



Convention de partenariat ONEMA-Cemagref 2008

Domaine : Hydro-morphologie et altérations physiques des hydrosystèmes continentaux

Action : 01 Descripteurs pour les cours d'eau

SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau SYRAH CE

Principes et méthodes de la sectorisation
hydromorphologique

Laurent VALETTE, André CHANDESRIIS, Nicolas MENGIN, Jean-René MALAVOI, Yves SOUCHON, Jean-Gabriel WASSON

Appui scientifique à la mise en œuvre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau

CEMAGREF
Département Gestion des Milieux Aquatiques
**Unité de recherche Biologie des Ecosystèmes
Aquatiques**
Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative
Groupement de Lyon
3bis Quai Chauveau CP 220
69336 LYON CEDEX 09

Février 2008

Table des Matières

TABLE DES MATIERES	2
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	3
LISTE DES TABLEAUX	3
1 PRINCIPES DU SYSTEME D'AUDIT	4
2 SECTORISATION GEOMORPHOLOGIQUE	7
3 DISCRIMINATION DES TRONÇONS	9
3.1 LARGEUR DU FOND DE VALLEE ALLUVIAL.....	9
3.2 PENTE ET FORME DU FOND DE VALLEE	10
3.3 HYDROLOGIE (ORDINATION DE STRAHLER).....	11
3.4 NATURE DU SUBSTRATUM GEOLOGIQUE.....	12
4 METHODES DE SECTORISATION.....	13
4.1 COUCHES D'INFORMATIONS UTILISEES	13
4.2 TAILLE MINIMALE DES TRONÇONS.....	15
4.3 PRINCIPES DE LA SECTORISATION	16
5 PROBLEMES RENCONTRES ET LIMITES.....	19
5.1 PROBLEMES TECHNIQUES	20
5.2 QUESTION DE LA TAILLE MINIMALE DES TRONÇONS	21
5.3 LIMITE INHERENTE A UNE TYPOLOGIE NATURELLE.....	22
6 USAGES	22
6.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DE LA SECTORISATION	22
6.2 EXEMPLES DE CHOIX D'INTERPRETATION	23
6.3 UNE NECESSAIRE VALIDATION LOCALE	24
6.4 POSSIBILITE DE CREER DES SOUS-TRONÇONS.....	24
7 CONCLUSION.....	25
BIBLIOGRAPHIE.....	26

Table des illustrations

FIGURE 1 - SCHEMA CONCEPTUEL DU SYRAH-CE (CHANDESRIS ET AL., 2007 A).....	5
FIGURE 2 - VARIABLES DE PRESSION ET RISQUES D'ALTERATIONS PHYSIQUES (CHANDESRIS ET AL., 2007 A)	6
FIGURE 3 - ENTITES EMBOITEES (ADAPTE DE CEN, 2002).....	7
FIGURE 4 - CARTE DES HYDROECOREGIONS DE NIVEAU 1 (WASSON ET AL., 2002).....	8
FIGURE 5 - EXEMPLE DE SECTORISATION AVEC LA VARIABLE « LARGEUR DU FOND DE VALLEE ALLUVIAL » (EXTRAIT CARTES GEOLOGIQUES 1/50 000 BRGM).....	10
FIGURE 6 - EXEMPLE DE SECTORISATION AVEC LA VARIABLE « PENTE ET FORME DU FOND DE VALLEE ».....	11
FIGURE 7 - EXEMPLE DE SECTORISATION AVEC LA VARIABLE « HYDROLOGIE »	12
FIGURE 8 - EXEMPLE DE SECTORISATION EN REGION PACA (EXTRAIT DU SIG).....	18
FIGURE 9 - EXEMPLE DE CORRELATION ENTRE LES LIMITES DE TRONÇONS ET D'HER2 (EXTRAIT DU SIG).....	19
FIGURE 10 - EXEMPLE DE PROBLEME D'AFFICHAGE LIE AUX CARTES GEOLOGIQUES NUMERISEES (EXTRAIT DU SIG)	21

Liste des tableaux

TABEAU 1 : RECAPITULATIF DES DONNEES UTILISEES	13
TABEAU 2 : TAILLE MINIMALE DES TRONÇONS EN FONCTION DU RANG DE STRAHLER	16

Le système d'audit SYRAH-CE a pour objectif d'évaluer les altérations des processus hydromorphologiques et des formes résultantes pour les cours d'eau à l'échelle nationale. C'est un outil multi-échelle d'aide à la décision pour l'atteinte du bon état écologique. Ce rapport présente les principes de la sectorisation du réseau hydrographique français en tronçons hydromorphologiques homogènes, échelle principale de l'outil, à partir de variables de contrôle simples, ainsi que les méthodes et les données utilisées. Le but de ce rapport est aussi de faciliter l'interprétation par les gestionnaires, destinataires finaux de l'audit, du travail de sectorisation.

L'objectif affiché de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) est l'atteinte, pour toutes les masses d'eau continentales, du bon état écologique d'ici 2015. Ce dernier repose sur l'évaluation des paramètres chimiques et surtout des compartiments biologiques, ceux-ci résultant en grande partie des caractéristiques physiques des cours d'eau (morphologie et hydrologie), notamment en ce qui concerne la qualité des biotopes. Il apparaît donc essentiel de disposer d'un outil de mise en perspective des paramètres hydromorphologiques et de leur risque d'altération pour l'aide au diagnostic des futures politiques de restauration. C'est dans cette perspective que le Cemagref, par le biais du projet SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau (SYRAH-CE), a été mandaté par le ministère de l'écologie et du développement durable, pour réaliser un système d'audit fonctionnel des altérations hydromorphologiques sur l'ensemble du territoire français.

1 Principes du système d'audit

Le système d'audit est guidé par quelques principes de cadrage retenus d'après un état de l'art et l'expérience accumulée par le Cemagref et ses partenaires. Tout d'abord, le système repose sur le principe d'une hiérarchie emboîtée. Le schéma conceptuel (Figure 1) retient trois niveaux hiérarchiques que l'on peut appréhender aussi bien en termes d'échelles spatiales qu'en termes de mécanismes d'altérations. Les liens entre les différents niveaux se fondent sur le risque pour le niveau inférieur (une pression identifiée se traduit par un risque d'altération).

