

Typologies et sectorisation

119

- 120 ■ Notions générales
- 124 ■ Quelques exemples de typologie
- 135 ■ Méthodes de sectorisation et de typologie proposées
- 139 ■ Une typologie particulière : la typologie des faciès d'écoulement

Qu'est ce qu'une typologie ?

Trois concepts assez proches sont souvent employés dans la même acception «typologique» (Newson *et al.* 1998) :

- **la classification**, qui est une méthode générale permettant de regrouper des entités sur la base de similarités (Bailey, 1994) ;
- **la taxonomie**, qui est une procédure empirique objective permettant de placer des individus dans des types sur la base d'attributs mesurés. Cette procédure passe généralement par l'utilisation d'une clé de détermination. Elle nécessite de définir des variables de discrimination, de les hiérarchiser, de définir des seuils précis pour les modalités de ces variables ;
- **la typologie**, qui est une approche conceptuelle basée sur un découpage subjectif en classes. La méthode typologique est apparentée aux analyses multivariées dites discriminantes, où le chercheur définit des types *a priori* et les valeurs des variables permettant de discriminer ces types. Des individus « typiques », réels ou fictifs, constituent alors des « noyaux durs » auxquels viennent s'agglomérer tous les autres individus en fonction de leur degré de similitude avec l'individu-type.

Sur la base de ces définitions, nous considérerons que le terme de classification est un terme générique, les méthodes d'élaboration pouvant être de type taxonomique ou typologique.

Néanmoins, pour conserver la terminologie la plus fréquemment employée actuellement, l'expression de **typologie géomorphologique** sera utilisée ici pour désigner la méthode de regroupement des cours d'eau sur la base de similarités géomorphologiques et le résultat de la mise en œuvre de cette méthode.

A quoi sert une typologie ?

On peut *a priori* distinguer **deux grands types d'objectifs**, fonction du niveau de précision de la typologie :

- **une typologie « de base »**, calée sur des variables simples et facilement accessibles, permet d'établir un canevas pour de nombreuses approches, scientifiques ou de gestion ;
- **une typologie plus « fine »**, calée sur des variables plus complexes et moins faciles d'accès, permet d'accéder au plus près du fonctionnement des cours d'eau et d'aller plus loin dans l'analyse et la prévision.

■ Typologie de base : établir une base de connaissance et d'analyse commune

Un des objectifs majeurs de l'approche typologique est de fournir aux divers gestionnaires, scientifiques, utilisateurs des cours d'eau, une base de connaissance et d'analyse commune. Cette base commune peut être constituée par une classification des cours d'eau en un nombre limité de « types » standards, auxquels l'ensemble des cours d'eau pourraient être affectés.

En raison des difficultés d'accès à certaines variables de contrôle majeures, ce premier niveau de classification est basé sur des paramètres simples et facilement accessibles *via* les bases de données existantes. Il permet déjà néanmoins d'approcher un certain nombre de caractéristiques du fonctionnement global des hydrosystèmes.

La typologie « de base » est axée sur les paramètres suivants :

- pente de la vallée ;
- largeur de la vallée ;
- rang hydrographique de Strahler ;
- appartenance à une hydroécocorégion.

■ Typologie fine : accéder aux processus géodynamiques

Ce second niveau typologique est élaboré au moyen de variables plus descriptives du fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau et notamment des processus géodynamiques. Ce niveau fin d'approche est en cours de réalisation mais est limité par l'accessibilité aux variables nécessaires à son élaboration : intensité des apports solides, puissance spécifique, cohésion des berges.

NB Des paramètres d'habitat (notamment les faciès d'écoulement et leur proportion) pourront être associés à ce niveau typologique.

Ce niveau fin de typologie a de multiples intérêts.

Pondération de la note de qualité d'un système d'évaluation de la qualité physique d'un cours d'eau

Cet objectif est celui visé en tout premier lieu par les Agences de l'Eau. La typologie élaborée doit en effet permettre de pondérer une « note de qualité physique » donnée par la mesure et l'analyse de divers paramètres au niveau du cours d'eau (méthodes SYRAH, ou QUALPHY par exemple). Il est évident que cette note, calculée systématiquement de la même façon, ne doit pas avoir la même signification, en termes de qualité physique, sur un cours d'eau de montagne ou de plaine, sur un cours d'eau sableux ou à blocs. De même, une forte densité de faciès d'écoulement lents et profonds n'est pas indicatrice de dysfonctionnement sur un cours d'eau sablo-limoneux de plaine alors qu'elle l'est sur un cours d'eau à forte pente caractérisé, dans son état naturel, par des alternances de rapides, plats courants, etc.

121

Outil d'aide à la décision

Au sein d'une même entité de gestion (bassin, département, cours d'eau lui-même), le gestionnaire pourra, par simple visualisation d'une carte et accessoirement d'un tableau explicatif, accéder immédiatement au fonctionnement du cours d'eau ou de la portion de cours d'eau sur laquelle il doit statuer, proposer une stratégie d'aménagement, accepter de financer un aménagement ou des travaux de restauration hydromorphologique, etc.

Evaluation d'impacts d'aménagements

Il sera possible d'évaluer *a priori* l'impact d'un type d'aménagement sur un cours d'eau en recherchant dans le même bassin, ou dans un autre, un cours d'eau de même « type » ayant subi dans le passé le type d'intervention projeté, et en y quantifiant les impacts observés.

Proposition d'actions de préservation/restauration

Dans le même esprit, les gestionnaires pourront proposer des opérations de préservation, notamment des « cours d'eau de référence typologique » (il n'en existera pas pour chaque type...), ou des actions de restauration de cours d'eau dégradés et éloignés de leur fonctionnement naturel « typologique ».

Intérêt et limites d'une typologie géomorphologique

■ Intérêt : un accès rapide au fonctionnement par le biais de l'habitat

Il est couramment admis aujourd'hui que le fonctionnement biologique de la plupart des hydrosystèmes est très fortement lié à leur fonctionnement physique, lui-même régi par les processus d'érosion/transfert/dépôt de sédiments. Ces processus engendrent des formes fluviales en plan, en travers et en long que l'on est maintenant en mesure de corrélater assez bien à des fonctionnements écologiques. La passerelle la plus utilisée pour établir ces corrélations est basée sur le concept d'« habitat » des communautés biologiques, par le biais notamment des faciès d'écoulement que l'on considère comme des « macro » ou « méso » habitats (voir plus loin la typologie des faciès d'écoulement).

■ Limites : continuum fluvial et ajustements

Le continuum fluvial

De nombreux auteurs, géomorphologues et écologues, estiment que les cours d'eau évoluent de l'amont vers l'aval selon un **continuum** et qu'il est malaisé d'en « séparer » des entités discrètes. Il en découle donc souvent de réelles difficultés pour positionner clairement des limites de types morphologiques ou d'entités de sectorisation.

Les processus d'ajustement – les métamorphoses fluviales

La plupart des cours d'eau de l'Europe tempérée ont connu une phase d'ajustement géomorphologique majeure du fait du grand changement climatique lié à la fin de la dernière glaciation, il y a 15 000 ans. Les très larges vallées alluviales de l'Europe englacée et de l'Europe soumise au climat périglaciaire ont été encombrées d'épandages caillouto-sableux modelés par de vastes rivières en tresses, dont la morphologie et le matériel (hérités) persistent dans les remplissages des fonds de vallées.

Ce « méga-ajustement » est plus ou moins modulé (et masqué) par des « macro-ajustements » liés aux fluctuations hydro-climatiques de la période 15 000 BP - Actuel. Ce sont les métamorphoses fluviales qui ont fait alterner les ajustements pluri-séculaires liés à un excès ou à un déficit de charge de fond (voir chapitres précédents). Chacune de ces phases a laissé son empreinte géomorphologique et sédimentaire qui influence elle-même les rivières dans leur fonctionnement actuel (nature des fonds et des berges, nature et état de vieillissement des « annexes » fluviales, etc).

La période récente (XX^e siècle) a, par exemple, connu une disparition progressive du tressage au profit du méandrage sur un certain nombre de cours d'eau bien alimentés en charge de fond durant le Petit Âge Glaciaire. Ce constat implique que l'affectation de cours d'eau à des types morphologiques n'est pas une donnée stable et qu'elle peut être révisée en fonction de ces ajustements.

Dans le même ordre d'idée, le concept d'**état de référence** sur des cours d'eau en cours de métamorphose est délicat à définir. Ainsi, il n'est pas possible de considérer la rivière en tresses du XX^e siècle comme une référence absolue si l'expertise diagnostique par ailleurs une évolution inéluctable vers le cours d'eau à lit unique incisé, les variables de contrôle ayant elles-mêmes évolué vers un état stable, sans compter avec l'épuisement de la charge de fond lié aux variables sous contrôle anthropique (barrages, extractions, digues latérales).

Les autres critères de discrimination

Enfin, si l'habitat aquatique (ou rivulaire) est souvent conditionné par les processus morphodynamiques, eux-mêmes régis par des paramètres géologiques, climatiques, tectoniques etc., l'« habitabilité » de ces milieux est aussi fonction d'autres paramètres comme l'hydrologie (naturelle ou influencée), la physico-chimie de l'eau et des sédiments, l'ensoleillement, la température, la nature et la densité de la ripisylve, etc.

La question est donc de savoir à quel niveau de typologie ou de sectorisation ces paramètres doivent intervenir, si toutefois ils le doivent dans le cadre d'une approche typologique.

Typologie et sectorisation : deux concepts très proches

La finalité de l'approche typologique étant de constituer un outil d'aide à la gestion et à la décision pour des gestionnaires intervenant à diverses échelles spatiales, il semble nécessaire de proposer une typologie utilisable à ces différentes échelles d'intervention.

La méthode la plus simple consiste à **croiser les concepts de typologie et de sectorisation**.

