

DÉVELOPPEMENT VÉGÉTAL DANS LE LIT ENDIGUÉ DE L'ISÈRE EN AMONT DE GRENOBLE : DU DIAGNOSTIC À L'ÉVALUATION DES PRATIQUES DE GESTION

Franck VAUTIER¹, Jean-Luc PEIRY¹ & Jacky GIREL²

SUMMARY

In a channelized 50 km reach of the Isère river, studies of changes in bedforms and vegetation were undertaken from a series of vertical aerial photographs between 1948 and 1996 and from field measurements of geomorphological and ecological parameters. Results showed a radical change of channel landscape and geomorphological activity during the last decades. Two different periods have been identified. During the first period (pre-1970), geomorphological activity of Isère channel was intense, bedforms were continually removed, and pioneer vegetation uprooted during frequent floods. During the second period (post-1970), geomorphological activity slowed down, leading to the stabilisation of bedforms (lateral gravel bars) and development of vegetation. Vegetation rate which was less than 5% in 1970 is presently by 20% and new successional mature stages with hardwood species (*Fraxinus excelsior*, *Robinia pseudacacia*, *Ulmus minor*) have progressively replaced pioneer communities and softwood woodlands. Several causes explain this change. The main cause was the drastic decrease in the gravel bedload supply (from 150,000 m³ before 1950 to 40,000 m³ in 1960 and 5,000 m³ in 2000) which resulted in lateral bars pavement processes and narrowing of the active bedload band. Secondary causes such as gravel extraction (responsible for 1-3 meters deep channel incision) and absence of large floods over the last decades have added their effects, favouring establishment of mature plant communities. The vegetation inside the dykes infers new risks for riverside residents: increase of roughness and elevation of flood water levels by promoting denser growth of woody floodplain species within the dykes, and logjams formation in the downstream reach in Grenoble in case of a very large flood. In an effort to reduce the risk of these vegetated bars, river managers propose two types of maintenance. The first one consists in a simple clear cutting of the vegetation. Fine sediments which recover the gravel bars (the thickness is 1 to 3 meters) are left in place as well as tree stumps and roots. In the second type, clear-cutting is followed by additional disturbances such as burning of branches, scraping of the ground, and scouring of fine sediment deposits. First records of species richness and distribution of community diversity and geomorphological changes permitted comparisons between the both techniques. The first one (clear cutting) encouraged bedforms stabilisation, rapid and denser coppice regrowth, increase of channel roughness, increase of fine sediment deposits during floods, decrease in plant diversity and invasion by exotic species such as *Faloppia japonica*. As a consequence, this type of operation needs to be systematically repeated with a 3-year rotation. The second technique (clear cutting and scour-

¹ Université Blaise Pascal, UMR CNRS 6042, Laboratoire Géodynamiques des milieux Naturels Anthropisés, 4, rue Ledru, F 38 057 Clermont-Ferrand. E-mail : franck.vautier@univ-bpclermont.fr, j-luc.peiry@univ-bpclermont.fr

² Université Joseph Fourier, Centre de Biologie Alpine, Laboratoire Ecologie et Changements environnementaux, BP 63, F 38041 Grenoble Cedex 9. E-mail : jacky.girel@ujf-grenoble.fr

ing of fine sediment deposits) is particularly effective because it favoured the restoration of geomorphological processes (erosion-deposit). Gravel bars are regularly eroded during frequent floods and migrate downstream. The reactivation of geomorphological processes led to the restoration of favourable conditions for regeneration of vegetation in the active channel. Biodiversity is enriched with presence of pioneer species, typical of the alpine rivers with high geomorphological activity (*Typha minima*, *Calamagrostis epigejos*, *Salix*, *Populus*, *Alnus*).

RÉSUMÉ

Les bancs de galets latéraux de l'Isère, régulièrement rajeunis par les crues courantes, représentent les derniers refuges pour des espèces alluviales alpines des cours d'eau de piémont. Depuis le milieu du XIX^e siècle, le cumul des impacts anthropiques sur la rivière (endiguement, extractions de matériaux alluvionnaires) a largement perturbé la dynamique des processus d'érosion et de dépôt des bancs de galets latéraux. Depuis les trente dernières années, ceux-ci se stabilisent et se fixent le long des digues, permettant l'installation et la croissance d'espèces arborescentes. Dans l'ensemble de la zone étudiée, on note une banalisation de la végétation, essentiellement représentée par des groupements arborescents à bois tendres (Saule blanc, Peuplier noir, Grisard, Aulne blanc, Robinier). Actuellement, la végétation couvre près de 20 % de l'espace entre-digues (5 % en 1970) soit une superficie d'environ 100 ha. Ces changements sont liés à la diminution drastique du transit de la charge grossière due à d'intenses extractions, et à l'absence de fortes crues au cours des dernières décennies. En raison d'un double risque pour les populations riveraines, rehaussement des lignes d'eau de crue et formations d'embâcles de bois dans la traversée de Grenoble, les gestionnaires de l'Isère sont contraints d'intervenir sur la végétation. Deux stratégies d'entretien sont adoptées : la première consiste à essarter la végétation (coupes à blanc puis entretien régulier au broyeur mécanique, tous les 2 à 3 ans), la seconde à essarter, puis à raser le banc (évacuation des dépôts fins) jusqu'au soubassement de galets. Un bilan de l'efficacité de ces interventions montre des différences spectaculaires entre les deux techniques d'entretien sur l'activité géomorphologique et sur la dynamique de réinstallation de la végétation après aménagement. L'essartement simple se traduit par la fixation des processus géomorphologiques et le développement rapide de la végétation. Celle-ci tend également à se densifier avec pour conséquence l'augmentation des processus de sédimentation fine et l'exhaussement des bancs. Une perte de diversité biologique s'en suit de même que l'installation d'espèces exotiques. L'essartement, suivi de l'arasement des bancs, a des effets beaucoup plus positifs car il restaure la dynamique géomorphologique (processus d'érosion et de dépôt), favorise un auto-entretien du chenal, augmente la diversité écologique par rajeunissement des communautés végétales et permet le départ de nouvelles séquences de succession typiques des milieux alluviaux alpins de piémont.