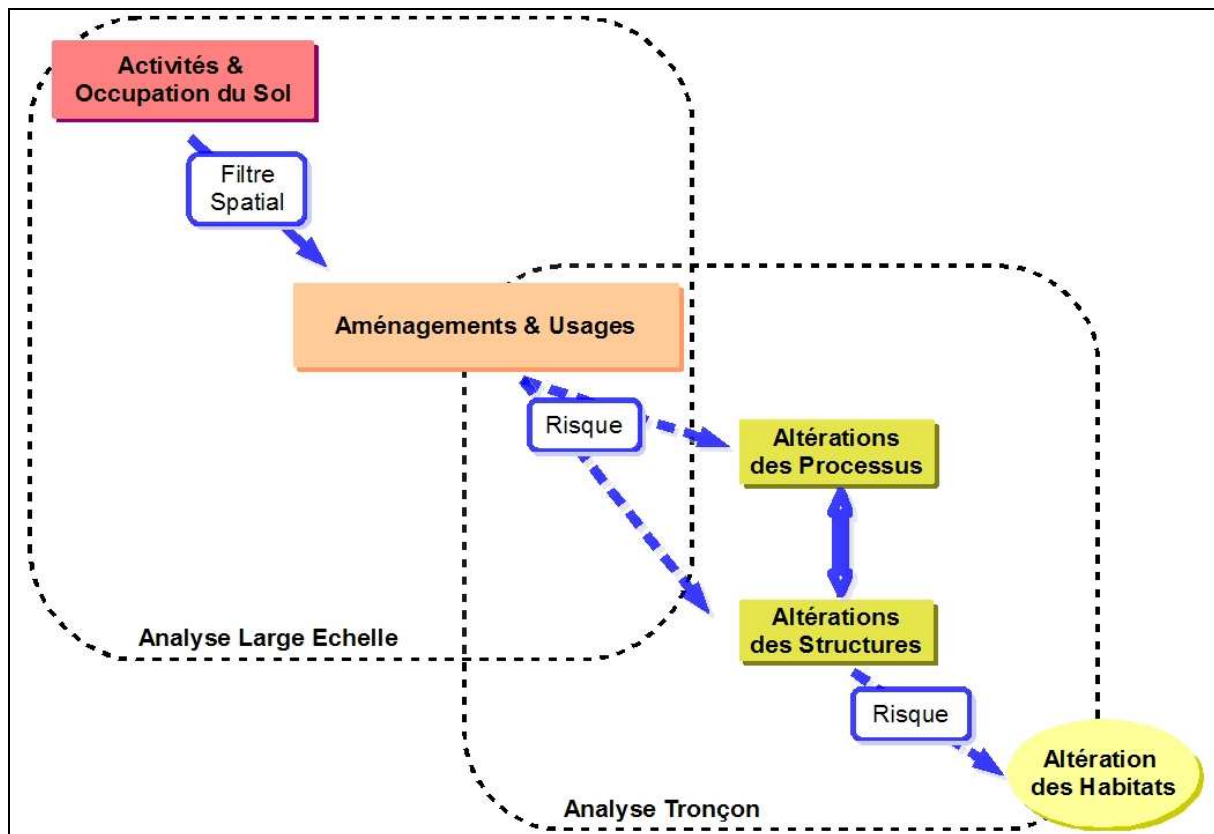


Figure 1 - Schéma conceptuel du SYRAH-CE (Chandesris et al., 2007 a)

Au premier niveau se retrouvent les forces motrices, c'est à dire les activités humaines susceptibles d'être à l'origine de dégradations. Le second niveau constitue l'impact sur le milieu physique caractérisé par des altérations des processus morphologiques. Le lien entre ces deux niveaux se fait par le biais des aménagements et usages (ouvrages, travaux, activités). Le troisième niveau, l'altération des habitats, représente, à l'échelle vécue par les organismes aquatiques, les effets cumulés des altérations des processus *in fine* de la structure morphologique des cours d'eau (Figure 2).

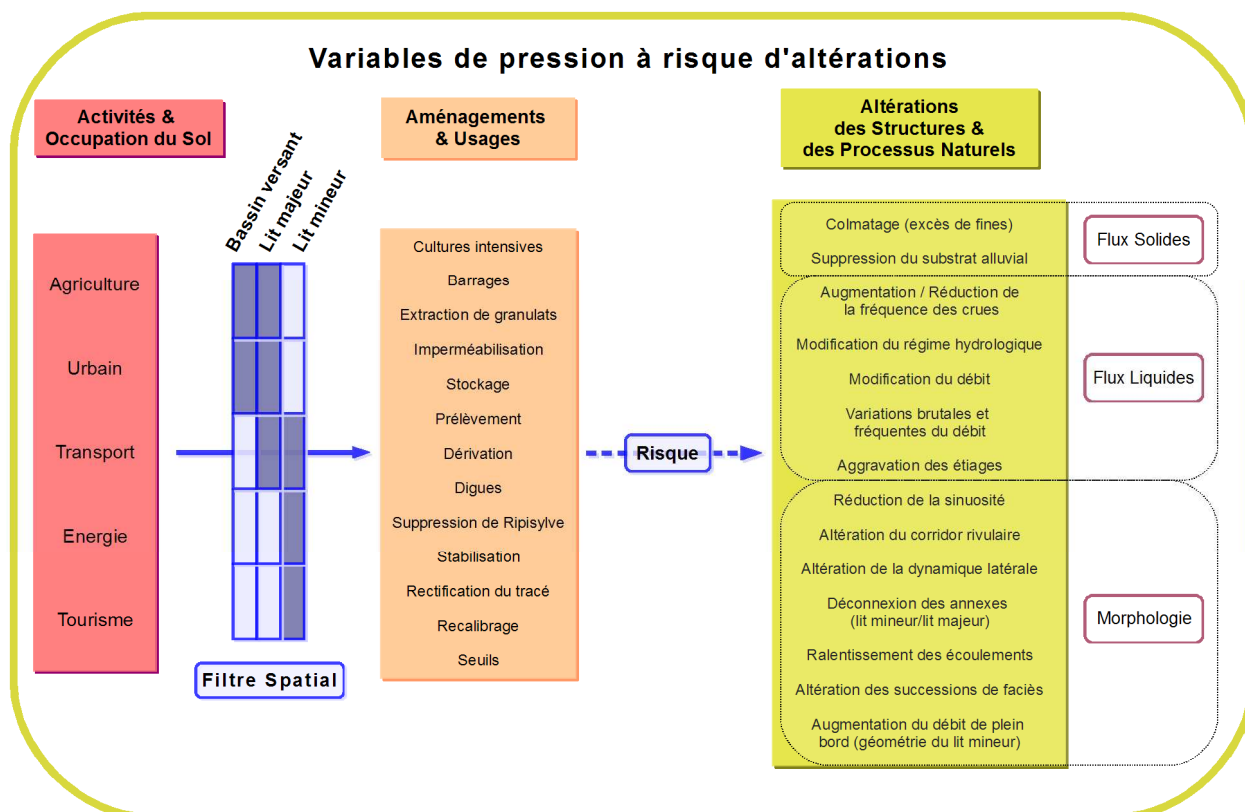


Figure 2 - Variables de pression et risques d'altérations physiques (Chandesris et al., 2007 a)

Un nombre restreint de descripteurs d'altérations physiques a été retenu, afin d'éviter toute redondance et de conserver uniquement les plus pertinents. Pour pouvoir être analysées, les données doivent être standardisées et homogènes au niveau national. C'est la raison pour laquelle le système d'audit va se baser essentiellement sur l'utilisation de couches d'informations géographiques et leurs logiciels dédiés. L'avantage étant que la majorité des données concernant les descripteurs existe déjà dans un tel format.