Nous avons vu que l'approche typologique consiste en une classification des cours d'eau sur des bases plus ou moins objectives. **Dans la réalité, il ne s'agit pas de classer des cours d'eau mais plutôt des tronçons de cours d'eau**. En effet, tout en gardant à l'esprit le concept de continuum amont-aval, il est fréquent qu'un même cours d'eau présente une morphologie et un fonctionnement très différents entre sa source et sa confluence avec un collecteur de rang supérieur.

Figure 150



Evolution amont-aval d'un cours d'eau. On conçoit bien qu'il n'est pas pertinent de gérer de la même façon ces différentes entités hydromorphologiques.

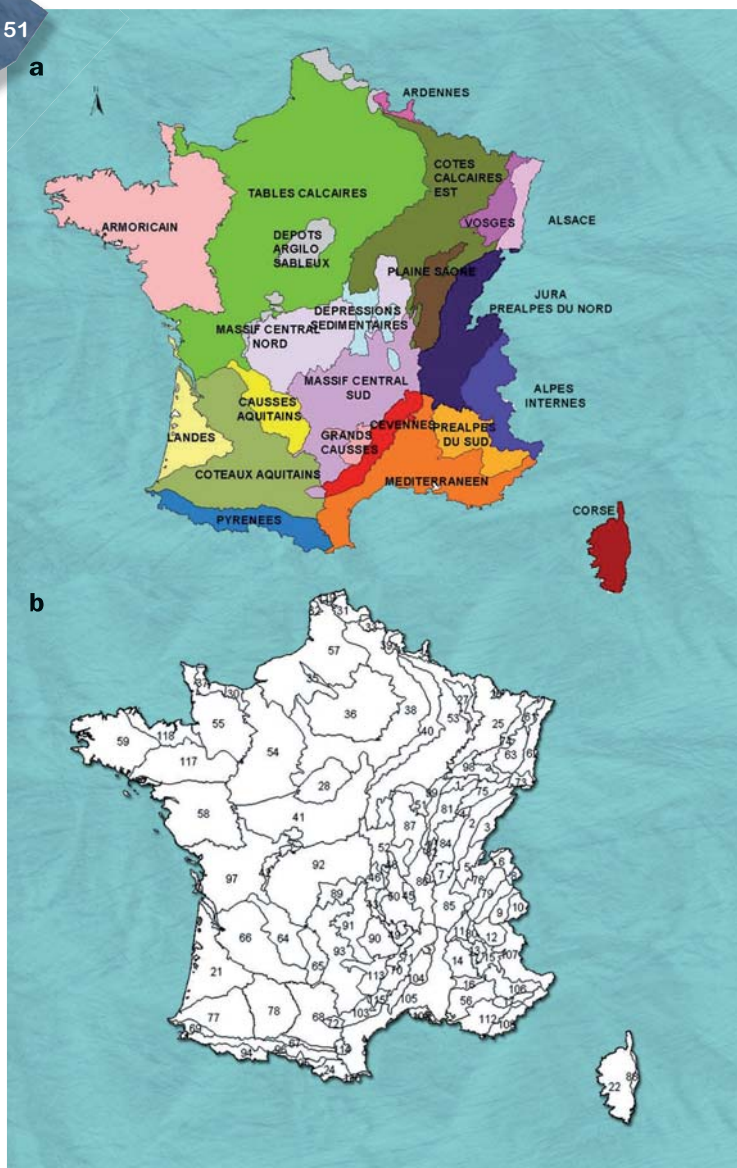
Tout cours d'eau peut donc, en théorie, être segmenté en un certain nombre d'**entités emboîtées** à la manière de poupées russes (voir plus loin), dont chacune présente un intérêt, tant en matière de connaissance globale du fonctionnement que comme outil de gestion globale. Certains niveaux hiérarchiques de ces entités emboîtées peuvent aussi être classés en **types morphologiques**, d'où le **croisement possible** entre les deux concepts.

Quelques exemples de typologies

La typologie nationale des eaux de surface

En application de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE, annexe II), une typologie des **masses d'eau** a été établie. Son objectif est de regrouper des milieux aquatiques homogènes du point de vue de certaines caractéristiques naturelles (relief, géologie, climat, géochimie des eaux, débit, etc.), qui ont une influence structurante sur la répartition géographique des organismes biologiques. Son principal enjeu concerne la définition des conditions de référence à partir desquelles seront établis les états écologiques (écarts à la référence).

Figure 151



Les HER1 (a) et HER2 (b) de France métropolitaine (Wasson et al., 2002).

■ Régionalisation

Le fonctionnement écologique des cours d'eau est déterminé, à l'amont, par les caractéristiques du relief ainsi que par les caractéristiques géologiques et climatiques du bassin versant. Un découpage régional fondé sur l'homogénéité de ces caractéristiques permet de définir des ensembles de cours d'eau présentant des caractéristiques physiques et biologiques similaires, à même gradient d'évolution longitudinale (Wasson *et al.*, 2002). Ce découpage (figure 151) réalisé au niveau du territoire métropolitain a permis d'identifier **22 hydro-écorégions** de niveau 1 (HER1), dont les déterminants primaires présentent des différences importantes. Elles peuvent être subdivisées en **112 hydro-écorégions élémentaires** de niveau 2 (HER2).

■ Classes de taille de cours d'eau

La traduction de l'évolution longitudinale des cours d'eau repose sur l'utilisation de l'ordination de Strahler, qui permet de prendre en compte les différences significatives de dimension au niveau des confluences principales. Ainsi, les cours d'eau sont ordonnés en classes de taille, adaptées et parfois regroupées en fonction des caractéristiques locales de l'évolution longitudinale des écosystèmes.

■ Application

Dans chacune des 22 hydro-écorégions de niveau 1, une classification longitudinale, adaptée aux caractéristiques connues de fonctionnement des écosystèmes, est appliquée. Cette première étape aboutit à proposer des types de masses d'eau dits « endogènes ».

Dans certains cas, pour des cours d'eau traversant les hydro-écorégions ainsi définies, il est nécessaire de prendre en compte l'influence de l'hydro-écorégion située à l'amont, influence qui s'exprime notamment par les caractéristiques géochimiques ou hydrologiques des cours d'eau.

Par exemple, un cours d'eau traversant une hydro-écorégion à dominante calcaire mais qui naît dans une hydro-écorégion à dominante siliceuse ou cristalline (Pyrénées, Massif Central, ...), et dont le débit se constitue essentiellement en zone siliceuse ou cristalline, a une composition géochimique qui ressemble plus à celle d'un cours d'eau situé dans ces secteurs siliceux ou cristallins. Dans ce cas, ses références se rapprocheront davantage de celle de l'hydro-écorégion à dominante siliceuse ou cristalline (exemple : parties aval de la Dordogne, du Lot, de la Garonne, etc.). Aussi, en fonction de la position et de la surface relative des bassins versants amont des cours d'eau concernés par l'influence d'une autre hydro-écorégion, la typologie des masses d'eau est complétée et nécessite l'ajout de types « exogènes » ou à singularités locales.

La typologie nationale qui en résulte, ainsi que sa codification, sont déclinées dans le tableau de synthèse ci-après. Certains de ces types sont à relativiser par rapport à la surface et au linéaire concernés. Il est cependant nécessaire de les resituer dans un contexte international où ces types peuvent avoir une représentation beaucoup plus importante.

A chaque code figurant dans les cases du tableau de synthèse correspond un type de masses d'eau présentant des caractéristiques similaires avec une classe de taille, une unité géographique de situation et une particularité locale ou l'influence éventuelle d'une hydro-écorégion amont.





Tableau 8

La typologie nationale DCE des eaux de surface.

