

Morphodynamisme d'un tronçon de Loire bourbonnaise depuis le XVIII^e siècle

Changing dynamics of the Loire river in Burgundy (France) during the last 200 years

Béatrice Leteinturier*, Patrick Engels**, François Petit***, Alain Chiffaut**** et François Malaisse*

Résumé

Après un bref rappel des caractéristiques géographiques ligériennes dans le secteur concerné, une étude d'un tronçon de 40 kilomètres de lit fluvial a permis de mettre notamment en évidence les divagations du fleuve dans le lit mineur, l'évolution du méandrage en 25 ans (1967-92) et d'apprécier l'activité de la Loire. Par ailleurs, une seconde approche morphodynamique, s'étalant sur une période de plus de 230 ans, a été réalisée sur un secteur de dimension réduite : l'île de la Crevée. Ces études spatio-temporelles mettent en exergue, l'une et l'autre, un ralentissement récent de l'activité de la Loire dû à l'absence de grandes crues et se traduisant par une quasi-stabilité des méandres, avec pour conséquence une fermeture du lit par l'extension de la ripisylve.

Mots clés : Loire bourbonnaise, dynamisme fluvial, méandre, ripisylve.

Abstract

This paper is part of an ecological study designed to outline a conservation plan for a natural wetland area located in the Loire alluvial plain of Burgundy (Sologne bourbonnaise). In this part of the river (upstream from Decize), the meandering characteristics of the channel system are very different from those that occur downstream from its confluence with the Allier river. After a brief synopsis of the geographical characteristics of the Loire valley in Burgundy, the changing dynamics of the Loire along a 40 kilometre stretch of river are studied through an analysis of channel shifts and meander evolution between 1967 and 1992. The intensity and occurrence of floods recorded at Nevers from 1852 to 1985 are presented. They provide a good idea of channel evolution in natural conditions prior to the construction of the Villerest dam. A perceptible decrease in the average wavelength (13 m), and an increase of the curve index can be distinguished, but generally, variations in meander morphometry have been very small during the 25 years of interest. The relative meander stability was compared with river activity as inferred from temporal changes in sand bank surfaces. The results show that the active channel surface decreased by 13 % between 1967 and 1992. This is far from insignificant and is clearly indicative of a change in stream energy. This analysis is supplemented by the more detailed morphodynamic study of a small area ("l'île de la Crevée") spanning a period of more than 230 years. From 1760 to 1852, lateral shifting of the river bed, in relation to major flooding, was considerable. Both of these spatio-temporal studies testify to a recent stabilisation of channel systems in the Loire. The situation since 1967 is largely stable. This is ascribable to a decline in major flooding events and is reflected in the near stability of meanders, with a resulting narrowing of the bed by encroachment of the floodplain woodland.

Key words: Loire, Burgundy, fluvial dynamics, meander, floodplain woodland.

Introduction

La présente étude s'inscrit au cœur d'une réflexion écologique en vue de la conservation d'un espace naturel situé dans la plaine alluviale de la Loire en Sologne bourbonnaise.

Deux approches ont été réalisées : l'une s'attachant à des aspects de géomorphologie et de dynamique fluviale où l'évolution du lit a été suivie à deux échelles spatio-temporelles différentes (objet de cet article), l'autre faisant appel à des notions de phytosociologie (Leteinturier *et al.*, 2000).

* Laboratoire d'Écologie, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Passage des Déportés, 2, B-5030 Gembloux (Belgique). e-mail : leteinturier.b@fsagx.ac.be

** Unité de Géopédologie, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Avenue Maréchal Juin, 27, B-5030 Gembloux (Belgique).

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

**** Conservatoire des Sites Naturels Bourguignons, B.P. 110, F-21803 Quetigny Cedex (France).

Enfin, une synthèse écologique s'inspirant des connaissances apportées par ces deux approches, débouchera sur des propositions de gestion du site.

La Loire a fait l'objet de plusieurs études, tant sur le plan hydrologique (Dacharry, 1974), que morphodynamique (Babonaux, 1970) et sédimentologique (Brossé, 1982). L'image généralement retenue de ce fleuve est celle qu'il présente en aval de la confluence avec l'Allier : une rivière dont la bande active atteint une largeur de 200 à 400 m, avec des bancs sableux et graveleux mobiles et peu végétalisés mais où coexistent également des îles végétalisées, certaines étant stables depuis plusieurs siècles (Bomer, 1972). Plus récemment, E. Gautier *et al.* (2000) ont montré que la Loire, notamment entre Decize et le Bec d'Allier, se présente en anabranches que les auteurs définissent comme un système présentant un chenal principal avec une charge de fond sableuse et graveleuse, montrant des signes de tressage actif dû à l'instabilité des formes mais où coexistent également plusieurs chenaux secondaires séparés par des îles relativement larges et stabilisées par la végétation.

En revanche, le cours bourbonnais de la Loire (en amont de Decize), cadre de cette étude, présente des caractéristiques morphologiques très différentes puisque, comme l'avait déjà noté Y. Babonaux (1970), il offre d'excellents

types de méandres divagants. Il était donc intéressant de confronter l'évolution du fleuve dans deux secteurs qui présentaient au départ des systèmes morphodynamiques assez différents. Ajoutons enfin que deux études détaillées ont été effectuées dans ce tronçon de Loire, l'une à l'initiative de la région Bourgogne (SOGREAH, 1983), l'autre de la DIREN de Bassin-Loire-Bretagne (EPTEAU-HORIZONS, 1997).

Sites et méthodes d'études

Les caractéristiques de la Loire dans le secteur concerné (fig. 1) sont reprises dans le tableau 1. Quelques précisions doivent être apportées à propos de la façon dont certaines valeurs de ce tableau ont été obtenues.

Le débit à pleins bords est atteint dans les secteurs étudiés (Charrin) pour une hauteur de 3,50 m à la station de Decize. S'il n'existe malheureusement pas de courbe de tarage pour cette station, celle de la station de Gilly est connue. Aussi, avons-nous mis en relation les hauteurs d'eau lues à Decize avec les débits de Gilly et ainsi pu voir que cette hauteur correspond à un débit de $840 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ à Gilly (Leteinturier, 1997) qui équivaut schématiquement à la crue biennale exprimée en débit journalier (SOGREAH, 1983). Cette

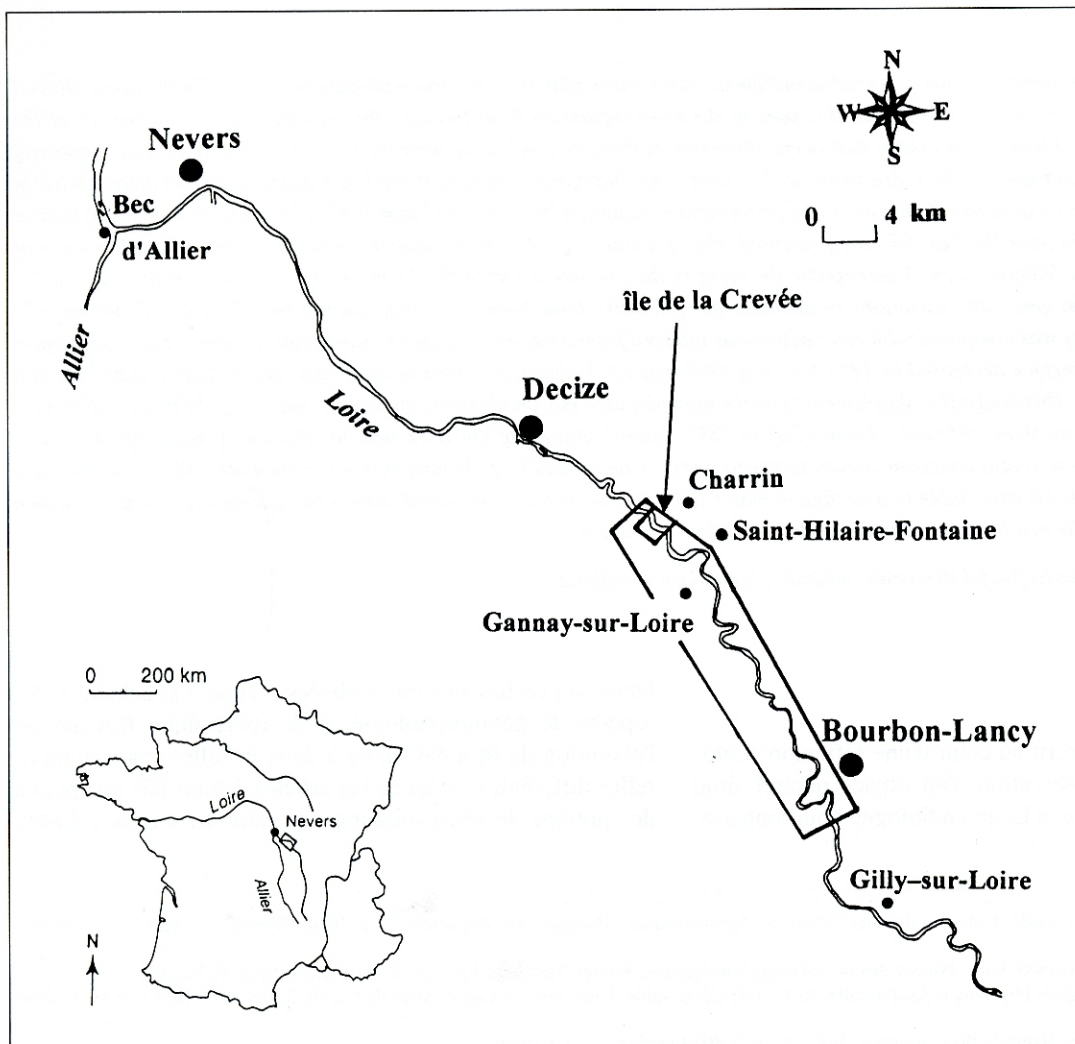


Fig. 1 – Localisation du tronçon étudié.