Le système d'audit suit une démarche descendante qui se déroule en plusieurs étapes (Chandesris et al., 2007 c). La première consiste en une évaluation des forces motrices ou activités humaines susceptibles d'engendrer des pressions. Cette étape permet une présélection des secteurs où les risques d'altérations physiques sont présents. L'étape suivante consiste en une évaluation de ces altérations physiques. Pour cela, il faut d'abord identifier les variables pertinentes d'altération, qui concernent les deux grands processus de fonctionnement des cours d'eau, à savoir les flux liquides et les flux solides ou sédimentaires ; ainsi que les altérations morphologiques sur le lit mineur.

Les structures géomorphologiques déterminent les paramètres qui influencent la dynamique fluviale et ses altérations. Ainsi, il n'est pas possible de comparer les résultats de l'évaluation des processus hydromorphologiques d'un cours d'eau s'écoulant dans une gorge et ceux d'une rivière de plaine. Les résultats bruts de l'évaluation n'exprimeraient pas la réalité des altérations. Une sectorisation hydromorphologique préalable est donc nécessaire. Il convient alors de mettre en place un cadre d'analyse adapté, qui consiste à créer un réseau de tronçons élémentaires, permettant une interprétation plus équilibrée des différents ordres de grandeur.

2 Sectorisation Géomorphologique

La sectorisation géomorphologique des cours d'eau a pour objet de distinguer, au sein d'un cours d'eau entier, des entités spatiales emboîtées présentant un fonctionnement naturel homogène. Ces entités pourront ensuite être utilisées comme unités de gestion, particulièrement pour les travaux de restauration.

La sectorisation géomorphologique repose sur le principe des entités emboîtées (Figure 3).

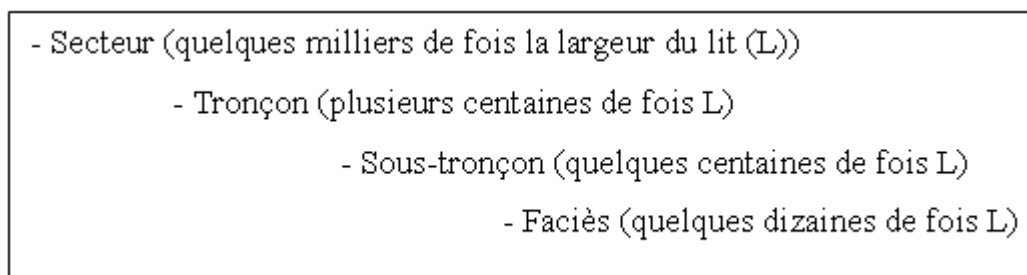


Figure 3 - Entités emboîtées (adapté de CEN, 2002)

On distingue habituellement différentes entités emboîtées qui présentent, à leur échelle, une homogénéité des processus géomorphologiques, et donc, écologiques. Il est préférable, dans le cadre de cet audit, que le premier niveau de sectorisation soit déterminé de manière définitive sur l'ensemble du réseau hydrographique, afin d'obtenir une base homogène de travail. Les secteurs peuvent être identifiés à partir des hydroécorégions (Wasson et al., 2002) de niveaux 1 (HER1) et 2 (HER2). Celles-ci ont en effet été créées sur la base de variables de contrôle majeures : la géologie, le relief et le climat (Figure 4).

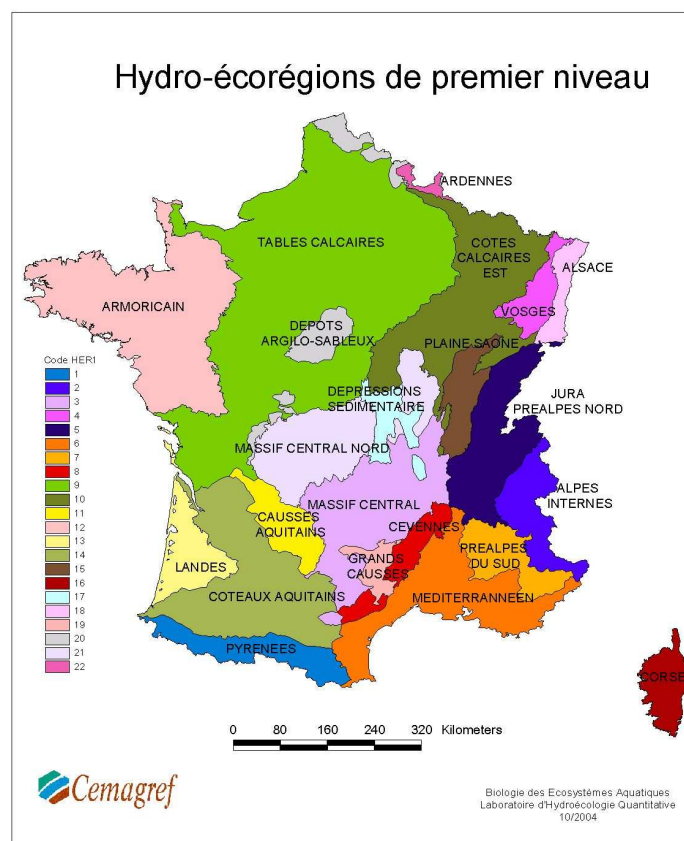


Figure 4 - Carte des hydroécorégions de niveau 1 (Wasson et al., 2002)

Une fois ce canevas spatial de base mis en place, il faut s'intéresser aux échelles inférieures de sectorisation. Le tronçon géomorphologique homogène devrait être l'entité de référence fondamentale pour toute démarche d'analyse et de gestion des cours d'eau. Le terme tronçon utilisé dans la démarche et les développements SYRAH-CE correspond au terme "reach" de la norme CEN TC 230/WG2/TG5 : N32 de mai 2002 (CEN, 2002). C'est cette échelle qui sera retenue selon notre postulat d'interprétation (Malavoi, 1989) :

Un tronçon homogène doit en théorie, selon les lois de la géomorphologie fluviale, présenter des caractéristiques géomorphologiques homogènes : géométrie du lit, pente, sinuosité, style fluvial, etc. Si un tronçon homogène présente des portions de son linéaire manifestement différentes les unes des autres, on peut alors suspecter une ou plusieurs altérations hydromorphologiques.

Le tronçon est, en effet, le niveau élémentaire de fonctionnement de la dynamique fluviale et plus particulièrement, l'échelle de réponse des processus hydromorphologiques aux contraintes des structures géomorphologiques et au régime hydrologique. C'est donc à cette échelle de sectorisation que se focalisera l'analyse des altérations hydromorphologiques.

3 Discrimination des tronçons

Afin de discriminer les tronçons, il a été nécessaire de sélectionner des variables de contrôle de la dynamique fluviale. Elles ont été choisies en raison de leur capacité à expliquer les formes fluviales et donc à pouvoir, plus aisément, déceler les altérations ultérieurement.

