

INCIDENCES MORPHODYNAMIQUES ET BIOLOGIQUES DE RÉHABILITATIONS DE RIVIÈRES : LE CAS DE L'OURTHE OCCIDENTALE À MOIRCY

Lionel JONET, François PETIT, Étienne DUPONT et Robert ARNOULD

Résumé

Un tronçon de l'Ourthe occidentale, rectifié dans les années septante, sert de cadre à une expérience de restauration de rivière. Différents types de réaménagements ont été installés en 1998, notamment en vue de recréer une diversité de la morphologie du lit et des conditions dynamiques, dans l'optique d'une augmentation des possibilités pour la faune piscicole. Ces aménagements consistent en équipement de portes, d'épis, de caissons et de gros blocs épars disposés sur le fond du lit. Des levés topographiques précis ont permis de suivre l'évolution de ce tronçon, notamment en réponse à une crue plus que décennale, en principe largement morphogène, comme en atteste la mobilisation généralisée de la charge de fond observée dans ce tronçon. Les modifications morphologiques se sont cependant révélées minimales, se résumant à des accumulations en amont d'une porte latérale et en aval d'une porte oblique, à une incision dans l'axe central de cette même porte oblique. Mais les éventuelles divagations latérales du tracé avaient été minimisées d'emblée du fait que des protections de berge avaient été installées à différents points (tunage et clayonnage). Des pêches électriques effectuées à différentes périodes (avant rectification, avant restauration et après restauration) montrent que ces réaménagements favorisent néanmoins le développement des alevins ainsi que l'accueil de certaines populations adultes. Par ailleurs, l'évaluation des paramètres dynamiques au cours de la crue mobilisatrice a permis de confirmer les valeurs de puissances spécifiques critiques et du critère adimensionnel de Shields, proposées dans d'autres rivières ardennaises.

Mots-clés

restauration de rivière, rivière caillouteuse, puissances spécifiques critiques, critère de Shields, Ardenne

Abstract

A section of the western part of the Ourthe river that was straightened in the 1970s serves as the framework for an experience in river restoration. Various types of restoration techniques were installed in 1998, particularly with a view to recreating a diversity in the morphology of the river bed and dynamic conditions to increase possibilities for fish-breeding fauna. These adjustments consisted in gate equipment, breakwaters, caissons and cross-bars placed on the bottom of the bed. Precise topographical surveys have allowed to follow the evolution of this section, particularly in response to a more than ten years discharge, largely morphogenic, as attested to by the overall mobilisation of the bedload observed in this section. The morphological modifications however, revealed themselves to be minimal, coming down to accumulations in a lateral gate upstream, and in an oblique gate downstream, and an incision in the central axis of this same oblique gate. But possible lateral lateral divagations of the bed were at once minimised, as embankment protections had been installed at various points (tuning, wattled fencing). Electronic fishings effectuated at different times (before rectification, before restoration, after restoration) show that these adjustments did however promote the development of alevins and the reception of certain adult populations. Moreover, evaluation of dynamic parameters during the mobilising rise in water level allowed to confirm the values of critical unit stream power and the Shield's dimensionless criterion proposed in other Ardenne rivers.

Key Words

rivers restoration, gravel bed rivet; critical unit stream power, Shield's criterion, Ardenne

INTRODUCTION

Au début des années septante, l'Ourthe occidentale a subi d'importants aménagements qui ont consisté principalement en une rectification drastique de son cours, impliquant de nombreux recoupements de méandres, et en une augmentation sensible de sa section, par élargis-

sement et approfondissement du lit. À l'époque, l'objectif de ces travaux était de lutter contre les inondations et de valoriser les terres agricoles.

En 1998, l'un d'entre nous (É. Dupont) a mis au point et installé une série d'ouvrages pour réaménager le lit de la rivière. Ce projet expérimental, réalisé en collabora-