Fig. 1 – Location of the studied reach.

Taille du bassin versant	à Gilly à Decize à Nevers	13037 km ² 16200 km ² 17570 km ²	(a) (b) (b)
Pente du lit	à Gannay à l'aval de Decize	0,51.10 ⁻³ m.m ⁻¹ 0,39.10 ⁻³ m.m ⁻¹	(b) (b)
Pente de la vallée	à Gannay à l'aval de Decize	0,66.10 ⁻³ m.m ⁻¹ 0,43.10 ⁻³ m.m ⁻¹	(b) (b)
Diamètre moyen des particules du lit	à Gannay à l'aval de Decize	14 mm 14 mm	(b) (b)
Débit à pleins bords Largeur Puissance spécifique	à Gilly	840 m ³ .s ⁻¹ 180 m 24 W.m ⁻²	(a)

Tableau 1 – **Caractéristiques de la Loire.**
(a) d'après Leteinturier (1997) ; (b) d'après SOGREAH (1983).

Table 1 – **Characteristics of the Loire.** (a) after Leteinturier (1997); (b) after SOGREAH (1983).

valeur du débit à pleins bords mise en relation avec la taille du bassin versant correspond relativement bien aux valeurs déduites de la relation de Nixon et de celle mise en évidence pour des rivières de Grande-Bretagne (Petit & Pauquet, 1997). Notons que la valeur et la récurrence du débit à pleins bords que nous avons estimées concordent relativement bien avec celles mises en évidence dans l'étude réalisée par EPTEAU HORIZONS (1997) qui précisait que "ces débits de plein bord sont très variables selon les endroits, et généralement compris dans la fourchette de 700 à 1 200 m³.s⁻¹" et que "globalement, la crue biennale n'est pas ou est peu débordante, selon les secteurs".

La largeur prise en compte dans le calcul de la puissance spécifique est la largeur de la bande active (moyenne entre les sinuosités et les points d'inflexions) mesurée en 1992 ; cet aspect sera traité plus en détail au paragraphe ci-après. Précisons que cette largeur correspond bien à celle mise en évidence par Gautier *et al.* (2000) qui trouvaient 196 m entre Decize et le Bec d'Allier.

La granulométrie du matériau, d'après SOGREAH (1983) dont nous tirons ces données, a été établie pour chaque station à partir de prélèvements effectués en trois points, ceci afin de tenir compte des variations granulométriques sur la section transversale : dans le chenal (à une profondeur de un à deux mètres), sur les grèves¹ (à un mètre au-dessus du niveau d'étiage) et sur les buttes colonisées sur grève (à deux mètres environ au-dessus de l'étiage). Notons qu'en fonction de la taille moyenne du matériel (14 mm), telle que déterminée ci-dessus (c'est-à-dire la moyenne des trois types de prélèvements), les puissances spécifiques de mise en mouvement seraient de l'ordre de 5 W.m⁻² (Petit *et al.*, 2000) ; elles seraient atteintes pour un débit voisin de 180 m³.s⁻¹ qui, d'après la courbe des débits classés établie à la station de Gilly, se présente près de 90 jours par an. En d'autres termes, le charriage serait relativement fréquent vis-à-vis de ce qui a été observé dans d'autres rivières (Bravard & Petit, 1997).

Peu d'études ont été réalisées sur les quantités de sédiments transportées par charriage. Toutefois, Z. Gasowski (1994), citant des estimations de transport solide effectuées par la formule de Meyer-Peter avec un calage sur le rem-

plissage des fosses de la centrale de Belleville, estime que le transport moyen serait de l'ordre de 0,7 Mm³ par an ; compte tenu de la superficie du bassin et en prenant une densité de 2, ceci donnerait un charriage spécifique de 40 t.km⁻².an⁻¹, tandis que L. Berthois (1972), toujours en aval du Bec d'Allier, propose une fourchette variant entre 17 et 39 t.km⁻².an⁻¹. D'après Y. Babonaux (1970) et B. Bommer (1988), la majorité de ces apports proviendraient de l'Allier dont le débit solide est au moins deux fois supérieur à celui de la Loire. D'autres estimations de transport solide de charge de fond ont été avancées pour la Loire en amont du Bec d'Allier : Y. Babonaux (1970) propose un ordre de grandeur de 100 000 m³ par an et SOGREAH (1983) 200 000 m³ tandis que EPTEAU-HORIZONS (1997) avance une capacité de charriage moyenne annuelle de 100 000 à 150 000 m³, cette estimation étant basée sur la formule de Meyer-Peter, en prenant comme valeur granulométrique représentative celle de la sous-couche et des berges. Ces trois derniers résultats, exprimés en débit spécifique annuel de charge de fond, donnent une fourchette de 11,5 à 23 t.km⁻².an⁻¹, montrant par là que les apports de la Loire supérieure sont effectivement moindres que ceux de l'Allier. On peut néanmoins constater que de telles quantités sont loin d'être négligeables, ce qui tend à prouver que le charriage est un phénomène courant.

Si l'on positionne sur le diagramme de R. Kellerhals *et al.* (1976) qui donne la discrimination entre rivières à tresses et rivières mobiles à lit unique, les valeurs de la pente et du débit à pleins bords mises en évidence au tableau 1, il se confirme que la Loire, dans son cours bourbonnais, est un lit à chenal unique mais qu'elle se trouve très proche de la zone de transition. Ceci rejoint les constatations faites par J.P. Bravard (1991) sur l'Ain et nous verrons par la suite que d'autres points sont en commun avec cette rivière.

Les modifications géomorphologiques d'un tronçon de la Loire qui s'étend sur une quarantaine de kilomètres en

¹ Le terme grève peut se définir comme banc de gravier, de sable, apparemment dépourvu de végétation et fortement soumis à la dynamique fluviale.