Hydro-écorégions de niveau		Types nationaux et leur codification					
		Rangs (bassin Loire-Bretagne)	8, 7	6	5	4	3, 2, 1
		Rangs (autres bassins)	8, 7, 6	5	4	3	2, 1
Cas général, cours d'eau exogène de l'HER de niveau 1 indiquée ou HER de niveau 2		Très grands	Grands	Moyens	Petits	Très petits	
20	DEPÔTS ARGILEUX SABLEUX	Cas général		GM20		P20	TP20
		Exogène de l'HER 9 (Tables Calcaires)		GM20/9			
		Exogène de l'HER 21 (Massif Central Nord)					
21	MASSIF CENTRAL NORD	Cas général		G21	M21	P21	TP21
		Cas général		G3	M3	P3	TP3
3	MASSIF CENTRAL SUD	Exogène de l'HER 19 (Grands Causses)			M3/19		
		Exogène de l'HER 8 (Cévennes)			M3/8		
		Exogène de l'HER 19 ou 8		G3/19-8			
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	Cas général			M17	P17	TP17
		Exogène de l'HER 3 ou 21 (M.Cent.S ou N)	TG17/3-21	G17/3-21	M15-17/3-21	P17/3-21	TP17/3-21
15	PLAINE SAÔNE	Exogène de l'HER 3 ou 21					
		Exogène de l'HER 5 (Jura)		G15/5		MP15/5	
		Cas général	TG15			MP15	TP15
5	JURA / PRE-ALPES DU NORD	Exogène de l'HER 10 (Côtes Calcaires Est)	TG10-15/4				
		Cas général		G5	M5	P5	TP5
TTGA	FLEUVES ALPINS	Exogène de l'HER 2 (Alpes Internes)	TG5/2		GM5/2		
2	ALPES INTERNES	Cas général	TTGA				
7	PRE-ALPES DU SUD	Cas général		G2		MP2	TP2
		Cas général			GM7		TP7
6	MEDITERRANEE	Exogène de l'HER 2 (Alpes Internes)	TG6-7/2		GM7/2		
		Exogène de l'HER 2 ou 7			GM6/2-7		
		Exogène de l'HER 7 (Pré-Alpes du Sud)			GM6/2-7		
		Exogène de l'HER 8 (Cévennes)	TG6/1-8		GM6/8		
8	CEVENNES	Exogène de l'HER 1 (Pyrénées)			GM6/1		
		Cas général		G6		MP6	TP6
16	CORSE	Cas général			GM8		PTP8
		A-her2 n°70			M8/A		PTP8/A
19	GRANDS CAUSSES	A-her2 n°22		G16	M16/A		PTP16/A
		B-her2 n°88			M16/B		PTP16/B
11	CAUSSES AQUITAINS	Cas général			GM19/8		
		Exogène de l'HER 8 (Cévennes)				P19	
14	COTEAUX AQUITAINS	Cas général				P11	TP11
		Exogène de l'HER 3 (MCN) et/ou 21 (MCS)	TG11/3-21	G11/3-21	M11/3-21	P11/3-21	
		Exogène des HER 3, 8, 11 ou 19	TG14/3-11		M14/3-11		
13	LANDES	Exogène de l'HER 3 (MCN) ou 8 (Cév.)		G14/3		M14/3-8	
		Cas général			GM14		P14
1	PYRENEES	Exogène de l'HER 1 (Pyrénées)	TG14/1	G14/1	M14/1	P14/1	
12	ARMORICAIN	Cas général			M13	P13	TP13
		A-Centre-Sud (her2 n°58 et 117)		G1	M1	P1	TP1
TTGL	LA LOIRE	B-Ouest-Nord Est (her2 n°55, 59 et 118)	TTGL		M12/A	P12/A	TP12/A
9	TABLES CALCAIRES	Cas général			M12/B	P12/B	TP12/B
		A-her2 n°57			M9/A	P9/A	
		Cas général	TG9	G9	M9	P9	TP9
10	COTES CALCAIRES EST	Exogène de l'HER 10 (dans l'her2 n°40)		G9/10	M9/10		
		Exogène de l'HER 21 (Massif Central Nord)	TG9/21	G9-10/21	M9-10/21		
4	VOSGES	Exogène de l'HER 21 (Massif Central Nord)					
		Cas général	TG10-15/4	G10	M10	P10	TP10
22	ARDENNES	Exogène de l'HER 4 (Vosges)		G10/4	M10/4		
		Cas général			M4	P4	TP4
18	ALSACE	Exogène de l'HER 10 (Côtes Calcaires Est)	TG22/10				
		Cas général			GM22	P22	TP22
18	ALSACE	Cas général				MP18	TP18
		Exogène de l'HER 4 (Vosges)		G18/4	M18/4	P18/4	



Légende du tableau

- entrée verticale dans le tableau : classe de taille du cours d'eau ;
- code utilisé : TTG = très très grand cours d'eau (« A' » pour fleuves alpins et « L' » pour la Loire), TG = très grand cours d'eau, G = grand, M = moyen, P = petit, TP = très petit ;
- entrée horizontale dans le tableau (première colonne) : HER de niveau 1 dans laquelle circule le cours d'eau ;
- entrée horizontale dans le tableau (deuxième colonne) :
 - cas général, cours d'eau ne circulant que dans l'HER de niveau 1 citée,
 - ou circulation dans une HER de niveau 2 spécifique avec des caractéristiques différentes des cas généraux de la même HER de niveau 1,
 - ou cours d'eau influencé par une HER située à l'amont.

Lecture des types (en grisé, type inexistant)

1. lettres : taille du cours d'eau,
2. premier chiffre : n° de l'HER de niveau 1 dans lequel se situe le cours d'eau ou tronçon de cours d'eau,
3. éventuellement, lettre A ou B : circulation dans une HER de niveau 2 spécifique,
4. éventuellement, deuxième chiffre après le « / » : n° de l'HER amont de niveau 1 influençant les caractéristiques du cours d'eau (géochimie, hydrologie...).

Exemples de lecture

- P22 : petit cours d'eau de l'HER de niveau 1 n°22 (petit cours d'eau des Ardennes) ;
- GM22 : grand ou moyen cours d'eau de l'HER de niveau 1 n°22 (Ardennes) ;
- M10/4 : moyen cours d'eau de l'HER de niveau 1 n°10 (Côtes calcaires Est) influencé par l'HER de niveau 1 n°4 (Vosges) - bien que géographiquement situés dans les Côtes calcaires Est, ces cours d'eau présentent aussi des caractéristiques des cours d'eau des Vosges ;
- PTP16-B : petit ou très petit cours d'eau de l'HER de niveau 1 n°16 (Corse) dans l'HER de niveau 2 n°88 (plaine d'Aléria) ;
- TG10-15/4 : très grand cours d'eau de l'HER de niveau 1 n°10 (Côtes calcaires Est) ou n°15 (Plaine de Saône) influencé par l'HER de niveau 1 n°4 (Vosges) - bien que géographiquement situés dans les Côtes calcaires Est ou dans la Plaine de Saône, ces cours d'eau présentent aussi des caractéristiques des cours d'eau des Vosges.

■ Cours d'eau des Départements outre-mer

La méthodologie employée est, sur le principe, identique à celle utilisée pour le territoire métropolitain : le cadre a été adapté aux conditions naturelles spécifiques des DOM.

Régionalisation

Pour ce qui concerne les « îles », les caractéristiques dominantes et communes sont :

- la petite dimension (par rapport au territoire métropolitain) ;
- les caractéristiques de climat insulaire (régime de température tropical avec faibles variations saisonnières, très forte hétérogénéité spatiale des précipitations avec des maxima bien supérieurs à la métropole et, dans certains cas, dissymétrie de la répartition des précipitations - au vent/sous le vent) ;
- un relief volcanique très accentué renforçant cette dissymétrie.

Il en résulte, pour chacune des îles, une régionalisation fondée sur :

- le relief, distinguant les zones dont l'altitude est peu élevée (et les précipitations limitées) ;
- l'orientation des versants dans les secteurs au relief accentué (la Réunion) ;
- la géomorphologie, quand celle-ci s'avère discriminante.

Zonation longitudinale

Elément déterminant dans la structuration des écosystèmes pour les masses d'eau continentales, la zonation longitudinale est limitée dans les îles. Une zonation amont/aval est proposée uniquement dans les hydro-écorégions au relief marqué, où la différence d'altitude et de pente permet d'envisager une différence de structure et d'organisation des communautés biologiques.

Sont donc retenus des types « amont » et des types « aval » pour les cours d'eau des hydro-écorégions à relief accentué, la limite se situant dans la majeure partie des cas sur les ruptures de pente de profil en long, les confluences majeures (rang supérieur ou égal à 3), ou tout autre limite facilement identifiable localement permettant de différencier ces zones.

La typologie proposée, construite sur des bases similaires entre les différentes îles, conserve néanmoins une distinction entre elles, en l'absence d'éléments suffisants sur la faune aquatique et le fonctionnement des écosystèmes. La typologie qui en résulte, ainsi que sa codification, sont déclinées dans le tableau de synthèse, ci-après. A chaque code figurant dans les cases de ce tableau correspond un type de masses d'eau présentant des caractéristiques similaires.

Tableau 9

Typologie DCE des cours d'eau d'outre-mer.

Types DOM et codification

Zonation longitudinale

DOM	Hydro-écorégion	Aval	Amont
GUADELOUPE	Basse Terre Plaine Nord Est	MP31	
	Grande terre et autres îles	MP32	
	Basse Terre Volcans	M33	P33
MARTINIQUE	Pitons du Nord	M41	P41
	Mornes du Sud	MP42	
REUNION	Cirques au vent	M61	P61
	Cirques sous le vent	M62	P62
	Versants au vent	MP63	
	Versants sous le vent	MP64	

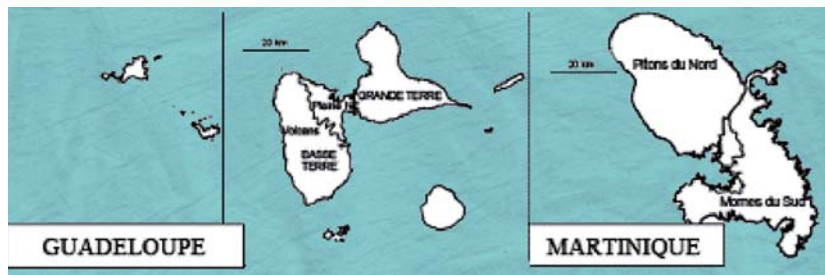
128

Légende du tableau

M= cours d'eau moyens (aval). P = petit cours d'eau (amont). MP : cours d'eau de taille indifférenciée.

1^{er} chiffre : 3 pour la Guadeloupe, 4 pour la Martinique et 6 pour la Réunion.

2^e chiffre : n° de l'hydro-écorégion pour chaque département (1 à 4, selon les cas).



NB La Guyane est en cours de traitement.

La typologie SEQ (Aquascop, 1997)

Cette typologie s'inscrit dans une démarche globale menée par les Agences de l'Eau dans les années 90, l'élaboration des SEQ (Systèmes d'Evaluation de la Qualité), qui visait à fournir un outil d'évaluation de la qualité des trois compartiments majeurs des écosystèmes d'eau courante : l'eau, la biologie, le milieu physique ainsi qu'une aide à la décision dans les choix d'aménagement, d'entretien ou de restauration de ces écosystèmes et de la qualité de ces compartiments.

Une première étape consistait en l'élaboration d'une typologie des cours d'eau à l'échelle nationale. Cette première étape, réalisée par Aquascop(1997), a conduit à une proposition de « typologie physique simplifiée des cours d'eau français » à l'échelle du 1 /1 000 000^e.

Cette typologie physique simplifiée des cours d'eau français est présentée comme une classification basée sur cinq critères hiérarchisés :

- l'énergie ;
- le transport solide ;
- la géologie ;
- la forme du fond de vallée (lit majeur) ;
- l'alimentation en eau.