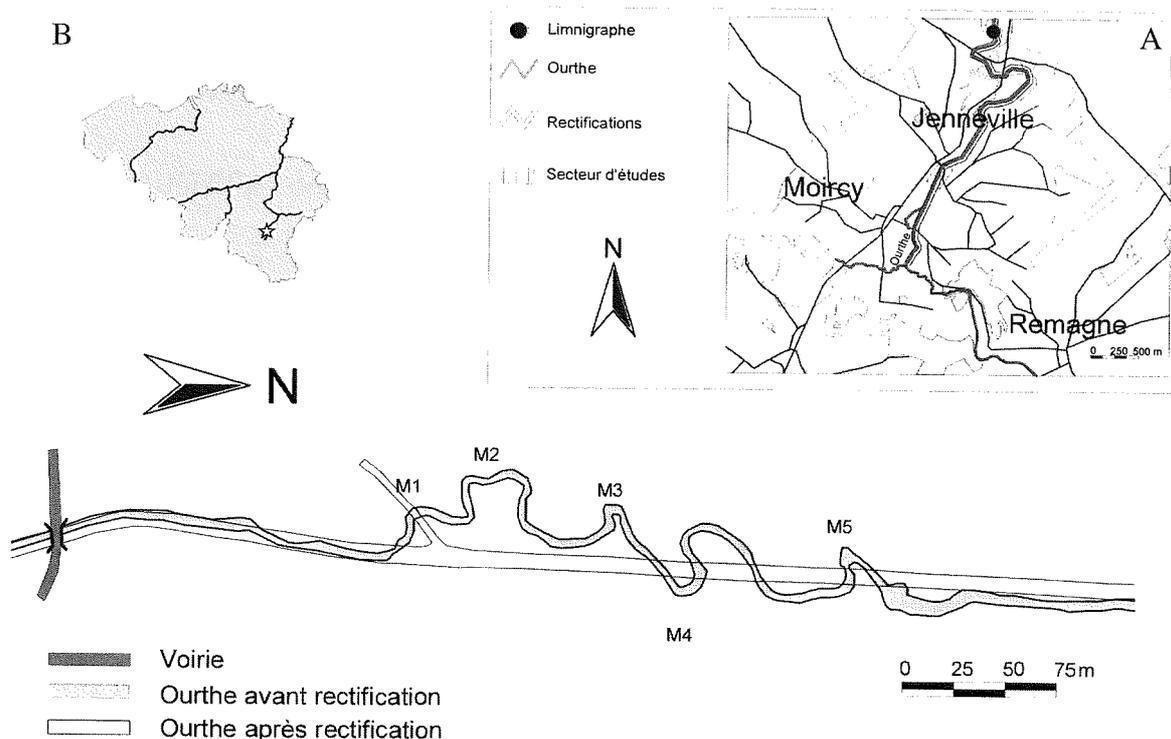


Figure 1.

A. Carte de localisation du secteur étudié

B. Comparaison du tracé naturel et du tracé après rectification (extrait de l'Atlas des Cours d'eau)

tion avec la Division de l'Eau (Service des Cours d'Eau Non Navigables), avait pour but de recréer la diversité de la morphologie du lit et des conditions dynamiques, dans l'optique d'une augmentation des possibilités pour la faune piscicole.

Ces aménagements se situent au niveau du village de Moircy (à une dizaine de kilomètres au nord-est de la commune de Libramont) et s'étendent sur un peu plus de 100 m. À ce niveau, l'Ourthe se trouve en tête de bassin versant (50 km²) et sa largeur moyenne est de 7 m.

Une première représentation du fond du lit a été réalisée durant l'été 1999. Sur cette base, l'objectif d'un travail de fin d'études (Jonet, 2000) a été de déterminer si des modifications se sont opérées au cours de l'hiver 1999-2000 qui, comme on le verra par la suite, a connu une crue importante.

I. MODIFICATIONS DE L'OURTHE OCCIDENTALE

Pour caractériser les différents tracés de l'Ourthe occidentale, nous avons basé notre comparaison sur l'analyse de plans terriers (échelle 1/1 000) réalisés au moment des travaux en 1970. Ceux-ci reprennent la morphologie de l'ancien lit ainsi que le projet définitif du cours modifié. Les rectifications débutent au point de confluence entre l'Ourthe et le ruisseau de Freux pour

se terminer 400 m environ en aval du pont de Bonnerue (Fig. 1). Le tracé est passé de 4 580 m à 4 010 m, soit une réduction de plus de 10 % par rapport au tracé initial.

La portion qui nous intéresse plus particulièrement est celle comprise entre le pont de Moircy et le pont de Jenneville distants de 710 m (Fig. 1). C'est à cet endroit qu'une série d'aménagements ont été réalisés de façon à réhabiliter le cours d'eau. Ils ont pour vocation d'imprimer une certaine sinuosité au courant de manière à apporter une diversification aux formes du lit de la rivière et de reproduire ainsi des conditions d'habitat (profondeur, vitesse du courant et nature du substrat) diversifiées et peu présentes dans la situation homogénéisée du cours chenalisé actuel.

H. LES DIFFÉRENTS TYPES D'AMÉNAGEMENT

La figure 2 permet de situer les différents aménagements réalisés au sein de la rivière en 1998. Pour plus de facilité, nous avons découpé ce tronçon en plusieurs secteurs.

Secteur I : une porte oblique centrale (avec seuil) centralise le courant de manière à provoquer un affouillement en aval de la porte. Précisons que la pointe des portes est dirigée dans le sens inverse/ face au courant

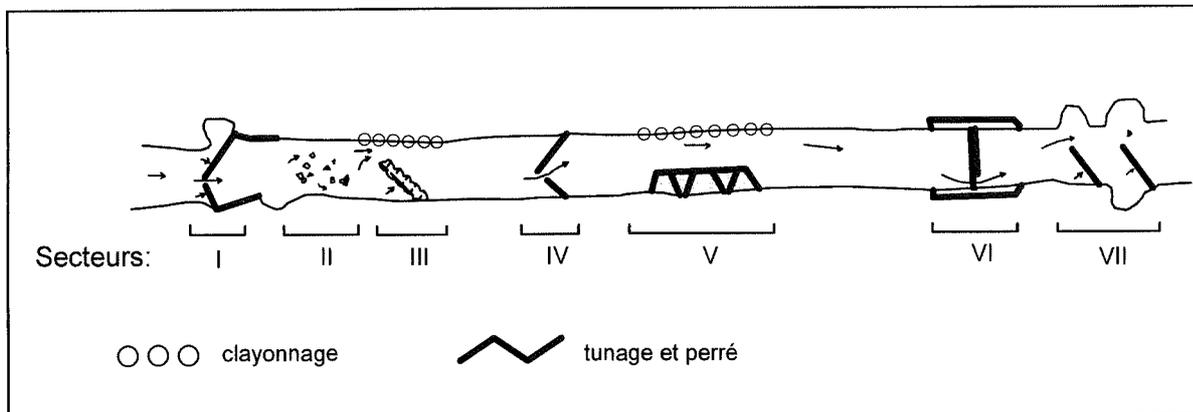


Figure 2. Les différents types d'aménagements dans le tronçon de l'Ourthe réhabilité (voir commentaires dans le texte)

de manière à ce qu'il n'érode pas les berges (voir flèches, Fig. 2). C'est le cas également des épis (voir plus loin). Généralement, ces ouvrages sont construits avec un rondin en bois dont le diamètre est de l'ordre de 20 à 30 cm. Ils sont enfouis, côté berge, et présentent une légère inclinaison vers l'axe central de la rivière.