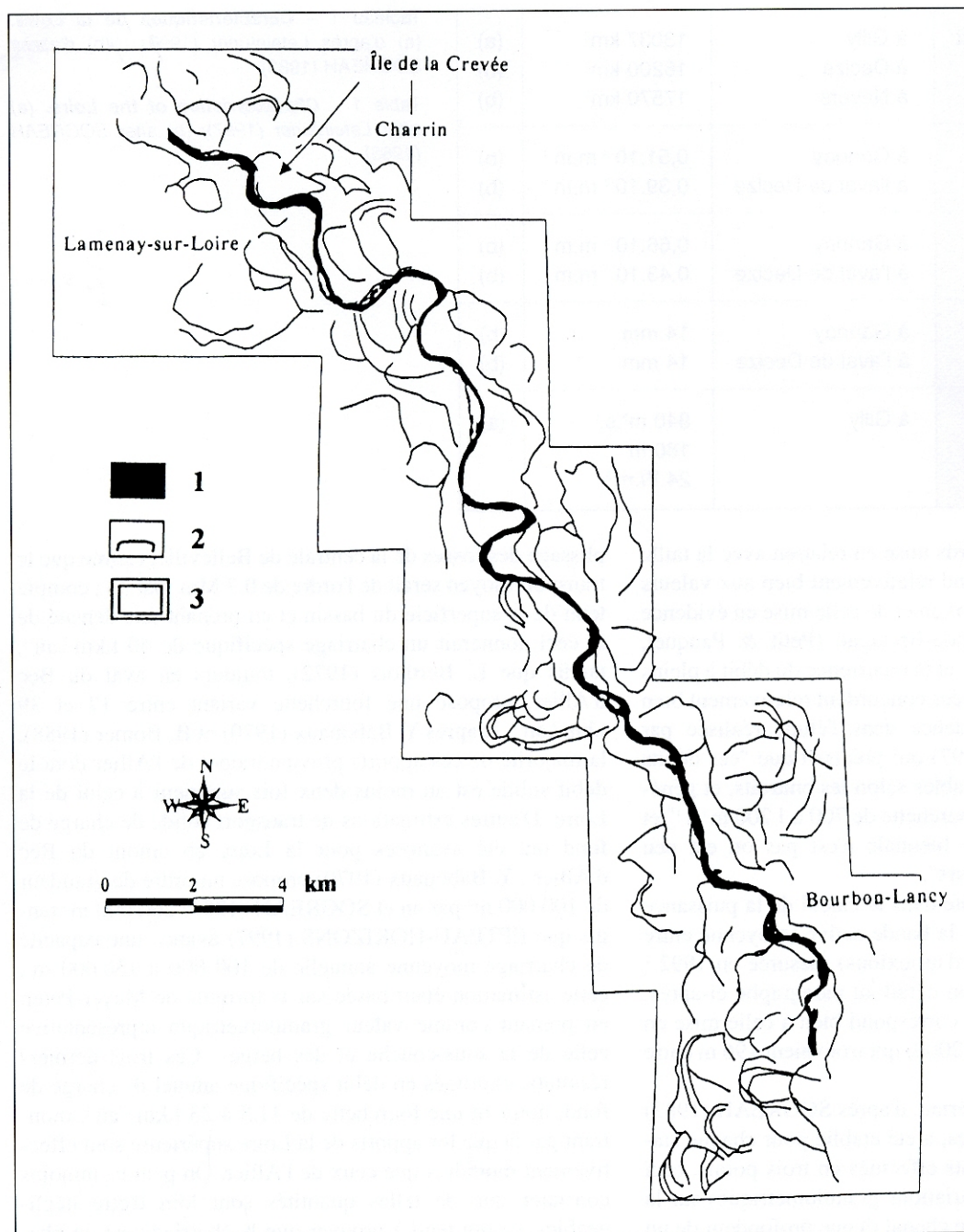


Fig. 2
Empreintes alluviales dans le paysage
(d'après photographies aériennes, I.G.N., mission 1992). 1 : bande active ; 2 : haies, limites de parcelles, chemins et bras morts ; 3 : limite de la zone interprétée.

Fig. 2
Alluvial archives in the landscape (after aerial photographs, I.G.N., campaign 1992). 1: active channel; 2: hedges, field boundaries, country lanes and abandoned channels; 3: boundaries of interpreted area.

Sologne bourbonnaise, de Bourbon-Lancy à Charrin (fig. 1 et fig. 2), ont été appréhendées sur une période de 25 ans (1967-1992). Par ailleurs, l'extrémité aval de ce secteur (l'île de la Crevée) a fait l'objet d'une étude diachronique (s'étalant sur une période de plus de 230 ans) qui a fait appel à l'utilisation de cartes anciennes et de photos aériennes. Le traitement du matériel cartographique et photographique a été réalisé selon les étapes suivantes : 1) numérisation par balayage des documents ; 2) relevé sur table à digitaliser de coordonnées Lambert de points repères dont l'emplacement géographique est resté invariable au cours du temps (intersections de routes, angles de bâtiments, clocher ; 4) transfert des documents géoréférencés sur le logiciel ArcView et digitalisation à l'écran au 1/5 000 avec une précision de 5 mètres (dimension du pixel). Les caractéristiques des

cartes anciennes et des photographies aériennes (date, échelles) seront précisées dans les paragraphes traitant des deux secteurs étudiés.

Modifications du régime des crues de la Loire supérieure

Les modifications morphologiques de la Loire étant analysées à deux échelles de temps différentes, il convient de retracer brièvement les principales étapes du régime du fleuve et de mettre en évidence les éventuelles modifications, naturelles ou anthropiques, du régime de ses crues. L'importance et la fréquence des crues de la Loire retracées de 1852 à 1985 à la station de Nevers permettent de juger d'une éventuelle évolution hydroclimatique (fig. 3). Il s'agit

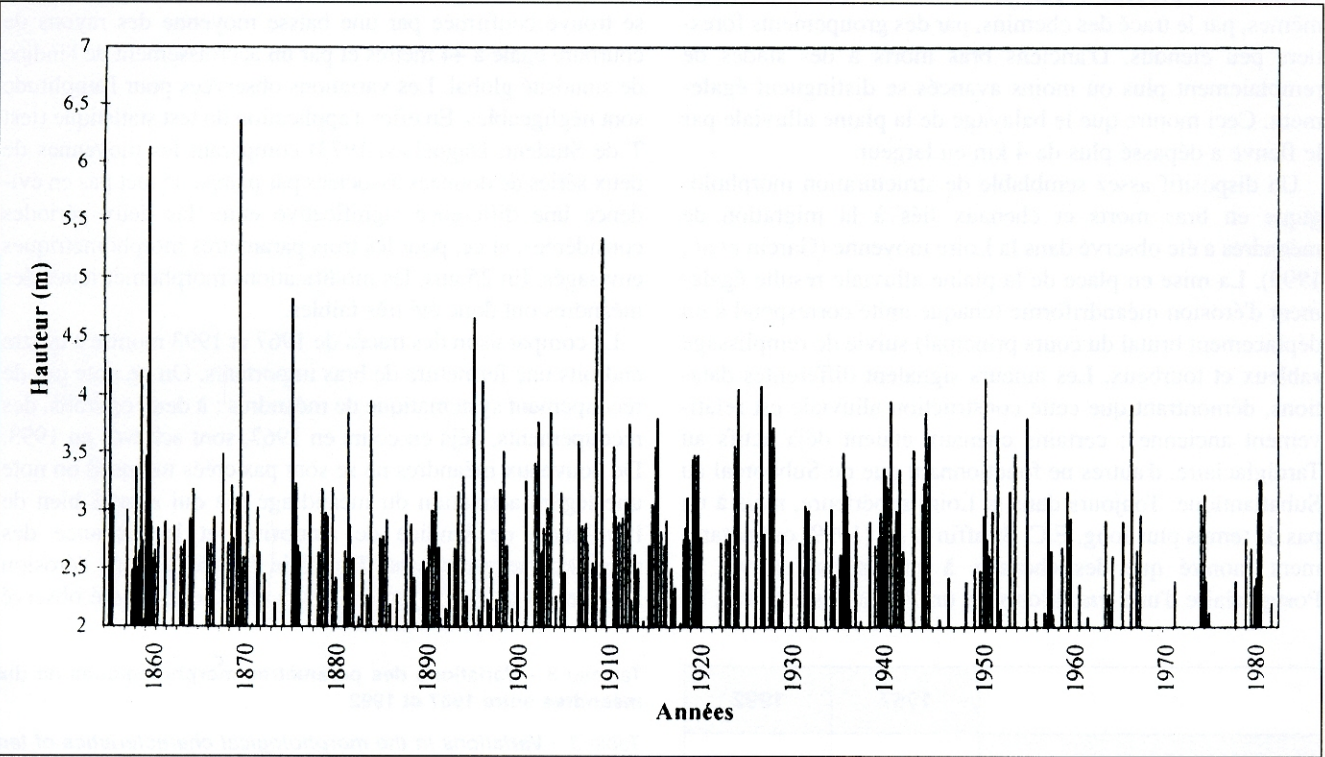
certes de hauteurs d'eau et il n'est pas exclu que des variations du lit au lieu même de la station aient pu se produire. Toutefois, il semble que la loi hauteur-débit n'ait subi que de faibles variations de 1885 à 1952 (SOGREAH, 1983). Les données historiques (fig. 3) reprennent uniquement les valeurs pour lesquelles la hauteur d'eau observée atteignait 2 mètres au-dessus du niveau de l'étiage, ce qui, d'après la courbe de tarage de 1890 (SOGREAH, 1983) correspond à un débit égal à 500 m³.s⁻¹. Tenant compte de ces remarques, on note cependant une baisse relative de l'intensité des crues : les hauteurs d'eau atteintes à Nevers de 1910 à 1985 ne présentent pas de valeur supérieure à 4 mètres, alors que c'était chose courante lors de la période antérieure. D'autres relevés, effectués en aval du Bec d'Allier (Dacharry, 1969 ; Probst, 1989), peuvent néanmoins être utilisés pour suivre l'évolution de la Loire supérieure et juger ainsi d'éventuelles modifications hydroclimatiques affectant cette dernière. En effet, l'Allier est soumis à un régime climatique comparable à celui de la Loire et il n'a fait l'objet d'un aménagement hydraulique qu'en 1983 avec la mise en fonctionnement du

barrage de Naussac qui ne joue d'ailleurs qu'un rôle de soutien d'étiage et non d'écrêteur de crue. Ainsi, M. Dacharry (1996) note que trois crues dépassant les 7000 m³.s⁻¹ ont été enregistrées au milieu du XIX^e siècle (1846, 1856 et 1866) ; depuis lors de tels débits ne semblent plus avoir été atteints. M. Dacharry (1969) signale également qu'à Gien quatre crues seulement ont dépassé 3000 m³.s⁻¹ pour la période 1934-1954 et qu'aucune crue n'a atteint 2000 m³.s⁻¹ entre 1955 et 1966. Par ailleurs, les fluctuations hydroclimatiques de la Loire suivies par J.L. Probst (1989) depuis le milieu du XIX^e siècle et basées sur l'analyse des modules annuels, ne coïncident qu'imparfaitement avec cette chronique des crues ; l'auteur montre par exemple que de 1860 à 1910 la Loire connaissait une période de relative pénurie, suivie d'une période d'abondance de 1910 à 1940.