En pratique, il apparaît que ces critères ne sont pas systématiquement appliqués dans la typologie finale qui a été réalisée. Ainsi, par exemple :

- la géologie n'intervient pas pour les cours d'eau à forte énergie ;
- le transport solide est censé être identique pour tous les cours d'eau à énergie moyenne à faible, ce qui est loin d'être le cas. Par exemple dans le type 233, le Thouet présente un transport solide nul tandis que l'Armançon a une charge alluviale grossière abondante ;
- etc.

Dans certains cas, la hiérarchie des critères n'est pas non plus strictement respectée. Par exemple, la géologie intervient à nouveau après la forme du fond de vallée pour les types 214.

■ Qualification des critères

Les différents critères, notamment l'énergie et le transport solide, qui constituent les premiers facteurs de discrimination, sont évalués uniquement à dire d'expert, sans donnée quantitative :

- énergie « très forte à forte », « moyenne à faible », « faible à nulle » ;
- transport solide « important », « faible », « charge modérée à faible ».

En pratique, la classification actuelle opérée « à dire d'expert » en quelques classes est peu contestable, mais pose deux types de problèmes :

- en termes de précision de l'outil actuel, qui semble varier selon les régions (connaissance des experts qui ont contribué à son élaboration) ;
- en termes de possibilités d'affinement d'échelle et d'application.

■ Caractère aréal de la typologie

La classification proposée montre clairement que, dans la majeure partie des cas, les types de cours d'eau sont en fait définis de manière aréale, et recoupent fortement les hydro-écorégions définies par Wasson *et al.* (HER décrites sur la Loire en 1993). Ainsi, par exemple :

- les cours d'eau de la Bretagne Ouest sont tous du type « 214 – Bas plateau roches dures », correspondant à une énergie moyenne à faible, une charge modérée à faible, des terrains cristallins ou gréseux, avec fond de vallée, dans des roches massives ;

- les cours d'eau des tables calcaires situées de part et d'autre de la Loire et de la Beauce sont classés pratiquement tous en type « 233 – Vallée calcaire », correspondant à une énergie moyenne à faible, une charge modérée à faible, des terrains sédimentaires de type plateau calcaire, avec lit majeur et où l'influence karstique est faible.

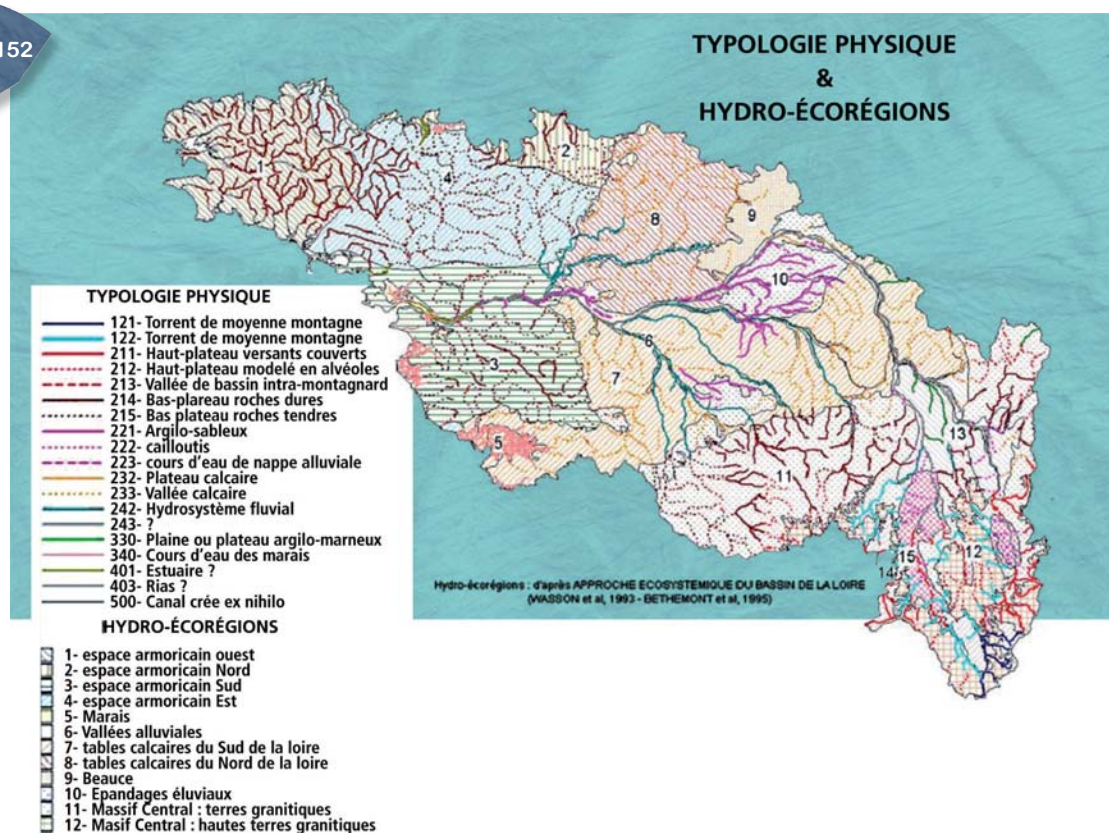
Même si l'outil est organisé et présenté différemment (critères hiérarchisés), les cours d'eau sont en fait caractérisés par les influences écorégionales auxquelles ils sont soumis (les cours d'eau de même type appartenant à des régions géographiques différentes traduisent en fait des similitudes très fortes des régions, ou des sous-régions selon le degré de précision).

L'influence des régions sur les cours d'eau qui s'y écoulent n'est plus à démontrer, mais le caractère aréal de la typologie pose deux types de questions :

- l'outil amène-t-il un niveau d'information significativement plus pertinent qu'une simple appartenance aux hydro-écorégions ?
- les cours d'eau sont-ils vraiment homogènes (à l'échelle du travail et dans l'objectif affiché par la méthode) au sein d'une région, notamment en fonction de leur taille et de leur parcours amont éventuel au sein d'autres régions ?

NB Ce dernier point est traité partiellement par la notion de **cours d'eau allochtone**.

Figure 152



Exemple de résultat sur le bassin de la Loire de la typologie Aquascop (1997) et corrélation avec les hydro-écorégions (Malvoï, AREA, 2000).

En d'autres termes, la méthode utilisée identifie des cours d'eau soumis aux mêmes influences (contexte écorégional), mais qui présentent, à divers titres, des différences fonctionnelles importantes en fonction de critères géomorphologiques, notamment de leurs dimensions (position dans le réseau).

■ Conclusion

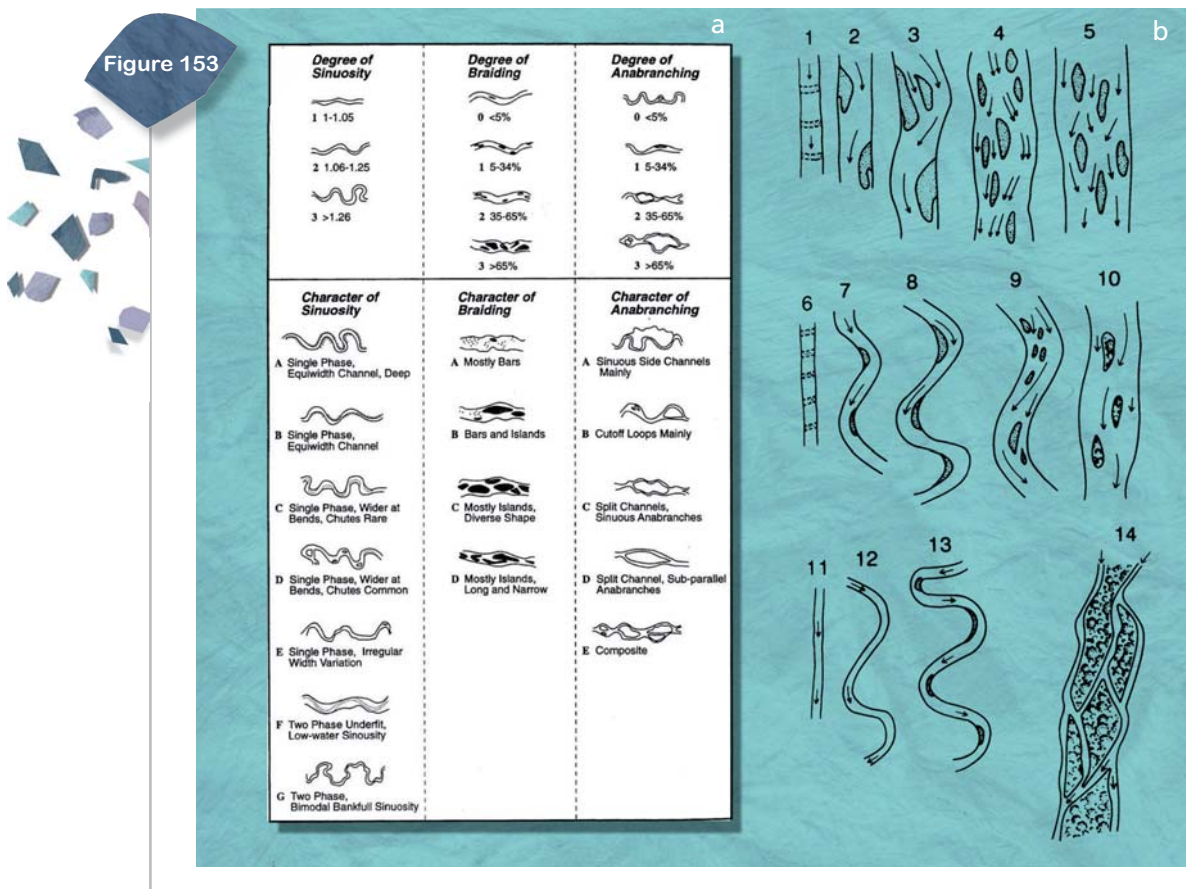
L'outil « typologie physique simplifiée » fournit une base descriptive écorégionale des cours d'eau, à une échelle proche de celle des hydro-écorégions. Il peut être considéré comme une **classification** des cours d'eau en 30 types « rangés » selon certains critères, plutôt que comme une démarche de « classification hiérarchisée ». Il est néanmoins très intéressant en tant que tel, même s'il souffre d'imperfections, dont certaines semblent inhérentes à son concept même.

