015).

5 Les premiers résultats

Huit mois après le début de cette étude, nous ne disposons pas encore de résultats très fournis. L'essentiel de nos recherches se sont portées sur l'aspect historique de la métallurgie haut-marnaise et sur les premières prospections de terrain. Des prélèvements ont toutefois d'ores et déjà été réalisés sur 15 sites de la vallée du Rognon et 6 sur la vallée du Rongeant. Les analyses concernant la charge sableuse étant en cours, seuls les résultats concernant les macroscores pourront être présentés.

5.1 Le Rognon

Comme partout dans la région, les sites de production sont très nombreux dans cette vallée et celle de son principal affluent, la Sueurre. A partir des cartes de Bulard (1904), de Cassini et de l'état-major, nous avons recensé 42 sites de production sidérurgique dont 21 hauts-fourneaux et 24 forges. Quatre sites sont renseignés à la fois comme disposant d'une forge et d'un haut-fourneau (Tableau 1). Le tableau 1 mentionne la date de mise en activité de certaines de ces usines. Malheureusement, pour la majorité d'entre elles, nous n'avons pas encore réussi à trouver de date, ou les dates mentionnées dans la littérature ne sont pas encore suffisamment précises. Des études complémentaires sont nécessaires.

La carte de la Figure 9 renseigne la localisation de ces différents sites de production. Pour rappel, seul les sites ayant possédé un haut-fourneau sont susceptibles d'avoir injecté des scories vitreuses dans la charge de la rivière. Les résultats concernant les macroscores de notre première campagne de prospection sont présentés à la Figure 9. A l'exception du site RO12, des scories ont été retrouvées sur tous les sites prospectés. Comme on pouvait s'y attendre, les sites d'injection sont nombreux et seuls deux tronçons du cours d'eau présentent des fourneaux suffisamment espacés pour que l'on remarque une diminution de la taille des scories vers l'aval : entre RO11 et RO12 et entre RO13 et la confluence avec la Sueurre (RO8). Nous ne disposons pas de prélèvements suffisamment nombreux dans le premier cas (entre RO11 et RO12) pour tirer quelque conclusion que ce soit mais ce secteur du Rognon semble plutôt prometteur. Dans le second cas, on trouve un tronçon d'une dizaine de kilomètres sans site de production, entre le fourneau de La Crête à Bourdon-sur-Rognon et la confluence de la Sueurre. Des prélèvements complémentaires seront nécessaires mais l'on peut déjà noter qu'en à peine 2,5 km, la taille des plus grosses scories présentes sur les dépôts est passée de plus de 8 cm juste à l'aval de l'injection à 2,5 cm à RO14. Leur taille se stabilise ensuite au niveau d'un palier autour de 2,2 cm de diamètre. Ce type de palier est très commun dans ce genre d'étude et a été observé sur les rivières ardennaises étudiées par Houbrechts et Petit (2003) et Houbrechtset al. (2011) et sur plusieurs rivières normandes par Leprêtre (2014 ; 2015). Ce palier est révélateur de la compétence effective de la rivière et indiquerait que dans ce secteur, le Rognon transporterait une charge de

taille similaire au diamètre médian (D_{50}) des matériaux qui composent le lit de la rivière (RO7 $D_{50} = 2,6$ cm, RO10 $D_{50} = 1,7$ cm et RO14 $D_{50} = 2,6$ cm). La décroissance rapide de la taille des macroscories est, quant à elle, due au tri granulométrique à l'aval de l'injection. Les plus grosses scories voyageant beaucoup moins fréquemment que les plus petites, ces dernières avancent beaucoup plus rapidement. Ce tri est donc d'autant plus rapide que la compétence de la rivière est faible. En Normandie, sur l'Iton, la Risle et la Charentonne, Leprêtre (2015) a observé que ces rivières mobilisaient une charge d'un diamètre de 1,5 à 2 cm et qu'il fallait entre 1,5 et 5 km pour que le tri granulométrique s'opère. Houbrechtset al. (2011) proposent des valeurs comprises entre 2 et 4 km pour respectivement la Rulles et le Viroin, deux cours d'eau à énergie relativement faible dans lesquelles la compétence effective serait respectivement de 1,5-2 cm et 5 cm. Houbrechts et Petit (2003), observent sur des rivières où les pentes sont plus fortes (l'Aisne, la Lembrée et l'Ourthe) que le tri s'effectue en moins d'un kilomètre pour des compétences effectives comprises entre 4 et 7 cm.

