

LA MÉTALLURGIE ANCIENNE EN « TERRE DE DURBUY » : UTILISATION DES MACROSCORIES EN DYNAMIQUE FLUVIALE

Geoffrey HOUBRECHTS et François PETIT

Résumé

Avant d'utiliser les scories métallurgiques comme traceur et indicateur de la compétence de l'Aisne à différents endroits de son cours, nous avons relevé les différents atouts qui ont favorisé le développement de la sidérurgie dans la « Terre de Durbuy » et nous avons étudié l'évolution des techniques sidérurgiques afin de mieux comprendre la genèse des scories. Dans cet article, nous étudions plus particulièrement l'évolution longitudinale de la taille des scories dans l'Aisne, entre Blier et Bomal où elle se jette dans l'Ourthe. Vu la trop grande proximité des sites de rejets, nous n'avons pu proposer qu'une vitesse minimum d'avancée de la charge de fond ; les scories prélevées nous ont cependant renseignés sur les variations de puissances spécifiques dans les différents tronçons de la rivière.

Mots-clés

macroscories, métallurgie ancienne, rivière à charge caillouteuse, vague sédimentaire, puissances spécifiques, Ardenne

Abstract

Before using slags as tracer and indicator of the stream power of the Aisne river at different spots, we have noted down the various factors who favouring the development of the metallurgy in the "Terre de Durbuy" and we have studied the evolution of the steel-making techniques to understand better the production of the slags. In this report, we study more particularly the longitudinal evolution of the slags size in the Aisne river between Blier and Bornai, where the river has its confluence with the Ourthe river. Because of the very proximity between the throwing out sites, we could only propose a minimal speed of bedload progression; nevertheless slags have given indications on the power variations in the different sectors of the river

Key Words

slags, old iron metallurgy, gravel-bed river, sedimentary wave, unit stream power Ardenne

INTRODUCTION

Dans les études de dynamique fluviale, on utilise différentes techniques de marquage des éléments caillouteux qui constituent la charge de fond des rivières : marquage colorimétrique, magnétique, avec des radio-émetteurs ; leur application, de plus en plus répandue, a permis d'affiner les critères de mise en mouvement de la charge de fond, tels que la force tractrice et la puissance spécifique critiques, et a également abouti à se faire une opinion concernant la distance parcourue par la charge de fond une fois mobilisée. Toutefois, il s'agit de la distance parcourue par des éléments isolés et on ne peut pas extrapoler ces distances au déplacement de l'ensemble de la charge de fond, car il existe des sites de piégeage où les éléments individuels peuvent être immobilisés pendant une longue durée. Ainsi, peu d'informations existent sur la « vague sédimentaire », c'est-à-dire l'avancée généralisée de l'ensemble des sédiments, par charriage, sur un laps de temps relativement important. Elle n'a été appréhendée que de façon indirecte, et seu-

lement dans quelques études (Tricart et Vogt, 1967; Duchesne et Pissart, 1985; Salvador, 1991).

L'utilisation de macroscories comme marqueur du déplacement de la charge de fond a été testée avec succès dans des rivières de la retombée méridionale de l'Ardenne (Sluse, 1996; Sluse et Petit, 1998). Il s'agit en fait de résidus de l'industrie métallurgique ancienne (datant de la fin du Moyen Âge) rejetés dans les rivières. Dans ce type d'analyse, il est primordial de connaître l'époque du rejet de ces scories, c'est-à-dire le moment où ces forges ont fonctionné. Par ailleurs, il est également important de suivre les différents stades de l'évolution des techniques de la sidérurgie ancienne, car ceci va influencer la taille et la propriété des matériaux rejetés, spécialement quant à leur teneur en fer, leur composition et leur porosité, ce qui va entraîner des différences de densité des scories. Ces deux aspects démontrent bien l'impérative nécessité de connaître la localisation précise de ces anciennes installations, mais aussi la période à laquelle elles se sont implantées.

La « Terre de Durbuy » où coulent des rivières telles que la Lembrée, l' Aisne et ses affluents, a été le siège d'une intense activité sidérurgique au Moyen Âge; on rencontrait donc les conditions d' application de la technique d'étude du transport de la charge de fond testée dans des rivières du sud de l'Ardenne. Mais ici étant donné que l'installation des forges a été beaucoup plus précoce, nous espérons affiner les valeurs de vitesse de propagation obtenues par Sluse et Petit (1998). Par ailleurs, les rivières telles que l'Aisne présentent un plus fort gradient et donc des puissances spécifiques plus élevées que celles des rivières du sud de l'Ardenne, ce qui devait se traduire en principe dans la taille des scories transportées et éventuellement dans les distances parcourues. Enfin ces rivières se jettent dans l' Ourthe et il semblait intéressant de suivre la progression éventuelle de cette vague sédimentaire dans une rivière de cette importance (Houbrechts, 2000).

Dans la présente étude, nous présentons donc un bref aperçu de l'évolution des techniques sidérurgiques, en étroite liaison avec leur localisation et leur époque, dans la mesure où ceci peut permettre une datation de leur implantation et une caractérisation des scories rejetées dans les rivières.

I. L'ACTIVITÉ SIDÉRURGIQUE DANS LA « TERRE DE DURBUY »

Malgré le temps écoulé, l'activité métallurgique de cette

région transparaît grâce à de nombreux indices : traces d'extractions de minerai, présence de biefs près des rivières, toponymie des localités et des lieux-dits (par exemple le « pré des Martais » entre Fanzel et Mormont, la « Forge-sous-Mormont » et « Derrière les Forges » à Ninane).

Comme nous le verrons ci-dessous, la région disposait d'atouts remarquables pour permettre le développement d'un centre sidérurgique. Les premières mentions d'établissements métallurgiques dans la « Terre de Durbuy » datent de la fin du XIV^e siècle ; toutefois la période de fonctionnement optimale se situe au milieu du XVI^e siècle (Pirrotte, 1966). Vers 1625, presque tous les établissements disparurent notamment face à la concurrence des autres bassins sidérurgiques wallons.

A. Apparition et développement de la métallurgie dans la région de Durbuy

1. Les bas fourneaux : méthode de réduction directe

Les plus anciennes traces de métallurgie retrouvées dans la région sont les scories produites dans un bas-fourneau à Izier (Henrottay, 1972). Dans ce type de fourneau, le minerai de fer était transformé en métal, en une seule étape, ce qui explique que cette technique ait été appelée méthode de réduction directe. Le foyer, enterré dans le sol, dépassait rarement cinquante centimètres de diamètre. Le bois mort était le seul combustible utilisé

