

# Étude de la dynamique fluviale des rivières ardennaises grâce aux scories métallurgiques

## Contexte géomorphologique et hydrographique

Les rivières ardennaises (*sensu stricto*) se différencient des rivières des autres régions géomorphologiques de Belgique (Famennne, Lorraine, etc.) par leur forte pente, par leur régime de débits contrastés et par leur charge caillouteuse grossière (charge de fond) provenant du substratum géologique dans lequel elles se sont incisées. Ce substratum, composé de roches dures d'âge Primaire (phyllades, schistes et grès) particulièrement résistantes à l'érosion, influe également sur les caractéristiques de perméabilité des bassins versants et donc sur les réponses des débits aux précipitations. D'autre part, la variabilité des couches géologiques traversées par les rivières a également des conséquences sur le tracé des vallées (par exemple, l'étirement des méandres de la Semois) (Fig. 1) ainsi que sur leurs caractéristiques morphométriques (largeur des vallées, largeur de plaine alluviale, pente) (Fig. 2).

Les vallées des rivières ardennaises ont commencé à s'inciser à la fin du Tertiaire, en relation avec un soulèvement tectonique qui a affecté l'ensemble du massif ardennais durant le Quaternaire (PETIT, 1992). Cette incision généralisée du réseau hydrographique a laissé de nombreux niveaux de terrasses (Fig. 3 et 4). Ces niveaux correspondent à des lambeaux d'anciennes plaines alluviales mises en place à la suite d'un arrêt plus ou moins



**Fig. 1.** Méandre encaissé de la Semois au Tombeau du Géant. Débit proche du débordement. Chenal de crue actif.

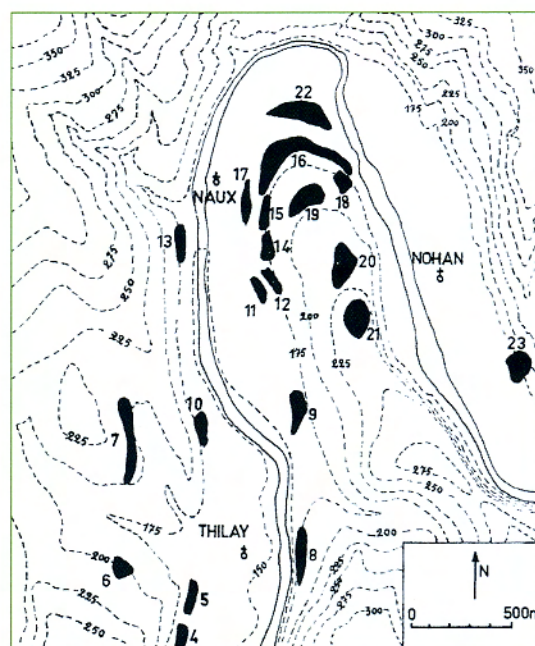
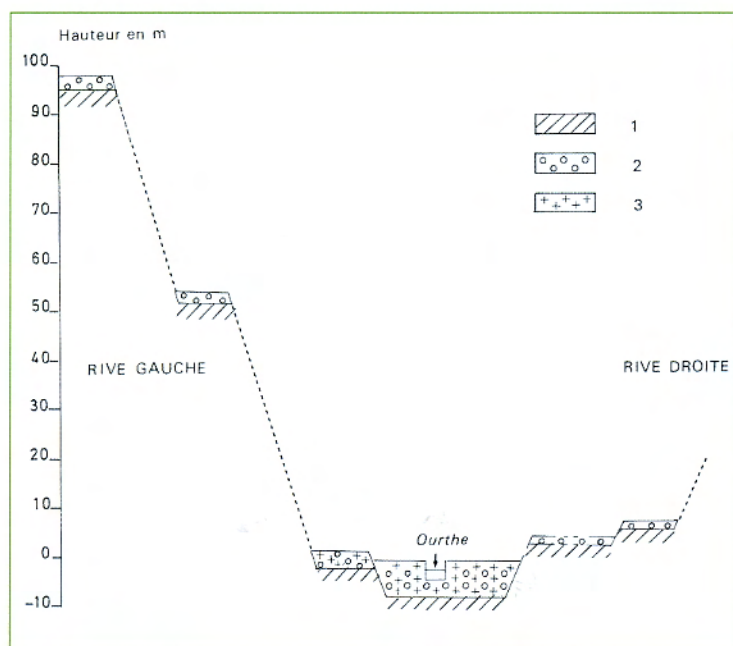


**Fig. 2.** Plaine alluviale de l'Aisne en amont de la traversée des poudingues du Couvinien inférieur (arrière-plan).



**Fig. 3.** Position altimétrique relative des différents niveaux de terrasses de l'Ourthe inférieure d'après EK (1957) et JUVIGNÉ (1979). Profil transversal fictif où sont reportés les différents lambeaux étudiés par Juvigné et les différents niveaux présents dans la littérature. 1. roche en place ; 2. dépôts fluviatiles (terrasses et plaine alluviale) ; 3. téphra.