Sur la Loire supérieure, le rôle du barrage de Villerest, mis en service en 1983 en tant qu'écrêteur de crues apparaît de façon évidente lorsque l'on compare les débits naturels et les débits relâchés (tab. 2). Cet écrêtement affecte les crues importantes (décennales et plus), qui sont en quelque sorte remplacées par des crues moins spectaculaires et plus fréquentes mais qui, vu le petit calibre de la charge de fond, permettent probablement le charriage et seraient donc morphogènes. Par ailleurs, comme le note Z. Gasowski (1994), l'impact des barrages construits dans le haut bassin de la Loire (Villerest et Grangent) sur les transports de matériaux

Fig. 3 – Fréquence et intensité des crues à Nevers de 1852 à 1985 (H > 2m) d'après les relevés effectués au Bec d'Allier.

Fig. 3 – Flood frequencies and intensities at Nevers from 1852 to 1985 (H > 2m), based on data recorded at the Bec d'Allier.



Période de retour	2 ans	10 ans	100 ans
Crues naturelles	900	1 950	3 800
Crues écrêtées	900	1 000	1 800

Tableau 2 – Débits (m³.s⁻¹) de récurrence, donnés en système naturel et avec écrêtement après la mise en service du barrage de Villerest. (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, comm. pers.).

Table 2 – Known recurrent flows (m³.s⁻¹) in the natural channel system, and after flood control measures effected by the Villerest dam (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, pers. comm.).

est très important en aval de ces ouvrages. Mais, vu la distance de lit fluvial qui sépare le site étudié de ces barrages (respectivement 128 km et 198 km en aval de ces ouvrages), vu la lenteur, généralement admise, de la propagation de la vague sédimentaire (Bravard & Petit, 1997), il est évident que le déficit de charge de fond lié à la présence de ces barrages n'a pas encore affecté les sites étudiés.

Étude du tronçon de Loire s'étendant de Bourbon-Lancy à Charrin

L'évolution générale de la Loire a été suivie dans un secteur d'étude localisé entre Bourbon-Lancy et Charrin, représentant près de 40 kilomètres de lit fluvial. Deux séries de photographies aériennes ont été utilisées (missions I.G.N. 1967 et 1992, échelle 1/25 000). Dans ce tronçon, la largeur de la plaine alluviale de la Loire dépasse 4 km.

Divagations dans le lit majeur

La Loire, disposant d'un espace de liberté aussi vaste, a laissé de nombreuses empreintes alluviales qui ont pu être aisément relevées (fig. 2). Il s'agit principalement de restes de concavité de méandres qui attestent un travail latéral très étendu de part et d'autre du chenal actuel. Ces empreintes sont repérables par le tracé en croissant de longues haies bordant les parcelles, par la forme des parcelles elles-mêmes, par le tracé des chemins, par des groupements forestiers peu étendus. D'anciens bras morts à des stades de remblaiement plus ou moins avancés se distinguent également. Ceci montre que le balayage de la plaine alluviale par le fleuve a dépassé plus de 4 km en largeur.

Un dispositif assez semblable de structuration morphologique en bras morts et chenaux liés à la migration de méandres a été observé dans la Loire moyenne (Garcin *et al.*, 1999). La mise en place de la plaine alluviale résulte également d'érosion méandriforme (chaque unité correspond à un déplacement brutal du cours principal) suivie de remplissage sableux et tourbeux. Les auteurs signalent différentes datations, démontrant que cette construction alluviale est relativement ancienne : certains chenaux étaient déjà actifs au Tardiglaciaire, d'autres ne fonctionnant que du Subboréal au Subatlantique. Toujours dans la Loire supérieure, mais à un pas de temps plus long, E.C. Straffin *et al.* (1999) ont notamment montré que des chenaux à tresses sont suivis au Postglaciaire d'une transition vers un régime à méandres. Ils

démontrent également que le comblement de chenaux abandonnés et le développement des méandres dans leur style fluvial actuel est relativement ancien (de l'ordre de 1,5 ka BP).

Morphologie des méandres et évolution du méandrage

L'évolution de paramètres morphologiques a été réalisée par la comparaison des deux séries de photographies aériennes, selon la méthodologie exposée ci-dessus. Déjà en 1967, le lit de la Loire était un système à méandres, sans tressage dans le chenal principal, avec quelques annexes latérales (grèves non végétalisées) et quelques îles. Puisqu'il s'agit d'un système à méandres dominant, les paramètres morphologiques suivants ont été analysés : la longueur d'onde, l'amplitude, le rayon de courbure et l'indice de sinuosité (fig. 4). Précisons que la comparaison de ces différents paramètres n'a de sens que pour des méandres communs aux deux campagnes de prises de vue. Par ailleurs, l'utilisation des trois premiers paramètres ne peut se faire que pour des méandres bien organisés en train ; c'est pourquoi l'acquisition de ces données a dû être limitée à dix méandres. En revanche, la comparaison de l'indice de sinuosité a été réalisée sur l'ensemble du secteur.

Les résultats sont exposés dans le tableau 3. On note une très légère diminution de la longueur d'onde moyenne (13 m) et une accentuation de l'indice de sinuosité. Cette interprétation se trouve confirmée par une baisse moyenne des rayons de courbure égale à 44 mètres et par un accroissement de l'indice de sinuosité global. Les variations observées pour l'amplitude sont négligeables. En effet, l'application du test statistique (test T de Student, Dagnelies, 1973) comparant les moyennes de deux séries de données associées par paires, ne met pas en évidence une différence significative entre les deux périodes considérées, et ce, pour les trois paramètres morphométriques envisagés. En 25 ans, les modifications morphométriques des méandres ont donc été très faibles.

La comparaison des tracés de 1967 et 1993 montre à quatre endroits une fermeture de bras importants. On ne note pas de recoupement systématique de méandres ; à deux endroits, des recoupements, déjà en cours en 1967, sont achevés en 1993. De nouveaux méandres ne se sont pas créés même si on note une légère activation du méandrage (ce qui ressort bien de l'évolution de l'indice de sinuosité) et la tendance des méandres au glissement. Toutefois l'importance de l'érosion latérale est sans commune mesure avec ce qui a été observé

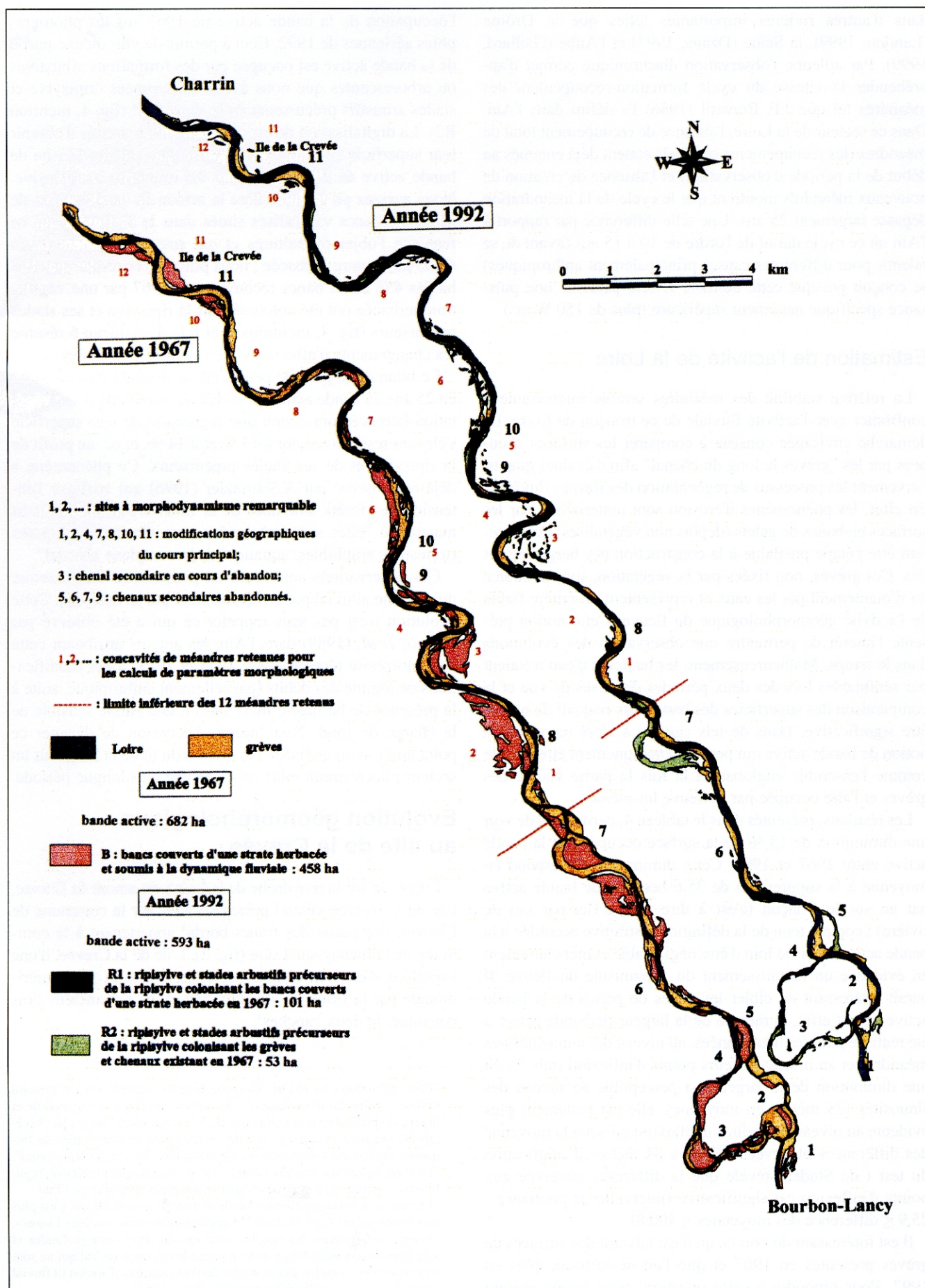
	1967	1992
Longueur d'onde (en m)	2 412	2 399
Amplitude (en m)	1 205	1 206
Rayon de courbure (en m)	406	362
Indice de sinuosité	1,468	1,514

Tableau 3 – Variations des paramètres morphologiques de dix méandres entre 1967 et 1992.

