# Le tressage

## Les différents types de tressage

Les rivières en tresses sont caractérisées par des **chenaux multiples très mobiles** dans l'espace et dans le temps, **séparés par des bancs alluviaux ordinairement pas ou peu végétalisés** car les crues annuelles ou à peine plus rares arrachent régulièrement la végétation qui s'y développe (généralement une végétation pionnière herbacée ou arbustive).

Si les chenaux sont séparés par des **îles** de grande dimension et couvertes par des formations alluviales très végétalisées et stables dans l'espace et dans le temps, on ne parle généralement plus de tressage mais d'**anastomose** ou d'**anabranche** (voir chapitre correspondant).

Toutefois, certains auteurs considèrent qu'il s'agit encore de tressage si les îles sont séparées par des chenaux très mobiles, non méandriformes (SI < 1,5), larges et peu profonds et si l'altitude moyenne de la partie haute des « îles » reste inférieure à l'altitude de la plaine alluviale avoisinante.



Deux exemples de rivières en tresses. (a) Avec des bancs sans végétation (Nouvelle-Zélande). (b) Avec des bancs couverts de végétation, en limite du type « îles » (Platte river, Etats-Unis).

#### La différence entre les îles et les bancs est relativement aisée à faire.

Plusieurs critères permettent de distinguer les deux types de macroformes alluviales :

les îles sont généralement végétalisées par des strates arborées alors que les bancs, lorsqu'ils sont végétalisés, le sont par des espèces herbacées ou arbustives pionnières car fréquemment arrachées par les crues ;

■ les îles sont généralement stables dans l'espace et dans le temps alors que les bancs sont fréquemment remobilisés et se déplacent assez rapidement vers l'aval ;

enfin, le sommet des îles se situe au même niveau que celui de la plaine alluviale alors que les bancs sont généralement bien en dessous du niveau à pleins bords (sauf dans les secteurs à forte accumulation sédimentaire intra-lit moyen).



Un critère secondaire mais fondamental d'identification du style « en tresses » est la présence d'un **transport** solide grossier (*bed load*) très intense et observable.

Il arrive fréquemment que le cours d'eau ne présente qu'un chenal en eau en période d'étiage, voire se caractérise par l'absence totale d'écoulement dans le cas des oueds. Le tressage reste toutefois identifiable par la présence de talwegs et d'une importante quantité d'alluvions en transit dont les macroformes sont souvent distinguables sous forme de **bancs « lingoïdes »** (en forme de langue).



Deux rivières en tresses. (a) En basses eaux, (b) sans eau (oued).

Pour de nombreux auteur il y a tressage dès que l'on observe, sur une certaine distance, au moins deux chenaux séparés par des bancs alluviaux. On distingue simplement des intensités de tressage au moyen d'un indice de tressage (voir plus loin).



Ces deux photographies illustrent deux niveaux extrêmes d'intensité de tressage, largement dépendants de l'alimentation du cours d'eau en charge de fond et de l'érodabilité des berges. (a) L'Allier, (b) une rivière sur un sandur islandais.

# La délimitation de la bande de tressage ancien ou actif

Les perspectives de restauration de cours d'eau anciennement aménagés (ayant notamment fait l'objet d'endiguements) posent la question du cadre spatial dans lequel est susceptible de s'opérer la démarche de restauration. Il est préférable de délimiter *a priori* l'ancienne bande de tressage afin de se doter d'un référentiel spatial, quitte à ne mobiliser qu'une partie de l'espace dans la procédure.

Les actions de restauration peuvent concerner la réhabilitation d'anciens chenaux de tressage (pour améliorer

le transit des crues et augmenter la diversité biologique) et la restauration d'un espace de liberté/mobilité par la dépose de digues inutiles. Le premier type d'actions a été mis en œuvre de manière occasionnelle sur le Rhône à partir des années 1980 et de manière systématique à partir de 1997 dans le cadre du Programme décennal de restauration hydraulique et écologique du Rhône qui est maintenant incorporé dans le Plan Rhône (2006). La restauration de l'espace de mobilité, qualifiée dans le cas du Rhône de « redynamisation des marges » ou de ré-élargissement, a pour objectif de réduire les hauteurs d'eau des crues, en jouant sur la section d'écoulement, et de réhabiliter des milieux neufs et des formations végétales pionnières. L'énergie des crues sera le moteur de l'érosion et les premiers travaux ont commencé en avril 2009 dans le vieux Rhône de Donzère-Mondragon.