**Fig. 4.** Lambeaux de terrasses perchés dans les versants de la Semois ardennaise (PISSART, 1961). Numéro des terrasses d'après la nomenclature de A. Pissart.



long de l'incision des rivières. L'étude des retombées des poussières volcaniques a démontré que l'incision des rivières ardennaises est en général inférieure à 5 mètres depuis le début de la dernière période froide (approximativement 100 000 ans), et que depuis la fin de la dernière période froide (approximativement 15 000 ans), elle est pratiquement nulle (JUVIGNÉ, 1977). Actuellement, les rivières ne s'incisent presque plus mais érodent latéralement leur plaine alluviale.

En règle générale, les géomorphologues considèrent qu'une plaine alluviale, ou lit majeur, correspond à la surface adjacente à la rivière (lit mineur) qui est constituée de dépôts d'origine fluviatile et dont l'extension maximale correspond aux zones inondées par les plus grandes crues connues. Toutefois, la définition hydrologique n'est pas corrélée avec la morphologie de la plaine qui enregistre une longue histoire sédimentaire (BRAVARD et PETIT, 2000). Lors des crues débordantes, des sédiments fins transportés en suspension se déposent sur les plaines alluviales et exhausent lentement leur niveau. Ces sédiments fins (principalement des limons), reposent générale-





ment sur une nappe de cailloutis héritée de la dernière période froide (Fig. 5 et 6).

À cette époque, dans des conditions périglaciaires, les phénomènes de transport en masse sur les versants ont engorgés les vallées et les rivières ont développé, en réponse, des chenaux multiples (système en tresse). Par la suite, lors du réchauffement climatique (15 000 BP), ces apports ont cessé, les rivières se sont incisées dans les dépôts caillouteux et ont développé des méandres à chenal unique (ANTOINE et al., 2002). Actuellement, les rivières continuent toujours à déblayer ces sédiments mis en place pendant la dernière période froide.

Dans les recherches menées sur les paléo-environnements fluviaux, peu d'informations existent sur l'évolution des plaines alluviales à l'échelle des derniers siècles (BRAVARD et MAGNY, 2002). En effet, il est difficile de déterminer l'importance de la mobilité latérale des rivières, de dater les périodes d'incision et d'exhaussement de leur lit mineur, d'estimer l'épaisseur de sédiments mis en place à différentes époques et ainsi de faire la part de l'impact anthropique et climatique sur la dynamique sédimentaire de ces cours d'eau.

D'autre part, dans les études de dynamique fluviale des rivières caillouteuses, nous disposons de très peu d'informations sur les débits de mise en mouvement, sur la taille des éléments transportables lors des crues par charriage (compétences), ainsi que sur la propagation de la charge de fond (vague sédimentaire). En effet, les résultats obtenus grâce aux techniques traditionnelles de marquage de la charge de fond (galets peints, radio-émetteurs, etc.) ne reposent généralement que sur des mobilisations d'éléments isolés et sur des pas de temps relativement courts.

Toutefois, pour répondre à ces différentes problématiques, nous utilisons les scories métallurgiques produites dans les hauts fourneaux primitifs à partir du XIV<sup>e</sup> siècle. Dès cette époque, les établissements sidérurgiques se sont installés dans les vallées afin d'utiliser l'énergie hydraulique et les métallurgistes ont rejeté leurs scories à proximité des cours d'eau. Par conséquent, les crues débordantes ainsi que l'érosion latérale des rivières (Fig. 7, page suivante) ont emporté des milliers de scories qui ont été transportées avec les sédiments naturels pendant plusieurs siècles.

Ces scories peuvent donc être utilisées, d'une part, comme un indicateur du transport de la charge de fond (compétence, vitesse de progression de la charge de fond) et, d'autre part, comme un repère stratigraphique pour