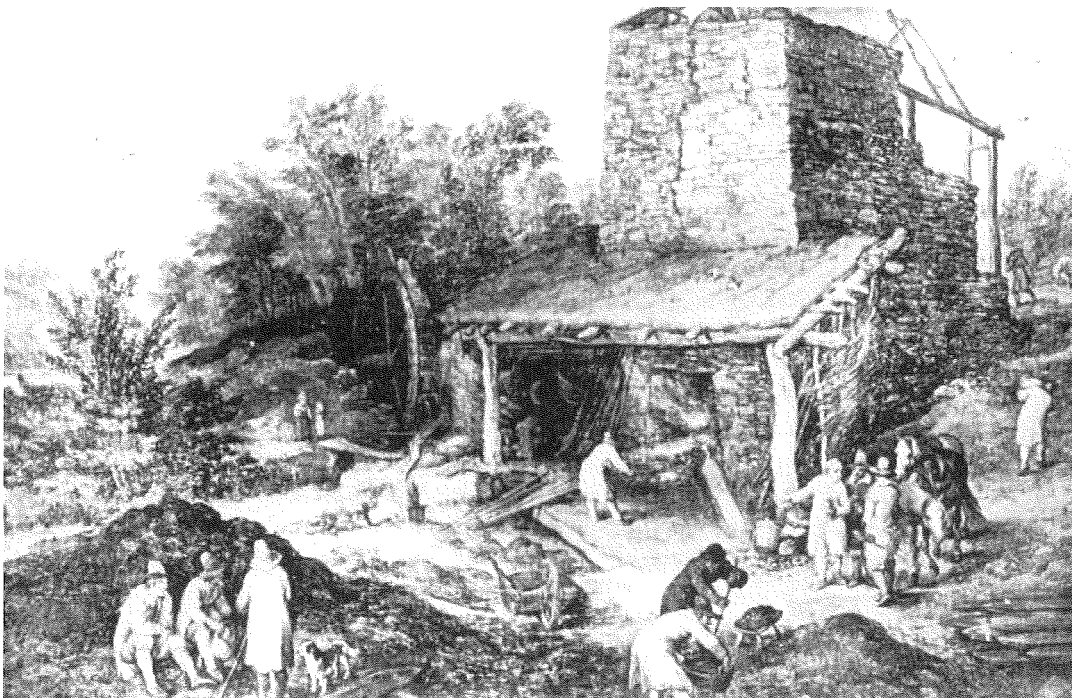


Figure 1. Haut-fourneau wallon du XVI^e siècle. Croquis réalisé par J. Bruegel de Velours (d'après Evrard, 1956)

pour réduire le minerai de fer. Il était disposé en couches horizontales en alternance avec le minerai. Afin d'assurer l'apport en oxygène nécessaire à la combustion et d'augmenter la température au sein du fourneau, le foyer communiquait avec la surface par une tuyère. Cependant, il semblerait que les températures atteintes n'excédaient pas 900° C (Gillard, 1971). À cette température, le fer produit était ramolli et non fondu et les pertes devaient être relativement importantes, entre 30 et 60 % du fer renfermé dans le minerai (Yernaux, 1939). Retiré du foyer, le fer obtenu apparaissait sous la forme d'une masse spongieuse et pâteuse contenant de très nombreuses scories. La loupe de fer était ensuite martelée afin d'éliminer ces scories et de souder les atomes de fer entre eux. Cette technique produisait donc des scories de taille importante et de densité élevée.

Les bas-fourneaux étaient généralement construits à proximité des sources de matières premières (minerai et bois) et de petits ruisseaux qui permettaient d'éliminer la terre et la gangue du minerai. Le site d'Izier, par exemple, se situe à quelques mètres des dépôts ferrugineux de la limite Givetien-Couvinien qui, comme on le verra par la suite, constitue un gisement intéressant. Les fourneaux primitifs, creusés à même le sol, ne nécessitaient que très peu de frais, mais ne permettaient qu'une ou deux fusions (Gillard, 1971), de telle sorte que cette sidérurgie était plus que probablement nomade : les fers s'installaient le long des affleurements de minerai et des forêts. Afin d'augmenter au maximum l'aération, de nombreux bas-fourneaux étaient situés sur les zones élevées et les ouvertures étaient aménagées de manière à profiter des vents dominants. C'est notamment le cas des bas-fourneaux découverts à Jemelle.

La plupart des scories présentes dans les vallées encaissées de l'Ardenne ne semblent donc pas avoir été produites par ce type de fourneau. Quelques traces de bas-fourneaux ont certes été retrouvées dans les plaines alluviales de certaines vallées (à Lustin par exemple, d'après Demarteau, 1911), mais il semble que ces constructions constituèrent vraisemblablement une exception et ne durent pas donner d'excellents résultats (Gillard, 1971).

Depuis l'époque romaine, les métallurgistes tentèrent d'augmenter la production de leurs fourneaux en augmentant leur volume. Cependant, l'augmentation de la taille de la section horizontale de la cuve n'était pas intéressante, car il était malaisé d'amener l'air jusqu'au centre du foyer. Il fallut donc exhausser la construction au-dessus du sol. L'aboutissement de ces transformations fut le four à masse, également appelé « stückhofen », qui fit son apparition en Europe centrale au VIII^e dimensions de ce type de fourneaux ne varièrent guère jusqu'au XIII^e cinquante centimètres de diamètre). Toutefois, l'augmentation du volume des loupes de fer produites dans ces

installations rendait l'extraction des scories par martelage manuel de plus en plus difficile.

Au Moyen Âge, les métallurgistes améliorèrent le rendement par l'invention de la méthode catalane : le minerai et le combustible n'étaient plus chargés en couches horizontales superposées, mais en deux colonnes verticales juxtaposées (Gillard, 1971). De cette manière, l'oxyde de carbone restait plus longtemps en contact avec le minerai et réduisait le fer plus en profondeur et plus progressivement. Cependant, la chaleur dégagée par ces foyers ne dépassait pas 800° C (Yernaux, 1939), de telle sorte que cette méthode produisait des scories contenant encore 30 à 35 % de la masse de fer initiale (Wagner, 1921).

C'est seulement vers le XIII^e siècle que les fers s'installèrent à proximité des rivières afin de profiter de l'énergie hydraulique (Tahon, 1909). Au début, cette énergie actionna uniquement de lourds marteaux, capables de cingler les volumineuses loupes de fer. En Wallonie, ces marteaux étaient généralement appelés « makas ». Au début du XV^e siècle, les métallurgistes raccordèrent les tuyères de leurs fourneaux à des soufflets à diaphragme mobile mus également par des roues à eau. Ces soufflets, plus puissants, fonctionnaient sans interruption et augmentaient l'aération ainsi que la température à l'intérieur du foyer, ce qui permit d'exhausser les fourneaux qui atteignirent près de 5 m de hauteur, préfigurant les premiers hauts-fourneaux.

2. Les hauts fourneaux et la méthode de réduction indirecte

Dans certains cas, il arrivait que les fondeurs produisent accidentellement de la fonte, fer impur, contenant quelques pour-cent d'éléments contaminants tels que le carbone (3 à 6 %) et le silicium. Vu sa faible résistance aux chocs, cette fonte était considérée comme un déchet. Par après, il apparut que cette fonte pouvait néanmoins être utilisée pour la fabrication d'objets moulés. Vers le XV^e siècle apparut la méthode wallonne : cette nouvelle technique permettait de produire du fer « pur » à partir de la fonte, grâce à une oxydation sélective des principales impuretés (Si, C, Mn...). Le fer était donc réduit en deux étapes, dans deux établissements distincts. La première réduction se déroulait dans les hauts-fourneaux (Fig. 1) tandis que l'opération de purification était réalisée dans des établissements appelés forges d'affinage ou affineries. Cette réduction du minerai de fer en deux étapes, particulièrement rentable, s'appelle méthode de réduction indirecte ou méthode wallonne.

Il est presque impossible de dater ou de localiser l'apparition du haut-fourneau. Toutefois, l'opinion généralement admise situe les premiers hauts-fourneaux à la fin du XIV^e - début du XV^e siècle, et vraisemblablement dans le pays de Liège (Gillard, 1971). Au XVI^e siècle,

l'emploi du haut-fourneau se généralisa à travers toute l'Europe. Ces nouvelles constructions se présentaient sous la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée, de cinq à dix mètres de haut. L'intérieur du fourneau, revêtu de produits réfractaires, affectait la forme de deux pyramides quadrangulaires tronquées accolées par leurs grandes bases (Evrard, 1955). Étant donné leur volume, il était indispensable de disposer d'une soufflerie puissante capable d'amener suffisamment d'oxygène pour permettre la réduction et la combustion. Par conséquent, ces établissements s'installèrent à proximité de cours d'eau afin d'utiliser la force hydromotrice pour actionner les soufflets.