INTRODUCTION

L'Isère, en amont de Grenoble, possède les caractéristiques d'une rivière alpine avec des pentes fortes, une hydrologie abondante et une granulométrie grossière (Fig. 1). Comme la plupart des grands cours des Alpes du nord, elle a été éprouvée par une forte pression de l'homme depuis le milieu du XIX^e siècle : endiguement généralisé, ouvrages hydroélectriques, extractions de matériaux, seuils sous-fluviaux. Ces aménagements successifs ont engendré plusieurs phases d'ajustements géomorphologiques du chenal auxquelles ont dû faire face les ingénieurs et les gestionnaires au cours des 150 dernières années. Leurs interventions ont eu pour objectifs d'atténuer les effets négatifs induits par les aménagements précédents, de s'adapter continuellement à la réponse du cours d'eau et d'en corriger les impacts

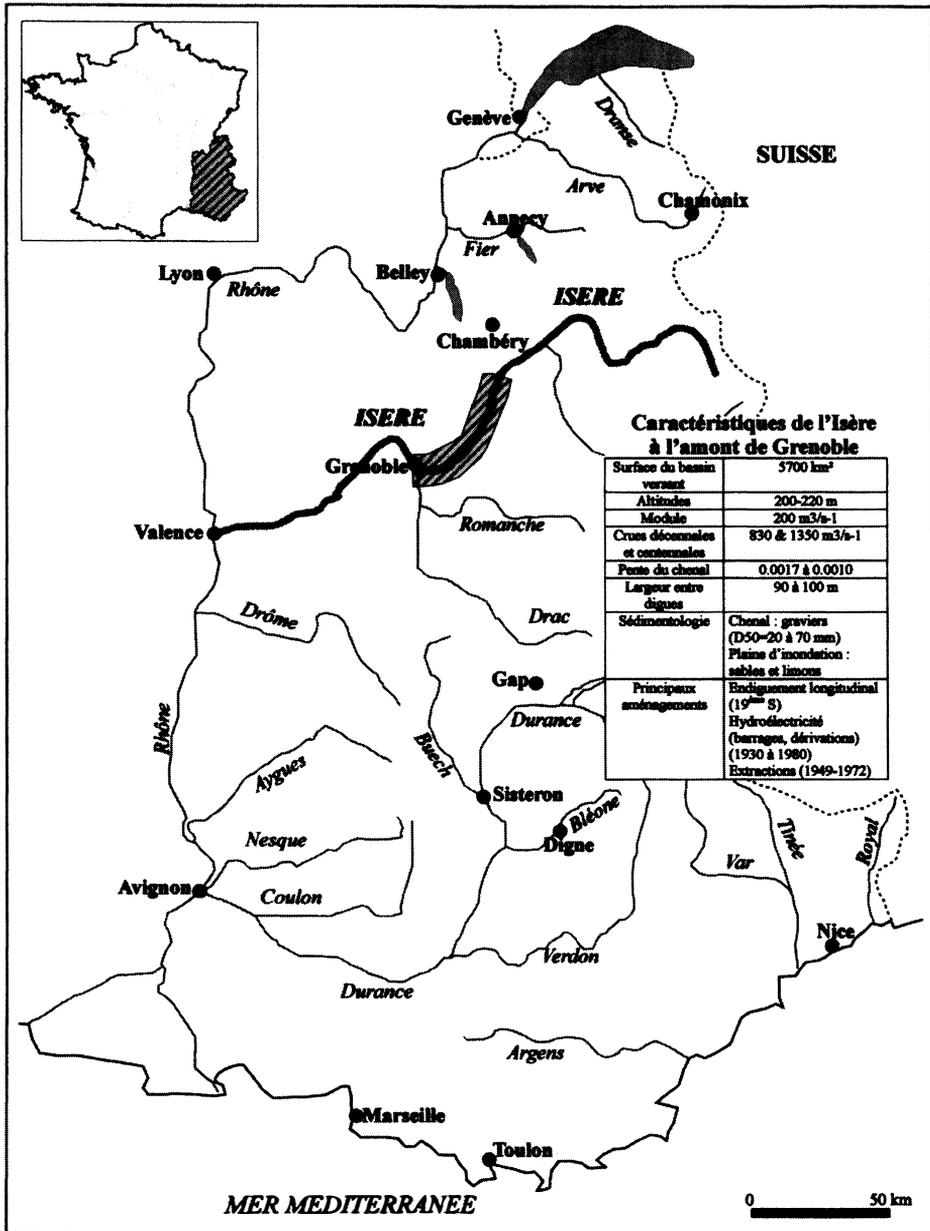


Figure 1. — Localisation de la section d'étude (l'Isère, de la limite du département de la Savoie à Grenoble) et caractéristiques de la section d'étude (Cf. Tableau I).

(Peiry, 1997). Depuis ces dernières années, les gestionnaires de l'Isère sont confrontés à une réponse nouvelle du cours d'eau qui se traduit par le développement rapide et durable de la végétation, des bancs latéraux boisés se construisant et

venant occuper jusqu'à 50 % de la largeur entre-digues (Vautier, 2000) (Fig. 2). La présence de bancs boisés et de grands arbres entre les digues de l'Isère n'est pas sans enjeux pour les populations riveraines, et les gestionnaires de l'Isère sont dans l'obligation d'intervenir en raison d'un double risque : 1) la diminution de la capacité d'écoulement entre les digues qui est due, d'une part à la présence des bancs latéraux végétalisés dont la hauteur par rapport à la ligne d'eau moyenne peut dépasser trois mètres, et d'autre part à l'accroissement de la rugosité hydraulique ; 2) l'arrachage massif d'arbres de grandes tailles et la formation de volumineux embâcles au niveau des ponts, dans la traversée de l'agglomération grenobloise en cas de crue exceptionnelle. Cette stabilisation des formes fluviales a pour conséquence écologique une perte de diversité spécifique et une banalisation du milieu, les espèces alluviales des stades pionniers et intermédiaires étant rapidement remplacées par des communautés de bois tendres, puis de bois durs (Pautou & Girel, 1994 ; Pautou *et al.*, 1996).

Cet article présente les résultats d'études pluridisciplinaires combinant des approches écologiques, géomorphologiques et hydrauliques développées sur l'Isère depuis 1994. Face à la menace que représente la présence de la végétation entre les digues de l'Isère, il s'agissait de répondre à un double objectif : 1) démontrer les mécanismes et les processus qui sont à l'origine de la phytostabilisation des bancs latéraux ; 2) proposer des outils de gestion répondant à des objectifs qui pourraient paraître contradictoires : assurer la protection des riverains contre la menace que présentent les bancs végétalisés, tout en permettant la réactivation des processus d'érosion/destruction des formes et la restauration des séquences de succession propres aux cours d'eau de piedmont alpins.