Secteur II : des blocs épars, au nombre de onze, possèdent un axe intermédiaire d'une quarantaine de centimètres en moyenne. Ils ont une hauteur de 30 cm à partir du fond du lit et ont pour fonction de disperser le courant sur toute la section.

Secteur III : un épi, constitué de gros blocs entre lesquels des pierres se sont accumulées, dévie le courant en rive gauche et provoque un rétrécissement du lit.

Secteur IV : une porte oblique latérale oriente le courant obliquement par rapport à l'axe de la rivière. Comme elle ne comprend pas de seuil, c'est l'étranglement du passage qui provoque le creusement du lit.

Secteur V : un caisson latéral (rive droite) constitue un haut-fond et devrait favoriser la sédimentation et le développement de la végétation en été. Le courant passe en rive gauche. Le couvert végétal et la faible profondeur constituent une zone de refuge pour les alevins. En pied de rive droite, des boutures de *saule fragile* favoriseront également la sédimentation sur le haut du caisson.

Secteur VI : une porte droite latérale (avec seuil) est constituée de deux madriers en bois superposés au sein desquels il y a une échancrure côté rive droite. En aval, on y mesure des profondeurs importantes (jusqu'à deux fois la valeur moyenne calculée sur la totalité du tronçon aménagé).

Secteur VII : des épis latéraux dévient le courant vers la rive opposée. Notons que, comme la porte au secteur I, les épis latéraux sont placés de manière à permettre l'entretien des encoches qui servent d'abreuvoirs au bé-

tail et à garantir ainsi leur efficacité.

Des travaux ont également été réalisés pour protéger les berges à certains endroits. Les procédés employés sont les suivants.

Le tunage : technique que l'on retrouve au secteur I (rives gauche et droite). Cette protection consiste en un ensemble de piquets (rondins de bois) enfoncés les uns contre les autres en pied de berge. Cette protection est complétée par des boutures de *saule fragile* qui devraient assurer seules le maintien des berges après destruction du tunage avec le temps.

Les clayonnages : ils sont au nombre de deux (secteurs III et V en rive gauche). Ce procédé complète le tunage au moyen de fascines ou clayons (pousses vives de *saules marsault*) entrelacés contre les pieux. Cette protection est complétée par des plantations de hautes tiges (*aulnes, frênes et érables*) qui prolongeront la protection des berges après destruction des pieux.

III. LES CONDITIONS HYDROLOGIQUES AU COURS DE LA PÉRIODE D'OBSERVATION

Durant la période d'études, qui s'étend de novembre 1999 à août 2000, nous avons bénéficié de conditions hydro-climatiques assez particulières. En décembre 1999, on a recueilli 171,9 l/m² d'eau à Uccle en l'espace de 28 jours, ce qui constitue le record des observations des précipitations enregistrées depuis 1833 (Vandiepenbeeck, 2000). Toujours selon cet auteur, en Ardenne, ces excès pluviométriques doivent être considérés comme exceptionnels (phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les trente ans).

C'est durant ce mois de décembre (le 26 plus précisément), que nous avons connu une crue importante qui a vu le cours d'eau sortir de son lit et qui, comme nous le verrons par la suite, a permis la mise en mouvement de la charge de fond. Il était donc primordial de connaître la valeur de ce débit, notamment pour calculer les puissances critiques de mise en mouvement, et d'en connaî-

tre la récurrence. Cependant, l'absence de station limnigraphique à Moircy nous empêchait de connaître la valeur de ce débit et sa récurrence. Pour ce faire, nous avons analysé la série des débits enregistrés à la station d'Amberloup (située quelques kilomètres en aval de Moircy). La série des crues maximales annuelles (période 1974-1981) a été traitée dans l'ajustement de Gumbel, de façon à déterminer les débits de récurrence caractéristique. Ces traitements ont permis de voir que la crue du 26 décembre 1999, à la station d'Amberloup, a une récurrence de l'ordre de 17 ans. Toutefois, il faut se montrer prudent dans l'interprétation de cette valeur, tout d'abord parce que la série des débits est relativement courte, et ensuite parce que cette période est marquée par une série d'années relativement sèches avec peu de crues importantes. Quoi qu'il en soit, on peut dire que les aménagements ont subi une crue au moins décennale.

Afin de connaître la valeur du débit à Moircy, nous avons appliqué aux données de la station d'Amberloup, la formule généralement utilisée par la DIREN (Bravard et Petit, 1997) :

$$q = Q (a/A)^{0.8}$$

où q est le débit recherché, Q et A sont respectivement le débit et la superficie du bassin versant à la station prise en référence et a est la superficie du bassin versant où l'on cherche q . Dans ce cas précis, $a = 50 \text{ km}^2$, $A = 109 \text{ km}^2$ et le débit de pointe (Q) mesuré à la station d'Amberloup le 26/12/99 est de $20,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, de telle sorte que le débit (q) à Moircy aurait atteint $11 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Notons que, pour ce débit, la crue est juste débordante à Moircy. D'après la relation mise en évidence par Petit et Pauquet (1997), pour une rivière naturelle (qui n'aurait subi aucune rectification ni reprofilage de section) dont la taille du bassin versant serait équivalente, le débit à pleins bords serait atteint pour $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et se présenterait avec une récurrence de 1,2 an ou de 0,46 an, selon que l'on utilise la série annuelle ou la série partielle des crues. Il apparaît donc qu'en terme de lutte contre les inondations, le calibrage du lit à Moircy a bien atteint son but puisque le débit de débordement ne se produit que pour une crue plus que décennale. Il est à noter également que l'installation des petits ouvrages de restructuration n'a pas eu d'effet aggravateur de l'inondation dans le secteur considéré lors de la crue du 26/12/99.