A de nombreux titres, cette approche nous semble toutefois insuffisante pour véritablement caractériser le milieu du point de vue fonctionnel et d'autre part, ne sont caractérisés que 77 000 km de cours d'eau, de rang généralement supérieur à 4.

Quelques typologies étrangères

■ Les classifications « simples »

Il existe dans la littérature de très nombreuses tentatives de classifications des cours d'eau, pour la plupart exclusivement basées sur le style fluvial, c'est-à-dire sur une variable de réponse. Nous n'en présentons que 2 à titre d'exemples, sans les développer.



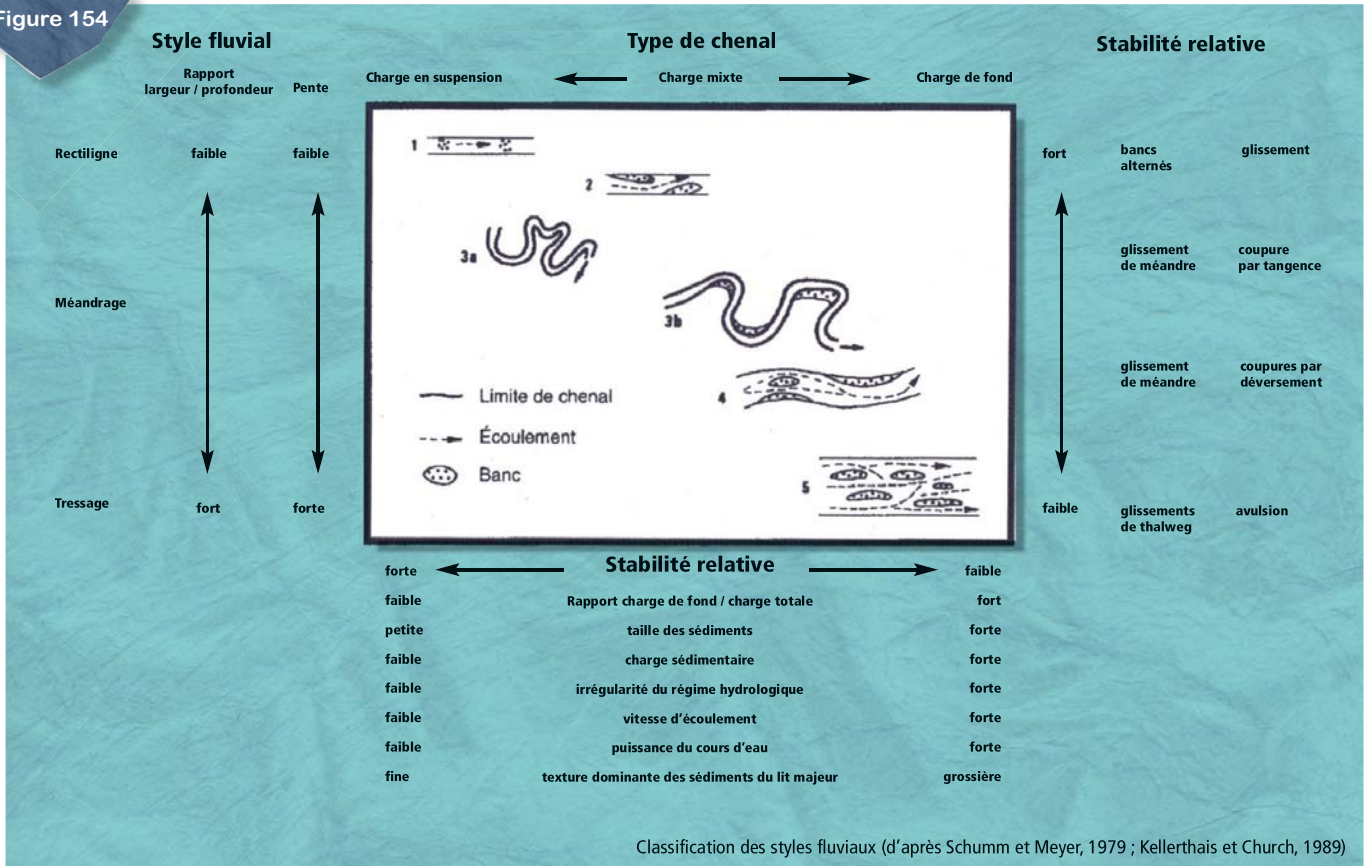
Exemples de classifications des cours d'eau basées sur le style fluvial. (a) Brice (1975), (b) Schumm (1981).

■ Les classifications fonctionnelles

Ces classifications simples ont parfois été couplées à des typologies plus « dynamiques », les styles fluviaux pouvant, rappelons-le, être de bons indicateurs de certains processus ou certaines classes d'intensité de processus hydromorphologiques.

Ainsi, la typologie de Schumm et Meyer simplifiée (1979, figure 154) nous permet de connaître, de manière très qualitative, un certain nombre de caractéristiques fonctionnelles du cours d'eau décrit. La simple détermination du style fluvial permet de savoir si le cours d'eau est dynamique ou non, s'il a une charge alluviale fine, grossière ou mixte, s'il a une puissance faible ou forte, etc.

Figure 154



La typologie dynamique de Schumm et Meyer (1979) in Bravard et Petit (1997).

■ La typologie de Rosgen (1996)

La typologie de Rosgen mérite un développement particulier car c'est actuellement, même si elle est souvent critiquée, la plus utilisée aux Etats-Unis.

Elle se présente sous la forme d'une clé de classification dichotomique qui permet d'accéder à deux niveaux de classification.

Niveau I : 9 types

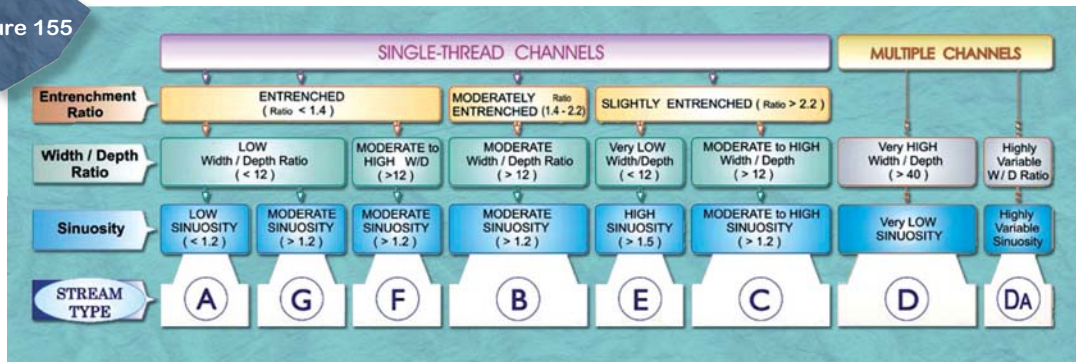
Ce premier niveau est basé sur la détermination des paramètres suivants :

- nombre de chenaux ;
- ratio d'incision (largeur de la vallée à la côte de 2 x la profondeur à pleins bords. A mesurer sur le terrain) ;
- rapport largeur/profondeur à pleins bords (à mesurer sur le terrain) ;
- coefficient de sinuosité.

Ce niveau, comprenant initialement 8 types, a été complété par un type Aa+ spécifique aux cours d'eau de montagne (figures 155 et 156).

A chacun de ces types sont associés des traits géomorphologiques fonctionnels proches de ceux proposés par Schumm et Meyer (1979) : puissance, apports solides, stabilité latérale, etc.

Figure 155



Premier niveau typologique de Rosgen (1994).

Figure 156

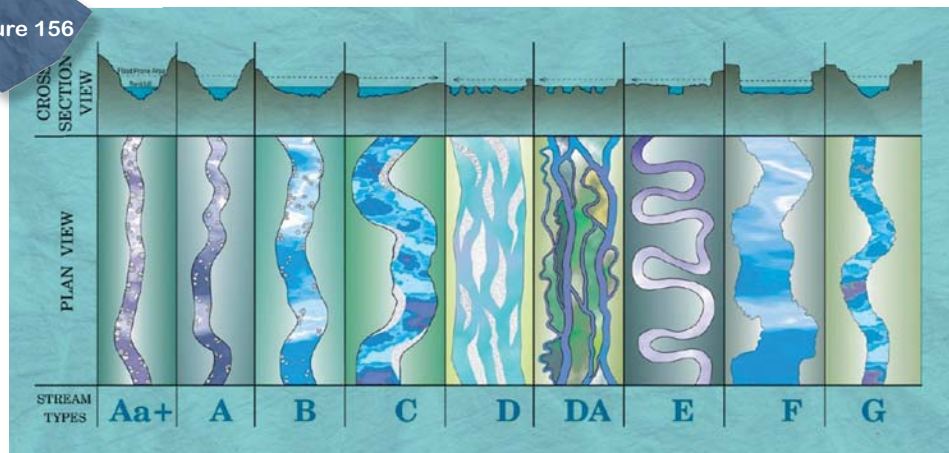


Illustration des profils en travers, ainsi que du tracé en plan du premier niveau typologique de Rosgen.