Figure 111





Les « îles de Miribel » (fleuve Rhône en amont de Lyon) lors de la crue de 1957 qui révèle la complexité du modelé de tressage « fossilisé » en arrière des digues.



Une cartographie sous SIG (figure 112) indique les limites de la « bande active historique » du Rhône en tresses dans le secteur de Montélimar. Cette carte sert de référence pour les opérations de réhabilitation des anciens chenaux et pour la « redynamisation » des marges fluviales, espaces en partie isolés par des digues depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Elle montre l'extension de la bande active telle qu'elle était en 1860, mais géoréférencée et projetée sur un fond topographique actuel. L'état de référence permet de comprendre l'évolution que le secteur a connue depuis un siècle et demi.

La bande de tressage du Rhône dans les environs de Montélimar en 1860 (CNR, Université Lyon II).



# La morphométrie des rivières en tresses

On décrit généralement pour le tressage beaucoup moins de paramètres morphométriques que pour les rivières à chenal unique.



Caractéristiques morphométriques des rivières en tresses.

# La largeur à pleins bords

Comme pour les rivières à chenal unique, on peut la mesurer **sur le terrain** en prenant la largeur avant débordement dans la plaine alluviale.

Il est cependant beaucoup plus aisé (et presque aussi précis car on peut réaliser plus de mesures) de la mesurer sur photographie aérienne en prenant comme référence la largeur du lit moyen de tressage pas ou peu végétalisé (ou bande active). La mesure se fait perpendiculairement à l'axe moyen de la bande active. Il convient de toujours réaliser plusieurs mesures au sein d'un tronçon géomorphologique homogène et d'en faire une moyenne tant la largeur de la bande active peut varier spatialement.



Mesure de largeurs à pleins bords (largeur de la bande active).

Certains auteurs décrivent, en plus de la largeur de la bande active, une largeur de « corridor actif », qui peut être la même ou inclure des chenaux non intégrés à la bande active. Cette mesure est surtout pertinente pour les rivières à « anabranches » dont nous reparlerons.

# Le coefficient de sinuosité de la bande active

On peut utiliser pour le mesurer la méthode des longueurs ou la méthode des pentes (*cf.* chapitre précédent) en prenant comme référence l'axe moyen de la bande active.

# Un lit moyen presque toujours subrectiligne

D'une manière générale, on observe que le lit moyen **des rivières en tresses est presque toujours rectiligne** ou subrectiligne (SI < 1,1 voire 1,05), même si les structures des versants de la vallée peuvent parfois se traduire par des sinuosités. Cette rectitude du tracé du lit moyen est liée au fait que la rivière cherche à obtenir la pente maximale (qui est la pente de la vallée) pour garantir au mieux l'évacuation de la charge alluviale provenant de l'amont.

Lorsque ce n'est pas le cas, c'est qu'il ne s'agit plus vraiment de rivières en tresse et que l'on passe progressivement aux rivières les moins sinueuses (et les plus actives) du style « méandriforme ». Cette transition se fait souvent par le passage au style « vagabond » (*wandering*) puis au méandrage.







Coefficient de sinuosité de la bande active : 1,01 (Nouvelle-Zélande).

## Des chenaux élémentaires sinueux

Si le lit moyen (la bande active) est toujours très rectiligne, les chenaux élémentaires sont souvent sinueux, voire très sinueux (jamais méandriformes, car on passe alors au style anastomosé). Les paramètres morphométriques des rivières à chenal unique peuvent donc éventuellement être mesurés pour ces chenaux élémentaires (SI, longueur d'onde, amplitude, etc.).

## Souvent un chenal dominant

On observe sur la plupart des rivières en tresses un chenal principal ou dominant (parfois deux), qui peut lui aussi être très sinueux, et un nombre plus ou moins important de chenaux secondaires mis en eau en fonction des débits.



On observe à l'étiage souvent un, voire deux chenaux dominants et des chenaux secondaires plus petits et qui ne sont mis en eau que pour des débits plus élevés (al la Drôme, bl l'Asse).