IV. LES LEVÉS TOPOGRAPHIQUES

La première partie de notre travail consistait à lever le cours d'eau réaménagé de manière à restituer les formes du lit ainsi que la position exacte des ouvrages installés dans la rivière. Ensuite, nous avons comparé ces levés avec ceux réalisés en 1999 pour déterminer l'ampleur des modifications. Précisons que la technique de levé utilisée lors de cette première campagne était un peu différente, ce qui a nécessité une mise au point méthodologique que nous envisagerons lorsque nous abor-

derons ces comparaisons.

A. Méthodologie

Nous avons tout d'abord implanté cinq points d'appui (matérialisés par des pointes d'arpentages) sur base desquels nous avons déterminé un système de coordonnées locales. Ces points ont alors fait l'objet d'une triangulation, pour établir un réseau constitué de triangles et de quadrilatères qui couvrent entièrement la zone à lever. Après avoir corrigé les distances mesurées (réduction à l'horizontale et corrections atmosphériques), le réseau obtenu a été compensé par la méthode des moindres carrés.

On pouvait dès lors calculer les coordonnées planimétriques de chaque point implanté. Leur nivellement nous a ensuite permis de déterminer leur cote altimétrique. Cette façon de procéder permet d'utiliser au mieux le potentiel d'une station totale. L'instrument utilisé est une station TC 500 (LEICA). La lecture des angles horizontaux et verticaux est réalisée avec une précision de 2 mgon tandis que l'écart-type sur la mesure d'une distance est de $5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$ (c'est-à-dire une correction de 5 mm par km).

Lorsque l'appareil est correctement orienté et rattaché par rapport aux points connus, il est possible de référencer chaque point levé au moyen de coordonnées x , y et z . Cette manière de travailler facilite la représentation cartographique et surtout permet un gain de temps, car il ne faut plus traiter les mesures d'angles et de distances.

Afin de comparer notre levé à celui effectué en 1999, nous avons positionné nos profils transversaux exactement aux mêmes emplacements. Ces profils, au nombre de 27, ont été matérialisés sur le terrain par des repères. Nous leur avons adjoint 7 profils supplémentaires de manière à affiner nos observations. Nous disposons ainsi de 34 profils pour étudier un tronçon d'environ 111 m de long ; ceci donne une distance moyenne entre profils d'environ 3,3 m représentant moins de la moitié de la largeur du lit, ce qui garantit une bonne précision du levé des différentes formes du lit.

En général, nous avons pris entre 15 et 20 points de mesure par section transversale, ce qui représente approximativement une mesure tous les 40 cm. En ce qui concerne le levé des aménagements, environ 220 mesures ont été réalisées. Nous avons pu estimer la précision de nos mesures en visant plusieurs fois différents points fixes. De manière générale, les écarts-types obtenus en x et y varient entre 1 et 2 cm; l'écart en z n'a jamais dépassé 1 cm.

B. Disposition des différents aménagements et relation avec la morphologie du lit

Avant d'envisager l'impact de la crue de décembre 1999, nous décrivons brièvement la disposition des différents aménagements et les premières modifications qui se sont produites en réponse à leur mise en place (entre 1998 et 1999).

La distance qui sépare la porte oblique et les blocs épars est de 11 m; un affouillement s'est constitué 3,5 m en aval de la porte qui fonctionne comme un seuil déversant (Fig. 3A). Nous constatons par ailleurs qu'un seuil naturel s'est créé au niveau des blocs. On retrouve l'épi en pierre 7 m en aval des blocs; d'après sa position, on s'attendrait à ce qu'il crée une érosion du lit en rive gauche, mais il n'en est rien puisqu'il sert d'assise à l'édification d'un seuil.

Un radier s'est édifié entre l'épi et la deuxième porte oblique, distante d'une quinzaine de mètres. Au niveau de cette porte, on note la présence d'une mouille assez importante puisqu'elle s'étend sur plus de 7 mètres.

Une quinzaine de mètres en aval, on retrouve le caisson qui fait près de 11 mètres de long et qui est entièrement comblé par des sédiments. À cet endroit, le fond du lit est assez homogène et il s'y est formé un seuil.

La porte latérale droite se situe à vingt-cinq mètres du caisson; un radier s'est constitué entre ces deux ouvrages; juste en aval de cette porte, on retrouve la zone la plus profonde du tronçon réaménagé. Enfin, le tronçon étudié se termine par les deux épis latéraux distants de 6 mètres; un seuil s'est constitué au niveau du dernier épi.

Une question se posait en préalable : la localisation des différents types de réaménagement et surtout leur disposition relative, en terme d'espacement notamment, s'intègrent-elles dans la morphologie de la rivière ? Dans des techniques de réhabilitation, Brookes (1988) considère que l'espacement entre les seuils et les mouilles peut varier selon les nécessités de l'habitat et ne doit pas nécessairement être défini de manière précise quand il s'agit d'un lit rectiligne. Mais on sait que, dans les lits rectilignes, l'espacement entre les seuils qui se trouvent systématiquement aux points d'inflexion séparant les sinuosités incipientes, est en général de 5 à 7 fois la largeur du lit (Bravard et Petit, 1997). Il en est de même pour l'espacement entre les mouilles dont la localisation coïncide généralement avec les zones où l'érosion latérale de la berge est la plus active. On peut donc considérer les différents types d'aménagement comme des formes forçant la méandration (c'est d'ailleurs leur but) et leur positionnement relatif pourrait ainsi être assimilé à celui de seuils (ou à des mouilles) en système naturel. Si on transposait la règle d'espacement au site de Moiricy, les aménagements devraient être espacés de 35 à 40 m, or on constate qu'ils sont beaucoup plus rapprochés.