Niveau II et IIbis : 41 ou 93 types

Le niveau II fait intervenir de manière dichotomique la pente du cours d'eau puis la nature des matériaux du lit. Il aboutit à un classement en 93 types.

Figure 157

STREAM TYPE	A		G		F		B			E		C			D			DA		
SLOPE	> 0.10		0.04 - 0.099		0.02 - 0.039		< 0.02		0.02 - 0.039			< 0.02		0.02 - 0.039			< 0.001			< 0.005
Channel Material	BEDROCK		BOULDERS		COBBLE		GRAVEL			SAND		SILT / CLAY								
	A1a+	A1	G1	G1c	F1b	F1	B1a	B1	B1c			C1b	C1	C1c						
	A2a+	A2	G2	G2c	F2b	F2	B2a	B2	B2c			C2b	C2	C2c						
	A3a+	A3	G3	G3c	F3b	F3	B3a	B3	B3c	E3b	E3	C3b	C3	C3c	D3b	D3				
	A4a+	A4	G4	G4c	F4b	F4	B4a	B4	B4c	E4b	E4	C4b	C4	C4c	D4b	D4	D4c	DA4		
	A5a+	A5	G5	G5c	F5b	F5	B5a	B5	B5c	E5b	E5	C5b	C5	C5c	D5b	D5	D5c	DA5		
	A6a+	A6	G6	G6c	F6b	F6	B6a	B6	B6c	E6b	E6	C6b	C6	C6c	D6b	D6	D6c	DA6		

Deuxième niveau typologique de Rosgen (1994).

Un niveau intermédiaire à 41 types (la pente n'intervient plus comme variable de classification) a été proposé mais il semble peu utilisé.

Cette typologie (niveaux I et II) a été adoptée dans de nombreux services américains de gestion des cours d'eau. Il est fréquent de trouver dans les publications scientifiques ou techniques la référence à un type « Rosgen » : B3, E5b.

Deux aspects nous amènent néanmoins à formuler quelques critiques quant à la possibilité de sa mise en œuvre en France :

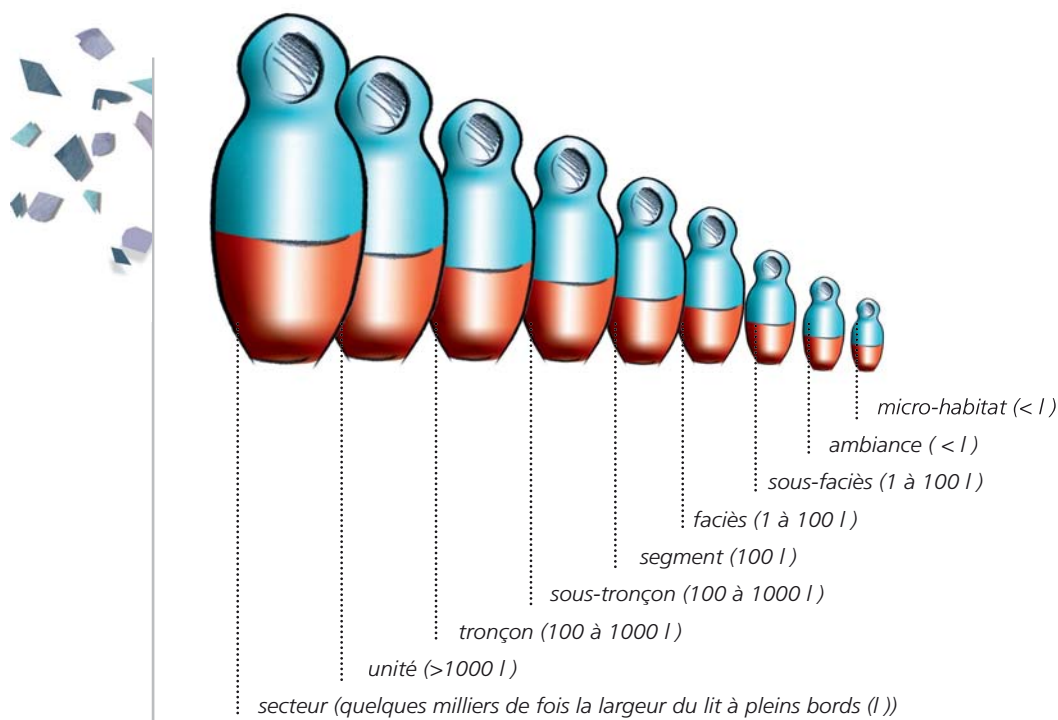
- elle n'est pas simple à appliquer compte tenu du fait que deux des variables dichotomiques majeures nécessitent a priori des mesures de terrain (ratio d'incision et l/p) ;
- elle utilise à la fois des paramètres de contrôle (bedrock en fond de lit) et des variables de réponse (style fluvial, l/p (W/D en anglais), etc.), ce qui est peu satisfaisant du point de vue conceptuel.



Méthodes de sectorisation et de typologie proposées

Sectorisation

Par ordre décroissant de taille, les entités de sectorisation proposées sont les suivantes (les ordres de grandeur des longueurs de ces entités, exprimés en n fois la largeur à pleins bords, sont donnés entre parenthèses) :



NB Les deux dernières entités de sectorisation ont une signification plus écologique que géomorphologique dans la mesure où les tailles de ces habitats sont fonction de la taille de leurs « habitants ».

■ Quels niveaux de sectorisation sont les plus adaptés à la gestion ?

Il nous semble nécessaire de proposer une sectorisation à au moins deux niveaux :

■ niveau 1, le tronçon géomorphologique homogène

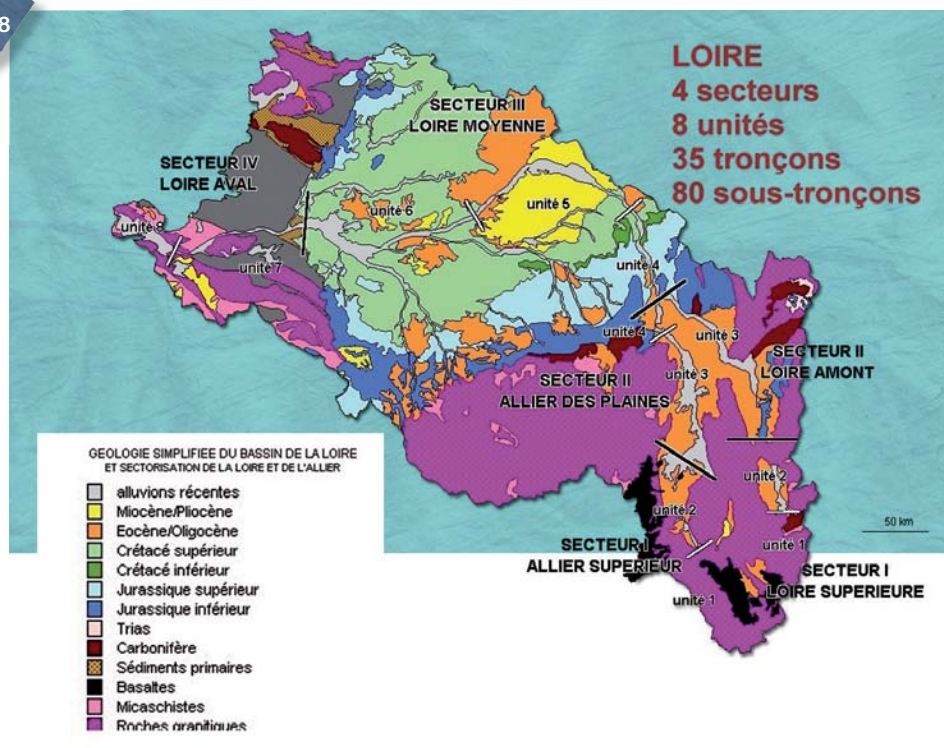
C'est le niveau de sectorisation qui nous paraît le plus pertinent pour une gestion globale et intégrée des cours d'eau. Il est utilisable par tous les acteurs et gestionnaires, quels que soient leurs domaines d'intervention. Ce niveau de résolution est basé exclusivement sur des paramètres géomorphologiques et hydrologiques de contrôle.

■ niveau 2, le sous-tronçon

Pour ce niveau de sectorisation, chaque discipline scientifique, chaque gestionnaire, peut utiliser sa propre gamme de paramètres discriminants. Le géomorphologue peut identifier des sous-tronçons à méandres dans un tronçon globalement en tresses, des sous-tronçons endigués dans un tronçon à large fond de vallée ; le phytosociologue peut segmenter le linéaire sur la base de la présence-absence d'une ripisylve, d'une forêt alluviale ; le biologiste peut intégrer des critères de qualité d'eau, des fréquences de faciès d'écoulement, etc.

NB Les deux niveaux supérieurs de sectorisation (secteurs et unités) ont essentiellement un intérêt pour les « grands » gestionnaires dans le cadre de planifications de niveau national ou régional. Ils sont discriminés principalement sur la base de leur appartenance à une hydro-écotérogion de niveau 1 (HER1) et de niveau 2 (HER2). Ces hydro-écotérogions (Wasson *et al.*, 2002) sont en effet calées sur les variables majeures de contrôle géomorphologique que sont la géologie, le relief et le climat.

Figure 158



Exemple de sectorisation de la Loire en secteurs, unités, tronçons et sous-tronçons (Malavoi, 2002).