Il semble qu'un chenal très largement dominant et très sinueux soit indicateur d'une transition spatiale ou temporelle vers un style vagabond (*wandering*) puis probablement sinueux à chenal unique. Il s'agit souvent d'une métamorphose contrôlée par une réduction du volume de la charge de fond en transit (réduction naturelle des entrées sédimentaires ou rétention de la charge dans un réservoir).



Exemples d'apparition d'un chenal de tressage nettement dominant et très sinueux sur deux tronçons de la Durance probablement en cours de métamorphose fluviale (effets de la réduction drastique des apports solides grossiers : barrage amont et extractions locales de matériaux alluvionnaires pendant des décennies).

L'exemple de la figure ci-dessus montre qu'il s'agit probablement d'un cours d'eau (la Durance) en phase de transition vers un style sinueux à chenal unique dont les entrées en charge de fond sont aujourd'hui réduites. Noter également la colonisation de la marge de la bande active par la forêt alluviale.

## Profil en travers type

Nous rappelons que les rivières en tresses sont larges et peu profondes, ce qui se traduit par un rapport largeur/profondeur généralement supérieur à 50, voire 100. Cela se transcrit donc aussi dans le fait qu'à débit morphogène équivalent (ou à superficie équivalente de bassin versant) les rivières en tresses sont **souvent 5, voire 10 fois plus larges** que les rivières sinueuses à chenal unique. C'est une des raisons pour lesquelles **les ponts sont beaucoup moins fréquents sur les rivières en tresses que sur les rivières à chenal unique**.

Le profil en travers « type » d'une rivière en tresses présenté ci-dessous, dans l'axe des points codés W2 et IT2 sur la figure 113, montre que les divers chenaux élémentaires de tressage se situent à des altitudes différentes et, par conséquent, se mettent en eau progressivement, en fonction des débits entrants.



Profil en travers « type » d'une rivière en tresses. En haut à l'échelle 1:1, en bas exagération des hauteurs d'un facteur 5. Le rapport largeur/profondeur à pleins bords (trame bleu clair) est de l'ordre de 100. Noter la mise en eau différentielle des chenaux en fonction du débit (cf. ci-après : calcul des indices de tressage).



# Les indices de tressage

De nombreux indices de tressage ont été proposés depuis plus de 40 ans, dont la plupart sont présentés ci-dessous. L'idéal est d'en calculer les valeurs par tronçon homogène.

Deux approches principales sont possibles :

■ la mesure du nombre de chenaux actifs le long de transects perpendiculaires à l'axe du lit moyen : c'est l'indice de tressage (Brice, Howard, Ashmore) ;

■ la mesure d'un linéaire total de chenaux rapporté à la longueur de la bande active, c'est l'indice de longueur (Hong *et al.*, Mosley, Richards).

Tableau 7 Les divers indices de tressage.

Auteur	Indice
Brice (1960, 1964)	Indice de tressage : 2 (somme des longueurs de tous les bancs et île du tronçon)/longueur dans l'axe de la bande active
Howard <i>et al.</i> (1970)	Indice de tressage : (nombre moyen de chenaux actifs par transect) - 1
Ashmore (1991)	Indice de tressage : nombre moyen de chenaux actifs par transect
Hong et Davies (1979), Mosley (1981), Richards (1982)	Indice de longueur : longueur cumulée des chenaux élémentaires/lon- gueur de la bande active

L'indice de tressage le plus simple que nous préconisons est le nombre de chenaux par transect (Ashmore, 1991).

**A ttention.** Le problème majeur de ces indices est que leur mesure, que ce soit le nombre ou le linéaire de chenaux, est fortement dépendante du débit au moment de l'observation (voir figures 118 et 119). En étiage profond on pourra ne mesurer qu'un chenal, un débit un peu plus fort en fera fonctionner deux supplémentaires, etc., et à pleins bords il n'y aura à nouveau plus qu'un seul chenal sur toute la largeur du lit moyen.



On conçoit bien sur l'image ci-dessus, représentant le collage de photos du Brahmapoutre prises à deux époques différentes, que l'indice de tressage est fortement dépendant du débit d'observation.