**Fig. 5.** La Chavanne (affluent de la Liègne).

**Fig. 6.** Cailloutis recouvert de sédiments fins. La couche noire correspond à un niveau de scories et de charbons.

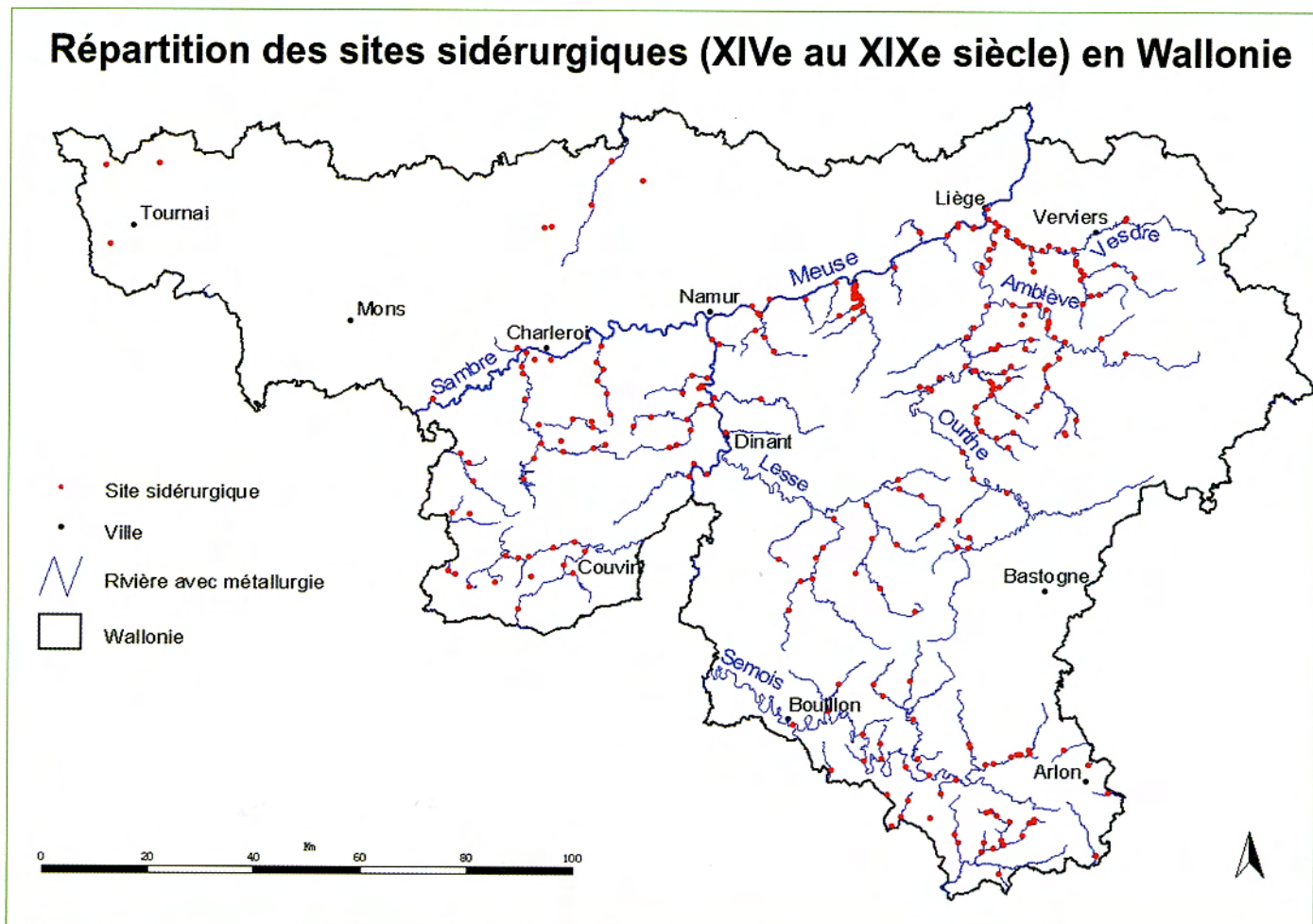


**Fig. 7.** Crassier de scories érodé latéralement par la Lienne.



**Fig. 8.** Répartition des sites sidérurgiques (XIV<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle) en Wallonie.

l'étude de la mobilité latérale des rivières et de la sédimentation dans les plaines alluviales. Toutefois, pour pouvoir être utilisées comme un traceur en





dynamique fluviale, il est primordial de localiser les anciens sites de rejets de scories et de connaître la période d'activité des fourneaux qui les ont produites. Par conséquent, nous avons recensé les différents sites métallurgiques mentionnés dans la littérature historique (Fig. 8) et nous avons recherché leur période d'activité. Ces périodes ont été déterminées par des historiens grâce au dépouillement des archives (comptes, octrois de coups d'eau, procès, inventaires, contrats, correspondances, etc.).

### Utilisation des macroscories en dynamique fluviale

Grâce à leur aspect particulier, les scories (Fig. 9) sont facilement reconnaissables parmi les éléments naturels de la charge de fond des rivières. Par conséquent, en période d'étiage, nous avons prospecté les seuils émergés (secteurs de faible profondeur généralement situés aux points d'inflexion des méandres, contrairement aux mouilles qui sont les secteurs profonds dans les concavités) de nombreuses rivières et nous avons collecté, parmi les éléments naturels de la charge de fond, la majorité des scories présentes en surface, ce qui nous donnait généralement plus d'une centaine de scories par site. Le nombre de scories présentes sur les différents seuils dépend principalement des quantités injectées dans la rivière et de la proximité des sites d'injection.