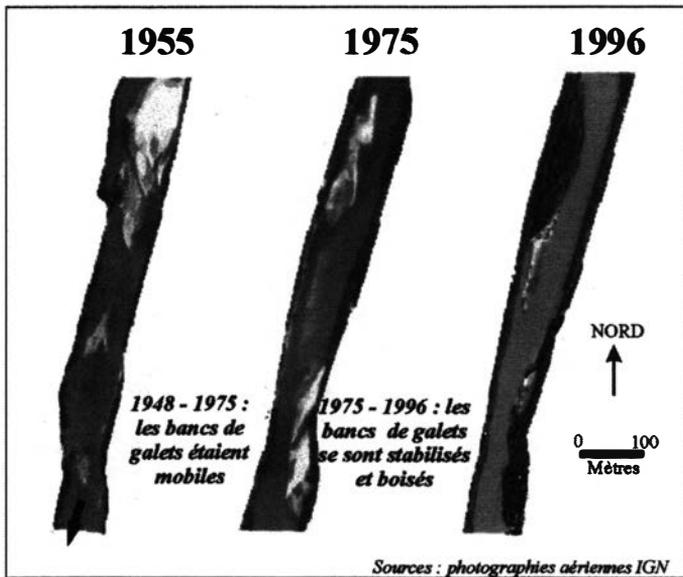


Figure 2. — Stabilisation des bancs de galets et colonisation végétale. Avant 1975, les bancs de galets étaient mobiles et changeaient de rives ; entre 1975 et 1996, les bancs se sont stabilisés et végétalisés.

HISTORIQUE DU DÉVELOPPEMENT VÉGÉTAL ET PROCESSUS DE CONSTRUCTION DES BANCS LATÉRAUX BOISÉS

LE DÉVELOPPEMENT VÉGÉTAL : UN PHÉNOMÈNE RÉCENT

Une approche historique basée sur l'étude de plusieurs séries de photographies aériennes de l'IGN depuis 1948 et l'utilisation d'un S.I.G. (Système d'Information Géographique) a permis de reconstituer les étapes de la progression de la végétation sur les formes du chenal au cours des 50 dernières années entre la limite du département de la Savoie (Pont de la Gâche) et Grenoble (Fig. 3). Avant 1970, le chenal était caractérisé par une intense activité géomorphologique. Les bancs de galets mobiles qui alternaient d'une rive à l'autre de la rivière étaient constamment remaniés et les espèces pionnières arrachées. La surface totale de ces bancs de galets était de 100 ha en 1955, soit près de 20 % de la surface entre-digues (Vautier, 2000). Les boisements, peu développés, couvraient moins de 7 % de la surface totale (< 40 ha). Depuis 1970, l'activité géomorphologique s'est considérablement ralentie. La surface des bancs de galets latéraux a progressivement diminué. Ceux-ci occupent actuellement moins de 2 % de l'espace entre-digues. Dans le même temps, ces formes fluviales se sont stabilisées et ont subi un processus de boisement, d'abord par des communautés de bois tendres (*Salix alba*, *S. triandra*, *Populus nigra*, *Alnus incana*, etc.), puis par des communautés de bois durs (*Robinia pseudacacia*, *Fraxinus excelsior*, etc.). Actuellement, on dénombre 86 formes issues de bancs latéraux (13 en 1970) avec des superficies variant de quelques centaines de m² à près de 3 ha. Le taux de boisement est de 20 %, ce qui représente une surface de 100 ha.

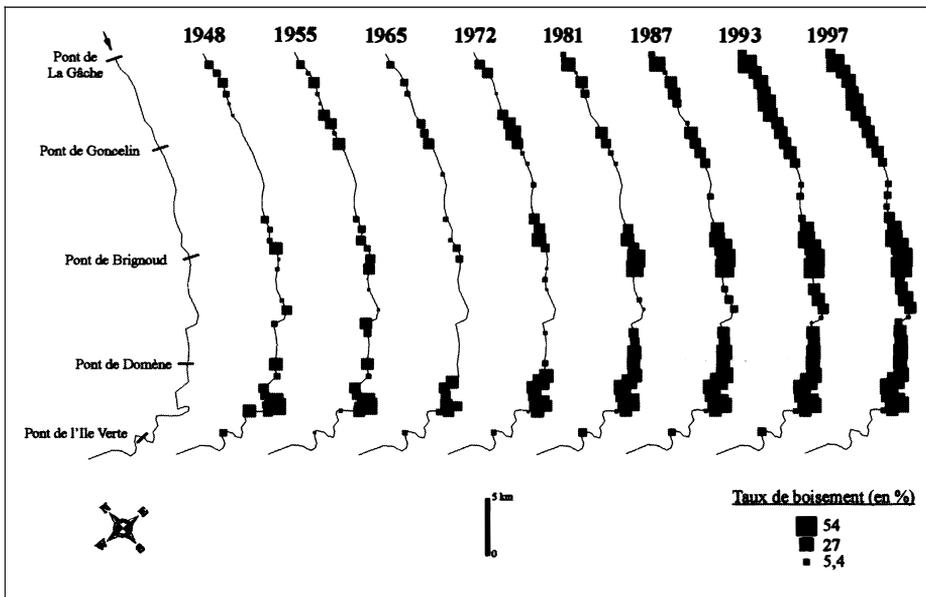


Figure 3. — Evolution du taux de boisement (rapport de la superficie occupée par la végétation sur la surface total entre les digues), par tronçon de chenal d'un kilomètre de longueur, pendant la seconde moitié du XX^e siècle.

PROCESSUS DE CONSTRUCTION DES BANCs

Les dépôts de sédiments fins dont l'Isère est un très gros pourvoyeur (Pardé, 1940 ; Latulippe, 1995 ; Peiry, 1997) jouent un rôle fondamental sur le développement des bancs boisés (Didier, 1994 ; Foussadier, 1998). Comme cela a été observé dans de nombreux hydrosystèmes fluviaux (Hickin, 1984 ; Pautou & Wuillot, 1989 ; Amoros & Wade, 1993 ; Girel & Pautou, 1997), les processus de sédimentation et de végétalisation constituent une boucle de rétroaction, où facteurs abiotiques et biotiques interagissent, conduisant en quelques années à l'édification d'une forme fluviale exondée et stable recouverte d'une forêt alluviale. Par leur croissance rapide sur les bancs de graviers, les herbacées (*Agrostis stolonifera* puis *Calamagrostis epigejo* et *Phalaris arundinacea*, etc.) constituent un obstacle à l'écoulement des eaux et, en ralentissant les vitesses d'écoulement, favorisent les dépôts de sédiments fins. Cette accumulation sédimentaire, dans un milieu où l'humidité est constante, est propice à la germination d'espèces ligneuses (*Salix alba*, *S. triandra* et *Populus nigra*) dont la dense implantation va elle-même accélérer la sédimentation. Les inondations successives de la forme fluviale vont accroître l'épaisseur des dépôts, les exhaussements en période de submersion totale pouvant être extrêmement rapides : des taux horaires de 3 cm ont été mesurés lors de crues où le taux de matière en suspension excédaient régulièrement 10 g.l⁻¹ (Peiry, 1997). Au fur et à mesure que se produit la croissance verticale des bancs latéraux, les capacités d'accueil augmentent, ainsi que le nombre d'espèces susceptibles de germer et de produire des individus viables. Le remplacement des espèces au cours de cette succession allogénique se fait alors en fonction de leurs caractéristiques biologiques, à savoir leur résistance aux inondations, la profondeur des racines, leurs exigences vis-à-vis de la texture du sol, la compétition entre les espèces pour l'attribution des ressources limitées (lumière, azote, etc.) (Foussadier, 1998). Il en résulte notamment une diminution des espèces hygrophiles et une augmentation des espèces mésophiles. L'approfondissement de la nappe phréatique, la diminution des contraintes de submersion et le voisinage de semenciers sur les digues favorisent ensuite la germination d'espèces à bois durs collinéennes (*Robinia pseudacacia*, *Quercus robur*, *Alnus incana*, etc.).