En ce qui concerne la vitesse de progression de la charge, le secteur entre deux injections successives est malheureusement trop court pour distinguer un front de progression. On voit toutefois que les premières scories produites dans le fourneau de la Crête ou de Morteau, situé quelques centaines de mètres en aval, ont parcouru au moins 7,9 km depuis la mise en service des hauts-fourneaux. Certaines ont pu aller plus loin mais si tel est le cas, il est impossible de les distinguer de celles apportées par la Sueurre. Pour l'instant, nous ne connaissons pas avec précision la date de mise en service de ces deux Fourneaux mais nous savons que celui de La crête était en activité avant 1791 et que celui de Morteau a été construit par Nicolas Thomassin suite à l'octroie lettres patentes du roi (Charles VIII) expédiées en 1489 : *Les gens des comptes et trésoriers du Roy notre sire à Paris à tous ceux qui ces présentes lettres verront salut: sçavoit faisons que... nous avons baillé, délivré, baillons et délivrons patces présentes au Sr Nicolas Thomassin le village et finage de Mortaut, pour l'avoir, tenir et en jouir pat luy, ses hoirs, successeurs et ayants cause, ensemble de tous les droits que le Roy notre dit seignury avait auparavantce jourd'huy, excepté les souveraineté, justice, épaves, confiscations et amendes, et le droit de pourchot et mouton, et y faire et construire une forge de fer et autres édifices que bon luy semblera, & pour ce et autres nécessités, prendre bois esdits bois d'iceluy finage, et en faire comme de leur propre chose, à la charge de quinze livres de rente et de douze sols de cens payables pat chacun an au Roy notre dit seigneur, à la recette du bailliage de Chaumont aux termes accoutumés en icelle et en semblables cas, ledit cens portant lods et ventes, saisines et amendes, comme les autres cens de la dite recette.* (Collet, 1903). Collet (1903) nous apprend également que la Forge a été construite rapidement après l'octroi de ces lettres patentes car il ajoute : « Nicolas Thomassin s'empressa de construire une forge à fer *en un désert étant au bout du village, sur la petite rivière du Rognon*. Il eut ensuite avec les habitants d'Andelot, relativement au droit de pêche et à la délimitation des finages, des contestations qui se terminèrent par une transaction du 4 juin 1497 ». On peut donc penser que le fourneau a été construit entre 1489 et 1497. Des scories ont donc été rejetées sur ce site depuis environs 520 ans. Depuis lors elles ont au moins parcouru 7,9 km ce qui correspondrait à une vitesse minimum de 1,5 km/siècle. Ce qui est un ordre de grandeur tout à fait comparable à ce qui a été observé sur les rivières normandes (de 0,9 à 2,2 km/siècle) étudiées par Leprêtre (2015) et sur les rivières ardennaises (1,4 et 3,1 km/siècle) par Houbrechts et Petit (2003) et Houbrechtset al. (2011).

5.2 Le Rongean

La vallée du Rongean est beaucoup plus courte que celle du Rognon mais compte néanmoins 12 sites de production ou transformation du fer (Tableau 1). Nous avons échantillonné 6 sites dont les résultats concernant les macroscories sont présentés à la Figure 9. La proximité des sites de production de fonte sur le Rongean implique de très régulières injections de scories qui, pour l'instant, ne permettent pas de tirer aucune conclusion sur le transport sédimentaire. De nouveaux prélèvements devront être réalisés à l'aval du site RON6 avant la confluence avec la Marne. Mais celle-ci n'est située que 3,7 km en aval du fourneau de Poisson, il n'est dès lors pas évident que les résultats soient exploitables.