Lors des débits mobilisateurs, les seuils jouent le rôle de filtre dans la progression des sédiments car les forces tractrices développées par la rivière y sont plus faibles que dans les mouilles. Par conséquent, si les forces tractrices ne sont pas assez importantes, les galets mis en mouvement dans les mouilles peuvent s'immobiliser sur le seuil suivant (BRAVARD et PETIT, 2000). Pour être à nouveau mobilisés, il faut donc qu'une crue plus importante se produise. Les plus grosses scories situées sur les seuils témoignent donc de la compétence effective de la rivière sur plusieurs siècles.

Dès lors, nous avons collecté les scories sur les seuils de plusieurs rivières (Aisne, Lembre, Somme, Ourthe, Chavanne, Lienne, Amblève, etc.). Nous avons ensuite mesuré l'axe intermédiaire de toutes les scories collectées et, après avoir calculé la taille moyenne des dix plus grosses scories ( $M_{10}$ ) récoltées sur les seuils des différentes rivières, nous avons réalisé, pour chacune d'elle, un graphique représentant l'évolution longitudinale de la taille des scories récoltées (Fig. 10).



Fig. 9. Scories vitreuses collectées dans la Lembre.

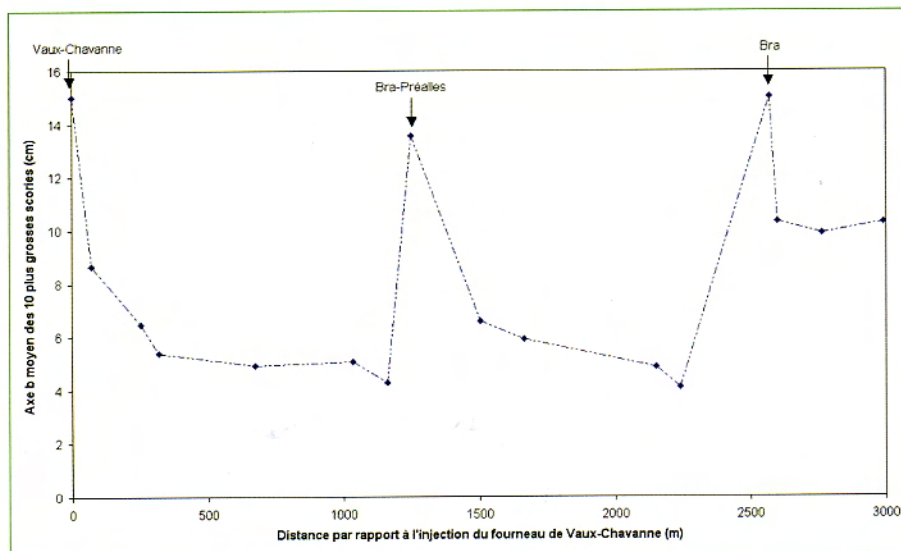


Fig. 10. Évolution de la taille moyenne des dix plus grosses scories dans la Chavanne.



Les sites d'injection de scories se remarquent par une augmentation importante de la taille des scories d'amont en aval. En aval des sites d'injection, il s'opère systématiquement une décroissance, suivie d'une stabilisation de la taille moyenne des scories (secteur de palier). L'analyse de ces courbes fournit ainsi un nombre utile d'informations relatives au transport de la charge de fond (tri hydraulique, compétence effective, vitesse de progression des scories). Toutefois, étant donné la proximité des sites d'injection et la ressemblance entre les scories des différents sites, il est généralement impossible de localiser les fronts de progression des scories. Pour l'instant, nous n'avons pu localiser que deux fronts de progression de scories ; sur la Semois (SLUSE et PETIT, 1998) et sur l'Ourthe (HOUBRECHTS et PETIT, 2003).

### Tri hydraulique

Ce tri consiste en une décroissance granulométrique vers l'aval, due à une mobilisation moins fréquente des scories 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'opèrent ces tris varie d'une injection à l'autre en relation avec les compétences des rivières. Ainsi dans la Rulles (affluent de la Semois lorraine), rivière à faible énergie, la distance de tri est de 4 km (SLUSE et PETIT, 1998), alors que dans l'Aisne, rivière à forte énergie, cette distance est inférieure à 1 km.

### Compétences effectives des rivières

Comme nous l'avons déjà montré pour les rivières de la région de Durbuy (HOUBRECHTS et PETIT, 2003), les secteurs de palier témoignent des compétences effectives développées par les rivières dans les différents tronçons et donc des puissances qui s'y exercent. Par exemple, sur la Chavanne, nous observons deux niveaux de palier distincts caractérisés par des scories dont la taille ( $M_{10}$ ) est voisine de 5 cm pour le premier et de 10 cm pour le second. Cette augmentation importante de la taille des scories résulte d'une forte augmentation de la pente, et donc de la puissance développée par la rivière, liée à un changement lithologique.