LES CAUSES

LA DIMINUTION DU TRANSIT DE LA CHARGE DE FOND

Le développement de la végétation dans le lit endigué de l'Isère tient en grande partie aux changements ayant affecté la dynamique des transports solides de fond pendant la seconde moitié du XX^e siècle. Ce changement s'est traduit par un déficit de charge très marqué (Fig. 4) dû au cumul d'impacts anthropiques observés au cours des 150 dernières années : l'endiguement généralisé a enlevé toute possibilité de recharge du chenal par érosion latérale ; les aménagements hydroélectriques ont provoqué des coupures dans le continuum amont-aval du charriage de fond ; enfin et surtout, les importantes extractions de matériaux dans le chenal entre 1949 et 1972 ont fortement amoindri le stock alluvial disponible puisque environ 10 millions de m³ ont été prélevés au cours de cette période. En conséquence, les

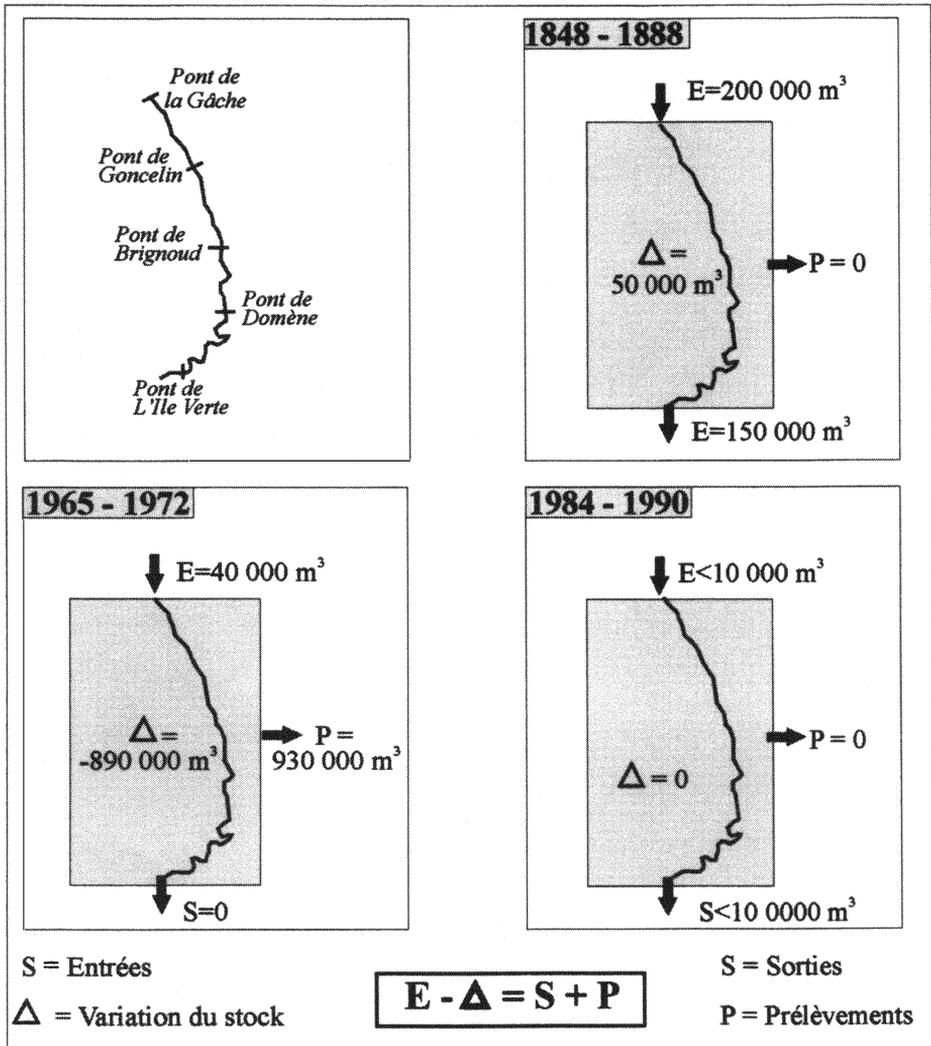


Figure 4. — Bilans sédimentaires de l'Isère, entre la limite du département de la Savoie et Grenoble, pour trois périodes depuis le milieu du XIX^e siècle. Ces bilans annuels moyens montrent une diminution continue des apports de charge de fond (E) à l'entrée du système : 200 000 m³ pendant la seconde moitié du XIX^e siècle, 40 000 m³ entre 1965 et 1972, moins de 10 000 m³ actuellement.

transports de charge de fond ont fortement diminué passant de 150 000 à 200 000 m³.an⁻¹ environ avant 1950 (Darbon, 1948), à quelques milliers de m³ en moyenne par an actuellement (Vautier, 2000).

L'impact de la diminution des transits de charge de fond sur le fonctionnement des cours d'eau a été mis en évidence sur de nombreuses rivières, principalement aux Etats-Unis, dans les sections situées à l'aval de barrages construits à partir des années 1920 (Komura & Simons, 1967 ; Williams & Wolman, 1984 ; Kondolf

& Curry, 1986 ; Kondolf, 1997). Ces différentes études ont montré que le tarissement de la fourniture sédimentaire provoque, à l'aval, l'augmentation de la résistance du lit à l'érosion par la mise en place d'une couche de surface dont la granulométrie est plus grossière que la charge de fond provenant de l'amont. Ce phénomène, appelé pavage, se produit lorsque la fourniture de charge de fond est moindre que la capacité du cours d'eau à transporter cette charge (Andrews & Parker, 1987 ; Powell, 1998). Il s'opère par le tri sélectif des matériaux du lit lorsque les conditions de débits sont insuffisantes pour prendre en charge les particules les plus grossières constituant la surface du lit. Les éléments fins sont évacués ce qui a pour résultat la concentration progressive des éléments les plus grossiers (Little & Mayer, 1976 ; Bray & Church, 1980). Cette ségrégation ne se produit pas de manière homogène : le degré de pavage est fortement marqué sur les bords du chenal, constituant ainsi des zones latérales inactives ; il reste très faible dans la partie médiane du chenal où se concentre la charge de fond mobile (Leopold & Wolman, 1957 ; Gessler, 1970 ; Kuhnle & Southard, 1988 ; Dietrich *et al.*, 1989 ; Lisle *et al.*, 1993).