Dans l'exemple suivant, les auteurs utilisent l'évolution des indices de tressage sur différents tronçons du Brahmapoutre pour en déduire l'intensification ou la réduction des apports solides. Selon ces auteurs, une augmentation indique une augmentation des apports solides et une réduction indique la tendance inverse. Toute la question est donc de savoir si les mesures ont bien été réalisées pour un débit équivalent. Dans le cas contraires l'évolution des indices pourrait ne refléter... que des débits différents.



Evolution des indices de tressage sur différents tronçons du Brahmapoutre. (a) Vue en plan, (b) graphe, des indices de tressage (Thorne et al., 1993.)

Notons que, comme pour les rivières à chenal unique, il existe une loi générale de proportionnalité des processus et des formes des rivières en tresse, ce qui permet, entre autres, d'utiliser des modèles réduits pour tenter de mieux comprendre leur fonctionnement.



Exemples de formes identiques de rivières en tresses (ici plutôt à « anabranches ») de tailles très différentes et résultats d'une expérimentation sur modèle réduit (Sapozhnikov et Foufoula, 1999).

# La genèse du tressage

Les conditions de développement du tressage sont en partie identifiées, mais des débats existent encore dans la communauté scientifique.

Deux conditions principales semblent cependant faire l'unanimité, les conditions secondaires n'étant pas partagées par l'ensemble des chercheurs du domaine.

#### Deux conditions majeures

#### Une charge de fond surabondante

Le tressage est symptomatique d'une « surcharge » alluviale par rapport à la capacité moyenne de transport fournie par le produit « pente de la vallée x débit » c'est-à-dire, la puissance maximale que peut développer le cours d'eau pour des épisodes de crue fréquents (concept de débit morphogène). Nous avions d'ailleurs fait ci-dessus le constat que les rivières en tresses étaient subrectilignes : il s'agit en fait d'un ajustement du tracé en plan permettant de générer la puissance la plus importante pour transporter la charge alluviale, cette puissance maximale étant atteinte si le cours d'eau établit une pente proche de celle de la vallée. Ces « surcharges », dépassant la capacité de transport, causent les premiers dépôts, lesquels conduisent peu à peu au tressage complet. La concentration de ces dépôts sous forme de bancs médians favorise la divergence des écoulements vers l'extérieur du lit, l'érosion des berges et l'élargissement progressif du lit moyen, qui est l'une des conditions majeures de développement du tressage (figure ci-dessous).



La genèse du tressage selon les expérimentations sur modèle réduit de Leopold et Wolman (1957).

Si la surcharge alluviale n'est que locale, par exemple au droit d'un élargissement brutal de la vallée, ou d'une réduction locale de la pente, le tressage n'est également que local. Si les puissances maximales sont partout inférieures à celles qui permettent le transport régulier des apports solides provenant de l'amont, le tressage est généralisé.

Inversement, si le tressage est généralisé, un rétrécissement brutal de la vallée engendre une augmentation des capacités de transport à pleins bords et une incapacité pour le cours d'eau d'élargir son lit (voir seconde condition du tressage ci-après). Le tressage disparaît temporairement.





(a) Apparition d'un tressage local au droit d'un élargissement de la vallée et inversement, (b) disparition d'un tressage généralisé sous l'effet d'un rétrécissement ponctuel. On comprend ici le rôle essentiel de la largeur du fond de vallée comme variable de contrôle des processus géodynamiques et des morphologies qui en résultent (est des Andes, Bolivie).

**NB** Signalons que pour Leopold et Wolman (1957), le tressage n'est pas un indicateur d'une charge solide excessive mais est lié à un manque de compétence (granulométrie des alluvions excédant la capacité de transport du cours d'eau).

#### Des berges facilement érodables

Des berges composées de matériaux faciles à éroder sont nécessaires au développement du tressage dont on a vu qu'il nécessitait, pour se développer pleinement, un lit large et peu profond. En effet Yalin et Da Silva (2001) a montré que dès lors que le rapport largeur/profondeur devient élevé (sans fixer de valeur précise), les turbulences (*bursts*) deviennent plus nombreuses dans les sections d'écoulement et génèrent non plus des bancs alternés mais des bancs multiples. De plus, la probabilité que se développent des zones de dépôt ponctuel de la charge solide est plus importante dans un « lit moyen » large que dans un « lit moyen » étroit. Si les berges sont très cohésives (ou protégées artificiellement, voir ci-dessous), les dépôts sous forme de bancs alternés sont rapidement transportés plus loin par des petites crues, ce qui ne permet pas leur croissance ni le dépôt des apports supplémentaires. Le tressage ne se développe pas.