### Vitesse de progression de la charge de fond

Grâce aux scories, nous avons obtenu de nombreux résultats sur les vitesses de progression de la charge de fond. Ainsi, nous avons localisé un front de progression de scories sur l'Ourthe, entre Barvaux et Bomal. Après avoir daté le début du fonctionnement du site de production le plus proche (1450), nous avons calculé la vitesse de progression des scories qui est comprise entre 1,8 et 2,3 km/siècle (HOUBRECHTS, 2000). Pour les sites trop rapprochés, en aval desquels il n'est pas possible de localiser le front de progression des scories, nous avons néanmoins calculé des vitesses de progression minimales (Distance entre deux sites d'injection / temps).

### Utilisation des microscories pour l'étude des plaines alluviales

Depuis l'apparition de la métallurgie le long des cours d'eau, les microscories (scories microscopiques) "contaminent" les alluvions. Deux grands



types de microscories peuvent être utilisées pour dater les dépôts. Il s'agit des microscories vitreuses (Fig. 11) et des sphérules magnétiques (Fig. 12).

Les microscories vitreuses étaient produites lors du concassage des scories par les bocards et se sont également formées à la suite de la désagrégation des macroscories lors de la mobilisation de la charge de fond. Par conséquent, ces scories se sont mélangées avec les alluvions naturelles et se sont déposées sur les plaines alluviales lors des crues débordantes.

Les sphérules magnétiques étaient principalement produites dans les forges d'affinage, lors du réchauffage de la fonte. Elles étaient ensuite rejetées avec les fumées par les cheminées, transportées par le vent, et finalement retombaient sur les plaines alluviales autour des sites de production (RICHARDEAU, 1977).

D'autres résidus de la métallurgie, les "plaquettes", ou battitures, ont également été utilisées par HENROTTAY (1973). Toutefois ces "plaquettes" sont trop difficiles à distinguer des éléments magnétiques d'origine naturelle présents dans les alluvions. Par conséquent, nous avons décidé de ne plus nous baser sur leur présence pour dater nos échantillons.

Dans le cadre de nos recherches, nous avons décidé de travailler principalement sur les microscories vitreuses, car elles sont les plus faciles à reconnaître à l'œil nu (couleur, vacuoles, fils d'étirement apparus lors des coulées, reflets vitreux) et sont suffisamment nombreuses dans les sédiments récents.

Après avoir prélevé des échantillons de sédiments dans plusieurs berges de rivières, nous avons compté le nombre de scories ainsi que le nombre de grains "naturels" dans les classes granulométriques supérieures de chaque échantillon (les valeurs limites de ces classes sont indiquées entre parenthèses sur les graphiques et sont exprimées en microns). Nous avons ensuite calculé les concentrations en scories par rapport au nombre total de grains comptés. Finalement, étant donné que le nombre de grains comptés variait d'un échantillon à l'autre, nous avons calculé les écarts-types pour chaque valeur de concentration.

Les concentrations en scories permettent de mieux visualiser les échantillons contaminés par la bioturbation, les dépôts mis en place après l'apparition de l'activité sidérurgique et l'impact de ces rejets de scories sur l'importance de la charge en suspension des rivières.

### Taux de sédimentation des plaines alluviales ardennaises

Jusqu'à présent, l'impact de l'homme sur la sédimentation en plaine alluviale a été très peu étudié. Pourtant, depuis des siècles, son influence s'exerce à tout niveau, depuis les défrichements des bassins versants et leur mise en culture jusqu'à la modification du tracé des rivières.

La difficulté majeure, dans l'étude de l'évolution des plaines alluviales, consiste en la datation des dépôts récents. En effet, les datations  $C^{14}$  ne peuvent être appliquées à de la matière organique postérieure au XVII<sup>e</sup> siècle. Par conséquent, les scories constituent un des seuls indicateurs stratigraphiques pour dater les alluvions récentes.

Nous avons donc décidé d'étudier notamment la Chavanne (affluent de la Liègne), car trois fourneaux y ont fonctionné au XVI<sup>e</sup> siècle et que les défrichements liés à la production de charbon de bois peuvent avoir entraîné une augmentation de l'érosion sur les versants et donc parallèlement une augmentation de la sédimentation en plaine alluviale.



Fig. 11. Microscorie vitreuse.

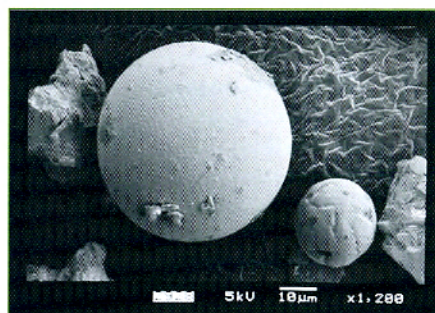


Fig. 12. Sphérule magnétique.