Parmi les variables de contrôle de la morphologie fluviale, quatre caractéristiques hydromorphologiques ont été retenues :

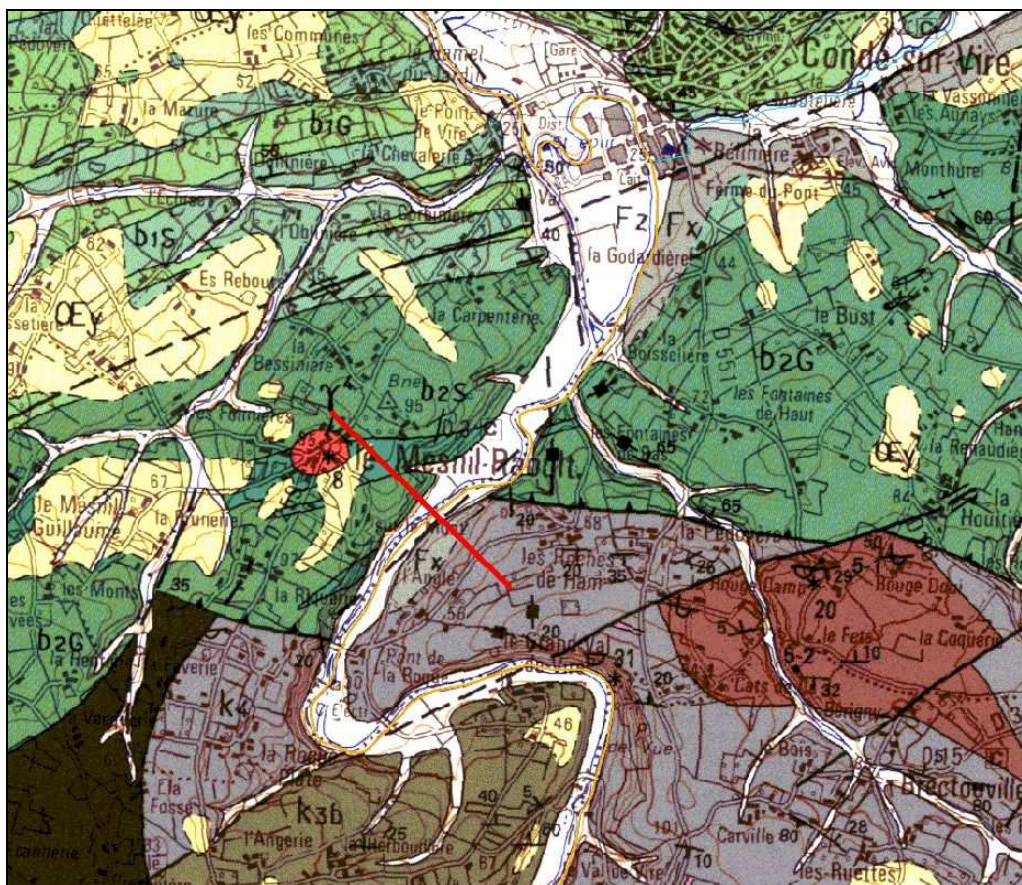
- la largeur du fond de vallée alluvial
- la forme du fond de vallée
- l'hydrologie
- la nature du substrat

Le nombre de critères discriminants a volontairement été réduit dans un souci de lisibilité et de pertinence. En effet, les variables choisies suffisent à caractériser la morphologie du cours d'eau et cela évite la redondance entre celles-ci.

3.1 Largeur du fond de vallée alluvial

C'est la principale variable de discrimination car elle joue un rôle essentiel de contrôle des processus géodynamiques. En effet, elle représente l'extension maximale du lit majeur et permet donc d'appréhender l'espace de liberté du cours d'eau, ainsi que la quantité de sédiments potentiellement mobilisable. Une limite de tronçon est placée à chaque changement important et brutal de la largeur du fond de vallée (élargissement ou réduction). En cas d'évolution progressive de cette largeur, il convient d'abord de déterminer s'il y a une modification du fonctionnement hydromorphologique.

Le fond de vallée alluvial correspond à la bande d'alluvions modernes, caractérisée par les sigles Fz et Fyz sur les cartes géologiques (Figure 5), les alluvions plus anciennes n'étant pas considérées comme mobilisables par la dynamique actuelle de la rivière.



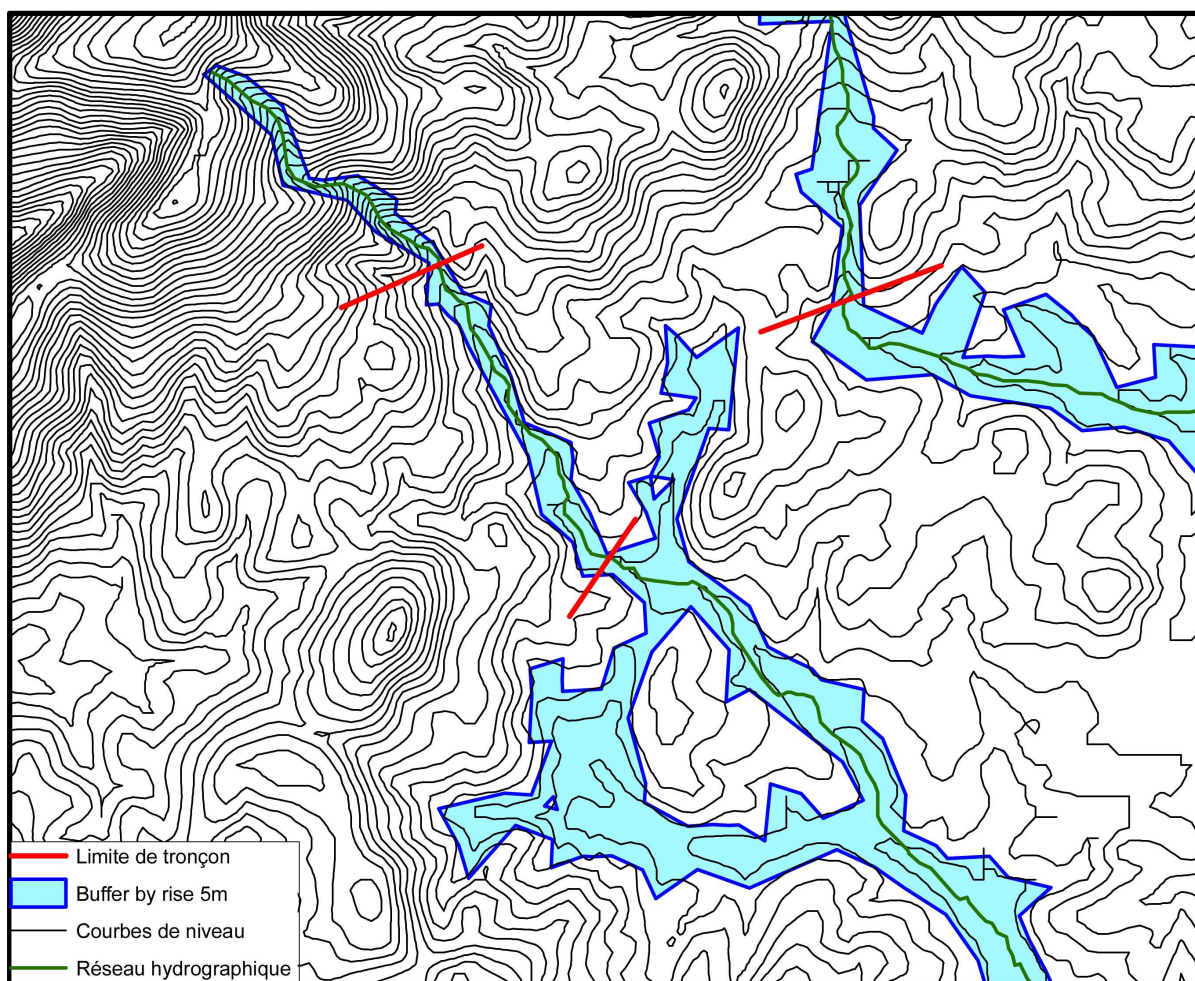


Figure 6 - Exemple de sectorisation avec la variable « pente et forme du fond de vallée »

3.3 Hydrologie (ordination de Strahler)

Le paramètre hydrologique correspond à la taille du cours d'eau en terme de débit liquide. La variable retenue est l'ordination de Strahler (1957). Ce système hiérarchique descendant 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 (Malavoi et al., 2000).