Le Rogon

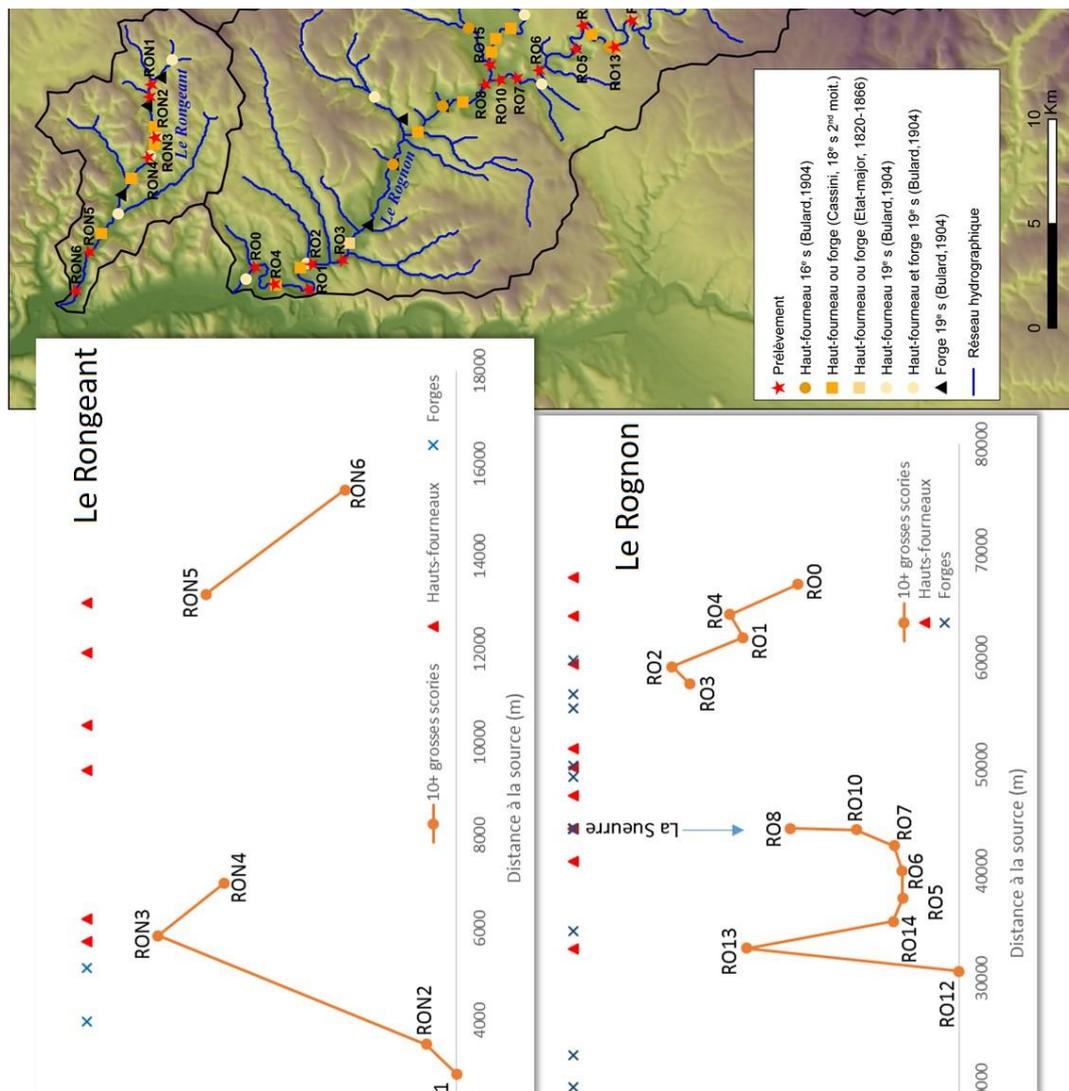
Commune	Cours d'eau	Nom	Type	Bulard (1904) 16 ^e s	Cassini 18 ^e s	Etat-major (19 ^e s)	Bulard (1904) 19 ^e s	Date début	Date fin	Sources
Essey les eaux	Rogon		Fourneau	x						
Donnemarie	Rogon		Fourneau	x						
Nimville	R. du Val d'Orsay		Fourneau	x						
Lanques sur Rogon	Rogon	Forge du haut	Forge		x	x		Avant 1765		Ponts et chaussées (1841)
Lanques sur Rogon	Rogon	Forge du bas	Forge		x	x		Avant 1765		Ponts et chaussées (1841)
Mennouveaux	Seuillon		Fourneau (?)	x			x			
Mennouveaux	Seuillon	Forge de Seuillon	Forge		x	x				
Esnouveaux	Aff. Sans nom		Forge				x			
Esnouveaux	Rogon	Pont Minard	Forge			x				
Forcey	Rogon		Forge				x			
Bourdons sur Rogon	Rogon		Forge				x			
Bourdons sur Rogon	Rogon	La crête	Fourneau + Forge	x	x	x	x	Avant 1791	~1850	Ponts et chaussées (1841)
Cirey-lès-Mareilles	Rogon	Forge Morteau	Forge		x	x		1489		Collet (1903)
Andelot	Rogon		Fourneau + Forge				x			
Ecot la Combe	Sueurre		Fourneau				x			
Ecot la Combe	Sueurre		Fourneau		x			Avant 1796		Ponts et chaussées (1841)
Rimaucourt	Sueurre	Grande combe	Fourneau (?)	x			x			
Rimaucourt	Sueurre		Fourneau				x			
Rimaucourt	Sueurre		Fourneau				x			
Rimaucourt	Sueurre		Fourneau		x	x				
Rimaucourt	Sueurre		Forge		x	x				
Rimaucourt	Sueurre	La vieille Forge	Forge		x	x				
Orquevaux	Manoise		Forge			x		Us. ancienne		Ponts et chaussées (1841)
Orquevaux	Manoise		Forge		x	x		Us. ancienne		Ponts et chaussées (1841)
Orquevaux	Manoise		Fourneau			x		Us. ancienne		Ponts et chaussées (1841)
Orquevaux	Manoise	Forge du bas	Forge		x	x		Us. ancienne		Ponts et chaussées (1841)
Humberville	Manoise	Forge de Fleuret	Forge			x		Avant 1808		Ponts et chaussées (1841)
Manois	Manoise	Le Carillon	Fourneau			x		Avant 1791		Ponts et chaussées (1841)
Manois	Manoise	Forge de Manois	Forge		x	x		Avant 1791		Ponts et chaussées (1841)