Table 3 – Variations in the morphological characteristics of ten meanders between 1967 and 1992.

Fig. 4 – Dynamique d'un tronçon de la Loire bourbonnaise d'après photographies aériennes, I.G.N., missions 1967 et 1992.

Fig. 4 – Dynamics of a reach of the Burgundian Loire interpreted from aerial photographs, I.G.N., campaigns 1967 and 1992.



dans d'autres rivières importantes telles que la Drôme (Landon, 1999), la Seine (Dzana, 1997) et l'Aube (Gaillard, 1999). Par ailleurs, l'observation diachronique permet d'appréhender la vitesse du cycle formation-recoupement des méandres tel que J.P. Bravard (1986) l'a défini dans l'Ain. Dans ce secteur de la Loire, l'absence de recoupement total de méandres (les recoupements observés étaient déjà entamés au début de la période d'observation) et l'absence de création de nouveaux méandres montrent que le cycle de la méandration dépasse largement 25 ans. Une telle différence par rapport à l'Ain où ce cycle durait de l'ordre de 10 à 15 ans (avant de se ralentir pour différentes causes principalement anthropiques) se conçoit puisque cette dernière rivière présente une puissance spécifique nettement supérieure (plus de 150 W.m⁻²)

Estimation de l'activité de la Loire

La relative stabilité des méandres semble intéressante à confronter avec l'activité fluviale de ce tronçon de Loire. La démarche envisagée consiste à comparer les surfaces occupées par les "grèves le long du chenal" afin d'évaluer quantitativement les processus de régénération des formes fluviales. En effet, les phénomènes d'érosion sont matérialisés par les surfaces en bancs de galets (dépôts non végétalisés) qui s'avèrent être l'étape préalable à la construction des berges et des îles. Ces grèves, non fixées par la végétation, sont un indice du remaniement par les eaux et représentent un critère fiable de l'activité géomorphologique du fleuve. Cette notion présente l'intérêt de permettre une observation des évolutions dans le temps. Malheureusement, les hauteurs d'eau n'étaient pas semblables lors des deux périodes de prises de vue et la comparaison des superficies des bancs vifs risquait de ne pas être significative. Dans de tels cas, on a alors recours à la notion de bande active qui peut schématiquement être définie comme l'ensemble englobant à la fois la partie visible des grèves et l'aire occupée par le fleuve lui-même².

Les résultats, présentés dans le tableau 4, permettent de voir une diminution de 13 % de la surface occupée par la bande active entre 1967 et 1992. Cette diminution correspond en moyenne à la suppression de 35,6 hectares de bande active par an sur le tronçon (c'est à dire près d'1ha par km de rivière) ; compte tenu de la définition restrictive accordée à la bande active, ceci est loin d'être négligeable et met clairement en évidence un ralentissement du dynamisme du fleuve. Il paraît intéressant de cibler les zones de pertes de la bande active. À cet effet, la mesure de la largeur de bande active a été réalisée pour les deux années, au niveau des sinuosités des méandres et au niveau de leurs points d'inflexion (tab. 5). Si une diminution de la largeur est perceptible au niveau des sinuosités (29 mètres en moyenne), elle est nettement plus évidente au niveau des points d'inflexion puisque la moyenne des différences observées s'élève à 64 mètres. L'application du test t de Student révèle que la différence observée aux points d'inflexion est significative (intervalle de confiance : $25,9 \leq \text{différence des moyennes} \leq 100,8$).

Il est intéressant de voir ce qu'il est advenu des surfaces de grèves présentes en 1967 et que l'on ne retrouve plus en 1992. Pour répondre à cette question, nous avons reporté

l'occupation de la bande active de 1967 sur les photographies aériennes de 1992. Ceci a permis de voir qu'une partie de la bande active est occupée par des formations arbustives ou arborescentes que nous avons dénommées "ripisylve et stades arbustifs précurseurs de la ripisylve" (fig. 4, mention R2). La digitalisation de ces groupements a permis d'obtenir leur superficie (53 ha). Ceci signifie que, sur les 682 ha de bande active de 1967, 53 ha ont été convertis en ripisylve. Nous aurions pu inclure, dans la notion de bande active de 1967, les bancs végétalisés situés dans le lit fluvial qui ne font pas l'objet de cultures et qui sont uniquement parés d'une couverture herbacée ; nous pouvons constater que 101 ha des 458 ha de bancs recouverts en 1967 par une végétation herbacée ont été colonisés par la ripisylve et ses stades précurseurs (fig. 4, mentions B et R1). Le tableau 6 résume les changements d'affectation de ces différentes aires.

Le bilan de la période peut donc se résumer comme suit : en 25 ans, la bande active et les bancs recouverts d'une végétation herbacée ont connu une régression de leur superficie s'élevant respectivement à 13 % et à 14 %, et ce, au profit de la ripisylve et de ses stades précurseurs. Ce phénomène a déjà été observé par A.Schnitzler (1996) qui souligne l'extension des forêts alluviales de la Loire à l'ensemble du lit majeur où "elles sont imbriquées avec d'autres biocénoses (terrestres, amphibiens, aquatiques) du complexe alluvial".

Ces observations annoncent un phénomène de fermeture du système alluvial par envahissement par la ripisylve. Cette évolution n'est pas sans rappeler ce qui a été observé par P.Fagot *et al.* (1989) dans l'Ain, les auteurs attribuant cette métamorphose récente (entre 1954 et 1983) à des modifications de régime des débits (partiellement anthropique, suite à la présence de barrages) mais aussi à une baisse sensible de la charge de fond. Nous aurons l'occasion de discuter ce point après avoir envisagé l'évolution du lit de la Loire sur un secteur plus restreint mais suivi sur une plus longue période.

Évolution géomorphologique au site de la Crevée

Localisée sur la rive droite de la Loire, en amont de Decize, l'île de la Crevée s'étend principalement sur la commune de Charrin, une partie des francs-bords³ appartenant à la commune de Laménay-sur-Loire (fig. 2). L'île de la Crevée, d'une superficie d'environ 100 ha, est limitée dans sa partie méridionale par la Loire et, au nord, par un de ses anciens bras constitué de deux canches⁴.

² Cette définition n'est pas très éloignée de celle proposée par J.P. Bravard (1986) : "partie du lit en eau pour des débits compris entre le module et la crue de pleins bords et constituée de bancs alluviaux peu ou pas végétalisés, remaniés et rajeunis par des événements hydrologiques de fréquence moyenne à forte (entre la crue annuelle et la crue quinquennale)".

³ Le franc-bord est considéré comme une surface bordant le fleuve, régulièrement submergée et devenant par conséquent propriété de l'État.

⁴ La canche est une appellation locale d'un bras secondaire qui n'est plus accessible qu'aux eaux de crue. "Appelées également «vieilles Loires», «boires» ou «gours», les canches sont en fait des mares profondes et allongées rencontrées fréquemment parmi les champs de Val qui ne sont autres que des mouilles abandonnées dont le caractère d'ancien lit fluvial apparaît avec une particulière netteté" (Dion, 1961).

	1967	1992
Aire de la Loire (en ha)	289	425
Aire des grèves (en ha)	393	168
Aire de la bande active (en ha)	682	593

Évolution de 1760 à 1878

À partir de documents rassemblés et traités selon la méthode indiquée ci-dessus, l'évolution du fleuve au niveau de l'île de la Crevée a pu être retracée depuis 240 ans. La succession des différents passages de la Loire à l'île de la Crevée et la superposition des différents cours et chenaux sont représentées sur la figure 5. Etant donné la moindre précision des moyens techniques de l'époque, il convient d'interpréter les anciens documents avec précaution. Par ailleurs, dans notre comparaison, la largeur du lit du fleuve ne doit pas être prise en compte car ces différentes cartes ont été établies pour des hauteurs d'eau différentes. C'est donc davantage l'allure générale des différents tracés qui doit être retenue.

La carte de Cassini (1760, 1/20 000) montre tout d'abord une inversion des concavités des deux méandres par rapport à la situation actuelle. Elle confirme ensuite les observations réalisées sur le terrain, à savoir le passage d'un ancien chenal à l'emplacement actuel de la fruticée à *Prunus spinosa*.