■ Méthode retenue pour la sectorisation en tronçons homogènes

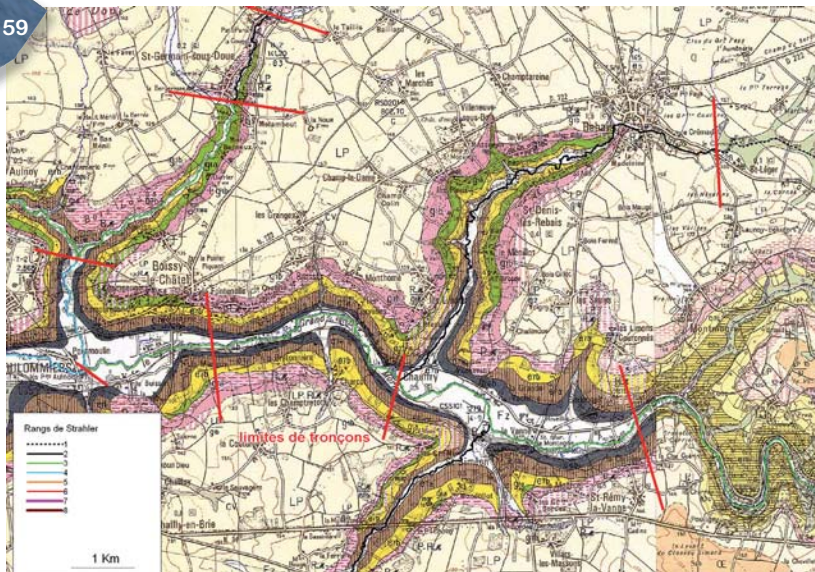
Le découpage de 225 000 km de cours d'eau français (sur environ 500 000 au total) en tronçons homogènes a été réalisé par le Cemagref en 2008 (Valette *et al.*) sur la base des trois paramètres de contrôle suivants, accessibles facilement dans les bases de données existantes :

- la largeur du fond de vallée ;
- la pente de la vallée ;
- la confluence avec des cours d'eau importants (variable « hydrologique » de substitution aux valeurs réelles de débit, difficilement accessibles uniformément à l'heure actuelle).

Largeur du fond de vallée

Variable de contrôle essentielle des processus géodynamiques, des phénomènes d'inondation, des processus écologiques au sein du corridor fluvial, voire des pressions socio-économiques, c'est la **largeur du fond de vallée alluvial** (Fz et Fyz des cartes géologiques), qui nous a guidés prioritairement dans la sectorisation en tronçons homogènes.

Figure 159



© BRGM

Exemple de sectorisation en tronçons homogènes sur la base de la largeur du fond de vallée (fond BRGM).

Pente de la vallée

Autre variable importante, la pente du fond de vallée renseigne sur l'énergie potentielle du cours d'eau et notamment sur sa capacité de mobilisation et de transport des sédiments. Cette variable a été déterminée visuellement à partir du MNT 50 m (Modèle Numérique de Terrain) de l'IGN (BDalti), à partir duquel a été générée une couche avec les valeurs de pente et des courbes de niveau équidistantes de 5 ou 10 m.

Figure 160



137

Exemple de sectorisation en tronçons homogènes sur la base de la pente du fond de vallée.

Hydrologie (ordination de Strahler)

La variable retenue est l'ordre de Strahler (1957). Ce système hiérarchique de numérotation se prête bien à la quantification des réseaux hydrographiques et a également l'avantage de tenir compte de l'évolution longitudinale des cours d'eau.

Ainsi, des limites de tronçon ont été placées :

- à chaque changement de rang de Strahler pour les rangs 1 à 3 ;
- à chaque confluence avec un cours d'eau de rang n et $n - 1$ pour les rangs 4 ;
- à chaque confluence avec un cours d'eau de rang n , $n - 1$, $n - 2$ pour les rangs supérieurs à 5.

Typologie

■ Typologie de base

A partir de la sectorisation nationale en tronçons homogènes, disponible sous la forme d'une base de données sous SIG, il est possible de réaliser une typologie « de base » axée sur les paramètres suivants :

- rang hydrographique de Strahler + appartenance à une hydro-écorégion (typologie nationale DCE, cf. supra) ;
- pente de la vallée ;
- largeur de la vallée.

Cette typologie est en cours de finalisation.

■ Typologie fine

Ce second niveau de typologie est basé sur les paramètres permettant d'établir le « score géodynamique », dont l'intérêt en termes de compréhension et de prédiction des processus hydromorphologiques a été exposé précédemment :

- la puissance spécifique ω ;
- l'érodabilité potentielle naturelle des berges B ;
- l'intensité des apports solides A.

Puissance - ω	< 10 W/m ²	10 - 30 W/m ²	30 - 100 W/m ²	> 100 W/m ²
Erodabilité des berges - B	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Apports solides - A	Nul	Faible	Moyen	Fort

Cette typologie est en cours de réalisation, l'accessibilité à ces paramètres étant complexe. On aboutit à 64 types potentiels, sachant que toutes les combinaisons ne sont pas pertinentes, par exemple, faible puissance et fort transport solide.

■ Informations complémentaires

Outre les caractéristiques typologiques précédentes, il est prévu de renseigner à l'échelle des tronçons homogènes, des paramètres descriptifs complémentaires, qui sont d'ailleurs considérés comme des variables de réponse :

- le style fluvial ;
- la granulométrie des alluvions grossières en transit ;
- la largeur et la profondeur moyenne à pleins bords ;
- les faciès d'écoulement présents.

NB Le renseignement de ces caractéristiques n'est actuellement pas prévu à l'échelle nationale et se fera au gré des études et investigations réalisées sur les cours d'eau.

■ Conclusion : Postulat d'interprétation de la sectorisation/typologie

Le postulat est le suivant : si les paramètres de sectorisation et les variables typologiques associées ont été judicieusement choisis (et correctement renseignés), ils doivent permettre d'identifier des tronçons homogènes au sein desquels, selon des lois de la géodynamique fluviale, les valeurs des variables de réponse devraient être elles aussi homogènes.

Idéalement, on devrait pouvoir déterminer, compte tenu des valeurs des variables de contrôle, les caractéristiques précises des variables de réponse : style fluvial, largeur, profondeur, pente du cours d'eau, intensité des processus géodynamiques, etc. On est malheureusement encore assez loin d'un résultat pertinent, compte tenu des fortes incertitudes qui subsistent dans les relations de géométrie hydraulique et de morphométrie (cf. chapitres précédents)... Mais on devrait pouvoir s'en approcher progressivement grâce aux recherches en cours.



Une typologie particulière : la typologie des faciès d'écoulement

Intérêt d'une typologie des faciès d'écoulement

Il s'agit là d'une typologie à une échelle beaucoup plus fine que les précédentes puisque l'objectif est d'identifier des sous-parties de cours d'eau dont les caractéristiques hydromorphologiques sont considérées comme de bons indicateurs des **types d'habitats disponibles pour la faune aquatique**, on parle alors de macro-, voire de **mésohabitats**.

Les faciès d'écoulement sont en effet de petites portions de cours d'eau (d'une longueur comprise entre 1 et 10 fois la largeur à pleins bords environ) présentant une homogénéité, à l'échelle de quelques m² à quelques centaines de m², sur le plan des vitesses, des profondeurs, de la granulométrie, de la pente du lit et de la ligne d'eau, des profils en travers.

Les hydromorphologues considèrent les faciès, et notamment les alternances de radiers et de mouilles, comme les unités fondamentales des rivières. Ils leur attribuent une fonction physique de dissipation optimale de l'énergie. Elles sont également le reflet à long terme des contraintes exercées par la géologie, la morphologie terrestre, la couverture végétale et le climat.

Les hydrobiologistes s'intéressent également à ces unités morphologiques pour décrire l'utilisation de l'habitat par les poissons ou pour composer leurs unités d'échantillonnage : prélèvements de macroinvertébrés benthiques, inventaires piscicoles ou choix de séquences de faciès représentatives d'un tronçon de cours d'eau (stations) pour l'application des méthodes de type microhabitat.

L'identification des faciès d'écoulement est souvent problématique. Dans la réalité il existe très peu de faciès « d'école ». Les critères permettant de les identifier ont beaucoup souffert d'une certaine subjectivité, certains auteurs privilégiant tantôt la composition du substrat, tantôt la pente de la ligne d'eau, tantôt la répartition des hauteurs et vitesses, le nombre de Froude (rapport adimensionnel de la vitesse moyenne à la hauteur d'eau) ou encore les caractéristiques de la surface de l'eau.

Malavoi (1989) et Malavoi et Souchon (2002) ont proposé une approche qui, bien qu'entachée d'imperfections induisant un biais lié à l'opérateur, essaie d'objectiver la description au moyen d'une **clé de détermination**.

139

Choix des critères de discrimination des faciès

Deux niveaux de classification sont proposés.

■ Niveau 1

Deux critères de premier niveau ont été retenus :

- la hauteur d'eau moyenne ;
- la vitesse d'écoulement moyenne.

Ces deux variables doivent être observées pour un débit d'étiage moyen proche du débit moyen mensuel sec interannuel (moyenne des débits mensuels d'étiage). On peut alors proposer un premier niveau de classification des faciès d'écoulement sur la base de leur hauteur d'eau :

- **faciès profonds**, hauteur d'eau supérieure à 60 cm : chenaux lotiques (CLO), chenaux lenticques (CLE), mouilles de concavité (MOU), fosses de dissipation (FOS) ;
- **faciès peu profonds**, hauteur d'eau inférieure à 60 cm : plats (PLA), plats lenticques (PLL), radiers (RAD), rapides (RAP), cascades (CAS) ;

ou sur la base de la vitesse du courant :

- faciès « **lenticques** », vitesses inférieures à 30 cm/s : mouilles, chenaux lenticques, plats lenticques ;
- faciès « **lotiques** », vitesses supérieures à 30 cm/s : radiers, plats, rapides, chenaux lotiques.

NB Il serait tout à fait envisageable de proposer une typologie utilisant des valeurs adimensionnelles qui permettraient d'identifier des radiers avec 5 mm de profondeur sur un modèle réduit expérimental et de 50 cm sur un cours d'eau de 100 m de large. Toutefois, pour répondre à une demande de classification émanant plutôt de biologistes, il a été souhaité une typologie basée sur des valeurs brutes permettant d'y associer des types de peuplements.