Ces fourneaux ne produisaient plus du fer « métal », comme leurs prédécesseurs, mais de la fonte. Sans arrêt, les fondeurs chargeaient le fourneau par sa partie supérieure appelée « gueularde ». Le minerai de fer, le charbon de bois et le fondant (castine) étaient disposés en couches alternées. Le fourneau fonctionnait alors en marche continue et n'était éteint qu'en fin de campagne, après plusieurs mois. La fonte en fusion se concentrait à la base du fourneau dans le creuset. Lorsqu'une quantité suffisante de fonte s'était accumulée à la base du fourneau, le fondeur laissait la fonte s'écouler sur le

plancher de coulée dans les moules et les rigoles prétracées dans du sable humide. La production journalière de ces fourneaux atteignait jusqu'à cinq mille kilogrammes (Gillard, 1971).

L'usine pouvait être soit un haut-fourneau d'affinage si elle produisait des gueuses destinées à être traitées dans une forge d'affinerie, soit un haut-fourneau de moulage si elle produisait des produits finis (grosses pièces moulées dans le sol : canons, boulets, croix, plaques de foyers...).

3. L'activité métallurgique de la « Terre de Durbuy » entre le XIV^e et le XVII^e siècle

Pirotte (1966) a étudié la « Terre de Durbuy » et plus particulièrement la métallurgie ; il a pu déterminer le nombre de fourneaux et de marteaux qui y étaient en activité de 1475 à 1625 (Fig. 2). Selon lui, les premiers établissements métallurgiques à utiliser la force hydraulique se seraient implantés le long de l'Aisne et de la Lembrée vers 1380 (« Ferot », « Fanzel »). Hélas, les « Comptes de Durbuy » dont il a tiré ces renseignements présentent une lacune de 80 ans pour la période située entre 1392 et 1477. Au cours de l'année 1477-78, les

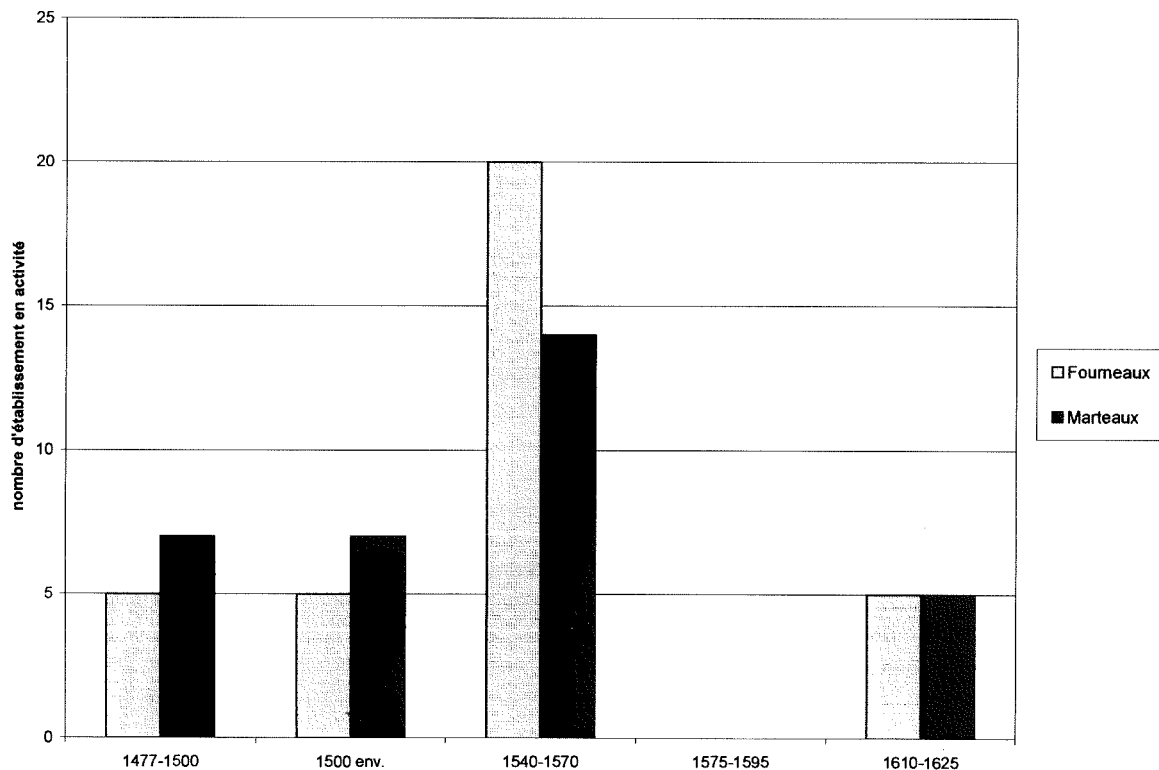


Figure 2. Évolution du nombre de fourneaux et de marteaux de la Terre de Durbuy (d'après Pirotte, 1966)

comptes répertorient cinq fourneaux qui ont totalisé 90 semaines de fondage, dont 65 semaines pour la seule vallée de l'Aisne. Ces documents attestent de la présence d'un ou plusieurs marteaux à côté de chaque fourneau. Cette intense activité s'explique par la disparition des établissements de Liège et de Franchimont ruinés par Charles le Téméraire (1468). La « Terre de Durbuy » profita donc du contexte politique du moment, mais, par la suite, elle fut, elle-même, victime de la guerre, lorsque la famille de La Marck ravagea la région, causant de graves dommages à l'activité métallurgique.

La période de production la plus élevée se situe au milieu du XVIe siècle. Ainsi, entre 1530 et 1570, Durbuy avec ses vingt fourneaux livra à la région liégeoise la moitié du fer dont elle avait besoin. À ce moment est mentionnée l'arrivée des premiers fondeurs étrangers et des premiers marchands liégeois. La « Terre de Durbuy » totalisait 35 établissements métallurgiques dont 30 si-

tués dans la vallée de l'Aisne (Pirotte, 1966). En 1574, la production s'arrêta brusquement : la politique du Duc d'Albe engendrait déclin économique et misère. Entre 1575 et 1595, nous ne possédons aucun compte, mais seulement quelques indices d'activité, par exemple, en 1587, la présence de Louis de Geer dans la région. Nous disposons également de traces d'exploitation du fourneau de Roche-à-Frêne, de la forge de Mormont, des forges et marteaux de Fanzel. À cette époque, de nombreux fondeurs quittent Mormont et Amonines. En 1595, tous les fourneaux sont en ruine (Pirotte, 1966). Parallèlement à ce déclin, nous observons une forte augmentation du nombre de fourneaux sur l'Ourthe inférieure et la Vesdre. À la faveur de la Trêve de Douze ans (1609-1621), l'activité économique reprit momentanément. Des documents attestent en effet de la reprise du travail à La Fosse, Roche-à-Frêne et Mormont. Mais la conjoncture politique et économique ne permettra plus jamais d'atteindre le même niveau de développement que par le