Manois	Manoise		Fourneau	x				Avant 1791		Ponts et chaussées (1841)
Montot sur Rognon	Rognon		Forge		x	x		1559		Ponts et chaussées (1841)
Montot sur Rognon	Rognon		Fourneau (?)	x						x
Roches sur Rognon	Rognon		Forge		x	x		Au moins 1719		Sombornet <i>al.</i> (2002)
Roches sur Rognon	La Joux		Fourneau							x
Bettaincourt sur Rognon	Rognon		Fourneau (?)	x				1580	Après 1880	Sombornet <i>al.</i> (2002)
Doulaincourt	Rognon		Forge					1628	1807	Sombornet <i>al.</i> (2002)
Doulaincourt	Rognon		Forge			x		1839	1940	Sombornet <i>al.</i> (2002)
Saucourt sur Rognon	Rognon		Fourneau + Forge							x
Saucourt sur Rognon	Rognon		Forge		x	x		17e siècle	fin 20e siècle	Sombornet <i>al.</i> (2002)
Donjeux	Rognon	La vieille Forge	Fourneau		x	x		1628	1864	Sombornet <i>al.</i> (2002)
Donjeux	Rognon		Fourneau + Forge					18e siècle		x

Le Rongean

Thonnace les moulins	Rongean		Fourneau							x
Thonnace les moulins	Rongean		Forge							x
Thonnace les moulins	Rongean		Forge							x
Thonnace les moulins	Rongean	Forge ste Marie	Forge		x	x				
Thonnace les moulins	Rongean	Forge ste Marie	Fourneau					1632	20 ^e siècle	Somborn et al. (2002)
Thonnace les moulins	Rongean	Forge ste Marie	Fourneau		x					
Thonnace les moulins	Rongean	Forge ste Marie	Fourneau							x
Noncourt sur Rongean	Rongean		Fourneau		x	x		fin 13e siècle	1946	Somborn et al. (2002)
Noncourt sur Rongean	Rongean		Fourneau					idem	Idem	Somborn et al. (2002)
Poisson	Rongean									x
Poisson	Rongean	La Forge	Fourneau		x	x		1616	20 ^e siècle	Somborn et al. (2002)
Poisson	Rongean	Four. des Prés Bas	Fourneau					1850	1880	Somborn et al. (2002)