Le cadastre levé par Charles Vedel (1827, 1/5 000), établi à grande échelle pour des raisons évidentes de délimitation fine des parcelles, garantit une bonne précision, laquelle se trouve d'ailleurs vérifiée par la correspondance exacte de points repères communs à d'autres documents plus récents. L'aspect le plus frappant de cette carte est sans doute la caractéristique insulaire à cette époque. En effet, l'île de la Crevée méritait bien son appellation d'île puisqu'elle était cernée alors par deux bras de même importance. Il est certes possible que l'auteur de ce cadastre ait voulu représenter une situation de hautes eaux mais cette démarche semblerait surprenante dans la mesure où les relevés de cadastre se réalisent habituellement à l'étiage afin que toutes les terres vouées à l'agriculture soient visibles. Il serait trop hâtif de

Tableau 4 – Évolution des superficies du fleuve, des grèves et de la bande active (entre 1967 et 1992).

Table 4 – Changes in the surface areas of the total channel system, sand bars and active channel system between 1967 and 1992.

notre part de prétendre que le secteur présentait un caractère insulaire tout au long de l'année, et ceci d'autant plus que ni la carte de 1760, ni même celle de 1852 ne le représentent. Nous pouvons cependant admettre que la volonté de C. Vedel de représenter ainsi la zone d'étude tient de la logique de visualiser un état relativement courant de la Loire à cette époque. Par rapport à la situation de 1760, on note une érosion latérale maximale de 350 m (soit plus de 5 m.an⁻¹ en moyenne) mais il convient de rester prudent car la carte de Cassini et le premier cadastre comportent trop de déformations géométriques pour qu'il soit possible de calculer un taux de migration latérale fiable (Gautier, com. pers.).

La comparaison de la carte des Ponts et Chaussées (1852, 1/20 000) avec la situation précédente, montre un bouleversement total. La notion d'île ne s'applique plus au territoire entier de l'île de la Crevée mais seulement à sa partie médiane. Le glissement des chenaux entre 1827 et 1852 montre une érosion latérale maximale de plus de 400 m (soit plus de 16 m.an⁻¹ en moyenne).

Nous excluons la carte d'Etat-Major (1878, 1/80 000) de notre analyse. Elle montre en effet un tracé quasi-rectiligne du fleuve à cet endroit, ce qui semble peu probable. Son imprécision découle certainement de la petite échelle à laquelle elle a été établie.

Différents témoignages corroborent notre analyse. Ainsi, dans ses récits du siècle passé, un prêtre de Saint-Hilaire-Fontaine (Anonyme, 1876) mentionne qu'il fut un temps où "la Loire coulait tout près du château de Laménay", alors qu'elle en est séparée aujourd'hui de plus de 750 mètres. Des témoignages plus récents permettent de mieux cerner

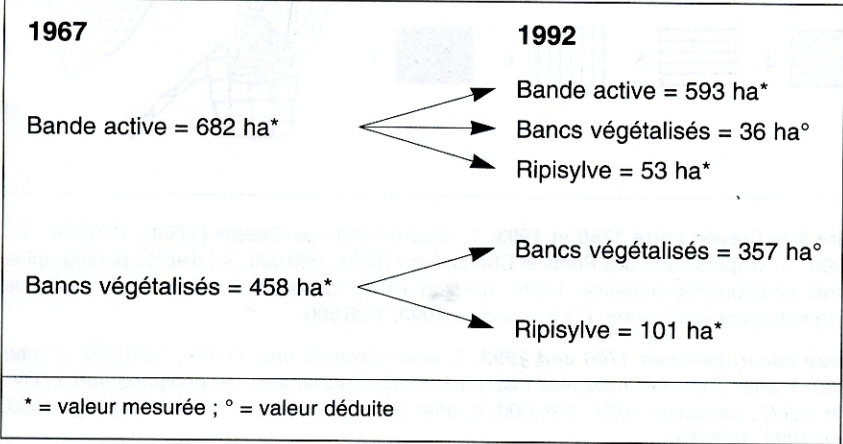
	1967	1992
Largeur (en m) dans les sinuosités	289	425
Largeur (en m) aux points d'inflexion	393	168

Tableau 5 – Évolution de la largeur de la bande active dans les sinuosités et les points d'inflexion mesurés pour dix méandres (entre 1967 et 1992).

Table 5 – Evolution of active channel breadths in bends and inflexion points measured for ten meanders between 1967 and 1992.

Tableau 6 – Changements d'affectation de la bande active et des bancs végétalisés.

Table 6 – Artificial changes applied to the active channel and channel banks.



combien, sur un territoire relativement restreint, la Loire a vu son cours se modifier, anéantissant tout ce qui s'offre à elle. Ainsi une maison d'habitation située sur le territoire de l'île de la Crevée se serait trouvée engloutie par la Loire vers les années 1930. Son four était encore visible à l'étiage dans les années 1950. Cette maison se trouverait actuellement ensevelie sous le sable, en face de l'île de la Crevée, au niveau de la rive gauche du fleuve.

L'évolution observée au cours de la période ancienne (1760-1852) montre une grande mobilité latérale du lit qui correspond aux grands épisodes de crues mais qui semble aussi se poursuivre ensuite. Ceci correspond aux observations de Y. Babonaux (1970) qui notait en de nombreux

endroits du Bourbonnais, un recul des berges d'une stupéfiante rapidité ; citant R. Dion, il signalait un recul des berges atteignant 5 m par an en moyenne depuis le XVIII^e siècle, un recul de 15 à 16 mètres entre 1850 et 1918 et, pendant la seule grande crue de 1872, jusqu'à 26 m.

Modifications récentes (1967-1993)

Si l'on compare la situation de 1967 avec celle donnée par la carte de 1852, nous pouvons noter que le glissement maximum des méandres atteint 370 m ($3,2 \text{ m.an}^{-1}$). Il se peut que d'autres modifications, aujourd'hui masquées, aient pu survenir dans ce laps de temps et qu'il s'agisse là

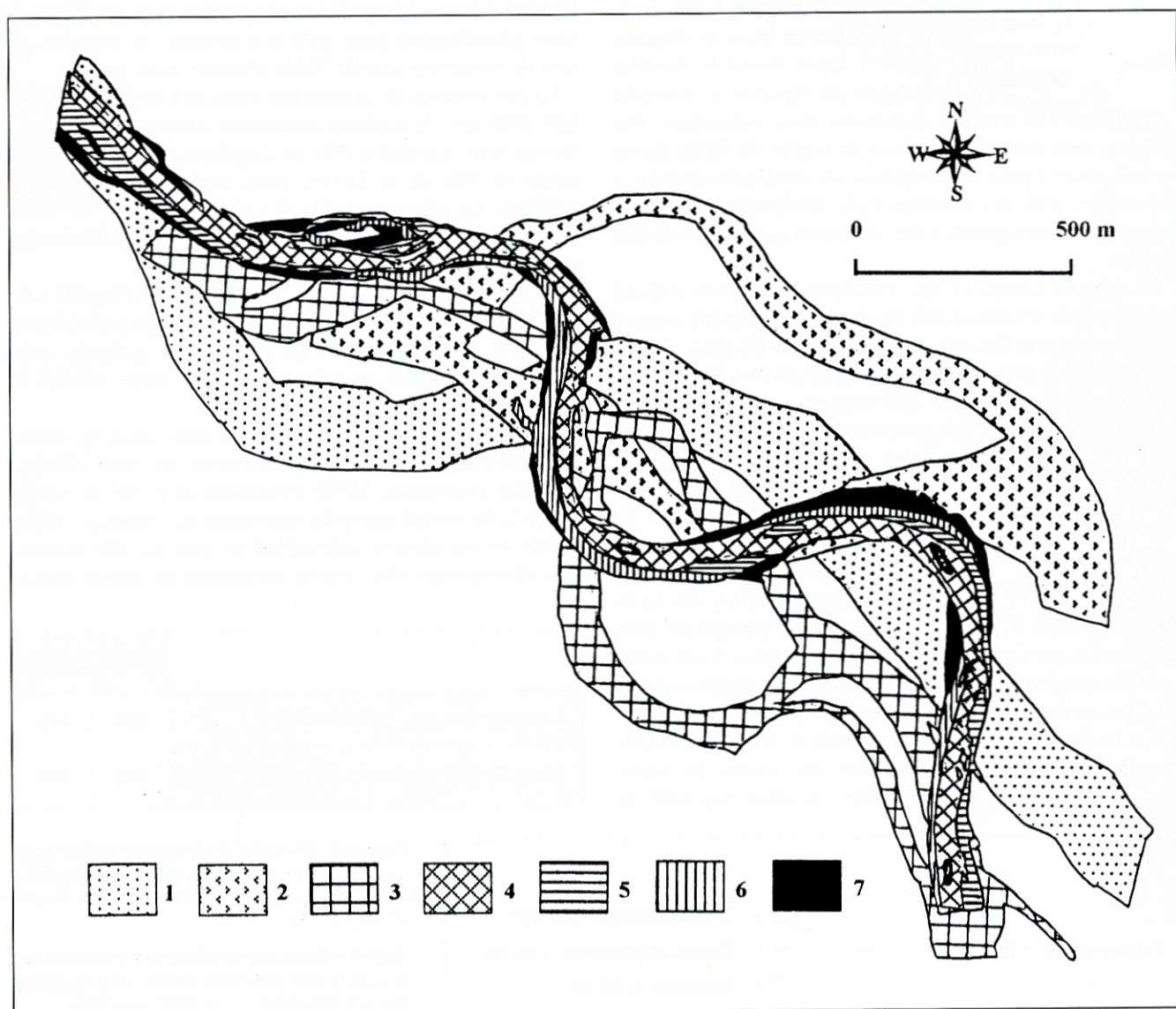


Fig. 5 – Modifications du tracé en plan de la Loire à la Crevée entre 1760 et 1993. 1 : d'après carte de Cassini (1760), 1/20 000 ; 2 : d'après cadastre levé par Charles Vedel (1827), 1/5 000 ; 3 : d'après carte des Ponts et Chaussées (1852), 1/20 000 ; 4 : d'après photographie aérienne, I.G.N., mission 1967, 1/25 000 ; 5 : d'après photographie aérienne, I.G.N., mission 1971, 1/25 000 ; 6 : d'après photographie aérienne, I.G.N., mission 1983, 1/25 000 ; 7 : d'après photographie aérienne, I.G.N., mission 1993, 1/25 000.