(a) Disparition du tressage sous l'effet d'un endiguement étroit (la Drôme aval); (b) réapparition brutale du tressage à la fin d'une portion chenalisée (Rhône amont en Suisse). Sur les deux photos l'écoulement se fait de droite à gauche.

Dans le même esprit, on observe sur la figure ci-dessous la réapparition d'un tressage localisé à la suite d'un programme de restauration sur l'Emme (Suisse) ayant permis la suppression locale de protections de berges.





a- b- © C. Hermann, Bhateam

Restauration localisée d'un tressage actif sur la Thur (Suisse). L'élargissement brutal se traduit par une réduction locale des forces tractrices et le dépôt d'une partie de la charge de fond en transit.

Mackin (1956) attribue une séquence de **segments à « méandres-tresses-méandres »** à des variations de la stabilité des berges liées à la présence de végétation et à la **séquence forêt-prairie-forêt.** Autre exemple, la Turandui (Nouvelle-Zélande) est passée du tressage au méandrage suite à la plantation de saules sur les berges (Nevins, 1969).

Notons de plus que l'érosion des berges, qui favorise l'élargissement du lit et donc le développement d'un tressage « optimal », injecte en permanence une quantité importante de charge solide supplémentaire, dans un lit qui est déjà en « surcharge ». C'est une **boucle de rétroaction positive** qui pérennise voire amplifie le développement du tressage.

## Les conditions secondaires

#### Un débit très variable

Des fluctuations rapides de débit sont souvent associées à de forts taux d'apports solides. Elles contribuent à l'érosion rapide des berges et à des mouvements irréguliers de la charge solide (vagues) qui conduisent à la formation des bancs (macroformes), qui sont des zones de dépôt temporaire de la charge alluviale en transit. **Cette variabilité de débit n'est cependant pas un paramètre essentiel du tressage** dans la mesure où ce style fluvial a pu être reproduit en laboratoire sous des conditions de débit stable.

#### Une pente ou une puissance forte

Une forte pente est considérée comme un paramètre essentiel du tressage mais le véritable facteur semble être en réalité la **puissance du cours d'eau.** Inversement, c'est l'apport de charge qui commanderait l'accroissement de la pente nécessaire à son transit vers l'aval. La pente serait alors une conséquence et non pas la cause du tressage.

S'il est vrai qu'une rivière en tresses doit être suffisamment puissante pour éroder ses berges et atteindre la forte mobilité du lit indispensable au tressage, il est clair aussi que cette puissance doit être relativisée par rapport à l'érodabilité des berges et à la granulométrie de la charge de fond transportée.



# La dynamique du tressage

#### Erosion latérale ou fossilisation des marges

Comme les rivières sinueuses ou méandriformes, les rivières en tresses connaissent des processus d'érosion latérale tant au niveau des bancs de tressage eux-mêmes qu'au niveau des berges au contact de la plaine alluviale. Nous avons d'ailleurs signalé que l'érosion intense des berges était l'une des conditions majeures de développement du tressage.

Les érosions s'exercent principalement au droit des chenaux actifs pendant les crues. On voit d'ailleurs sur les photos ci-dessous des anses d'érosion importantes, au **tracé en festons**, le long de chenaux qui ne sont plus nécessairement actifs (voire secs) lors des débits moyens ou faibles. C'est l'une des difficultés de la prévision des risques d'érosion sur ce type de cours d'eau, l'érosion latérale pouvant se produire n'importe où le long de la bande active.



L'érosion latérale « en festons » sur les rivières en tresses. (a) Rivière d'Islande, (b) l'Asse.

# Evolution du fond

L'un des attributs des rivières en tresses est de posséder une **importante épaisseur de sédiments au niveau de la bande active**, liée à son abondante charge alluviale de fond. Lors des crues, il a été fréquemment constaté que ce **fond alluvial pouvait être mobilisé sur une forte épaisseur** (plus de 15 m sur le Brahmapoutre par exemple, mesure faite par échosondeur), notamment dans le cadre du processus de migration des macroformes.