■ Niveau 2

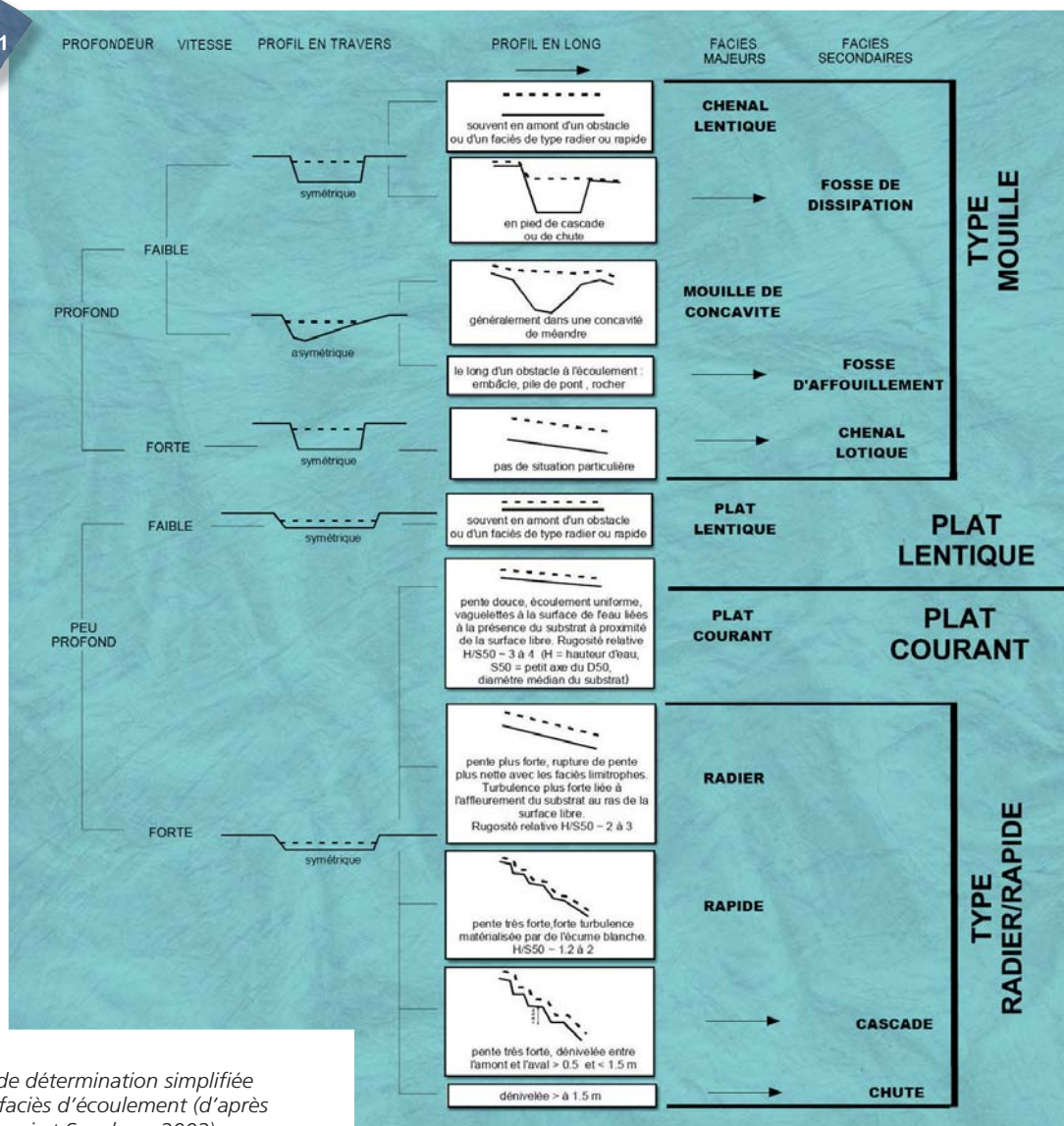
Les critères de deuxième niveau permettant d'affiner le premier découpage sont :

- le profil en travers ;
- le profil en long et les caractéristiques de la surface de l'eau.

Un niveau 3, non inclus dans la clé de détermination, permet de préciser encore la classification ; il s'agit de la granulométrie du substrat.

La clé dichotomique actuellement utilisée (figure ci-dessous) permet d'identifier 11 types de faciès dont 6 majeurs et 5 secondaires. Ces 11 types peuvent éventuellement, en cas de nécessité de simplification, être regroupés en 4 méga-types (à droite sur la figure).

Figure 161



Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement (d'après Malavoi et Souchon, 2002).

Nous verrons que ces faciès d'écoulement, générés par les processus géodynamiques d'érosion et de transport solide, sont l'un des principaux outils permettant de faire le lien entre le fonctionnement hydromorphologique et le fonctionnement écologique d'un cours d'eau.

Quelques exemples

Figure 162

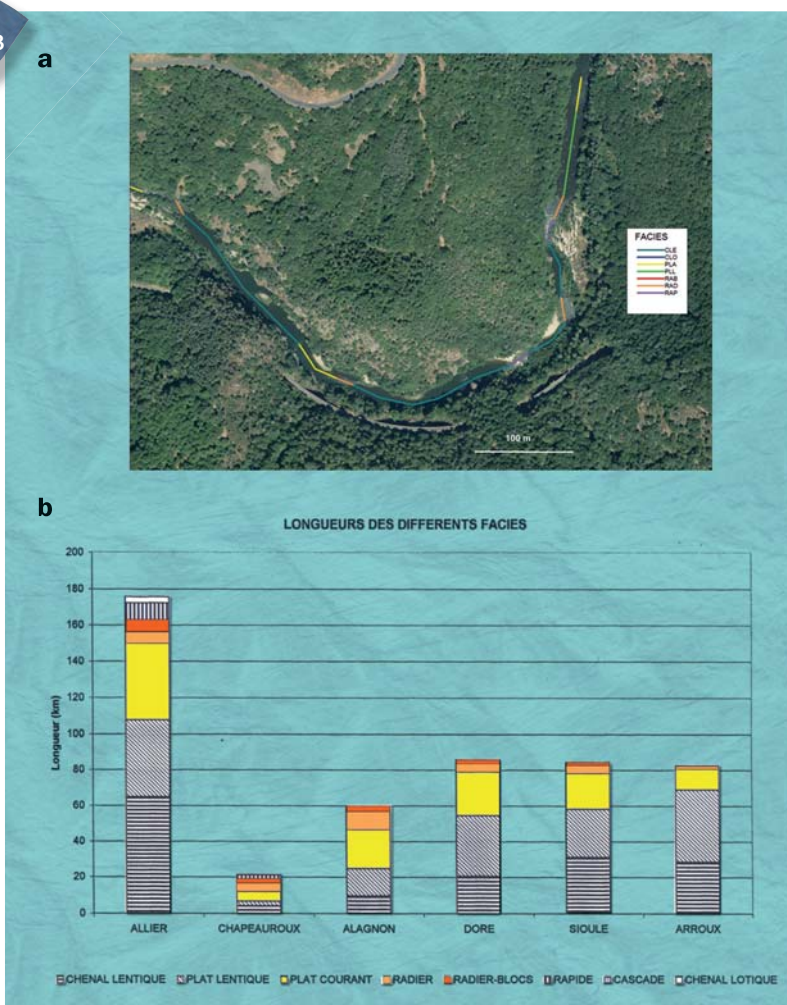


a- b- c- d- e- f- © J.R. Malavoi

Quelques exemples de faciès d'écoulement.

Un exemple d'application de la typologie des faciès et de leur cartographie est présenté sur la figure suivante. L'étude (Malavoi, 1999) avait pour objectif de cartographier les surfaces potentielles de reproduction et de développement du saumon atlantique dans le bassin de l'Allier. Ces surfaces sont directement détectables par le biais des faciès d'écoulement puisque les faciès correspondant à ce type d'habitat (fraie et grossissement des tacons) sont les plats courants et les radiers, particulièrement les radiers à blocs qui ont été distingués.

Figure 163



a- © fond IGN

(a) Cartographie des faciès d'écoulement sur le haut Allier (fond IGN). (b) Synthèse de la cartographie réalisée sur les six cours d'eau « à saumon » du bassin de l'Allier (Malavoi, 1999). En couleur apparaissent les faciès intéressants pour la reproduction et le développement des saumons.

Le tableau suivant présente quelques exemples de longueurs de faciès d'écoulement relatives à la largeur à pleins bords du lit mineur sur la base des données recueillies pour cette étude. Ces mesures ayant été réalisées sur des cours d'eau à forte puissance du bassin de l'Allier, les résultats ne sont pas extrapolables à l'ensemble des types de cours d'eau français mais donnent des ordres de grandeur cohérents.

On observe ainsi que les radiers sont d'une longueur de l'ordre de 1 fois la largeur du cours d'eau tandis qu'à l'opposé, les chenaux lenticques et les plats lenticques font généralement 8 à 10 fois la largeur. Notons aussi que seul le Chapeauroux présente des cascades.

Tableau 10

Quelques exemples de longueur de faciès d'écoulement relatives à la largeur du cours d'eau à pleins bords.

	CLE	PLL	PLA	RAD	RAB	RAP	CAS	CLO
ALLIER	8,57 W	6,63	3,12	1,36	1,76	2,46		2,19
ALLAGNON	7,53	5,81	4,80	2,21	3,16	1,57		1,08
ARROUX	11,41	8,40	2,59	0,89	2,04			
CHAPEAUROUX	7,03	6,07	4,96	4,39	5,33	6,45	3,50	
DORE	8,72	9,83	4,61	1,16	2,20	0,54		1,48