Fig. 5 – Planform variations of the Loire at Crevée island between 1760 and 1993. 1: after Cassini's map (1760), 1/20,000; 2: after cadastre established by Charles Vedel (1827), 1/5,000; 3: after Ponts et Chaussées map (1852), 1/20,000; 4: after aerial photograph, I.G.N., campaign 1967, 1/25,000; 5: after aerial photograph, I.G.N., campaign 1971, 1/25,000; 6: after aerial photograph, I.G.N., campaign 1983, 1/25,000; 7: after aerial photograph, I.G.N., campaign 1993, 1/25,000.

d'une sous-estimation. Toutefois, la comparaison des photographies aériennes récentes (de 1967 à 1993), laisse entrevoir une quasi-stabilité du méandre à la Crevée. Les modifications morphologiques du fleuve ne sont donc pas comparables à celles dont il a été fait mention ci-dessus, même s'il faut rester prudent quant à la précision des documents anciens. Toutefois, il convient de se pencher de plus près sur l'évolution et les modifications enregistrées ces dernières années (fig. 6). Pour des raisons de clarté, les représentations de la figure 6 se sont limitées à ne superposer les photographies aériennes que par paires (1967 et 1971, 1983 et 1993). D'autre part, les prises de vue n'ayant pas été réalisées pour des niveaux d'étiage similaires, il a paru judicieux, pour une superposition et une comparaison cohérente, de prendre en compte, non pas uniquement la largeur du fleuve mais la bande active dans son intégralité. D'une manière générale, la tendance se marque par un glissement de l'ensemble du méandre d'une cinquantaine de mètres vers l'ouest et par une accentuation de sa sinuosité. Ce mouvement global est évidemment responsable de la perte de plusieurs hectares du domaine, ce qui se visualise principalement au niveau de la rive située au sud-est.

Conclusion et discussion

Une diminution de près de 13 % de la superficie de la bande active du fleuve a pu être constatée sur le tronçon s'étendant de Bourbon-Lancy à Charrin, et ce, sur une période de 25 ans. Ce changement d'affectation s'est réalisé au profit de stades précurseurs de la ripisylve et de la ripisylve elle-même. Par ailleurs, une étude portant sur le dernier méandre du tronçon, l'île de la Crevée, et basée sur la comparaison du morphodynamisme durant des périodes anciennes et récentes a permis de constater une quasi-stabilité géomorphologique actuelle, résultant d'un ralentissement du dynamisme fluvial.

B. Bomer (1988) avait déjà noté que, depuis le milieu du XIX^e siècle, mais de façon plus affirmée depuis 1950, le lit de

la Loire avait tendance à glisser vers un gabarit réduit. L'auteur signale que le lit mineur actuel en amont du Bec d'Allier s'est réduit d'un tiers par rapport à ce qu'il était en 1949 et que les anciens bancs de sable sont devenus des îles boisées rattachées aux berges par oblitération des chenaux latéraux. Pour expliquer cette évolution, cet auteur avançait deux facteurs ; analysant la chronique des crues, il notait qu'elles s'étaient atténuées et raréfiées depuis les trois grandes crues du milieu du XIX^e siècle. Il notait également une tendance au creusement du lit, commencée discrètement à la fin du XIX^e siècle mais qui s'est accélérée depuis, cette incision résultant essentiellement des extractions en lit mineur.

Étudiant un secteur beaucoup plus vaste, E. Gautier *et al.* (2000) confirment ces modifications morphologiques, notant non seulement une réduction de la bande active mais également une diminution sensible du nombre de chenaux secondaires ; en aval du Bec d'Allier la moitié des îles existant en 1957 sont connectées depuis lors aux berges. Toutefois, ces auteurs nuancent les causes invoquées par B. Bomer (1988). En effet, les extractions de sédiments, récentes et de grande ampleur, semblent affecter principalement des secteurs situés plus en aval, comme l'avait d'ailleurs déjà noté Z. Gazowski (1994), bien que certains tronçons amont aient eux aussi subi une incision, mais beaucoup plus discrète, liée à des extractions (EPTEAU HORIZON, 1996). Par ailleurs, la contraction latérale de la bande active est un phénomène récent et ne coïncide pas avec la diminution de l'intensité des crues. Ceci s'accorde d'ailleurs avec les observations de Y. Babonaux (1970) qui, rappelons-le, observait encore des érosions latérales importantes après le début de ce siècle, à un moment où l'importance des crues avait nettement diminué. D'après E. Gautier *et al.* (2000), la métamorphose de la Loire résulterait bien plus de modifications des pratiques agricoles dans la plaine alluviale et dans ses annexes ; jadis les îles étaient en effet pâturées par du bétail et la ripisylve était régulièrement coupée pour des raisons diverses d'exploitation du bois

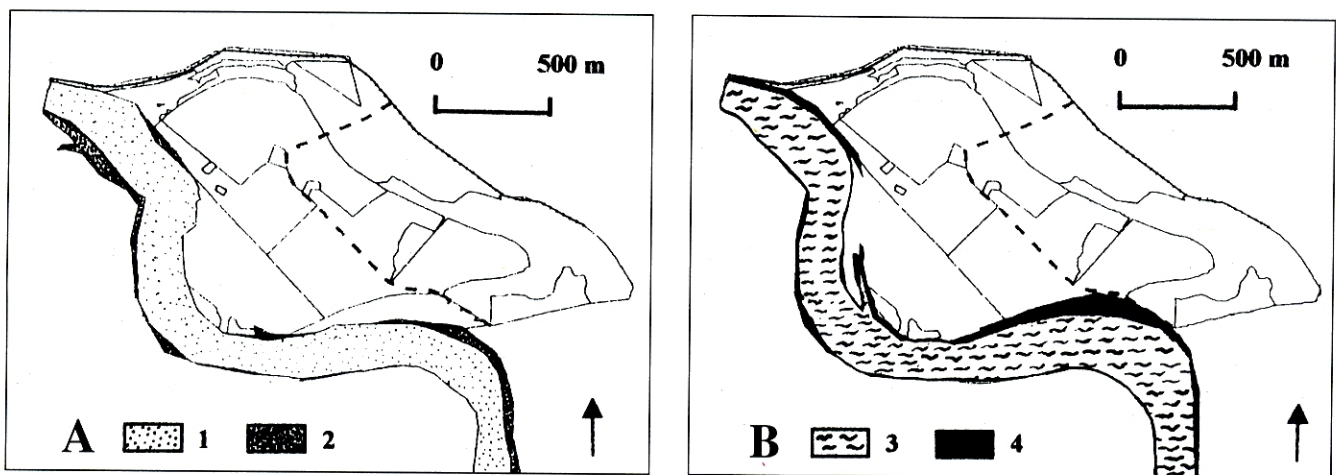


Fig. 6 – Modifications du tracé en plan de la Loire au niveau de l'île de la Crevée. A : de 1967 à 1971 ; B : de 1983 à 1993. Bande active : 1 en 1967, 2 en 1971, 3 en 1983, 4 en 1993.

Fig. 6 – Planform variations of the Loire at Crevée island. A : between 1967 and 1971 ; B : between 1983 and 1993. Active channel : 1 : in 1967, 2 : in 1971, 3 : in 1983, 4 : in 1993.

(notamment comme tuteur et ligature pour les vignes). Mais, toujours selon ces auteurs, le lit actuel en anabranches (en aval du Bec d'Allier), serait un type de lit hybride qui résulterait d'un héritage d'une période de grande activité hydrologique au cours de laquelle les crues étaient importantes et fréquentes (le Petit Âge Glaciaire), expliquant des transports de fond et des submersions plus fréquentes. La reforestation des bassins supérieurs de l'Allier et de la Loire aurait également contribué à réduire l'apport des sédiments contribuant à modifier les formes fluviales.