De plus, une bonne corrélation entre le rang de Strahler et la taille de la rivière a été démontrée (Bravard et Petit, 2000).

Une limite de tronçon est placée à chaque changement de rang de la rivière, c'est à dire après chaque confluence avec un affluent de taille équivalente. Pour les cours d'eau de taille importante, les confluences avec des cours d'eau de rangs inférieurs, mais intéressants en terme d'apport liquide, marquent également des limites de tronçons.

En pratique, à partir du rang 4, les confluences avec les cours de rang $n-1$ délimitent des tronçons. A partir du rang 5, les confluences avec les rivières de rang $n-2$ sont également

prises en compte. Cependant, il convient de vérifier, quand cela est possible, que le débit d'un affluent de rang n-1 ou n-2 est suffisamment important pour marquer une discontinuité hydrologique, avant de placer une limite de tronçon homogène (Figure 7).

Précisons que les variables géomorphologiques ont été retenues prioritairement par rapport à l'hydrologie dans les cas où la taille minimale imposée ne permettait pas de créer plusieurs tronçons.

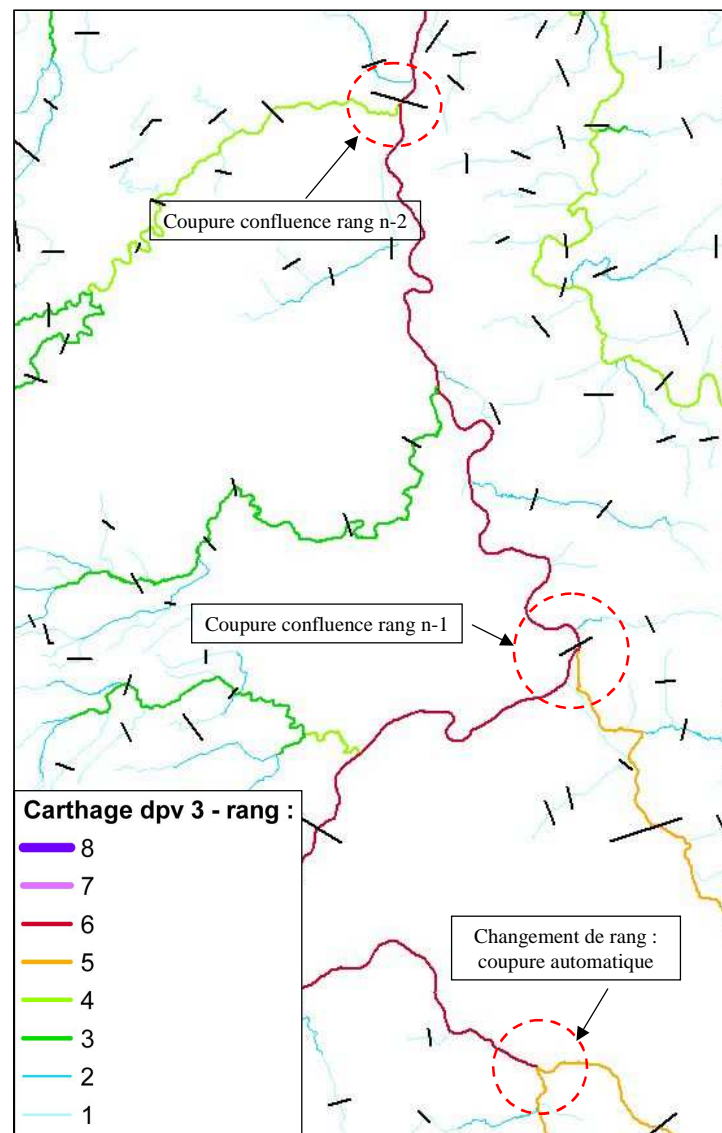


Figure 7 - Exemple de sectorisation avec la variable « hydrologie »

3.4 Nature du substratum géologique

Cette quatrième variable a été utilisée principalement quand le fond de vallée n'était pas alluvial. Mais elle permet également de renseigner sur la nature des apports de versants ou des apports solides des différents affluents, la dynamique fluviale, notamment le type de

crue, ou encore sur la présence potentielle de pertes ou de résurgences susceptibles de modifier le débit liquide.

4 **Méthodes de sectorisation**

La sectorisation hydromorphologique s'est intégralement effectuée sous SIG à l'aide des logiciels ArcView[®] et ArcGis[®]. Cela a nécessité de rassembler toutes les données requises pour la discrimination des tronçons selon les quatre variables précédemment citées.

Nous aborderons ensuite la méthode de sectorisation et notamment la question de la taille minimale des tronçons.

4.1 Couches d'informations utilisées

Le tableau suivant récapitule les différentes couches d'informations qui ont été utilisées pour évaluer les variables discriminantes.

Tableau 1 : Récapitulatif des données utilisées

Thème	Couche d'information	Source
Hydrographie	Réseau Carthage Simplifié Cemagref (Pella et al., 2006)	BD Carthage [®] (IGN)
	Ordination de Strahler	BD Carthage [®] (IGN)
Relief	Courbes de niveau équidistantes de 5 et 10 m	MNT 50 m issu de la
	Valeurs de pente	BD Alti [®] (IGN)
	Buffer by rise 5 m	BD Alti [®] (IGN)
Morphologie	Cartes géologiques numérisées au 1/50000	BRGM
Hydrologie	Ecoulements annuels moyens (Sauquet, 2005)	IGN, Banque HYDRO et CEMAGREF
Administratif	Limites de régions	BD GéoFla [®] (IGN)
Sectorisation	Limites d'HER 2 (Hydroécorégions de niveau 2)	CEMAGREF

⇒ La base du travail est le réseau hydrographique Carthage Simplifié Cemagref, qui correspond à une simplification, effectuée par le Cemagref, de la Base de Données (BD) Carthage[®] de l'IGN (Pella et al., 2006). Cette simplification a été réalisée en prenant en compte, pour chaque zone hydrologique de la BD Carthage[®], le cours d'eau jugé comme le drain principal, en considérant cependant la continuité amont-aval de chaque rivière retenue. Au final, le réseau hydrographique Carthage Simplifié Cemagref compte 250 000 km de cours d'eau, contre 500 000 km sur la BD Carthage[®].