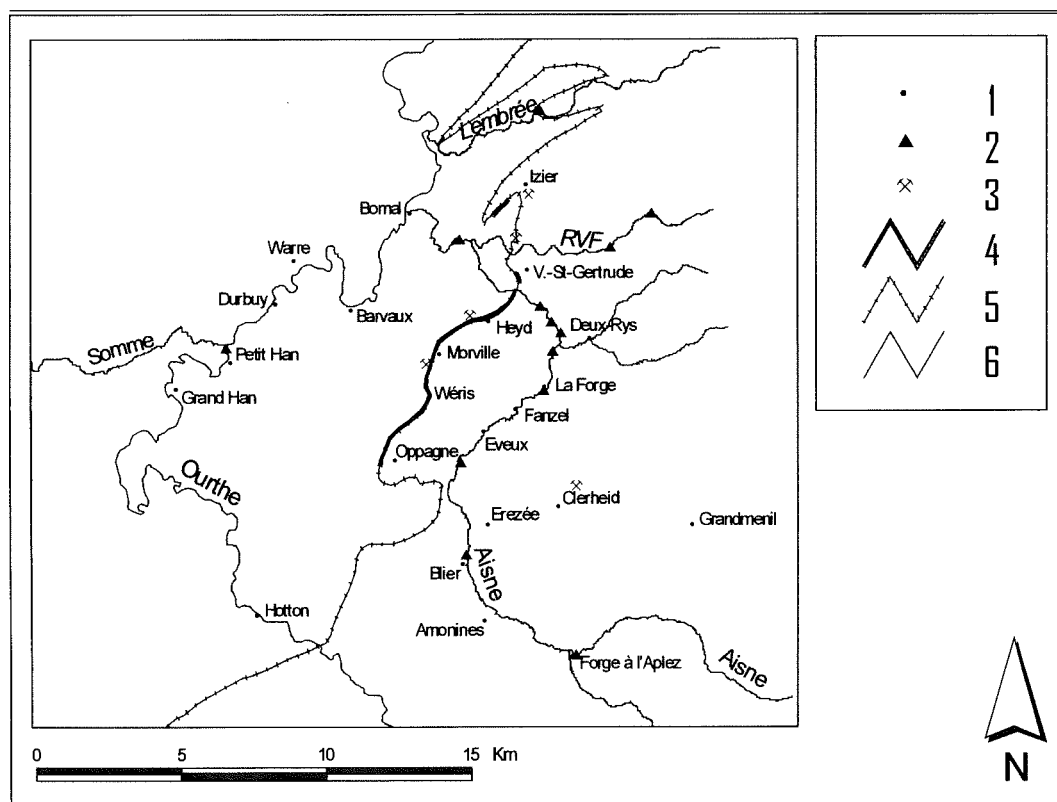


Figure 3. La métallurgie dans la « Terre de Durbuy » du XIVe au XVIIe siècle

1. village;
2. ancien fourneau localisé grâce à la présence de scories dans la rivière;
3. site d'extraction localisé grâce à la présence de fosses ou de remblais;
4. filons et amas de minerai de fer (d'après Delmer, 1913);
5. li mite Couvinien / Givetien;
6. cours d'eau.

passé. Les incursions hollandaises, la guerre contre la France et les épidémies furent les principales causes de ce déclin (Pirotte, 1966). De plus, le prix du bois tripla et rendit impossible la reprise du travail par les petits fondeurs. Par surcroît, à Liège, les techniques de platinerie et de fenderie connaissaient de notables progrès alors que la vallée de l'Aisne s'accrochait aux anciennes méthodes. La métallurgie de Durbuy n'avait pas procédé à la reconversion nécessaire pour rester compétitive et les ressources en bois et en minerais s'étaient amenuisées alors que c'étaient elles qui intéressaient les industriels liégeois. En 1625, un seul fourneau est encore recensé à Roche-à-Frêne : cet établissement resta l'unique fourneau en activité jusqu'au début du XIX^e siècle (Tahon, 1909).

B. Facteurs d'implantation des établissements sidérurgiques dans la « Terre de Durbuy » entre le XIV^e et le XVII^e siècle

Avant la révolution industrielle du XIX^e siècle, les établissements métallurgiques wallons étaient concentrés dans cinq bassins métallurgiques (Hansotte, 1972). La « Terre de Durbuy », ancien fief du Duché de Luxembourg, constituait, comme nous l'avons montré précédemment, un de ces bassins métallurgiques préindustriels. La plupart des établissements de la région étaient situés sur l'Aisne, la Somme et la Lembre. La « Terre de Durbuy » disposait d'atouts remarquables pour favoriser le développement d'un centre métallurgique et elle fut capable de livrer à la région liégeoise une grande quantité de fer d'excellente qualité.

I. Le minerai

La présence de minerai constitue un des facteurs de localisation les plus contraignants vu les difficultés de transport de l'époque. Les *Comptes des Receveurs et les Registres de la Haute Cour de Durbuy* mentionnent une dizaine de sites miniers en activité dans la « Terre de Durbuy », de 1528 à 1605 (Pirotte, 1966). Cependant, ces gisements de minerai de fer furent vraisemblablement exploités bien avant, probablement depuis l'époque celtique, voire romaine, vu les traces de bas-fourneaux retrouvées à Izier, dans les prairies situées le long du chemin dénommé « rouwale à crahès ». Parmi les ouvrages que nous avons consultés, la description des gisements de minerai de fer de Belgique réalisée par Delmer (1913) reste, malgré son ancienneté, l'étude qui nous a fourni le plus d'indications concernant les différentes couches métallifères de la région. Selon lui, la couche métallifère la plus importante est formée de nombreux gîtes de limonite. Elle se situe au contact des calcaires givetiens (Gva) et des roches couviniennes (Cobp) (grès, macigno à crinoïdes, schistes, psammites, calcaire schisteux) et s'étend de Villers-Sainte-Gertrude à Oppagne, en passant par Hey d, Morville et Wéris (Fig. 3). D'autres sites d'exploitation, situés le long de

ce contact Givetien/Couvinién, ont été étudiés par Bay (1968) à la « Roche aux Faucons » et par Dimanche et Toussaint (1977) dans le vallon de Gobry près d'Esneux. Dans ce vallon, le fer se présente sous forme d'accumulations stratiformes incluses dans un grès séparant les calcaires givetiens des roches rouges du sommet du Couvinién. D'après ces auteurs, l'origine de la concentration en fer serait diagénétique. Dans la « Terre de Durbuy », l'importance de cette couche est encore renforcée grâce aux nombreux plis et failles qui augmentent le développement de cette ligne de contact. Cette couche se compose d'amas de minerai de fer épais de trente-cinq centimètres et est séparé du calcaire par une suite de bancs d'argile compacte (Delmer, 1913). Le minerai extrait de cette couche métallifère de contact se présentait donc soit sous la forme de limonite, soit de filons d'oxydes de fer; il était relativement pauvre en fer (25 à 30 %). Cependant, malgré cette faible teneur, il était utilisé dans les hauts-fourneaux, car il n'était pas associé à du soufre ou à du phosphore et permettait donc d'obtenir un fer de bonne qualité.

D'autres sites plus éloignés (Septon et Warre) connurent aussi une activité extractive importante. Il s'agissait notamment d'exploitations de couches renfermant des filons de pyrite et présentant superficiellement des dépôts de limonite (Delmer, 1913); ces couches se situeraient plus que probablement au sein des roches givetiennes (Evrard et Descy, 1948). Ailleurs encore, l'extraction de minerai de fer s'est implantée dans les terrains du Dévonien inférieur et de l'Ordovicien (Salmien) (Clerheid et Grandmenil).

Afin de localiser les sites d'extraction dans la « Terre de Durbuy », nous avons tout d'abord recherché les différentes sources écrites attestant la présence de sites d'extraction de minerai de fer ayant pu alimenter les hauts-fourneaux situés dans la région. Cette recherche s'est basée sur les documents suivants.

a. Les sources écrites

- Les cartes de Ferraris (1771-78) : bien que les « mines de fer » de la région ne fussent plus en activité depuis plus d'une centaine d'années, lors du relevé cartographique réalisé par Ferraris, celui-ci signalait toutefois la présence de « mines de fer » dans la région. Ces cartes nous ont permis de localiser les « mines de fer » du bois d'Ozo et celles d'Izier.
- La toponymie : certains toponymes attestent de l'extraction de fer dans la région. On trouve par exemple sur la carte topographique de l'IGN (1/25 000) plusieurs localités et lieux-dits qui témoignent d'une ancienne activité extractive (La Fosse, les Fosses...). Cependant, ces renseignements permettent rarement de localiser précisément les sites d'extraction. Les *Comptes des receveurs de la Terre de Durbuy* : ces comptes étudiés par Pirotte (1966) présentent un

recensement des sites miniers et une estimation de la quantité de fer extraite dans les différents sites. Ces registres étaient tenus afin de percevoir des taxes en fonction des quantités de minerai extrait et il n'est donc pas exclu de penser que les quantités déclarées étaient inférieures aux quantités réellement extraites.

b. Les cartes et descriptions géologiques

La description des gisements métallifères et les cartes de Delmer (1913) permettent, entre autres, de cerner les zones à prospecter afin de localiser les sites d'extraction, à condition que les traces géomorphologiques aient été conservées.

c. La vérification sur le terrain

Après cette recherche documentaire, nous nous sommes rendus sur le terrain afin de vérifier la nature des sites, de décrire et de localiser les traces d'extraction du minerai de fer. De manière générale, l'état de conservation de ces sites varie fortement suivant le type d'affectation qui a été donné au sol depuis la fin des activités d'extraction. Ainsi, dans les zones de culture ou de prairies, les fosses d'extraction ont généralement été comblées. Il ne persiste alors plus qu'un faible relief qui atteste de la présence d'une activité extractive à ces endroits (cf. Izier). Par contre, les sites destinés à recevoir les remblais ont quelquefois été relativement bien conservés même en zones de pâturage (cf. « crassier » de Wéris) (photo 1). C'est dans les zones boisées que la qualité de conservation des sites d'excavation est la meilleure (cf. minières du bois d' Ozo) (photo 2).