Pour le secteur étudié, il ne s'agit pas de système en anabranches ; il n'y avait initialement pas de tressage dans le chenal principal (ou alors il était à peine ébauché) et la métamorphose du lit est plus modeste. Tout comme E. Gautier *et al.* (2000) l'avaient observé par ailleurs, une fermeture du lit très nette s'opère. Toutefois, son importance et sa localisation diffèrent de celles mentionnées par ces auteurs car la fermeture, le long du secteur bourbonnais, s'opère principalement aux points d'inflexion, ce qui va à l'encontre de leurs observations, effectuées sur un style fluvial différent, qui montraient que la fermeture et la végétalisation affectait beaucoup plus les zones larges.

L'analyse du secteur de l'île de la Crevée montre que ce phénomène semble relativement récent, depuis quelques décennies seulement et non pas depuis la fin du siècle passé comme le disait B. Bomer (1988). Certes, l'effet des barrages écrêteurs a sensiblement réduit l'importance des crues et favorisé la fréquence de crues moins importantes mais ces dernières, vu la taille du matériel du lit, semblent encore être morphogènes. La fermeture du lit ne résulterait donc pas d'une moindre mobilité du matériel, d'autant plus qu'une diminution de la largeur de la bande active provoque, toutes choses étant égales, une augmentation de la puissance. Par ailleurs, comme nous l'avons évoqué précédemment, le déficit de charge lié à la présence des barrages ne peut être mis en cause, vu la distance qui les sépare du secteur étudié. Cette fermeture pourrait résulter d'un enfoncement lié à des extractions ; en comparant des lignes d'eau d'étiage levées respectivement en 1857 et en 1996, l'étude réalisée par la DIREN-EPTEAU-HORIZONS montre que le tronçon s'étendant de Diou à Decize (et qui englobe le tronçon que nous avons étudié) a été affecté par une incision de 1,2 m en moyenne attribuée aux extractions. Toutefois, une analyse détaillée des données montre que, dans la partie du tronçon que nous avons étudiée, cette incision se limite à 0,6 m, valeur qui, comme le souligne E. Gauthier *et al.* (2000), peut être considérée comme modérée vis-à-vis des incisions observées plus en aval ; notons également que nous ne sommes en possession d'aucune indication quant au caractère récent de ces extractions. Par contre, l'absence de grandes crues qui devaient remanier régulièrement la ripisylve et éviter sa prolifération, pourrait expliquer cette fermeture du lit.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier J.-P. Bravard et E. Gautier pour leurs remarques et suggestions apportées lors de la rédaction de cet article. L'un de nous (B.L.) tient à mention-

ner toute sa gratitude aux familles Lancien et Bailleau pour les informations fournies et l'accueil chaleureux offert.

Références

- Anonyme.** (1876) – *Cahier de la Fabrique, Paroisse de Saint-Hilaire-Fontaine*, 51 p.
- Babonaux Y.** (1970) – *Le lit de la Loire. Étude d'hydrodynamique fluviale*. Comité des travaux historiques et scientifiques, Bibliothèque nationale, Paris, 252 p.
- Berthois L.** (1972) – Les transports sédimentaires et l'érosion dans le bassin de la Loire. *Étud. Ligériennes*, 11, 50-69.
- Bomer B.** (1972) – Les îles de la Loire : évolution ou stabilité. *Études Ligériennes*, 11, 70-80.
- Bomer B.** (1988) – Confluences ligériennes : Loire et Allier, Loire et Vienne. *Bull. Association de Géographes Français*, 1, 23-29.
- Bravard J.P.** (1986) – La basse vallée de l'Ain : dynamique fluviale appliquée à l'écologie. In Roux, A.L. (Ed.), *Recherches interdisciplinaires sur les écosystèmes de la basse-plaine de l'Ain*. Documents de Cartographie écologique, 24, 17-43.
- Bravard J.P.** (1991) – La dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux : quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières ? *La Houille Blanche*, 7/8, 515-521.
- Bravard J.P. & Petit F.** (1997) – *Les cours d'eau : dynamique du système fluvial*. Coll. U, A. Colin, Paris, 222 p.
- Brossé R.** (1982) – *Les processus sédimentaires dans le fleuve Loire*. Thèse de doctorat, Univ. des Sciences et techniques d'Angers, 350 p.
- Dacharry M.** (1969) – Quelques remarques sur les parts respectives de la Loire et de l'Allier dans les débits de crues à Gien de 1955 à 1967. *Comité des travaux historiques et scientifiques, Bulletin de la section de Géographie*, 80, 383-396.
- Dacharry M.** (1974) – *Hydrologie de la Loire en amont de Gien*. Paris, N.E.L., 2 vol., 620 p.
- Dacharry M.** (1996) – Les grandes crues historiques de la Loire. *La Houille Blanche*, 6/7, 47-53.
- Dagnelies P.** (1973) – *Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques. La statistique descriptive et le fondement de l'inférence statistique*. Vol. I. Les Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux (Belgique), 362 p.
- Dion R.** (1961) – *Histoire des levées de la Loire*. Dion, Paris, 312 p.
- Dzana J.G.** (1997) – *Le lit de la Seine de Bar à Montereau ; étude morphodynamique, rôle des aménagements*. Thèse de doctorat, Univ. Paris I, 411 p.
- EPTEAU HORIZONS** (1997) – *Étude géomorphologique de la Loire entre Villerest et le Bec d'Allier*. Rapport intermédiaire, 55 p + annexes.
- Fagot P., Gadiolet P., Magne M. & Bravard J.P.** (1989) – Une étude dendrochronologique dans le lit majeur de l'Ain : la forêt alluviale comme descripteur d'une "métamorphose fluviale". *Revue de Géographie de Lyon*, 64 (4), 213-223.
- Gaillard M.** (1999) – *L'Aube : dynamique morphosédimentaire holocène et fonctionnement actuel d'un hydrosystème à faible énergie*. Thèse de doctorat, Univ. Paris IV, 238 p.
- Garcin M., Giot D., Farjanel G., Gourry J.C., Kloppmann W. & Negrel P.** (1999) – Géométrie et âge des alluvions du lit majeur de la Loire moyenne, exemple du val d'Avaray (Loir-et-Cher, France). *C.R. Acad. Sci. Paris. Sciences de la terre et des planètes*, 329, 404-415.

- Gasowski Z. (1994)** – L'enfoncement du lit de la Loire. *Revue de Géographie de Lyon*, 69,1, 41-45.
- Gautier E., Piégay H. & Bertaina P. (2000)** – A methodological approach of fluvial dynamics oriented towards hydrosystemic management: the Loire and Allier rivers case study. *Geodynamica Acta*, 29-43.
- Kellerhals R., Church M & Bray D.I. (1976)** – Classification and analysis of rivers processes. *American Society of Civil Eng, J. of Hydraulics Div. HY7*, 102, 813-829.
- Landon N. (1999)** – *L'évolution contemporaine du profil en long des affluents du Rhône moyen. Constat régional et analyse d'un hydrosystème complexe, la Drôme*. Thèse de doctorat, Univ. Paris IV, 560 p.
- Leteinturier B. (1997)** – *Étude et gestion d'un espace naturel ligérien : l'île de la Crevée*. Travail de Fin d'Études. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, 74 p.
- Leteinturier B., Agou P. & Malaisse F. (2000)** – Approche phytosociologique d'une portion de lit majeur de Loire bourbonnaise : l'île de la Crevée. *Belg. Journ. Bot.*, 133 (1-2), 103-118.
- Petit F. & Pauquet A. (1997)** – Bankfull discharge recurrence interval in gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, 685-693.
- Petit F., Perpinien G. & Deroanne C. (2000)** – Détermination des puissances spécifiques critiques dans des rivières à charge de fond caillouteuse. *Revue Géographique de l'Est*, 40,1, 59-65.
- Probst J.L. (1989)** – Hydroclimatic fluctuations of some european rivers, since 1800. In G. E. Petts (Ed.) *Historical Change of Large Alluvial Rivers, Western Europe*, John Wiley & Sons, 41-55.
- Schnitzler A. (1996)** – Les forêts alluviales des lits majeurs de l'Allier et de la Loire moyenne entre Villeneuve/Allier et Charité/Loire. Étude phytosociologique, diagnostic de naturalité et propositions de renaturation. In J.M. Gehu et F. Pedrotti (Eds.). *Documents phytosociologiques*, Nouv. Ser., Vol XVI, Università degli Studi, Camerino (Italie), 25-44.
- SOGREAH (1983)** – *La Loire et l'Allier en Bourgogne. Contribution à la connaissance de l'évolution des lits*. 70 p.
- Straffin E.C., Blum M.D., Colls A. & Stokes S. (1999)** – Alluvial stratigraphy of the Loire and Arroux rivers (Burgundy, France). *Quaternaire*, 10,4, 271-282.
- Wasson J.G., Bethemont J., Degorge J.N., Dupuis B. & Joliveau T. (1993)** – *Approche écosystémique du bassin de la Loire : éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion*. Phase 1 : État initial – problématique. CEMAGREF, 102 et 81 p.

Article reçu le 21 juin 2000, accepté le 15 novembre 2000