⇒ La BD Carthage[®] comprend également le rang de Strahler pour chacun de ses arcs. Cette donnée a été reportée sur la nouvelle couche Carthage Simplifiée Cemagref.

⇒ Pour l'étude du relief, c'est à partir du MNT 50 m (Modèle Numérique de Terrain d'une précision de 50 m issu de la BD Alti[®]) que les informations requises ont été extraites. L'extension *Spatial Analys* du logiciel ArcView[®] a permis de générer automatiquement des couches de courbes de niveau équidistantes et de valeurs de pente, utilisées pour apprécier la forme et la pente du fond de vallée.

⇒ La couche « Buffer by rise 5 m » correspond à la partie du fond de vallée ayant une élévation de moins de 5 m par rapport au lit théorique de la rivière. Cette donnée permet d'apprécier aisément les variations de largeur du fond de vallée, mais pas forcément du fond de vallée alluvial, cette donnée étant uniquement topographique. Cette couche d'information est générée automatiquement par *Spatial Analys* à partir du MNT 50 m (BD Alti[®]).

⇒ Les cartes géologiques au 1/50000 numérisées (format raster) et géoréférencées du BRGM, ont servi principalement à la détermination de la largeur du fond de vallée alluvial (sigles Fz et Fyz) et de la nature du substrat des formes connectées au cours d'eau, donc susceptibles d'apporter de la charge solide.

⇒ En ce qui concerne l'hydrologie, la couche d'information utilisée se nomme « Ecoulements annuels moyens ». Elle correspond à une base de données des écoulements moyens en France (Sauquet, 2005). Tous les calculs ont été effectués à partir de chroniques de débits mensuels de plus de mille stations, provenant de la Banque HYDRO. Cette information a ensuite été extrapolée, puis compilée, pour les besoins de cartographie, sur la base du zonage hydrologique de la BD Carthage[®]. Ses champs « cumul des modules interannuels » et « cumul des débits spécifiques » ont permis :

- De donner un ordre de grandeur plus précis que le rang de Strahler pour la discrimination hydrologique ;
- De quantifier l'importance relative des apports des affluents et donc leur effet sur une éventuelle modification des processus géodynamiques.

Cette information existe principalement pour les grands cours d'eau à l'échelle nationale (drain principal unique par zone hydrologique de la BD Carthage[®]), ce qui représente un réseau d'environ 120 000 km de cours d'eau.

⇒ Les limites des régions administratives, issues de la BD GéoFla[®] de l'IGN, ont été un outil pratique d'aide à la localisation, mais ont aussi permis de fractionner le travail de sectorisation. En effet, celle-ci a été réalisée en plusieurs morceaux correspondant globalement aux vingt-deux régions. Puis, il y a eu une fusion des vingt-deux fichiers de sectorisation, qui s'est accompagnée d'un travail d'homogénéisation du fichier national, particulièrement pour les zones limitrophes entre les différentes régions.

⇒ Les limites des hydroécorégions de niveau 2 n'ont pas servi d'éléments discriminants mais ont permis une validation du travail, celles-ci correspondant en effet, à l'échelle supérieure de sectorisation.

4.2 Taille minimale des tronçons

Il a été décidé d'imposer une taille minimale aux tronçons hydromorphologiques homogènes. Cette taille minimale évolue en fonction de la taille du cours d'eau, appréhendée ici par le biais du rang de Strahler (Tableau ci-après). Le principe de la taille minimale ne s'applique évidemment pas lorsque la longueur du cours d'eau est naturellement inférieure à la longueur minimale des tronçons définie.

Tableau 2 : Taille minimale des tronçons en fonction du rang de Strahler

Rang de Strahler	Longueur minimale des tronçons en km
1	1
2	2
3	3
4	4
5	6
6	9
7	14
8	20

La raison de la mise en place d'une taille minimale des tronçons est d'ordre hydromorphologique. Dans le cas d'un petit cours d'eau de tête de bassin (faible rang de Strahler), les variations d'une ou plusieurs variables de contrôle se traduisent rapidement, de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres, par un changement de sa dynamique fluviale. Lorsqu'il s'agit d'un grand cours d'eau de plaine (rang de Strahler élevé), ces changements vont se faire progressivement au fil des kilomètres. La taille minimale des tronçons doit donc, à l'instar des modifications morphologiques, être proportionnelle à la taille du cours d'eau.

4.3 Principes de la sectorisation

La majeure partie de la sectorisation a été effectuée par expertise hydromorphologique manuelle grâce à une visualisation conjuguée, sous SIG, de toutes les variables discriminantes (largeur, pente et géométrie du fond de vallée, ordination de Strahler et nature du substrat). Il est important de noter que les coupures dues à un changement de rang de Strahler sont réalisées automatiquement par une extension du logiciel SIG, mais que l'expert en a quand même tenu compte dans sa démarche manuelle.

La première étape de la sectorisation a consisté à placer, sur une nouvelle couche de données, des traits de sectorisation sécants à la couche du réseau hydrographique à l'endroit où l'opérateur estime que l'évolution des variables de contrôle provoque une modification du fonctionnement morphodynamique du cours d'eau. Les points d'intersection des deux couches vont servir de base au découpage des arcs du réseau hydrographique et donc à la création des tronçons homogènes.

Le travail de l'opérateur sous SIG s'est déroulé en plusieurs étapes. Tout d'abord, pour ne pas alourdir inutilement les fichiers de travail, la sectorisation a été abordée, région par région et à différentes échelles spatiales. Dans le souci de ne pas omettre de rivière, le travail s'est également effectué par bassins hydrographiques. Les petits cours d'eau, de

rang 1 à 4, ont été sectorisés en premier, à petite échelle, tandis que les cours d'eau plus importants, à partir du rang 5, ont été découpés plus tard et à plus large échelle (également parce que beaucoup d'entre eux traversent plusieurs régions administratives), afin de mieux appréhender la morphologie générale du bassin versant, ainsi que l'évolution hydrologique. Les zones limitrophes entre les différentes régions ont été retravaillées par la suite pour assurer une bonne cohérence entre les différents fichiers de sectorisation. Enfin, tous les traits de sectorisation destinés à servir de point de découpage du réseau, ont été regroupés en un fichier national.

Le positionnement des traits de sectorisation obéit aux quelques règles de base suivantes :

- la taille minimale des tronçons suivant le rang doit être respectée au maximum, cependant, dans le cas d'une modification morphologique importante, une marge de tolérance, de 10 % de la longueur minimale du tronçon, est acceptée ;
- dans le cas d'une rupture hydrologique, le trait de sectorisation est placé à l'aval de la confluence ;
- quand plusieurs confluences importantes se succèdent sur une courte distance, la ligne de sectorisation est placée à l'aval de la dernière confluence ;
- de même, quand une modification morphologique se situe à proximité d'une confluence, la ligne se place également à l'aval de celle-ci ;
- lorsque se succèdent des phases d'élargissement et de rétrécissement du fond de vallée (très fréquent dans les milieux montagnards), soit chaque phase possède une longueur supérieure à la taille minimale requise, dans ce cas chacune correspond à un tronçon, soit, les différentes phases ont une longueur insuffisante vis-à-vis de la taille minimale, dans ce cas le tronçon englobe la succession des discontinuités qui est considérée comme homogène à une échelle plus large ;
- quand une rupture hydrologique se situe à proximité d'une discontinuité géomorphologique (distance inférieure à la taille minimale d'un tronçon), la coupure est placée préférentiellement à l'endroit du changement morphologique.