2. La force motrice

Les « moulins à fer », ainsi que d'autres établissements utilisant l'énergie hydraulique (moulins à farine, scieries...), profitèrent des nombreux cours d'eau de la région de Durbuy dont les débits et les pentes généraient la force motrice indispensable au fonctionnement des roues. De façon générale, des rivières de cette dimension étaient préférées aux rivières plus importantes telles que l'Ourthe, l'Amblève, la Lesse ou la Semois, pour trois raisons principales : les débits étaient plus facilement maîtrisables, les risques d'inondations destructrices étaient moindres et l'accès aux berges n'était entravé ni par le halage, ni par le flottage ou les droits traditionnels de passage et de pêche (Henrottay, 1972).

Il semble que la grande majorité des moulins utilisés par les maîtres de forges de la vallée de l'Aisne et de ses affluents aient fonctionné avec des roues à augets (Fig. 4), ce qui se conçoit vu la forte pente de ces rivières qui permet d'obtenir une dénivellation importante pour un bief relativement court. Ceci rejoint les observations effectuées par Feltz et Incourt (1995) qui notaient par ailleurs, qu'en tête de bassin, le diamètre des roues était plus important afin d'augmenter la hauteur de chute compensant ainsi la faiblesse du débit.

D'après nos observations, il semble que les moulins à fer de l'Aisne aient fonctionné sans étang de retenue, tributaires uniquement du débit de leur bief et donc en partie de celui de la rivière. Sur les rivières telles que l'Aisne où le débit de base est peu important et donc les étiages marqués, un déversoir était généralement con-



Photo 1. Crassier en contrebas de la route Wéris/Morville

Les tertres (ou crassiers) témoignent encore de la présence d'une ancienne activité extractive. Ils se situent sur les dépôts ferrugineux de contact entre le Givetien et le Couvinien (Van Tuijn, 1927). Ils sont composés d'une « terre rouge » qui traduit la présence de fer sous forme oxydée. Malgré leur taille impressionnante, on ne retrouve pas les dépressions d'où proviendraient ces terres. Cette constatation pourrait confirmer l'hypothèse d'une ancienne exploitation souterraine, sous forme de galeries. Ferraris, à la fin du XVIII^e siècle, ne signale d'ailleurs pas de fosse d'extraction à cet endroit.



Photo 2. Traces d'extraction de minerai de fer dans les bois d'Ozo

Dans le bois situé entre Izier et Villers-Sainte-Gertrude, on peut observer une septantaine de dépressions fermées subcirculaires. Ces fosses s'alignent suivant plusieurs axes parallèles à la stratification. La majorité d'entre elles sont situées dans les roches du Couvinien. Cependant deux tranchées, similaires à celles observées à Heyd, ont également été creusées dans les calcaires givetiens.

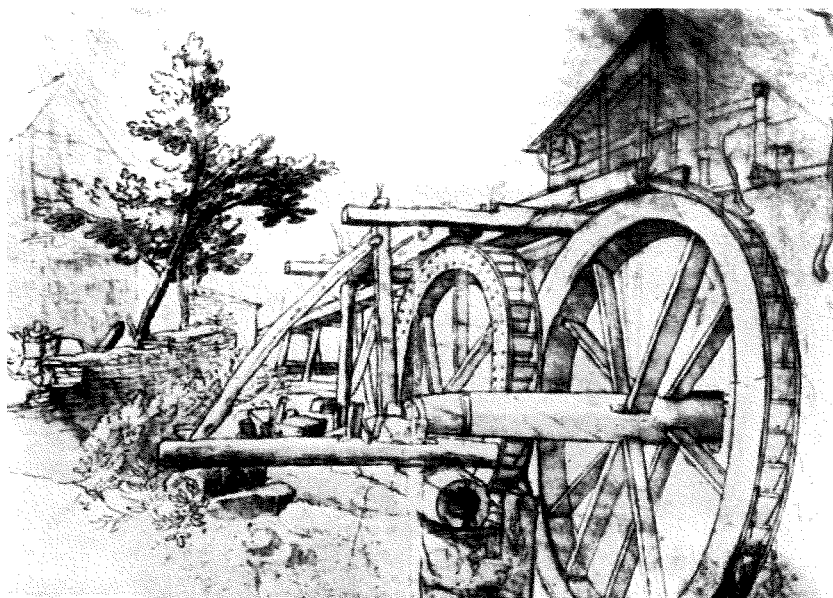


Figure 4. Roue à augets d'une forge d'affinage franchimontoise du XVII^e siècle (d'après Yernaux, 1939)

struit afin de rehausser la hauteur du niveau d'eau et d'alimenter le bief. Toutefois, la majorité des établissements avaient une activité saisonnière et ne fonctionnaient que durant la « mauvaise saison » (automne et hiver), période de débits importants.

3. Le combustible

Le charbon de bois resta le seul combustible utilisé dans

les hauts-fourneaux jusqu'au XIX^e siècle. Il était produit par des charbonniers dans des sites appelés « aires de faulde » (Dussart et Wilmet, 1970). Le bois, une fois coupé et entassé en meule dans une clairière, était recouvert de terre afin de favoriser une combustion lente et l'élimination de l'eau ainsi que des autres substances volatiles. Les grandes forêts de la région représentaient un atout majeur pour le développement d'un centre sidérurgique dans le « Bassin de Durbuy ». En effet, mal-

gré la demande considérable en bois, les forêts de la région alimentèrent à elles seules cette industrie pendant plusieurs siècles (Gillard, 1971). Seules quelques restrictions aux droits d'usage en 1571 et en 1590 portèrent préjudice à l'exploitation forestière. Cependant, à cette époque, la « Terre de Durbuy » ne manquait pas encore de bois. Une coupe extraordinaire fut d'ailleurs ordonnée en 1595 et l'exploitation massive de la forêt de la « Terre de Durbuy » se prolongea jusqu'en 1602 (Pirotte, 1966). Cependant ces ressources n'étaient pas inépuisables. En 1628, après cette exploitation intensive, le Seigneur de Durbuy empêcha l'implantation de nouveaux maîtres de forge ou mineurs afin de préserver les bois de sa terre (Pirotte, 1966). Comme nous l'avons vu ci-dessus, le déclin de l'industrie métallurgique de la « Terre de Durbuy » est, entre autres, lié à la raréfaction des surfaces boisées et à l'augmentation du prix du bois et donc du charbon de bois. Au XVIII^e siècle, cette industrie migra dans le sud du Duché du Luxembourg (« Bassin d'Habay »), là où les forêts étaient demeurées relativement intactes et à proximité de gisements de minerai (le « fer fort » de Lorraine).

4. L'accessibilité

Les gueuses de fonte produites dans les fourneaux de la région étaient soit affinées sur place avant d'être vendues aux « maîtres de forge » de Liège, soit expédiées directement vers d'autres bassins sidérurgiques afin d'y être traitées et transformées. Le transport des matières premières et de la production par bateau était impossible sur l'Aisne, étant donné sa forte pente et sa faible profondeur. Il se faisait alors par charrette jusqu'à Barvaux ou Bomal, où la production était chargée sur des bateaux qui descendaient l'Ourthe jusque Liège.