D'autres recommandations quant au réaménagement de rivières ont été formulées par Brookes (1988) :

- les mouilles trop profondes et excessivement longues peuvent se combler, ce qui nécessite un entretien périodique. Généralement, la profondeur de ces derniè-

res ne doit pas excéder 0,3 m tandis que la limite pour un seuil est fixée à 0,3, voire à 0,5 m de hauteur;

- la longueur des formes individuelles (seuils ou mouilles) doit être comprise entre 1 et 3 fois la largeur du chenal, ce qui, à Moiricy, donnerait une longueur comprise entre 7 et 21 m;
 - des blocs peuvent être placés à intervalles irréguliers, mais leur largeur ne peut dépasser le cinquième de la largeur du chenal. Burton et Cron (1979) préconisent un gros bloc pour un peu plus de 25 m² de surface de lit tandis que Kanaly (in Wesche, 1985) recommande un bloc de 2 m de diamètre pour 70 m²;
- quant aux déflecteurs (ou épis), ils sont considérés comme inefficaces pour des vitesses inférieures à 0,6 m.s⁻¹

veut donner à la zone de sédimentation puisque ces épis dévient le courant en sens opposé. Une taille maximale représentant le tiers de la largeur du chenal est généralement retenue.

C. Modifications de la morphologie du lit suite à la crue décennale

Dans un premier temps, nous avons comparé les vues en plan représentant différentes courbes d'égale profondeur relevées durant l'été 1999 et le mois de mars 2000. Une constatation évidente s'est imposée d'emblée : une charge caillouteuse assez conséquente s'est accumulée contre la porte droite au secteur VI. Toutefois, pour estimer plus précisément l'ampleur de ces modifications, il était indispensable de procéder à une analyse détaillée des profils transversaux réalisés en mars 2000 et de les confronter avec ceux réalisés durant l'été 1999.

En fait, la grande difficulté résidait dans la manière de caler ou de superposer le fond de la rivière, levé à des périodes différentes et ceci suivant deux procédés distincts. En effet, les profils de 1999 ont été réalisés en prenant comme référence les profondeurs. Il a donc fallu reconstituer les niveaux d'eau pour chaque secteur levé à des moments différents. Ces niveaux ont pu être reconstitués grâce aux hauteurs d'eau connues à l'échelle limnimétrique de référence (située juste en aval du secteur, au niveau du pont de Jenneville), mais également relevées par rapport à plusieurs ouvrages situés dans le tronçon étudié.

Avant d'effectuer toute comparaison, il faut rappeler qu'un levé topographique dans des rivières à charge caillouteuse grossière n'est pas chose aisée; en effet, la taille et l'agencement des particules qui constituent le fond du lit empêchent une restitution parfaite de ce dernier et, en fonction du positionnement de la mire, ceci peut engendrer des différences altimétriques non négligeables. C'est pourquoi, dans la comparaison des données altimétriques issues des deux campagnes de levés topographiques, nous nous sommes fixé une valeur minimale de 5 cm en deçà de laquelle nous pensons qu'il

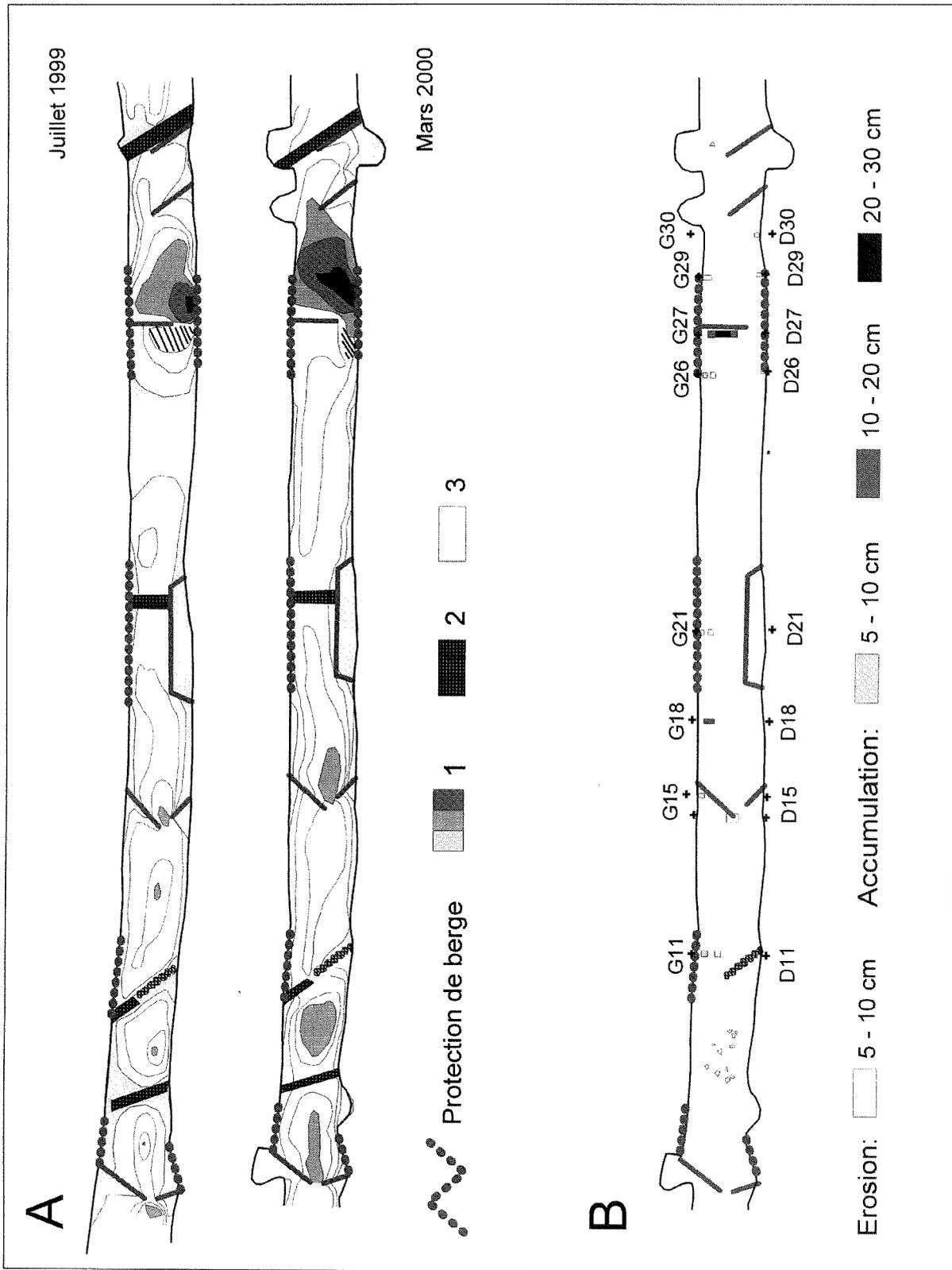


Figure 3.