Les études menées sur l'Isère aboutissent à des observations similaires (Vautier, 2000). La morphologie fluviale s'est adaptée au déficit de charge : les bancs de galets autrefois mobiles, qui participaient à la recharge sédimentaire, se sont stabilisés en relation avec des processus de pavage, constituant ainsi des zones latérales inactives à granulométrie grossière. Le calcul des débits critiques d'entraînement, effectués pour le diamètre médian (D_{50}) du matériel de surface, montre que les bancs de galets latéraux ne peuvent être réactivés que pour des événements hydrologiques d'ampleur exceptionnelle, c'est-à-dire pour des crues de fréquence décennale au minimum et localement centennale. La végétation a ainsi pu s'installer dans ces zones de moindre contrainte mécanique, aidée en cela par la proximité de la ressource en eau et une sédimentation sablo-limoneuse particulièrement rapide (Didier, 1994 ; Peiry, 1997 ; Foussadier, 1998).

DES FACTEURS SECONDAIRES AGGRAVANTS

Combinés à la réduction des apports de charge de fond, d'autres facteurs sont intervenus et ont aggravé le phénomène. A partir de 1950, l'équipement en ouvrages hydroélectriques du bassin versant de l'Isère, amorcé au XIX^e siècle, a connu un rapide essor (chutes et usines, réservoirs de stockage, dérivations trans-bassins) (Edouard & Vivian, 1984 ; Vivian, 1994 ; Peiry & Marnezy, 2000). Ces aménagements ont provoqué une modification du régime hydrologique de l'Isère qui s'est traduit principalement par une modération du régime saisonnier, avec un écrêtement estival et le relèvement des étiages hivernaux (Besson, 1992 ; Vivian, 1994 ; Pupier, 1996). Besson (1992) explique cette transformation par le jeu du stockage/destockage des réservoirs présents à l'amont du bassin. Pendant la période hivernale, le turbinage des stocks constitués dans les réservoirs augmente le débit des basses eaux. Inversement, au printemps, la rétention des écoulements de la fusion nivale provoque une diminution de l'abondance estivale. L'atténuation des contrastes saisonniers a des répercussions très sensibles sur le niveau moyen annuel des lignes d'eau. Pendant la période des basses eaux, on observe un relèvement général de la ligne d'eau moyenne de 0,25 m. A l'inverse, celle-ci s'est abaissée de 0,30 m pendant la période des hautes eaux (mai à juillet). Selon Foussadier (1998), l'abaissement régulier de la ligne d'eau pendant la période végétative, depuis la mise en place des aménagements hydroélectriques, est très certainement favorable à

l'implantation des plantules de Salicacées sur les bancs de l'Isère. Si, pour une année donnée, l'abaissement de la ligne d'eau est suffisante pour provoquer l'émergence des bancs de galets, les graines auront la capacité de s'installer et de germer. La survie des plantules dépendra alors des conditions hydrologiques pendant le reste de la saison végétative. Une fois les plantules installées, l'abaissement régulier de la ligne d'eau pour les années futures permettra leur maintien et leur croissance.

L'exploitation de matériaux alluvionnaires entre 1949 et 1972, estimée à 600 000 m³ par année en moyenne, excédait très largement la capacité de recharge naturelle du cours d'eau (150 000 m³ en moyenne par an avant 1950). En conséquence, le chenal s'est incisé de 2 à 4 mètres (Vautier, 2000). Ceci s'est traduit par l'abaissement de la ligne d'eau et l'exondation des bancs latéraux. Plus touchés par les épisodes d'activité fluviale courante, et perchés entre 2 et 4 mètres au-dessus de la ligne d'eau d'étiage, ces bancs sont devenus des milieux plus stables, propices à l'installation et à la croissance durable d'espèces à bois durs telles *Fraxinus excelsior*, *Robinia pseudacacia*, *Ulmus minor* et *Quercus robur* (Didier, 1994 ; Pautou & Girel, 1994 ; Vautier, 2000).

La végétation elle-même joue un rôle majeur pour la préservation des bancs latéraux végétalisés. D'après les mesures effectuées par Petit (1988) sur une petite rivière à charge caillouteuse, l'érosion des limons compactés de la plaine alluviale se produit à partir d'une vitesse d'écoulement de 0,70 m.s⁻¹ et il faut qu'elle soit près du double (1,3 m.s⁻¹) pour parvenir à éroder une surface couverte d'un dense tapis herbacé. Dans le cas de l'Isère, le chevelu racinaire ainsi que le dense tapis d'herbacées à *Agrostis stolonifera*, *Calamagrostis epigejos* et *Phalaris arundinacea* préservent très efficacement les berges et la surface du banc de l'érosion. L'appareil racinaire des espèces arborescentes, très développé et profondément ancré (Salicacées en particulier), constitue une forte armature qui oppose également une résistance très efficace aux processus érosifs. Deux crues décennales récentes dépassant 800 m³.s⁻¹ (mai 1999 et octobre 2000) ont permis d'observer l'incidence d'épisodes hydrologiques de fréquence moyenne sur la pérennité des formes fluviales boisées (Vautier, 2000). Il est apparu que les effets géomorphologiques demeuraient, pour cette gamme de débits, extrêmement limités. Les érosions des géoformes boisées sont demeurées très marginales et exclusivement présentes dans les zones où les transports de charge de fond sont encore actifs. Ce constat rejoint les premières observations de Didier (1994) constatant, après une crue équivalente survenue en 1992 (813 m³.s⁻¹), que les jeunes arbres avaient été couchés mais non arrachés et que les processus d'érosion étaient demeurés très faibles. La forte sédimentation (30 à 80 cm de dépôt) provoquée par les crues a permis par contre le développement rapide des saules blancs, espèces ligneuses à croissance rapide et adaptées à l'enfouissement.