Tableau1 :



5.3 La Blaise

Sur la Blaise nous n’avons pas encore pu réaliser de prélèvement sur le terrain. Comme pour le Rognon et le Rongeant, sont ici présentés les sites de production (Figure 10 et Tableau 2). Il existe beaucoup de documentation sur l’histoire de la métallurgie de cette vallée. Nous ne devrions dès lors pas avoir trop de problème pour collecter les informations nécessaires pour dater les différents sites de production. On peut voir sur la Figure XXX que les sites sont relativement espacés et assez bien distribués sur l’ensemble du cours. On compte 18 hauts-fourneaux sur la Blaise entre la source et la confluence avec la Marne ainsi que 3 haut-fourneaux sur le Blaiseron, son principal affluent. Certains de ces sites de production sont très anciens, les premiers ayant fonctionné dès le 14^e siècle. Pour ces fourneaux très anciens, on peut penser que durant les premières décennies de leur fonctionnement, ils produisaient le fer par procédé direct et que ce n’est qu’à partir du 15^e siècle qu’ils ont été transformés en hauts-fourneaux produisant de la fonte. Deux secteurs nous semblent particulièrement intéressants pour notre étude, la partie amont du bassin d’une part, et un tronçon en aval du fourneau de Brousseval.

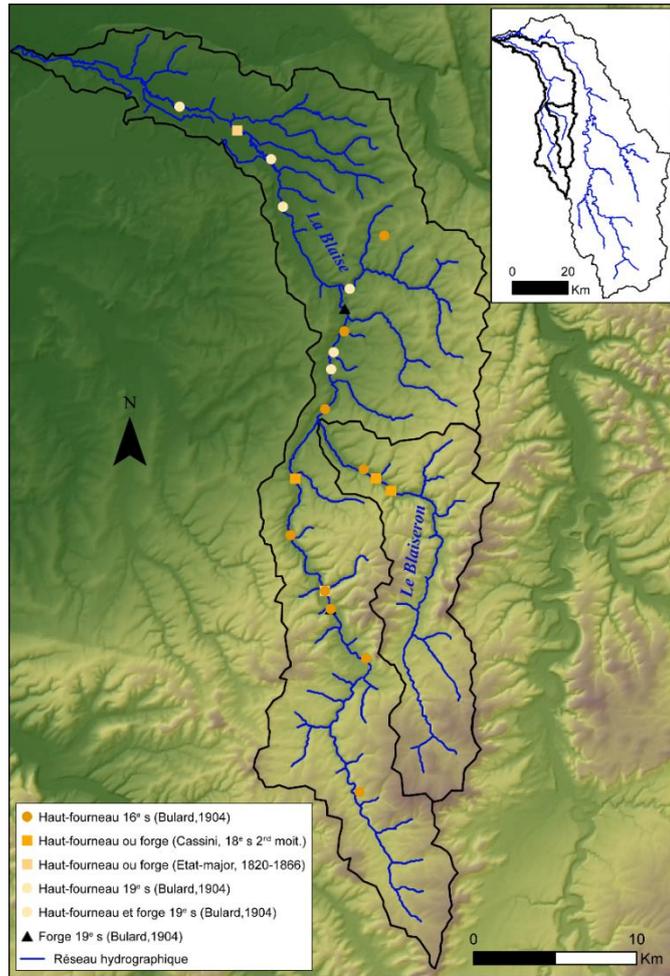


Figure 10 :