A. Les principales formes du lit en juillet 1999 et en mars 2000

1. Zones où la profondeur est supérieure à 30, 40, 50 cm
2. Haut fond
3. Zones où le profondeur est inférieure à 20 cm

B. Les principales modifications observées entre juillet 1999 et mars 2000

est hasardeux de tirer des conclusions.

Ces précisions étant apportées, plusieurs endroits montrent des modifications évidentes (Fig. 3B) :

- une importante accumulation de cailloux en amont de la porte droite secteur VI (+30 cm au profil 27);
- une érosion du fond au niveau de la porte oblique au secteur IV (-10 cm au profil 15); notons que l'affouillement au niveau de cette porte tend à remonter et à déchausser l'ouvrage;
- le dépôt d'un banc de sédiments après la porte au secteur IV (+10 cm au profil 18);
- l'extension amont et aval de la mouille de déversement au droit de la porte latérale (profils 26 et 29).

D'autres comparaisons ont pu être réalisées à une dizaine de profils, mais les modifications y ont été plus timides. Par ailleurs, l'absence d'érosion latérale résulte principalement du fait que les berges ont été protégées. Ainsi, de manière générale, il apparaît que les modifications du lit ont été peu importantes malgré l'occurrence d'une crue décennale. En quelque sorte, on pourrait dire qu'il s'agit de retouches de la part de la rivière.

V. MOBILISATION DE LA CHARGE DE FOND ET PARAMÈTRES DYNAMIQUES

A. La charge de fond

Des analyses granulométriques du matériau constituant le fond du lit ont été réalisées dans deux sites : le premier échantillonnage a été exécuté au secteur V, un second dans la partie située en amont de la porte droite (secteur VI) où une importante accumulation de la charge de fond avait été constatée. Précisons que, vu la taille du matériau, il est nécessaire d'adopter une procédure spécifique dont nous rappelons brièvement les points principaux. Pour éviter tout biais, il faut analyser une masse totale de cailloux importante (près d'une centaine de kg) ; pour des raisons pratiques, cette opération est généralement réalisée sur le terrain : les cailloux sont triés et regroupés en classes ; chaque fraction granulométrique est ensuite pesée au moyen d'une balance de terrain. Les résultats sont reportés sur papier logarithmique sous forme d'une courbe cumulative qui permet de déterminer notamment le diamètre médian (D_{50}) ; dans nos deux échantillons, ce dernier représente respectivement 7,6 et 6,4 cm de diamètre.

En juillet 2000, nous avons retrouvé une série de galets disposés en structure tuilée, juste en amont des gros blocs implantés dans le secteur réaménagé (cf. secteur II). Ces blocs, dont la taille est d'une quarantaine de cm, ont servi de noyau à des « pebble-clusters » (amas de galets). La structure tuilée des galets, bloqués en amont de ces blocs, démontre qu'ils ont été transportés (et donc mobilisés) avant d'être bloqués au niveau des blocs qui eux sont restés immobiles. Nous avons prélevé ces dif-

férents galets, qui étaient au nombre de quinze, et mesuré leurs trois axes. Ensuite, nous les avons pesés de manière à les convertir en diamètre équivalent (avec une masse spécifique égale à $2,65 \text{ kg.cm}^{-3}$). La taille moyenne ainsi déduite est égale à 6,34 cm, valeur assez proche du D_{50} obtenu par analyse granulométrique de la charge piégée en amont de la porte située au niveau du secteur VI (cf. ci-dessus).

En conclusion, la crue du 26 décembre 1999 a mobilisé la charge de fond qui est caractérisée par un D_{50} égal à 6,5 cm. Une telle mobilisation par une crue décennale n'a rien d'exceptionnel, au vu des observations effectuées dans d'autres rivières ardennaises (Petit et al., 1996). Par ailleurs, la taille du matériel mobilisé (qui représente en fait la compétence de la rivière) cadre également bien avec les observations réalisées dans d'autres rivières ardennaises.

B. Les paramètres dynamiques de mise en mouvement de la charge de fond

Nous avons procédé à un levé topographique des laisses de crue abandonnées lors de la crue de décembre 1999. De nombreux obstacles (poteaux, fils de fer barbelés et arbres) ont en effet facilité le dépôt de débris flottants divers (brindilles, feuilles...) et il était dès lors possible de déterminer le niveau atteint par le plan d'eau lors du maximum de la crue et donc de reconstituer la pente longitudinale du plan d'eau ainsi que les sections transversales au maximum de la crue. De plus, connaissant le débit de pointe, on pouvait ainsi déduire la vitesse moyenne à chaque section. Ces différents paramètres ont eux-mêmes servi de base à l'évaluation de la rugosité dans la formule de Manning, des forces tractrices et des puissances spécifiques qui ont permis la mise en mouvement de la charge de fond.