GESTION ACTUELLE DE LA VÉGÉTATION ET CONSÉQUENCES

La présence de bancs latéraux boisés et de grands arbres entre les digues de l'Isère nécessite, depuis les dernières années, des mesures de gestion de la part des services de l'Etat. L'objectif des gestionnaires est de garantir en permanence des conditions optimales d'écoulement dans le chenal afin de préserver Grenoble des inondations. Deux types de stratégies sont adoptés (Fig. 5) :

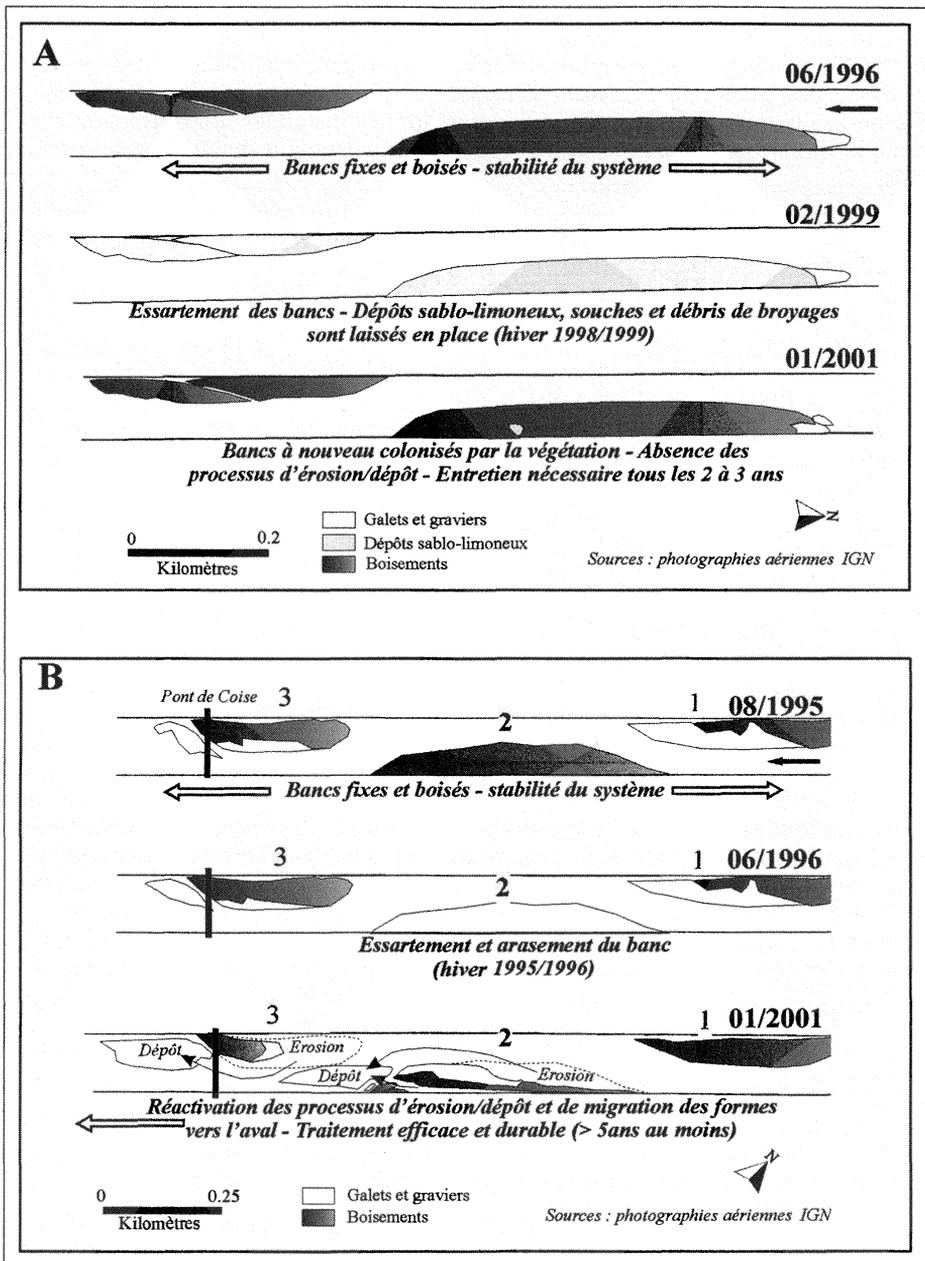


Figure 5. — Impacts des différents types d'entretien sur la dynamique des formes et de la recolonisation végétale : A) Essartement simple ; B) Essartement et arasement.

— Dans la vallée du Grésivaudan, l'entretien de la végétation est pratiqué depuis 1999 à l'initiative de la Direction Départementale de l'Équipement de l'Isère. Il consiste à abattre les grands arbres, à broyer mécaniquement la strate arbustive et à évacuer les débris ligneux. Les souches, les racines et les sédiments fins sont laissés en place.

— Dans la Combe de Savoie, les services de la Direction Départementale de l'Équipement de la Savoie ont pratiqué, entre 1994 et 1996, et à titre expérimental, une technique d'entretien beaucoup plus lourde puisqu'il s'agissait non seulement d'essarter la végétation mais aussi de dessoucher, puis d'arasier les dépôts sablo-limoneux jusqu'au soubassement de galets.

En s'appuyant sur la photo-interprétation de plusieurs missions aériennes de l'IGN et des relevés de paramètres géomorphologiques et écologiques sur plusieurs îles aménagées (Vautier, 2000 ; J. Girel, *non publié*), un premier bilan de l'efficacité des pratiques d'entretien a été réalisé :

— L'entretien réduit à l'essartement seul n'a aucune conséquence sur la stabilité des bancs latéraux boisés (Fig. 5a) ; les processus d'érosion sont négligeables, les berges étant protégées par le système racinaire et les souches des arbres demeurées en place ; la végétation ligneuse se réinstalle très rapidement par de vigoureux rejets de souche et, en moins de deux ans, une brousse épaisse et haute de plus de 3 mètres vient recouvrir à nouveau l'intégralité de la surface des bancs. La colonisation est d'autant plus marquée que la végétation se densifie fortement par bouturage naturel à partir des résidus de broyage ; les processus de sédimentation fine en période de crue en sont accélérés. Ce fort dynamisme enlève tout caractère durable aux travaux d'entretien et les services de la DDE Isère doivent intervenir tous les deux à trois ans.

— L'essartement, le dessouchage et la suppression des dépôts sablo-limoneux constituent une technique d'entretien beaucoup plus efficace (Fig. 5b). Non seulement la végétation ligneuse se réinstalle plus difficilement, mais aussi, les processus d'érosion de berge sont fortement réactivés, les transports solides sont localement restaurés et une reprise de la migration des formes vers l'aval s'esquisse, favorisant, par effet cumulatif, la destruction des bancs situés immédiatement à l'aval.

Du point de vue écologique les différences de traitements sont spectaculaires (Tableau I) :

— Dans le Grésivaudan (coupe à blanc et broyage), on observe la dégradation des communautés alluviales de bois tendres et leur remplacement par des espèces rejetant facilement à partir des souches ou de racines traçantes (en particulier *Robinia pseudacacia*) ; des espèces invasives non typiques des milieux alluviaux comme *Faloppia japonica* ou *Impatiens glanduliflora* (Schnitzler & Muller, 1998) sont très fortement favorisées par ce type de perturbation dans la mesure où leurs propagules transportées, d'un banc à l'autre par les engins de chantier, colonisent rapidement les espaces sableux ouverts peu inondables.