La Blaise

Commune	Cours d'eau	Nom	Type	Bulard (1904) 16 ^e s	Cassini 18 ^e s	Etat-major (19 ^e s)	Bulard (1904) 19 ^e s	Date début	Date fin	Sources
La Chapelle en Blaisy	Blaise		Fourneau	oui						
Blaise	Blaise	Bracancourt	Fourneau	oui						
Bouzancourt	Blaise		Fourneau	oui						
Cirey sur Blaise	Blaise		Fourneau	oui		oui			1865	Somborn et al. (2002)
Cirey sur Blaise	Blaise		Fourneau	oui				Avant 1503	1880	Somborn et al. (2002)
Cirey sur Blaise	Blaise		Fourneau			oui		Avant 1662	1885	Inventaire Patrimoine Champagne-Ardenne
Arnancourt	Blaise		Founeau	oui			oui			
Dommartin le St Père	Blaise		Forge		oui	oui				
Charmes la Grande	Blaiseron		Fourneau		oui	oui	oui	1667		Somborn et al. (2002)
Charmes la Grande	Blaiseron		Fourneau		oui	oui	oui			
Charmes la Grande	Blaiseron		Fourneau	oui						
Dommatin le Franc	Blaise		Fourneau	oui	oui	oui	oui	1459 (1264)	1992	Somborn et al. (2002)
Doulevant le Petit	Blaise		Fourneau				oui			
Rachecourt-Suzémont	Blaise		Fourneau				oui	1264	1883	Somborn et al. (2002)
Vaux sur Blaise	Blaise		Founeau	oui				1833 (?)	1890	Somborn et al. (2002)
Montreuil sur Blaise	Blaise		Founeau				oui	1621	1925	Somborn et al. (2002)
Brousseval	Blaise		Fourneau				oui	Avant 1789	Tjs en activité	Somborn et al. (2002)
Wassy	Blaise		Fourneau					1157	Tjs en activité	Somborn et al. (2002)
Attancourt	Blaise	Moulin de grigny	Fourneau					1493	18e siècle	Somborn et al. (2002)
Louvemont	Blaise	Chatelier	Fourneau				oui	1395	1980	
Louvemont	Blaise	Usine Rostaing	Fourneau					1825	Après 1865	Somborn et al. (2002)

Tableau2 :

6 Conclusion

Ces quelques premiers éléments posent les bases de notre travail sur la dynamique sédimentaire de la haute marne et ses affluents. Nous voyons que les ressources documentaires très riches vont nous permettre de déterminer avec précisions la localisation et la période d'activités de sites de productions de fonte. Le très grand nombre de fourneaux présents au bord des cours d'eau ne facilite pas l'interprétation des résultats mais nos premières observations ont montré que nous pouvions d'ores et déjà tirer un certain nombre d'informations intéressantes. On voit que malgré des pentes assez faibles, le Rognon est relativement dynamique et transporte une charge assez grossière. Les obstacles transversaux sont nombreux mais ne semblent pas totalement arrêter la charge. Ces premiers résultats nous encouragent à poursuivre nos investigations sur le Rognon. La situation sur le Rongéant semble quant à elle plus délicate. Dans les semaines qui viennent, des premiers prélèvements seront réalisés sur la Blaise et nous prospecterons la haute Marne en amont de la confluence avec le Rognon.

En parallèle de ces études sur la dispersion des scories au sein du système fluviale, nous allons sélectionner 2 ou 3 seuils de moulins pour y entamer le deuxième volet de notre projet de recherche. Riche des enseignements de notre étude des scories, l'objectif de ce second volet est d'étudier les dynamiques sédimentaires actuelles et passées autour de ces obstacles transversaux et leurs impacts sur le fonctionnement hydro-sédimentaire actuel de la rivière. Après avoir sélectionné les sites, nous réaliserons :

- l'historique des ouvrages et de leur fonctionnement ;
- l'évaluation des conséquences morphologiques et sédimentaires de l'ouvrage (incision, pavage, etc.) ;
- l'installation d'un piège à sédiment sur l'ouvrage pour évaluer sa franchissabilité ;
- l'évaluation du transit sédimentaire dans la retenue et de son remplissage.

En complément, un certain nombre de particules seront marquées à l'aide de puce RFID (PIT tags) et introduites dans le lit de la rivière en amont et en aval des ouvrages étudiés. Elles permettront la mesure de la dynamique sédimentaire autour des obstacles et seront mise en relation avec l'étude des scories et la franchissabilité des ouvrages.