D'autres forges ardennaises amenaient également leur production à Barvaux, spécialement en été, lorsque le faible débit de l'Ourthe empêchait les bateaux de remonter jusqu'à La Roche. Il existait une route du fer, appelé « chemin de Bastogne », reliant l'Ardenne à Barvaux; ce chemin passait par Berismenil, Samrée, Dochamps et Oppagne (Yernaux, 1939).

Les bateaux qui naviguaient à l'époque sur l'Ourthe avaient un fond plat pour éviter qu'ils ne s'engravent trop fréquemment (Evrard et Descy, 1948). Mais malgré cela, la navigation sur l'Ourthe rencontrait de grandes difficultés en fonction des conditions hydrologiques (Dalem et Nélissen, 1973) : en période d'étiage, la faible profondeur de la rivière sur les seuils rendait la descente des bateaux très difficile; les eaux trop fortes empêchaient, elles aussi, le transport par bateau. Enfin, la remontée de la rivière n'était pas plus aisée, car il fallait continuellement changer de rive pour le halage, étant donné la proximité des versants. Malgré ces difficultés, ce moyen de transport était encore préférable au transport terrestre et l'économie de cette partie de l'Ardenne

put donc se développer grâce à l'Ourthe qui constituait une voie de communication directe vers Liège.

II. LE TRANSPORT DES SCORIES DANS L' AISNE

Comme nous l'avons évoqué dans l'introduction, vis-à-vis de l'étude réalisée par Sluse dans la Rulles, l'étude du transport des scories dans l'Aisne présentait un grand intérêt dans la mesure où cette rivière est animée d'une dynamique plus vive. En effet, cette rivière prend sa source au plateau des Tailles à une altitude de 600 m et, après un trajet de seulement 35 km, elle se jette dans l'Ourthe à une altitude de 131 m, ce qui donne une pente moyenne de $0,013 \text{ m.m}^{-1}$. À sa confluence avec l'Ourthe, l'Aisne draine un bassin versant d'une superficie de 190 km².

A. Collecte et mesure des scories

Grâce à leur aspect particulier, les scories sont facilement distinguables des autres éléments naturels de la charge de fond des rivières. Il est dès lors possible de prospecter le lit des rivières en période d'étiage et de collecter, parmi les éléments naturels de la charge de fond, la majorité des scories présentes en surface.

En raison de la théorie de la réversibilité des forces tractrices en fonction du débit (Bravard et Petit, 1997), nous avons choisi de prospecter uniquement les seuils. En effet, lors de crues mobilisatrices, les seuils jouent le rôle de filtre dans la progression des sédiments, de telle sorte que les plus gros éléments présents sur les seuils témoignent de la compétence effective développée par la rivière. La majorité des scories ont été collectées sur des seuils émergés durant le mois d'août 1999. Les seuils ont été « ratissés » de manière rigoureuse et toutes les scories visibles, de taille supérieure à 1,9 cm, ont été systématiquement prélevées. Différents essais ont été effectués à partir de la granulométrie complète des scories et des diamètres caractéristiques tels que le D_{50} ont été évalués ; il en ressort que la moyenne des axes b (c'est-à-dire l'axe intermédiaire des particules dont on sait qu'il est le meilleur descripteur de leur diamètre équivalent) des dix plus grosses scories était un indicateur rapide, mais fiable de l'évolution longitudinale des scories.

B. Localisation et âge des forges

Une augmentation de la taille des scories vers l'aval, entre deux sites, nous indiquait une injection de scories. Ainsi, après avoir cerné précisément tous les sites d'injection, nous avons cherché dans l'étude de Pirotte (1966) la période de fonctionnement de chacun des fourneaux localisés. Comme nous l'avons vu ci-dessus, plus de trente hauts-fourneaux et forges d'affinage ont été recensés le long de l'Aisne, entre La Fosse et Bomal

(Pirotte, 1966), mais la collecte des scories sur les seuils de cette rivière nous a permis de localiser, de façon certaine, seulement huit sites d'injection.

Cette différence résulte des faits suivants :

- Tous les métallurgistes ne rejetaient pas nécessairement les scories dans la rivière. Cette hypothèse est notamment confirmée par différents témoignages tels que celui de Tahon (1909) qui signalait la présence de tas de scories à Amonines ou celui de l'actuel propriétaire de la scierie de Forge-à-l'Aplez qui prétend que les scories produites à cet endroit ont été entreposées jusqu'au début du XXe siècle dans la cour de la ferme située derrière la scierie. Par conséquent, tous les anciens sites d'activités métallurgiques ne peuvent être localisés.
- Nous n'avons pas pris en compte les forges situées en amont de Blier, vu le nombre limité de scories récoltées qui ne permettait pas de déduire des indications utiles.
- Il est fort probable que les hauts-fourneaux et les forges d'affinage étaient installés sur le même site, ne formant qu'un seul lieu d'injection.
- Il n'est pas exclu que des forges se soient implantées successivement aux mêmes endroits, mais avec des noms différents.

C. Évolution longitudinale de la taille des scories

Après avoir calculé la taille moyenne des 10 plus grosses scories récoltées sur 35 seuils, nous avons réalisé un graphique reprenant l'évolution longitudinale de la taille des scories présentes dans l'Aisne (Fig. 5). Les injections de scories se marquent par une augmentation importante de la taille des scories récoltées. Par souci de clarté, nous avons nommé ces fourneaux en fonction de leur localisation géographique et, lorsque deux fourneaux ont fonctionné dans un même village, nous leur avons attribué un numéro différent. Les injections de scories trop rapprochées ne nous ont malheureusement pas permis de localiser les fronts de progression. Néanmoins, les mesures réalisées sur les scories fournissent un nombre utile d'informations concernant le transport de la charge de fond.

1. Les injections

Les scories qui n'ont jamais été mobilisées et qui se trouvent toujours sur les sites d'injection nous renseignent tout d'abord sur la taille maximale des éléments transportés depuis l'époque des rejets de scories dans la rivière. Comme il ressort de la figure 5, les injections de scories peuvent se répartir en trois types.

- Les injections de grosses scories ($D_{10} = 15$ à 18 cm) : sur l'Aisne, nous détectons quatre injections de ce type (Wérichet, Ninane1, Ninane2 et Bretaye) et une sur la Lembrée (ferme de Lembrée). Ces scories, principalement des mâchefers et des scories de planchers de coulées, n'ont jamais été transportées depuis qu'el-

les ont été rejetées dans la rivière.

- Les injections de scories de taille moyenne ($D_{10} = 8$ à 10 cm) : nous avons repéré quatre injections de scories de taille moyenne sur l'Aisne (Blier, La Forge1, La Forge2 et Roche à Frêne). Ce type d'injection est principalement constitué de scories vitreuses, ce qui s'explique vraisemblablement par la récupération et la refonte des scories riches en fer de type mâchefer et plancher de coulées.
- Les apports de rivières : lors d'une confluence, la charge de fond des cours d'eau se mélange. Si la charge de fond de l'affluent comporte des scories, deux possibilités peuvent se présenter en aval de la confluence : soit ces scories dépassent la compétence de la rivière, ce qui se marquera par un tri hydraulique (cf. ci-dessous), soit ces scories sont de taille inférieure à la compétence de la rivière, ce qui se marquera par une mobilisation généralisée des scories de toute taille (par exemple, l'Aisne en aval de la confluence avec le Ruisseau du Vieux Fourneau).