Outre ces quelques règles fondamentales, la sectorisation s'est effectuée au cas par cas, en fonction des spécificités locales. La figure ci-dessous (Figure 8) explicite les différents principes de la sectorisation.

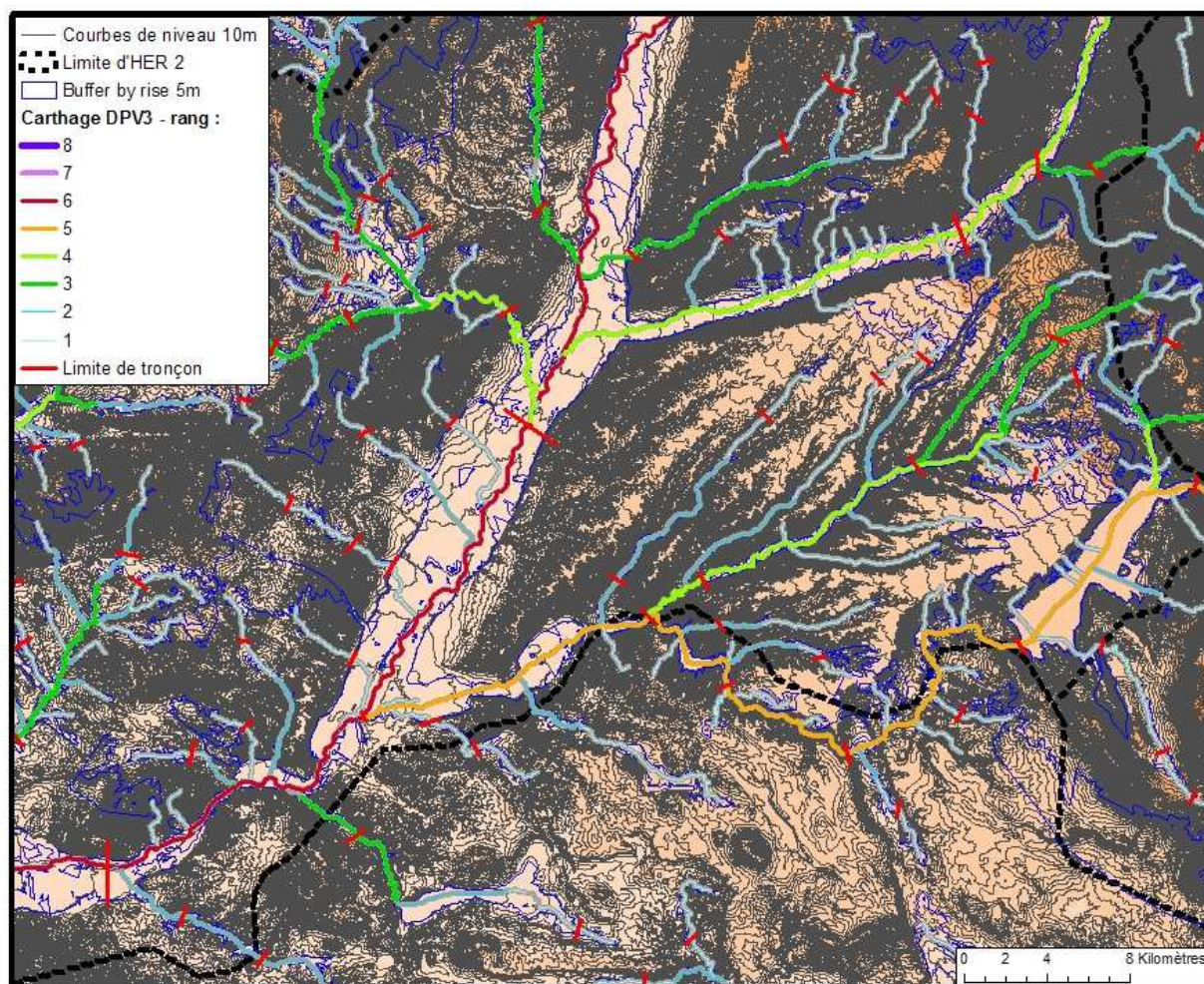


Figure 8 - Exemple de sectorisation en région PACA (extrait du SIG)

Dans un second temps, la couche contenant les limites des hydroécorégions de niveau 2 a permis de valider la sectorisation, voire de la rectifier. Cependant, il y a généralement une bonne corrélation entre les limites d'hydroécorégions et celles des tronçons homogènes fixées par l'opérateur (Figure 9).