— Dans la Combe de Savoie, la coupe à blanc, le dessouchage et le décapage des formations superficielles favorisent, au contraire, la présence d'espèces typiques des cours d'eau du piémont alpin à forte activité géomorphologique, telles que *Typha minima*, *Calamagrostis epigejos*, *Salix daphnoides*, *S. eleagnos*, qui caractérisent les premiers stades de succession. On note également la présence de semis d'espèces alluviales (peupliers, aulnes) et une plus faible proportion d'espèces introduites.

TABLEAU I

Caractéristiques de la végétation selon le type de traitement : essartement simple (Grésivaudan), essartement, dessouchage et arasement des sédiments fins (Combe de Savoie)

Nombres d'espèces de phanérogames vasculaires (indicatif de la « diversité alpha »)				
	Grésivaudan		Combe de Savoie	
Herbacées	indigènes	exotiques	indigènes	exotiques
– ripariales	17	5	29	2
– non ripariales	27	3	26	2
Ligneuses	indigènes	exotiques	indigènes	exotiques
– ripariales	6	2	11	2
– non ripariales	2	1	0	1
Total	52	11	66	7

Nombre de communautés (indicatif de la « diversité bêta »)		
	Grésivaudan	Combe de Savoie
Herbacées pionnières	0	3
Herbacées pérennes	2	5
Arbustives	6	8
Arborescentes	0	0
Total	8	16

Fréquence comparée de quelques espèces alluviales		
Espèce	Grésivaudan (25 relevés)	Combe de Savoie (55 relevés)
<i>Salix alba</i>	85 %	75 %
<i>Salix triandra</i>	45 %	25 %
<i>Salix eleagnos</i>	0	10 %
<i>Salix daphnoides</i>	0	10 %
<i>Salix aurita</i>	0	8 %
<i>Alnus incana</i>	12 %	50 %
<i>Populus nigra</i>	28 %	50 %
<i>Calamagrostis epigejos</i>	0	75 %
<i>Typha minima</i>	0	20 %
<i>Juncus articulatus</i>	5 %	20 %
<i>Lycopus europaeus</i>	5 %	10 %
<i>Eleocharis sp.</i>	0	5 %
<i>Carex pendula</i>	0	10 %

Ces premiers résultats montrent que l'essartement combiné au décapage des dépôts sableux (Combe de Savoie) semble être la modalité d'entretien la mieux adaptée au fonctionnement actuel de l'Isère. La diversité spécifique du système alluvial est enrichie (communautés pionnières à *Typha minima*, installation de

groupements à *Salix*, *Populus* et *Alnus* à divers stades de développement, rétablissement de contraintes physiques défavorables aux espèces invasives) et des conditions propres au maintien actif d'un auto-entretien du chenal par les processus géomorphologiques sont localement restaurées. Cependant, ces premières conclusions doivent être formulées avec quelques réserves car plusieurs incertitudes demeurent : 1) les interventions sont très récentes (7 ans au maximum), ce qui ne permet pas de disposer d'un recul suffisant pour conclure sur le caractère durable de leur efficacité ; 2) elles sont fondées sur un faible échantillon de bancs (seulement 7 unités ont été analysées) ; 3) la différence d'efficacité entre les deux types d'entretien peut s'expliquer partiellement par l'influence de facteurs locaux, en particulier par la dynamique des transports solides qui semble, d'après de premières observations, être localement encore active dans la Combe de Savoie.

Afin de lever ces incertitudes, notre objectif est d'approfondir les investigations de manière à pouvoir, à terme, engager une réflexion sur les principes d'une gestion efficace et durable de la végétation. Pour répondre à cet objectif, trois axes de recherche nous semblent prioritaires : 1) étendre l'analyse et enrichir notre base de données par le relevé systématique de paramètres écologiques et géomorphologiques sur un plus large échantillon de bancs entretenus ; 2) mettre en place, pour une période de plusieurs années au moins, des observatoires de recherche qui auront pour vocation l'analyse fine des changements écologiques et géomorphologiques des géoformes aménagées et des processus qui y sont associés ; 3) mettre en place plusieurs sites expérimentaux, dans la Combe de Savoie et dans le Grésivaudan, sur lesquels il s'agirait de tester l'efficacité de différentes pratiques d'entretien en relation avec les facteurs locaux (transports solides, hydrologie, morphométrie du chenal).

CONCLUSION

Depuis une décennie environ, par suite de l'incapacité de la société à maîtriser les impacts cumulés des aménagements de cours d'eau, on assiste à l'émergence d'une conscience environnementale et on tend à mettre en place des principes de restauration des cours d'eau que les techniques classiques d'ingénierie fluviale sont inaptes à satisfaire (Peiry, 1997). Les gestionnaires participent de plus en plus fréquemment au développement de stratégies alternatives qui visent à restaurer les processus naturels, géomorphologiques et biologiques et à préserver l'intégrité du corridor fluvial, tout en ne portant pas atteinte aux activités humaines déjà présentes. Les premiers résultats obtenus sur l'Isère montrent que l'essartement, suivi de l'arasement des bancs jusqu'au soubassement de galets semble répondre le plus favorablement à ces nouvelles orientations de gestion : 1) en protégeant les riverains contre le risque qu'engendre la présence de la végétation ; 2) en améliorant la gestion environnementale par le rétablissement des conditions de fonctionnement propres à restaurer les processus géomorphologiques et écologiques.

L'essartement simple, solution également testée sur l'Isère, plus facile à mettre en œuvre, apparaît nettement moins efficace et ne va pas dans le sens d'une gestion durable du cours d'eau : 1) l'absence d'activité géomorphologique continue à maintenir les bancs figées ; 2) la densification de la végétation augmente la rugosité du chenal et favorise l'exhaussement des formes par le dépôts de sédiments fins, diminuant ainsi la capacité d'écoulement ; 3) la diversité végétale se réduit et les bancs

sont progressivement colonisés par des espèces exotiques telle *Faloppia japonica* ; 4) les coûts pour la société sont élevés (environ 1 000 Euros par hectare) et seront récurrents, car il est nécessaire d'intervenir tous les deux à trois ans, la végétation se réinstallant à un rythme accéléré. Il apparaît donc que, même si l'essartement favorise la libre évacuation de l'eau, il ne suffit ni à restaurer, ni à maintenir l'activité des processus géomorphologiques et écologiques. Ce constat doit nous inciter à entretenir une collaboration encore plus étroite entre les scientifiques et les gestionnaires de manière à agir ensemble pour l'amélioration des pratiques de gestion.

REMERCIEMENTS

Cet article est la synthèse d'un travail de recherche réalisé par les auteurs dans le cadre du Programme national de recherche « Recréer la Nature » du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et d'un programme de recherche interdisciplinaire coordonné par l'Université de Cambridge et soutenu par la Communauté Européenne ; contract N° EVK1-CT-1999-00031 : FLOodplain Biodiversity And Restoration 2 : Integrated natural science and socio-economic approaches to catchment flow management.