Lorsque cette évolution verticale intense se produit le long des berges, les processus d'érosion latérale sont aggravés et les structures de protection deviennent inefficaces car elles se trouvent perchées au-dessus du fond actif et sont affouillées par dessous (sous-cavage).

Ce constat empirique avait probablement été fait très anciennement par certains ingénieurs de la région des Alpes du Sud où l'on observe, le long de plusieurs rivières en tresses (comme le Var aval, l'Esteron, l'Asse) des digues en béton sur le parement desquelles ont été déposés régulièrement des parallélépipèdes, en béton eux aussi, qui glissent lors des crues sous l'effet de la gravité lors de l'abaissement du lit moyen et viennent tapisser le pied des digues et éviter leur sous-cavage. Il suffit d'en remettre lorsque le stock est épuisé. Si l'esthétique laisse à désirer... l'efficacité semble être au rendez-vous.

Ce dispositif reprend la vieille technique des « coffres » et des « arches » appliquée le long de rivières en tresses comme l'Arve ou le Drac : la souplesse des structures en bois, analogues aux gabions modernes, permettait d'éviter leur destruction au profit de leur déformation.



Exemple de protections en « sucres » de béton, qui glissent le long des digues pour tapisser leur pied et éviter leur sous-cavage lorsque le fond du lit s'abaisse durant les crues.

## Avulsion

Le processus d'avulsion consiste en un changement, souvent brutal, du tracé d'un cours d'eau sur **un linéaire important.** Il se différencie en cela des processus d'érosion des berges ainsi que des processus de recoupement de méandres (par tangence ou déversement) qui sont beaucoup plus localisés.

L'avulsion est un phénomène caractéristique des rivières en tresses et des torrents sur leur cône torrentiel. On observe cependant aussi des avulsions sur les rivières à méandres, notamment au droit de leur confluence ou de leur delta.

D'une manière générale, le processus d'avulsion est lié à une sédimentation importante, favorisant un profil en travers « en toit » de la vallée ou tout au moins d'une partie importante du lit majeur.

Lors de certains épisodes hydrologiques à fort transport solide, le chenal principal peut basculer d'un côté de la vallée à l'autre, sur des distances et des linéaires considérables, notamment si le chenal principal est brutalement obstrué en tout ou partie par une masse alluviale importante.

Ces avulsions peuvent être d'ampleur locale (jusqu'à quelques kilomètres) ou régionale (jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres).



Les deux grands types d'avulsions locales ou régionales (d'après Stouthamer, 2001).



## Exemple d'avulsion régionale

L'avulsion du Brahmapoutre au XIX<sup>e</sup> siècle est la plus connue et probablement la plus spectaculaire (figures ci-dessous). Cette avulsion majeure (près de 200 km de tracé abandonné) est liée à des apports massifs mais progressifs de sédiments ainsi qu'à des mouvements tectoniques de grande ampleur dans la plaine du Gange.

Le Vieux Brahmapoutre, qui était le tracé en tresses principal au XVIII<sup>e</sup> siècle, est aujourd'hui une rivière à méandres actifs, encore alimentée par le Brahmapoutre actuel.



L'avulsion historique du Brahmapoutre. (a) Bristow, 1999, (b) Google Earth. Le Vieux Brahmapoutre (lit principal du XVIII<sup>e</sup> siècle) est à l'est sur la photo.

En dehors de cet exemple particulièrement spectaculaire, de nombreuses avulsions locales se produisent régulièrement partout dans le monde, tant sur de petites que de grandes rivières.

#### Exemples d'avulsions locales

L'avulsion de la Rivière des Ha Ha (rivière sinueuse à chenal unique) au Québec (INRS, 1997) s'est traduite par un contournement d'une chute rocheuse (la Chute à Perron) de plusieurs dizaines de mètres de hauteur. Un nouveau chenal, large d'environ 75 m (contre 20 pour l'ancien lit), s'est creusé à l'est de la chute, sur environ 500 m avant de rejoindre l'ancien lit de la rivière en aval. L'érosion régressive du nouveau chenal a entraîné l'incision du lit de la rivière en amont de la Chute (érosion régressive) sur environ 2 km, jusqu'à ce qu'elle atteigne des matériaux plus résistants. L'incision a dépassé les 30 m en certains endroits.