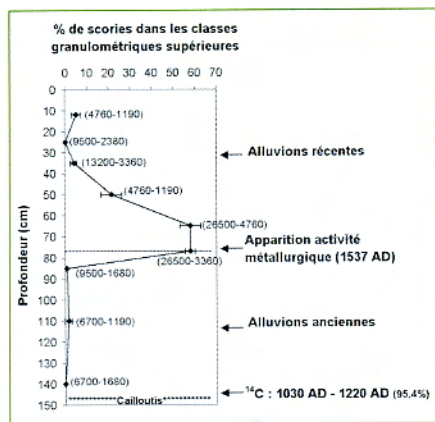
**Fig. 13.** Berge érodée de la Chavanne (profil Chavanne 4).

Sur ce profil réalisé dans une coupe de la Chavanne (Fig. 13 et 14), nous pouvons distinguer deux périodes de sédimentation grâce aux microscories. En effet, le niveau de plaine alluviale correspondant à l'apparition de l'activité sidérurgique le long de cette rivière se marque très nettement (77 cm sous la surface actuelle). On observe également que la concentration diminue fortement à partir de 65 cm de profondeur jusqu'en surface. Les concentrations de certains échantillons proches de la surface tendent même vers zéro pourcent. Cette observation montre que la contamination actuelle des alluvions par les scories provient des remaniements des dépôts anciens situés en amont. D'autre part, la présence de quelques scories isolées à la base de la coupe résulte de la bioturbation durant la mise en place des sédiments. Cette hypothèse a d'ailleurs été confirmée par une datation  $C^{14}$  de matière organique prélevée à la base de la coupe, au contact du cailloutis ( $895 \pm 30$  BP/Poz -2743).

Pour l'instant, nous avons repéré dans plusieurs profils le contact entre les alluvions sans scories et les alluvions avec scories, par conséquent nous pouvons, après avoir daté les périodes d'activité des sites sidérurgiques, estimer la sédimentation par débordement sur ces unités. De plus, des datations réalisées sur de la matière organique prélevée à la base de certaines coupes permettent également de calculer des taux de sédimentation par débordement. Le tableau 1 reprend quelques résultats obtenus grâce à la localisation des microscories dans les coupes et aux datations  $C^{14}$ .

L'analyse du profil Somme 1 montre que la sédimentation semble s'être fortement accélérée depuis le  $xv^e$  siècle. Toutefois, comme nous pouvons le constater pour les dépôts de la Somme mis en place depuis 1477, les taux de sédimentation varient également d'un site à l'autre (entre 9,9 et 26,6 cm/siècle). Par conséquent, à ce stade, nous ne pouvons pas encore affirmer que la sédimentation s'est accélérée sur la Somme depuis 1477.

Contrairement au profil Somme 1, la datation réalisée à la base du profil Chavanne 4 indique que la sédimentation n'a pas significativement évolué depuis le  $xI^e$  siècle.



**Fig. 14.** Concentration en scories dans la berge érodée de la Chavanne (profil Ch. 4).



**Tableau 1 : Taux de sédimentation  
déterminés grâce aux microscories et aux datations C14**

Profil	Taux de sédimentation (cm/siècle)	Période considérée
Somme 1	3,9 à 4,3	(1220 BC <sup>1</sup> – 1477 AD <sup>2</sup> ) - (970 BC <sup>1</sup> – 1477 AD <sup>2</sup> )
Somme 1	18,1	(1477 AD <sup>2</sup> – 2003 AD)
Somme 3	26,6	(1477 AD <sup>2</sup> – 2003 AD)
Somme 5	9,9	(1477 AD <sup>2</sup> – 2003 AD)
Chavanne 4	14,4 à 23	(1030 AD <sup>1</sup> – 1537 AD <sup>3</sup> ) - (1220 AD <sup>1</sup> – 1537 AD <sup>3</sup> )
Chavanne 4	16,5	(1537 AD <sup>3</sup> – 2003 AD)

<sup>1</sup> Dates C<sup>14</sup> : valeurs extrêmes des âges calibrés (intervalle de probabilité à 95 %).

<sup>2</sup> Première mention connue d'un site métallurgique sur la Somme (PIROTTE, 1966).

<sup>3</sup> Première mention connue d'un site métallurgique sur la Chavanne (LEESTMANS, 1980).