2. Le tri hydraulique

En aval de toutes les injections, on observe une diminution de la taille moyenne des dix plus grosses scories (Fig. 5). Cet affinement brutal ne résulte pas de modifications des conditions dynamiques de la rivière, étant donné que les puissances spécifiques ne varient guère (Houbrechts, 2000), mais il est le résultat d'un tri hydraulique. Ce tri consiste en une décroissance granulométrique vers l'aval, due à une mobilisation moins fréquente des éléments de taille importante. Les scories transportées sur les plus longues distances sont donc les scories mobilisées le plus souvent lors des crues. La distance sur laquelle s'opère ces tris varie d'une injection à l'autre. Toutefois, lorsqu'un tri hydraulique n'est pas masqué par les grosses scories d'une injection proche, on peut considérer qu'il s'exerce sur une distance comprise entre 700 m (Wérichet) et 1 400 m (Roche à Frêne).

3. Les paliers

Comme l'a déjà montré Sluse (1996), nous observons également une stabilisation de la taille des scories en aval des secteurs de tri hydraulique. Ces stabilisations témoignent des compétences réelles développées par les rivières dans les différents tronçons, donc des puissances spécifiques qui s'y exercent. Dans l'Aisne, les différents paliers sont compris entre 3,6 et 6,3 cm (Fig. 5).

4. Les vitesses de progression de la charge de fond

Comme nous le constatons à la figure 5, il est impossible de localiser les fronts de progression de scories des différentes injections, étant donné leur proximité. Toutefois, connaissant les distances minimales parcourues et la période du début des rejets, nous disposons de la

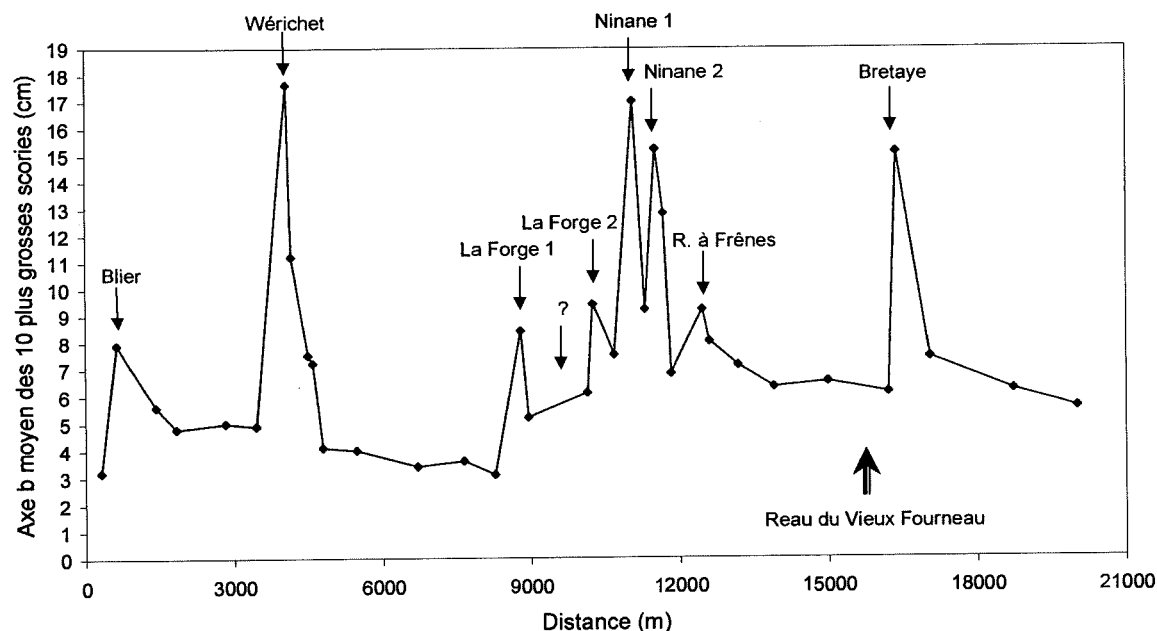


Figure 5. Évolution longitudinale de la taille des scories dans l'Aisne

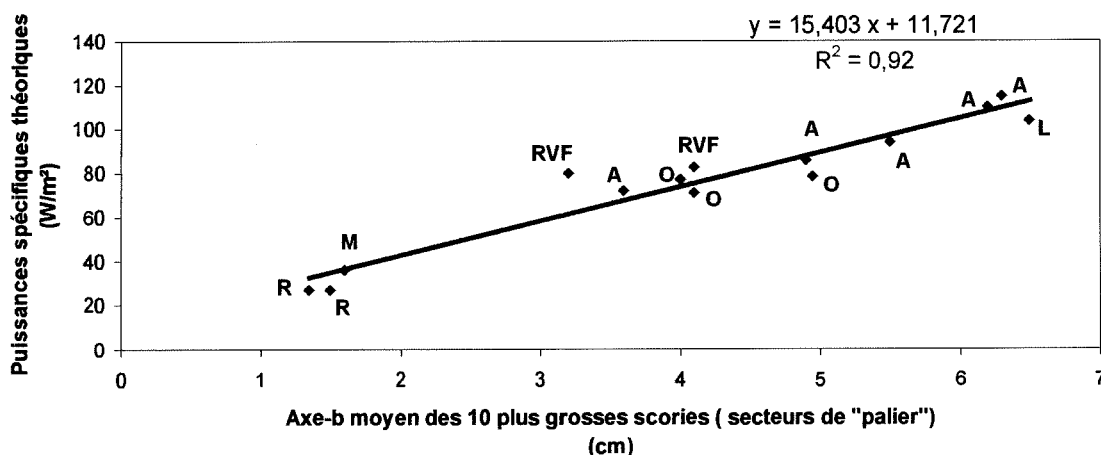


Figure 6. Relation entre le diamètre moyen des dix plus grosses scories (D_{10}) et les puissances spécifiques calculées pour le débit à plein bord

A = Aisne ; L = Lembrée ; M = Mellier ; O = Ourthe ; R = Rulles ; RVF = Ruisseau du Vieux Fourneau

vitesse de progression minimale de la charge de fond de l'Aisne : elle serait de l'ordre de 1,4 km par siècle, ce qui est peu vis-à-vis de ce qui a été mis en évidence sur l'Ourthe entre Durbuy et Bomal (1,8 à 2,3 km/siècle) (Houbrechts, 2000) et sur la Semois en aval de sa confluence avec la Rulles (3 km/siècle) (Sluse et Petit, 1998).

D. Relation entre la taille des scories déplacées et les puissances spécifiques

Il semblait intéressant de vérifier si les différentes tailles de « palier » observées sur une même rivière étaient réellement dues à des variations de compétence de la rivière. Dès lors, nous avons mis en relation l'axe b moyen des dix plus grosses scories prélevées dans les secteurs

de palier et les puissances spécifiques (calculées pour le débit à plein bord) des rivières de la « Terre de Durbuy » (Houbrechts, 2000) et du sud de l'Ardenne (Sluse et Petit, 1998). Comme nous pouvons le constater à la figure 6, il existe une bonne corrélation ($R^2 = 0,92$) entre les puissances spécifiques et les « D_{10} en palier ». Cette relation permet de tirer les conclusions suivantes :

- Ce ne sont pas des rivières telles que l'Ourthe, possédant un grand bassin versant (1 500 km²), qui développent les puissances spécifiques les plus importantes (de l'ordre de 75 W.m²), mais bien des rivières telles que l'Aisne ou la Lembrée. Il est également intéressant de constater que l'optimum de puissance spécifique de l'Aisne (120 W.m²) se situe après la confluence du Ruisseau de Deux-Rys, lorsque son

bassin versant couvre une superficie de 145 km², rejoignant les observations effectuées par S. Petit (2000). Par ailleurs, une relation, réalisée par Graf (1988), entre la taille des bassins versants et la puissance spécifique a également montré que l'optimum de puissance se situait, pour des rivières de régions semi-arides, aux alentours de 100 km².