RÉFÉRENCES

- AMOROS, C. & WADE, P.M. (1993). — Successions écologiques. Pp. 201-231, in : C. Amoros & G.E. Petts (Eds), *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, Paris.
- ANDREWS, E.D. & PARKER, G. (1987). — Formation of a coarse surface layer as a response to gravel mobility. Pp. 269-300, in : C.R. Thorne, J.C. Bathurst & R.D. Hey (Eds), *Sediment transport in gravel-bed rivers*. Wiley, Chichester.
- BRAY, D.I. & CHURCH, M. (1980). — Armoured versus paved gravel beds. *J. Hydr. Div.*, 106 : 1937-1940.
- BESSON, L. (1992). — *Influence des actions anthropiques sur le système fluvial : l'Isère en amont de Grenoble*. DEA, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- DARBON, A. (1948). — *Mémoire sur les études, essais et expériences effectués par le Service de l'Aménagement de l'Isère de 1942 à 1948*. Rapport des Ponts et Chaussées, Paris.
- DIDIER, M. (1994). — *L'action de l'homme sur les paysages fluviaux. Contribution de l'Ecologie et de la Géographie à l'étude d'une vallée anthropisée : l'Isère dans le Grésivaudan*. Thèse, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- DIETRICH, W.E., KIRCHNER, J.W., IKEDA, H. & ISEYA, F. (1989). — Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers. *Nature*, 340 : 215-17.
- EDOUARD, J.-L. & VIVIAN, H. (1984). — Une hydrologie naturelle dans les Alpes du Nord ? *Rev. Géogr. Alpine*, 72 : 165-188.
- FOUSSADIER, R. (1998). — *Initiation des successions végétales dans les lits endigués des cours d'eau alpins. Influence des paramètres abiotiques sur la régénération des Salicacées*. Thèse, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- GIREL, J. & PAUTOU, G. (1997). — The influence of sedimentation on vegetation structure. Pp. 93-112, in : N.E. Haycock, T.P. Burt, K.W.T. Goulding & G. Pinay (Eds), *Buffer Zones : their Processes and Potential in Water Protection*. Quest Environmental, Harpenden.
- GESSLER, J. (1970). — Self-stabilizing tendencies of alluvial channels. *J. Water Harb. Div.*, 96 : 235-249.
- HICKIN, E.J. (1984). — Vegetation and river channel dynamics. *Can. Geogr.*, 28 : 111-126.
- KOMURA, S. & SIMONS, D. B. (1967). — River degradation bellow dams. Proceeding of the American Society of Civil Engineers. *J. Hydr. Div.*, 93 : 1-14.
- KONDOLF, G.M. (1997). — Hungry water : effects of dam and gravel mining of river channels. *Environ. Manage.*, 21 : 533-551.

- KONDOLF, G.M. & CURRY, R.R. (1986). — Channel erosion along the Carmel River, Monterey County, California. *Earth Surf. Proc. and Land.*, 11 : 307-319.
- KUHNLE, R.A. & SOUTHARD, J. B. (1988). — Bed load transport fluctuations in a gravel bed laboratory channel. *Water Resour. Res.*, 24 : 247-260.
- LATULIPPE, C. (1995). — *Recherche sur les zones de production sédimentaire et les transports de matières en suspension du bassin-versant de l'Isère en amont de Grenoble*. Mémoire de Maîtrise, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- LEOPOLD, L.B. & WOLMAN, M.G. (1957). — River channel patterns : Braided, meandering and straight. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 282-B : 39-85.
- LISLES, T.E, ISEYA, F. & IKEDA, H. (1993). — Response of a channel with alternate bars to a decrease in supply of mixed-size bedload : a flume experiment. *Water Resour. Res.*, 29 : 3623-3629.
- LITTLE, W. & MAYER, P.G. (1976). — Stability of channel beds by armoring. *J. Hydr. Div.*, 102 : 1647-1661.
- PARDE, M. (1940). — Transports de matières solides et remblaiement dans la cluse de Grenoble. *Rev. Géogr. Alpine*, 28 : 445-453.
- PAUTOU, G. & GIREL, J. (1994). — Interventions humaines et changement de la végétation alluviale dans la vallée de l'Isère (de Montmélian à Port-St-Gervais). *Rev. Géogr. Alpine*, 82 : 127-146.
- PAUTOU, G., GIREL, J., PEIRY, J.-L., HUGHES, F., RICHARDS, K.S., FOUSSADIER, R., GUARGUET-DUPOURT, B., HARRIS, T. & BARSOU, N. (1996). — Les changements de la végétation dans les hydrosystèmes fluviaux. L'exemple du Haut-Rhône et de l'Isère dans le Grésivaudan. *Rev. Ecol. Alpine*, 3 : 33-52.
- PAUTOU, G. & WUILLOT, J. (1989). — La diversité spatiale des forêts alluviales dans les îles du haut Rhône français. *Bull. Ecol.*, 20 : 211-230.
- PEIRY, J.-L. (1997). — *Recherche en géomorphologie fluviale dans les hydrosystèmes fluviaux des Alpes de Nord*. H.D.R., Université Joseph Fourier, Institut de Géographie Alpine, Grenoble.
- PEIRY, J.-L. & MARNEZY, A. (2000). — Les barrages et réservoirs hydroélectriques des Alpes Françaises et leurs impacts sur les cours d'eau. Pp. 190-209, in : J.-P. Bravard (Ed.). *Les régions françaises face aux extrêmes hydrologiques. Gestion des excès et de la pénurie*. SEDES, Paris.
- PETIT, F. (1988). — Phénomènes influençant la mise en mouvement et le transport des particules en rivières naturelles. *Z. Geomorphol.*, 32 : 239-310.
- POWELL, D. M. (1998). — Patterns and processes of sediment sorting in gravel-bed rivers. *Prog. Phys. Geogr.*, 22 : 1-32.
- PUPIER, N. (1996). — *Analyse des fluctuations récentes de la nappe d'un hydrosystème perturbé, l'Isère dans le Grésivaudan*. Thèse, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- SCHNITZLER, A. & MULLER, S. (1998). — Ecologie et biogéographie de plantes hautement invasives en Europe : les renouées géantes du Japon (*Faloppia japonica* et *F. sachalinensis*). *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 53 : 3-38.
- VAUTIER, F. (2000). — *Dynamiques géomorphologiques et végétalisation des cours d'eau endigués : l'exemple de l'Isère dans le Grésivaudan*. Thèse, Institut de Géographie Alpine, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- VIVIAN, H. (1994). — L'hydrologie artificialisée de l'Isère en amont de Grenoble. Essai de quantification des impacts des aménagements. *Rev. Géogr. Alpine*, 82 : 97-107
- WILLIAMS, G. P. & WOLMAN, M.G. (1984). — Downstream effects of dams on alluvial rivers. *Geol. Surv. Prof. Pap.*, 1286.