La puissance spécifique (ω exprimée en W.m^{-2}) a été calculée pour la crue de décembre 1999 :

$$\omega = (\rho g Q s) / w$$

(avec ρ la masse volumique du fluide, g l'accélération de la pesanteur, Q le débit = $11 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, s la pente longitudinale du plan d'eau = $4,11.10^{-3} \text{ m.m}^{-1}$ et w la largeur du lit au niveau du plein bord = 7 m); avec un peu moins de 65 W.m^{-2} , elle correspond aux puissances spécifiques critiques mises en évidence dans d'autres rivières ardennaises (Petit et al., 2000). En revanche, il est surprenant de voir que les puissances spécifiques ne sont pas plus élevées pour une crue de cette importance. En effet, dans des rivières de taille assez comparable (Lesse, Lhomme, Aisne), les puissances spécifiques au plein bord dépassent 80 W.m^{-2} (Petit, 1995; Houbrechts, 2000); il est fort probable que la relative faiblesse des puissances de l'Ourthe occidentale résulte du fait qu'elle coule ici à un niveau proche de celui de la surface d'érosion principale et se situe encore en amont du point d'inflexion qui caractérise la vague d'érosion régressive,

comme cela a été montré par ailleurs (Demoulin, 1995 et 1998; Petit, 2000).

La force tractrice estimée à partir de la pente du plan d'eau et du rayon hydraulique vaut 37 N.m^{-2} , ce qui donne un paramètre adimensionnel de Shields (θ_c) égal à 0,035. Cette valeur est un peu inférieure à celle mise en évidence notamment dans la Lesse et la Lhomme (0,040); il faut tenir compte du fait qu'ici la composante de la *bed-form shear stress* (qui, pour rappel, est liée à une forte rugosité, elle-même fonction du degré de méandration, de l'alternance de seuils et de mouille, etc.) est, dans ce cas, relativement faible par rapport aux rivières naturelles où ces valeurs ont été mises en évidence. En d'autres termes, la valeur de θ_c mise en évidence dans ce cas serait finalement plus proche de la valeur de θ_c^* qui, pour rappel, représente le critère adimensionnel de Shields calculé à partir de la *grain shear stress*, la seule composante de la force tractrice qui intervient dans la mobilisation des particules.

Par ailleurs, les blocs de 40 cm ont résisté à ces forces tractrices malgré l'effet de saillie relative, effet selon lequel une particule nettement plus grossière que celles qui constituent le fond du lit nécessite des forces tractrices critiques proportionnellement beaucoup plus faibles que celles qui sont nécessaires à la mise en mouvement des particules qui constituent le fond du lit. Cet effet, qui traduit en réalité une tendance à l'égale mobilité des particules, est généralement cerné grâce à la relation d'Andrews (1983) qui lie le critère adimensionnel de Shields (θ_c) au rapport (d_i/D_{50}), où d_i représente la taille du matériel pris en considération par rapport à celui qui constitue le lit (D_{50}). La forme générale de cette équation est la suivante :

$$\theta_c = a (d_i/D_{50})^b$$

Différentes valeurs ont été avancées pour le coefficient a et pour l'exposant b qui peut varier de 0 à -1, cette fourchette de valeurs ayant une signification concrète en terme de transport sélectif ou d'égale mobilité (Bravard et Petit, 1997). Toutefois, en synthèse d'une analyse fouillée de la littérature, Komar (1996) recommande des valeurs de $a = 0,045$ et $b = -0,6$. D'après cette relation, le θ_c devrait atteindre 0,016 pour mobiliser ces blocs, impliquant des forces tractrices supérieures à 100 N.m^{-2} . En d'autres termes, la mobilisation de ces blocs (en dépit de l'effet de saillie) nécessiterait des forces tractrices importantes, et donc des crues relativement rares.

Par ailleurs, nos observations peuvent paraître en opposition avec le fait généralement admis selon lequel le charriage généralisé est conditionné par la mobilisation des plus gros éléments qui constituent les pebbles clusters. Mais il faut tenir compte du fait qu'en système naturel, le plus gros élément d'un pebble-cluster représente en général le D_{90} ou éventuellement le D_{95} alors que, dans le cas présent, il est nettement plus grossier et

équivalent probablement au D_{99} .

VI. ÉVOLUTION DES ESPÈCES SUITE AUX RÉAMÉNAGEMENTS

L'évolution des différentes espèces piscicoles a pu être suivie grâce à différentes campagnes de pêche électrique. Une première campagne avait été effectuée en 1963, dans cette partie de l'Ourthe alors qu'elle était toujours à l'état naturel (Huet et Timmermans, 1976). Une campagne a été effectuée en 1998, dans le tronçon rectifié qui allait être réaménagé et dans un tronçon « témoin » (qui ne devait pas faire l'objet de réaménagements). Enfin une troisième campagne a été effectuée en 1999, dans le tronçon qui, entre-temps, avait été réaménagé ainsi que dans « le témoin » non réaménagé.

Les résultats, développés plus en détail dans une autre étude (Dupont, 2000), portent sur les espèces rencontrées, mais aussi sur les tailles des individus. Tout d'abord, avant que les rectifications ne soient effectuées, la proportion de truites, chabots, vairons et ombres (espèces qui caractérisent la zone à truites) représentait 2/3 du poids total des poissons présents dans la rivière. Fin des années nonante, ce pourcentage ne représentait plus que 25 % (que ce soit avant ou après réhabilitation). Par ailleurs, si on compare le tronçon restauré (situation de 1999 par rapport à la zone témoin non réaménagée), on constate que des espèces comme le chabot et le vairon sont en augmentation tandis que le nombre de brochets et de gardons diminue. Par contre, indépendamment des restaurations, on remarque une augmentation importante de la population de chevaines par rapport à 1963. Enfin, après restauration, on retrouve des populations de juvéniles de truites (0^+) dans le secteur restauré alors qu'elles sont absentes dans le tronçon témoin.