- De plus, cette bonne corrélation entre la compétence effective (représentée par le D₁₀ scories) et la puissance calculée pour le débit à plein bord indique que ce dernier, dont la récurrence est de l'ordre de 0,5 an dans des rivières ardennaises (Petit et Pauquet, 1997), est un débit morphogène efficace qui permet une progression de la vague sédimentaire, car ce sont les scories présentes dans les secteurs en palier qui ont parcouru les plus grandes distances. En revanche, les distances moins grandes parcourues par les scories volumineuses, prélevées dans les zones de tri hydraulique, sont dues à des crues mobilisatrices développant des puissances spécifiques plus importantes, mais se produisant d'autant plus rarement que l'on considère les scories proches du lieu d'injection.
- Somme toute, grâce à la relation que nous avons établie, il est désormais possible d'avancer une valeur de puissance spécifique sur base de la mesure des 10 plus grosses scories d'un seuil. Toutefois, il faut s'assurer que le seuil se trouve dans un secteur de palier, en vérifiant simplement qu'il n'y ait pas de fortes différences de tailles avec les scories du seuil amont et du seuil aval.

CONCLUSION

L'utilisation des macrosories, en tant qu'indicateur du transport de la charge de fond, se révèle une technique fiable et facile d'application en vue de déterminer les compétences développées par les rivières et les vitesses de progression de la charge de fond. Toutefois, avant de réaliser ce type d'étude, il est primordial de comprendre les méthodes de production des scories et de pouvoir dater les périodes d'activité des établissements métallurgiques installés le long des rivières, afin de disposer des données nécessaires au calcul des vitesses de progression. Les vitesses de charriage obtenues pour l'Aisne (1,4 km/siècle) sont sous-estimées vu que nous n'avons pas pu localiser les fronts de progression des différentes injections. Les scories récoltées dans l'Aisne, entre Blier et Bornai, nous ont cependant fourni des renseignements très intéressants concernant les compétences maximales réelles de transport (3,6 à 6,3 cm) sur un longue période (cinq siècles).

BIBLIOGRAPHIE

- BAY M., 1968. *Le Vallon de Beauregard, étude géomorphologique d'un synclinal calcaire*, Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, inédit, 106 p.
- BRAVARD J.P. & PETIT F., 1997. *Les cours d'eau : dynamique du système fluvial*, Armand Colin, Paris, 222 p.
- DALEM R. & NÉLISSEN A., 1973. *Mille ans de navigation sur l'Ourthe et ses affluents*, Éditions J. Petitpas, Bornais/Ourthe, 192 p.
- DELMER A., 1913. La question du minerai de fer en Belgique. Les gisements de minerai de fer. *Annales des mines de Belgique*, Bruxelles, 18, 108 p + annexes.
- DEMARTEAU J.E., 1911. *L'Ardenne belgo-romaine. Étude d'archéologie et d'histoire*, Liège, 264 p.
- DIMANCHE F. & TOUSSAINT G., 1977. Gisements de fer au contact Givetien/Couvinien (Esneux, Province de Liège). *Annales des mines de Belgique*, Bruxelles, pp. 533-540.
- DUCHESNE F. & PISSART A., 1985. Valeur statistique des comptages de cailloux de différentes lithologies. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 21, pp. 13-23.
- DUSSART F. & WILMET J., 1970. Les « aires de falde » dans les défrichements du XIX^e siècle en Thiérache (Entre-Sambre-et-Meuse). Leur repérage par photo-interprétation. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 6, pp. 169-178.
- EVARD R., 1955. *Les artistes et les usines à fer*, Editions Solédi, Liège.
- EVARD R., 1956. *Forges anciennes*, Solédi, Liège, 222 p.
- EVARD R. & DESCY A., 1948. *Histoire de l'usine des Verres, suivie de considérations sur les fontes anciennes (1548-1948)*, Éditions Solédi, Liège, 381 p.
- FELTZ C. & INCOURT A.-F., 1995. Itinéraire de la sidérurgie du XVI^e au XX^e siècle en Sud-Ardenne et Gaume. *Société royale belge de Géographie*, 26, 56 p.
- FERRARIS J. (Comte de), 1771-1778. *Mémoires, histoire et chronologie des cartes de Cabinet des Pays-Bas autrichiens*, Édition Pro Civitate, Bruxelles.
- GILLARD A., 1971. *L'industrie du fer dans les localités du Comté de Namur et de l'Entre-Sambre-et-Meuse de 1345 à 1600*, Pro Civitate, Collection Histoire, Bruxelles, série in-8°, n° 29, 263 p.
- GRAF W.L., 1988. *Fluvial processes in dryland rivers*, Springer series in Physical environment, Springer-Verlag (Berlin), 346 p.
- HANSOTTE G., 1972. La métallurgie wallonne au XVI^e et dans la première moitié du XVII^e siècle. Essai de synthèse. *Bulletin de l'Institut Archéologique Liégeois*, 84, pp. 21-42.
- HENROTTAY J., 1972. *Étude 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.
- HENROTTAY J., 1973. La sédimentation de quelques rivières belges au cours des sept derniers siècles. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 9, pp. 101-115.
- HOUBRECHTS G., 2000. *Utilisation des macrosories comme indicateur du transport de la charge de fond des rivières de la « Terre de Durbuy »*, Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, inédit, 137 p. + annexes.
- PETIT F. & PAUQUET A., 1997. Bankfull discharge recurrence interval in gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, pp. 685-693.
- PETIT S., 2000. *Analyse quantitative du réseau hydrographique de la Meuse : exploitation d'un modèle numérique de terrain*. Mémoire de Licence en Sciences géogra-

- phiques, Université de Liège, inédit, 83p. + annexes.
- PIROTTE F., 1966. L'industrie métallurgique de la Terre de Durbuy de 1480 à 1625. Ses rapports avec la métallurgie liégeoise. *Bulletin de l'Institut Archéologique Liégeois*, 79, pp. 145-210.
- SALVADOR P.G., 1991. *Le Thème de la métamorphose fluviale dans les plaines alluviales du Rhône et de l'Isère — Bassin de Malville et Ombrilic de Moirans (Isère, France)*, Thèse de Géographie et Aménagement, Lyon III, 498 p.
- SLUSE P., 1996. *Évolution de la Ruïles, de la Semois et de la Mellier au cours des cinq derniers siècles grâce aux résidus métallurgiques de l'industrie du fer et par l'étude des cartes anciennes*, Mémoire de Licence en Sciences géographiques, Université de Liège, inédit, 206 p.
- SLUSE P. & PETIT F., 1998. Évaluation de la vitesse de déplacement de la charge de fond caillouteuse dans le lit de rivières ardennaises au cours des trois derniers siècles, à partir de l'étude des scories métallurgiques. *Géographie physique et Quaternaire*, 52 (3), pp. 373-380.
- TAHON V., 1909. La métallurgie du fer au Pays de Liège, au Luxembourg et dans l'Entre-Sambre-et-Meuse. Période médiévale. *Annales du XXI^e congrès de la Fédération archéologique et historique de Belgique*, Liège, 2 (1), pp. 1-28.
- TRICART J. & VOGT H., 1967. Quelques aspects du transport des alluvions grossières et du façonnement des lits fluviaux. *Geografiska Annaler*, 49 A, pp. 351-366.
- VAN TUIJN J., 1927. *Le Couvinien et la partie supérieure de l'Éodévonien du bord oriental du synclinal de Dinant entre l'Ourthe et Ferrières*. Mémoire de licence en Géologie, Université de Louvain, 4, pp. 103-262.
- WAGNER J., 1921. *La sidérurgie luxembourgeoise avant la découverte du gisement des minettes*, Diekirch.
- YERNAUX J., 1939. *La métallurgie liégeoise et son expansion au XVII^e siècle*, Thone, Liège, 388 p.

Adresse des auteurs :

Département de Géographie physique et Quaternaire
 Institut de Géographie
 Université de Liège
 Allée du 6 août, 2— Bât. B11
 B - 4000 Sart Tilman, Liège