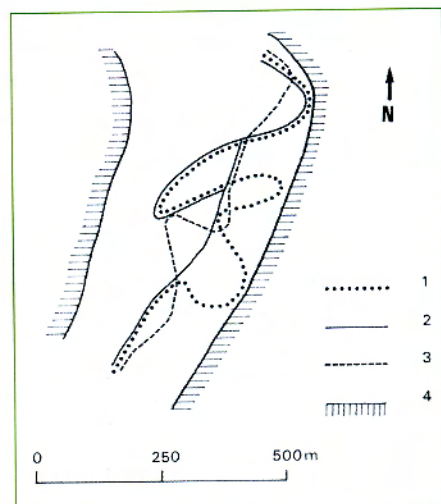
### Mobilité latérale des rivières ardennaises

La mobilité latérale des rivières peut être appréhendée par la comparaison de cartes anciennes (cartes de l'IGM, cartes de Vandermaelen 1854, Ferraris 1771-1778, etc.) (Fig. 15). Toutefois, la précision des cartes les plus anciennes ne permet généralement pas de tirer des conclusions sur des modifications de tracés pour des rivières de dimension modeste (déplacements latéraux, recoupements de méandres, modifications de sinuosité). D'autre part, il n'existe pas de cartes suffisamment précises, même pour l'étude des rivières importantes (Ourthe, Amblève, etc.) antérieures au XVIII<sup>e</sup> siècle. Or, l'espace de mobilité des rivières, également appelé espace de liberté, est de plus en plus pris en compte par les gestionnaires des cours d'eau.

Toutefois, dans les rivières contenant des scories dans leurs alluvions, il est possible de déterminer l'espace de liberté des rivières depuis l'apparition de l'activité métallurgique. En effet, dans les secteurs balayés récemment par la rivière, la plaine alluviale contient des microscories sur toute la hauteur du profil, depuis le cailloutis jusqu'en surface (Fig. 16).

Ainsi, dans ce profil réalisé dans une coupe de la Lembrée (affluent de l'Ourthe), nous avons mesuré, pour chaque échantillon prélevé, les concentrations en scories dans la fraction supérieure à 1 680 µm ainsi que les écarts-types.

Il apparaît clairement que les concentrations en scories sont très importantes depuis la base de la coupe (contact avec le cailloutis) jusqu'au sommet. Par conséquent, nous pouvons envisager que ces sédiments se sont



**Fig. 15.** Estimation de l'importance de l'érosion latérale à partir de la comparaison de documents cartographiques anciens. Exemple de l'Ourthe en Famenne, d'après JUVIGNÉ (1964) et TARGÉ (1970). (1) Tracé d'après la carte de Ferraris, (2) Tracé d'après la carte de Vander Maelen, (3) Tracé en 1963, d'après la carte IGM, (4) Limite de la plaine alluviale.



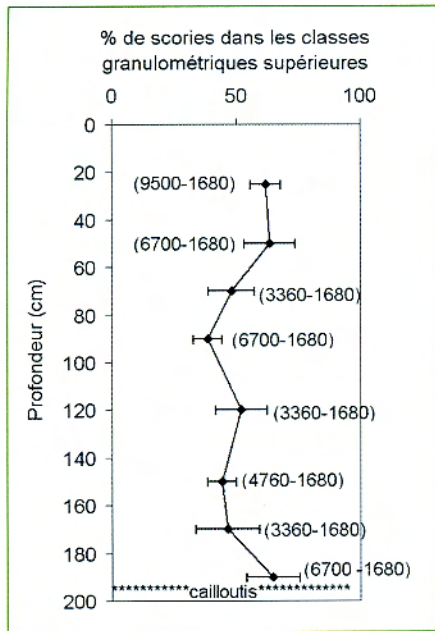


Fig. 16. Concentration en scories dans une berge érodée de la Lembrée.

mis en place pendant la période d'activité métallurgique ou peu de temps après.

D'autre part, l'absence de dépôts "anciens" montre que la rivière a balayé cet endroit, par glissement latéral, au moins une fois, depuis l'apparition de l'activité métallurgique.

Sur base de ce principe, plusieurs profils ont été réalisés par HENROTTAY (1973) dans les plaines alluviales de la Somme, de l'Ourthe et de l'Amblève (Fig. 17).

Comme le montre la figure 17, l'ensemble des alluvions de ce profil contiennent des microscories depuis le cailloutis jusqu'en surface, et ce sur toute la largeur de la plaine alluviale. Par conséquent, nous pouvons déduire que l'Amblève, à cet endroit, a balayé l'ensemble de sa plaine alluviale (110 m) en moins de sept siècles. De plus, d'autres profils réalisés dans les plaines alluviales de la Somme (Condroz) et de l'Ourthe ont également permis d'estimer des taux d'érosion latérale sur base de la présence des microscories.

Il ressort du tableau 2 que l'Ourthe, tout comme l'Amblève, a presque balayé l'entièreté de sa plaine alluviale, depuis l'apparition de l'activité métallurgique le long des cours d'eau, avec des vitesses moyennes d'érosion latérale dépassant 0,10 m.an<sup>-1</sup>.