Ainsi, au point de vue de l'habitat aquatique, il semblerait que le réaménagement de la rivière favorise la présence des alevins de *Salmonidés* et de *Thymallidés* ainsi que l'accueil des populations adultes des espèces de la zone à truites. L'augmentation d'espèces rhéophiles comme les truites, les ombres, les chabots et les vairons, qui requièrent des eaux rapides et bien oxygénées (Dupont, 1998), prouverait que la rivière fait preuve d'un nouveau dynamisme avec des concentrations d'énergie en certains points plutôt qu'une répartition uniforme et partout à un niveau plus bas comme c'était le cas avant restauration.

CONCLUSION

Les différents types d'aménagements n'ont provoqué que des modifications morphologiques minimales, malgré l'occurrence d'une crue importante (au moins décennale) qui a provoqué une mobilisation généralisée de la charge de fond. Il s'agit d'accumulation en amont de la porte

latérale (30 cm au profil 27) et en aval de la porte oblique (10 cm au profil 18), d'une incision dans l'axe central de cette même porte oblique (10 cm au profil 15) ; toutefois précisons que les éventuelles divagations latérales du tracé étaient d'emblée minimalisées du fait que des protections de berge ont été installées à différents points (tunage et clayonnage). Au point de vue de l'habitat aquatique, il semble que ces réaménagements favorisent le développement des alevins ainsi que l'accueil de certaines populations adultes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient MM Daxhelet, Genin et de Thysebaert (Service des Cours d'eau Non Navigables de la Région wallonne) d'avoir mis à leur disposition les données topographiques et limnigraphiques et d'avoir permis l'accès à leurs archives.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDREWS E.D., 1983. Entrainment of gravel from naturally sorted riverbed material. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94, pp. 1225-1231.
- BRAVARD J.P. & PETIT F., 1997. *Les cours d'eau : dynamique du système fluvial*, A. Colin, Paris, 222 p.
- BROOKES A., 1988. *Channelized Rivers, Perspectives for Environmental Management*, Wiley, Chichester, 326 p.
- DEMOULIN A., 1995. L'Ardenne des plateaux, héritage des temps anciens : surfaces d'érosion en Ardenne. *L'Ardenne : Essai de Géographie physique, livre en hommage au Professeur A. Pissart* (Demoulin A., éd.), pp. 68-93.
- DEMOULIN A., 1998. Testing the tectonic significance of some parameters of longitudinal river profiles : the case of the Ardenne (Belgium, NW Europe). *Geomorphology*, 24, pp. 189-208.
- DUPONT É., 1998. *Entretien des cours d'eau et l'habitat des poissons*, Direction Générale des ressources naturelles et de l'environnement, Région wallonne, 136 p.
- DUPONT É., 2000. *Results of some restoration works in a straightened reach of the river Ourthe at Moiricy*. Poster présenté à la réunion annuelle de « European Center for River Restoration ».
- HOUBRECHTS G., 2000. *Utilisation des macroscories 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, 137 p.
- HUET M. & TIMMERMANS J.A., 1976. Influence sur les populations de poissons des aménagements hydrauliques de petits cours d'eau assez rapides, *Trav. Stat. Rech. Eaux et Forêts*, Sér. D. 46, 27 p.
- JONET L., 2000. *Incidence morphodynamique de réaménagements de rivières : cas de l'Ourthe occidentale à Moiricy*, Mémoire de licence en Sciences géographiques (option géométrie — géomatique), Université de Liège, 143 p + annexes.
- KOMAR P.D., 1996. Entrainment of sediments from deposits of mixed grain sizes and densities. *Advances in Fluvial Dynamics and Stratigraphy* (Carling, P.D. & Dawson M.R., eds), Wiley, Chichester, pp. 127-181.
- PETIT F., 1995. Régime hydrologique et dynamique fluviale des rivières ardennaises. *L'Ardenne : Essai de Géographie physique, livre en hommage au Professeur A. Pissart* (Demoulin A., éd.), pp. 194-223.
- PETIT F., DEROANNE C. & PERPINIEN G., 2000. Détermination des puissances spécifiques critiques dans des rivières à charge de fond caillouteuse. *Revue Géographique de l'Est*, 40 (1-2), pp. 59-65.
- PETIT F. & PAUQUET A., 1997. Bankfull discharge recurrence interval in gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, pp. 685-693.
- PETIT F., PAUQUET A. & PISSART A., 1996. Fréquence et importance du charriage dans des rivières à charge de fond caillouteuse. *Géomorphologie*, 2, pp. 3-12.
- PETIT S., 2000. *Analyse quantitative du réseau hydrographique de la Meuse : exploitation d'un modèle numérique de terrain*, Mémoire de licence en Sciences géographiques, Université de Liège, 82 p + annexes.
- VANDIEPENBEECK M., 2000. Résumés climatologiques mensuels. *Ciel et Terre*, 116 (1), pp. 21-22.
- WESCHE T.A., 1985. Stream channel modifications and reclamation structures to enhance fish habitat. *The restoration of rivers and streams, theories and experience* (Gore J.A., ed.), Butterworth Publishers, Stoneham, pp. 103-164.

Adresse des auteurs :
Lionel JONET
Rue de l'Avenir, 3
B - 4450 Juprelle

François PETIT
Département de Géographie physique et Quaternaire
Institut de Géographie
Université de Liège
Allée du 6 août, 2 — Bât. B 11
B - 4000 Sart Tilman, Liège

Étienne DUPONT
Station de Recherches Forestières
Laboratoire de Marloie
Ministère de la Région wallonne
Rue du Carmel, 1
B - 6900 Marloie

Robert ARNOULD
Département de Géomatique
Institut de Géographie
Université de Liège
Allée du 6 août, 2 — Bât. B11
B - 4000 Sart Tilman, Liège