Exemple d'avulsion locale sur la rivière des Ha Ha au Québec (INRS, 1997).

Perignon (2007) évoque le rôle aggravant de seuils de moulins (*mill dams*) dans le processus d'avulsion locale de la Suncook (New Hampshire, Etats-Unis), celle-ci ayant été favorisée par le sur-exhaussement alluvial du lit en amont de ces ouvrages piégeant la charge grossière.





Avulsion locale de la Suncook (nouveau lit en bleu clair), probablement liée à un exhaussement du lit mineur en amont d'un seuil de moulin (Perignon, 2007).

La figure ci-dessous montre aussi le caractère parfois récurrent des processus d'avulsion. Sur la photo (a), une avulsion a déjà manifestement eut lieu puisqu'un ancien tracé est visible au nord de l'image et le cours principal est au sud. Sur la photo (b), le cours principal de la rivière s'est réinstallé au nord et l'ancien cours semble bouché en amont.



Exemple d'avulsions récurrentes sur une rivière active et à fort transport solide (style fluvial en limite tressage/anabranches) (Madagascar, région de Tuléar). La photo (a) est une photo Google Earth de 2004, la photo (b) est une photo de 2009.

## Evolution spatiale et temporelle : des métamorphoses holocènes

Des modifications du tressage peuvent être liées à des variations de l'un ou plusieurs des paramètres de contrôle sus-décrits. La modification des apports solides est cependant celle qui donne les résultats les plus spectaculaires.

#### Des méandres aux tresses

Les crises hydroclimatiques de la période holocène, aggravées par l'augmentation de la vulnérabilité des versants défrichés, ont été favorables aux métamorphoses de type « méandrage vers tressage » sur un même cours d'eau, lorsque l'augmentation des apports solides grossiers était significative et lorsque la puissance des cours d'eau permettait la propagation des « vagues » sédimentaires.

La figure 133 (Bravard et al., 2005) représente un secteur de la plaine alluviale du Rhône près de Péage-de-Roussillon (40 km au sud de Lyon). Les marges de la plaine possèdent de très belles « cicatrices » de méandres et les datations radiocarbone ont permis de montrer que ces méandres ont été recoupés à l'époque gallo-romaine pour la plupart. On voit également (en bleu) l'extension de la bande active du Petit Âge Glaciaire, qui correspond à la période de fort transport solide, de stockage sédimentaire et de métamorphose. En bleu clair, une ancienne bande de tressage abandonnée par avulsion, ce qui illustre un des points précédents.







Juxtaposition de styles fluviaux qui illustre une métamorphose du Rhône survenue au Petit Âge Glaciaire (Bravard et al., 2005).

L'ampleur fut telle en Chautagne que la « vague » sédimentaire fossilisa le paysage ancien sous la nappe de galets, y compris les installations tardives (VII<sup>e</sup> siècle) de la ville de Condate et même une forêt du VII<sup>e</sup> - VIII<sup>e</sup> siècles dans un ancien méandre du Rhône. La figure ci-après montre des souches enracinées dans le limon de remblaiement de l'ancien méandre de La Malourdie.



Souches de la forêt fossile d'un ancien méandre de Chautagne exhumées de la nappe de galets du Petit Âge Glaciaire.



Les styles fluviaux du Rhône (a) au Moyen Âge et (b) vers 1860 (Bravard, 2010).

La figure 135a (Bravard, 2010) suggère que l'ensemble du cours du Rhône (dans son cours français) avait adopté un style à méandres au Moyen Âge puisque les traces de méandres de cette époque, ou plus anciens (gallo-romains), sont encore visibles dans le lit majeur actuel au cœur même des Alpes (Chautagne), dans la région lyonnaise et sur le cours aval. Ce style a correspondu à une longue période de calme hydro-climatique (débits de crue probablement réduits, faible ampleur de l'érosion des versants et donc des apports solides grossiers).

La figure 135b montre le style fluvial du Rhône français dans les années 1860, avant les grands travaux d'endiguement généralisé. Les tresses les plus développées étaient localisées immédiatement à l'aval des apports affluents les plus importants (Arve, mais les gorges du Rhône ne permettent pas l'expression du tressage avant Seyssel ; Fier, Guiers, Ain ; puis affluents drômois et ardéchois, avant les apports de la Durance). Le Rhône tresse à cette époque sur l'essentiel de son cours, jusque dans son delta, le petit gravier arrivant à la mer par le Grand Rhône. Les tronçons sans tresse ou à tresses réduites correspondent à des secteurs trop à l'aval des apports solides des affluents pour être influencés au même titre que les précédents.