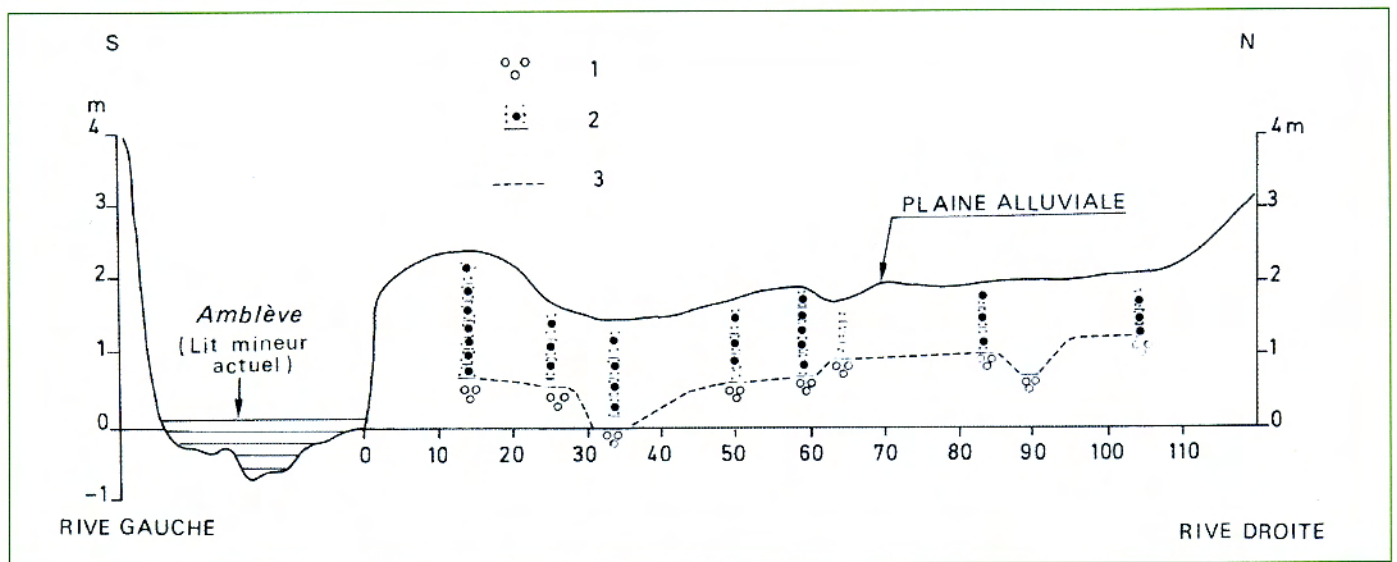


Fig. 17. Coupe transversale de l'Amblève (2 km en amont de sa confluence avec l'Ourthe) montrant l'importance de l'érosion latérale depuis le milieu du XIV<sup>e</sup> siècle, moment où l'industrie métallurgique s'est localisée dans les plaines alluviales (d'après HENROTTAY, 1973). (1) Cailloutis de base. (2) Scories microscopiques, billes et plaquettes. (3) Limite supérieure du cailloutis de base (hauteur exagérée dix fois).





**Tableau 2 : Estimation de l'érosion latérale  
des plaines alluviales sur base de la présence de microscories**  
(d'après HENROTTAY, 1973)

Rivière	Largeur plaine alluviale (m)	Érosion latérale (m)	Date	Vitesse d'érosion (m.an <sup>-1</sup> )
SOMME (Condroz)	100	20	xv <sup>e</sup> siècle	0,03
AMBLÈVE	110	110	xiv <sup>e</sup> siècle	0,17
OURTHE	80	70	xiv <sup>e</sup> siècle	0,11
	100	90	xiv <sup>e</sup> siècle	0,14
	220	200	xiv <sup>e</sup> siècle	0,31

## Conclusion

La dynamique fluviale des rivières ardennaises a pu être étudiée grâce aux scories produites dans les hauts fourneaux primitifs. Ces établissements, érigés le long des cours d'eau à partir du xiv<sup>e</sup> siècle, ont produit de grandes quantités de scories qui se sont par la suite mélangées avec les alluvions naturelles. Par conséquent, après avoir recherché, dans la littérature historique, la période de fonctionnement de ces fourneaux, nous pouvons utiliser les microscories comme marqueur stratigraphique pour l'étude de la sédimentation dans les plaines alluviales et comme indicateur de la mobilité latérale des rivières au cours des derniers siècles. D'autre part, l'utilisation des macroscories, 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 ardennaises et les vitesses de progression de leur charge de fond. ■

Geoffrey HOUBRECHTS & François PETIT\*

*Département de Géographie de l'Université de Liège*  
Laboratoire d'Hydrographie et de Géomorphologie fluviale  
allée du 6 août, bâtiment B11  
B – 4000 Sart-Tilman

\* Pour la réalisation de son doctorat, Geoffrey Houbrechts bénéficie d'une bourse octroyée par le *Fonds pour la Formation à la Recherche dans l'Industrie et l'Agriculture*.