7 Bibliographie

AESN, 2014. *Etat des lieux 2013 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands*. Agence de l'eau Seine Normandie, 330 p.

Bulard M., 1904. L'industrie du fer dans la Haute-Marne. Premier article. *Annales de Géographie*, 13 (69), 223-242.

Bravard J-P. et Petit F., 2000. *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Armand Colin, Paris, 221 p.

Collet, 1903. *Notice historique sur la commune de Morteau (Haute-Marne), la plus petite commune de France*. Cavaniol, Chaumont, 30 p.

Hanrottait J., 1972. *Etude de la sédimentation récente de quelques rivières au cours des sept derniers siècles par l'observation de résidus de l'industrie du fer ancienne*. Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, inédit, 103 p.

Hanrottait J., 1973. La sédimentation de quelques rivières belges au cours des sept derniers siècles. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 9, 101-115.

Houbrechts G., 2005. *Utilisation des macrosories et des microsories en dynamique fluviale: application aux rivières du massif ardennais*. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgium, 328 pp.

Houbrechts G. et Petit F., 2003. Utilisation des scories métallurgiques en dynamique fluviale : détermination de la compétence effective des rivières et estimation des vitesses de progression de leur charge de

fond. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 3-12.

Houbrechts G. et Petit F., 2004. Evolution des techniques sidérurgiques pré-industrielles et aperçu des critères de localisation de la métallurgie en « Terre de Durbuy ». *Terre de Durbuy*, 89, 3-29.

Houbrechts G. et Weber J-P., 2007. La sidérurgie proto-industrielle dans le bassin de la Lienne. De la Meuse à l'Ardenne, 39, 34-63.

Houbrechts G., Levecq Y., Vanderheyden V., Petit F., 2011. Long-term bedload mobility in gravel-bed rivers using iron slag as a tracer. *Geomorphology*, 126, 233-244.

Houbrechts G., Van Campenhout J., Levecq Y., Hallot E., Peeters A. et Petit F., 2012. Comparison of methods for quantifying active layer dynamics and bedload discharge in armoured gravel-bed rivers. *Earth surface processes and landforms*, 37 (14), 1501-1517.

Houbrechtset al., 2013

Lejeune O., 2005. *Dynamiques d'érosion des bas plateaux de l'Est de la France : l'exemple du bassin-versant amont de la Marne*. Thèse de doctorat de l'Université de Champagne-ardenne, 2005, 472 p.

Leprêtre C., 2014. *Etude de l'activité sidérurgique dans la vallée de la Risle. Utilisation des scories comme traceur de la propagation des sédiments de la Risle*. Mémoire de Master 1 Géographie, Université Panthéon-Sorbonne, 80 p.

Leprêtre C., 2015. *Utilisation des scories de la métallurgie ancienne pour la dynamique morpho-sédimentaire de plusieurs rivières de Haute-Normandie*. Mémoire de Master 2, Dynamiques des milieux et Risques (DYNARISK), Université Panthéon-Sorbonne, 118 p.

Ponts et chaussées, 1841. *Compte rendu des travaux des ingénieurs des mines pendant l'année 1840*. Administration générale des ponts et chaussées et des Mines, 196 p.

Ricard D., 2015. Les dynamiques industrielles en Pays de Chaumont (Haute-Marne) - De la tradition artisanale coutelière aux implants chirurgicaux et au Cluster Nogentech. *Revue géographique de l'est*, 55 (3-4), 1-20.

Robert-Dehault E., 2010. Dommartin-Le-Franc. Un haut-fourneau, un lieu, des hommes. *Fontes*, 64-65, 1-48.

Sluse P. et Petit F., 1998. Evaluation de la vitesse de déplacement de la charge de fondcaillouteuse dans le lit des rivières ardennaises au cours des trois derniers siècles, à partir de l'étude des scories métallurgiques. *Géographie physique et Quaternaire*, 52, 373-380.

Somborn J-Y., Chalot C., Godinot F., de Magnienville C-E., Perchet D., Robert-Dehault E. et Tilly P., 2002. Les vallées du fer et de la fonte d'art. Guide historique. *Fontes*, 46-47-48, 1-99.