#### Des tresses aux méandres ou aux lits à chenal unique et sinueux

Si les apports sédimentaires sont réduits pour diverses raisons (stabilisation anthropique des versants, modification climatique, interruption ou réduction du flux solide par un barrage), on observe, à plus ou moins long terme, des modifications importantes des caractéristiques morphologiques.

Un débat intéressant est celui de connaître les processus qui sont à l'origine de la métamorphose de type « tressage > méandrage ».

La plupart des études réalisées dans les Alpes mettent au premier plan le reboisement de la montagne, notamment les périmètres RTM (Restauration des Terrains de Montagne) et la reforestation spontanée suite à la déprise agro-pastorale liée à la dépopulation rurale enregistrée depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et singulièrement après la 1<sup>re</sup> Guerre mondiale.



Des travaux récents nuancent ce schéma dans la mesure où des bassins non traités par la RTM ont connu des processus analogues, voire plus précoces. Par exemple, le haut Diois oriental a connu une colonisation arborée (pins sylvestres) de la bande active de ses cours d'eau dès les années 1870, dans une phase de répit hydrologique. Il est tentant de voir dans cette contraction du tressage des hauts bassins un processus analogue à celui décrit pour les cours d'eau dans le courant du XIX<sup>e</sup> siècle : la causalité climatique primerait sur la causalité anthropique. En d'autres termes, le reboisement volontariste des versants n'aurait fait qu'accompagner une évolution sous contrôle naturel. Le processus initial le plus fréquent de la métamorphose fluviale « tressage > méandrage » est sans conteste l'enfoncement du lit dans ses anciennes alluvions de tressage. Les chenaux secondaires ont alors tendance à s'assécher et à se combler de fines. Le lit moyen se végétalise, ce qui favorise la concentration de l'écoulement de crue dans un chenal principal. Le style fluvial devient progressivement sinueux et à chenal unique. De tels processus ont été bien analysés sur les cours d'eau des Alpes du Sud, comme la Drôme, le Roubion, la Durance et ses affluents.

Le changement morphologique des rivières en tresses par réduction naturelle ou artificielle (barrages) de la charge de fond est un phénomène très largement répandu (revoir la figure 10). Ce changement est rarement abrupt, mais passe par des phases de modification progressive du modèle pour arriver au style sinueux voire méandriforme. Le style vagabond (*wandering*) est considéré comme un bon indicateur de cette métamorphose tressage/méandrage, qu'elle soit spatiale (entre l'amont et l'aval d'un cours d'eau par exemple) ou temporelle. Généralement, le chenal principal commence à devenir sinueux et augmente de plus en plus sa capacité d'écoulement par enfoncement et assèchement progressif des bras secondaires.

Le Rhône en Chautagne (Klingeman *et al.*, 1994) fournit un exemple démonstratif de cette dynamique sous contrôle d'aménagements (figure 136).



Métamorphose du Rhône en Chautagne (Savoie-Ain) sous l'effet d'aménagements hydrauliques. Trois états : 1860, 1980 et 1984. Fond de 1860 pour 1980 et 1984. (Klingeman et al., 1994).

En 1980, la métamorphose est quasiment acquise au profit d'un lit sinueux et s'achève avec la mise en eau de l'aménagement à dérivation de la CNR (barrage-retenue de Motz, canal de dérivation avec l'usine d'Anglefort et vieux Rhône). Les facteurs en sont les suivants :

 la construction de digues longitudinales qui contraignent la bande active à partir des années 1780 (non représentées sur la figure);

la construction de barrages avec retenues à partir de 1902 sur le Fier aval et de 1925 sur le Rhône amont. L'ouvrage de Génissiat bloque totalement la charge grossière depuis 1948 ;

des prélèvements de graviers en lit mineur depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle et jusqu'au début des années 1980;

la construction du barrage de Motz et la mise en service de sa retenue qui ne permet plus le transit longitudinal de la charge de fond.