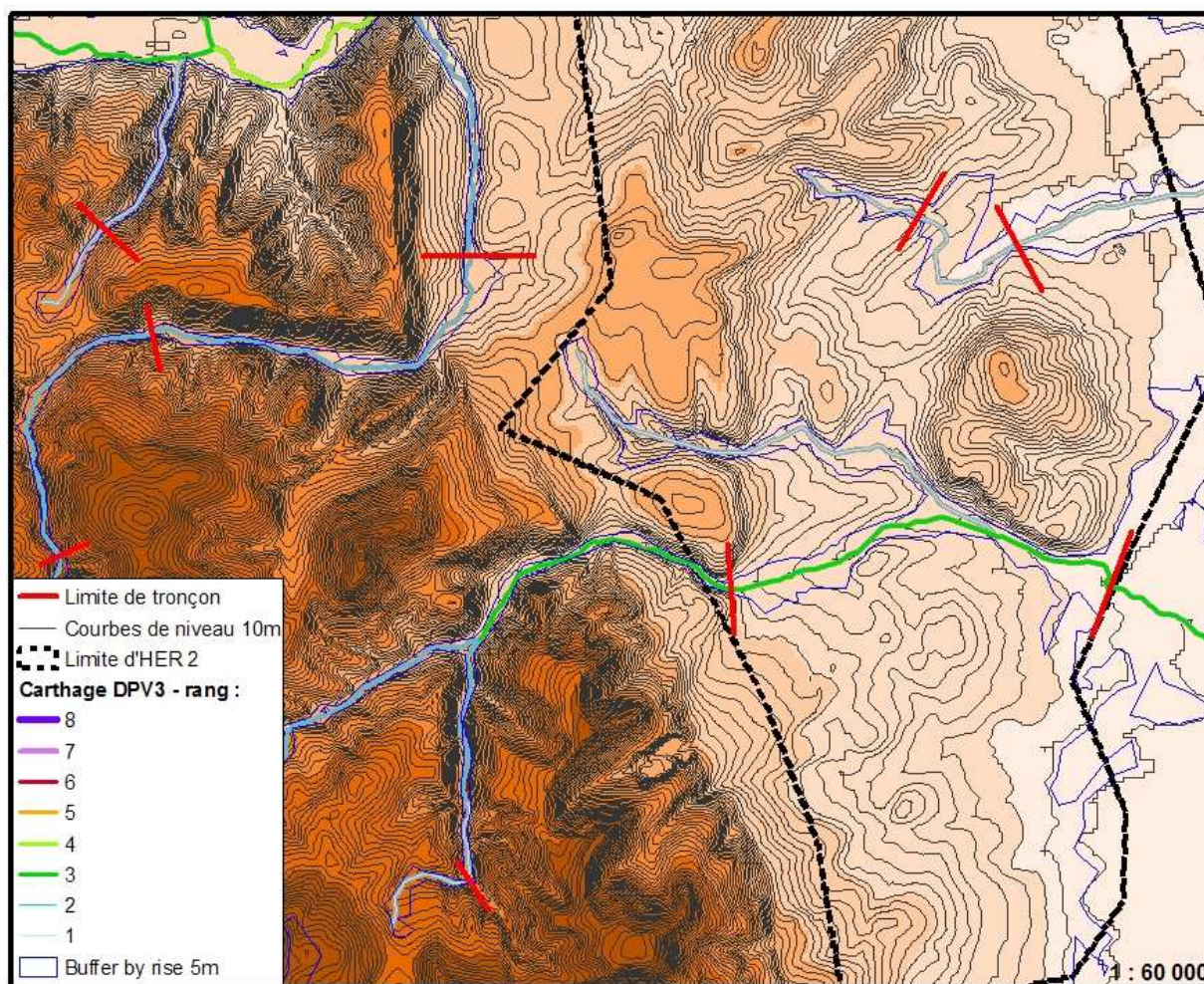


Figure 9 - Exemple de corrélation entre les limites de tronçons et d'HER2 (extrait du SIG)

5 Problèmes rencontrés et limites

Les principaux problèmes rencontrés lors de la sectorisation, sont dus aux différentes données utilisées. Cependant les méthodes de sectorisation présentent aussi des limites qu'il convient de définir avant d'interpréter les résultats.

Une limite non quantifiable est celle de l'interprétation des données par l'expert. La méthode manuelle de sectorisation retenue implique que celui-ci, au vu des différentes données à sa disposition, fasse des choix sur l'importance ou non du changement morphologique et décide de placer une limite de tronçons ou pas.

Un autre hydromorphologue peut avoir un point de vue différent et donc placer la limite plus à l'amont ou à l'aval. La sectorisation, complètement cohérente avec l'objectif global de l'audit national, est cependant légèrement influencée par les choix d'un opérateur et il convient d'en tenir compte au moment de l'interprétation.

5.1 Problèmes techniques

Les problèmes posés par les données ont plusieurs causes : hétérogénéité, sources, exhaustivité, compatibilité...

Tout d'abord, la couche du réseau Carthage Simplifié Cemagref, qui sert de base à la sectorisation, malgré plusieurs rectifications, comporte encore localement quelques imprécisions, notamment dans le cas d'un fond de vallée contenant un cours d'eau naturel et un canal, un bief ou autre dérivation. La rivière qui apparaît dans la couche Carthage Simplifiée Cemagref alterne en réalité entre des tronçons du cours d'eau naturel et des tronçons du cours d'eau artificiel. Cette situation, due au processus automatique de sélection, complique la tâche de détermination des différentes variables et la sectorisation perd en précision.

Une autre difficulté rencontrée a été la couverture uniquement partielle du territoire français par les cartes géologiques au 1/50000. La détermination de la largeur du fond de vallée alluvial étant, en effet, une des premières variables discriminatoires. La valeur de cette variable a, dans ce cas, dû être extrapolée à partir de la topographie locale et par comparaison avec des cours d'eau similaires au sein de la même hydroécorégion. Sur les anciennes cartes géologiques, la différenciation entre les différents types d'alluvions n'a pas toujours été réalisée et il est donc difficile de déterminer avec précision la limite entre les sédiments mobilisables et les formes héritées d'un fonctionnement antérieur, glaciaire par exemple. De plus, les cartes connexes ne sont pas spécialement de la même série, ce qui pose des problèmes de continuité des données (Figure 10).

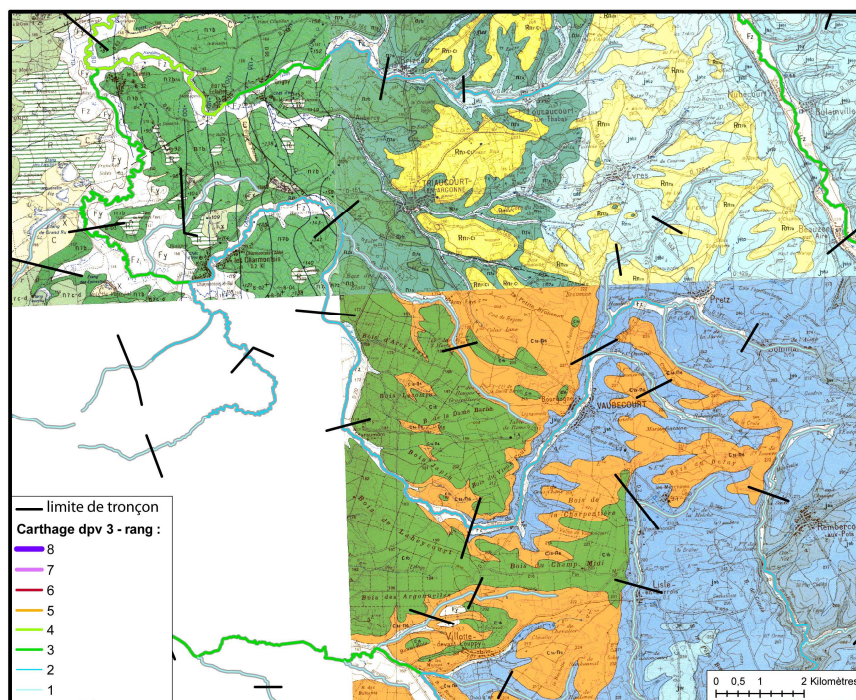


Figure 10 - Exemple de problème d’affichage lié aux cartes géologiques numérisées (extrait du SIG)

Le rang de Strahler, donnée essentielle pour la sectorisation, a été à l’origine de plusieurs problèmes, malgré de nombreuses rectifications. Chaque agence de l’eau a numérisé les rivières de son territoire et la densité de cours d’eau retenus varie donc d’une agence à l’autre. Cela a nécessité un recalibrage du rang de Strahler à l’échelle nationale (Chandesris et al., 2006).

De plus, fréquemment, des rivières subissent des déclassements de rang sans aucune raison apparente, particulièrement sur des rivières fortement artificialisées. Ces situations sont dues au processus automatique de simplification de la BD Carthage. Cela pose le problème du croisement de la sectorisation manuelle et de la sectorisation automatique selon le rang de Strahler. En effet, l’expert est obligé de considérer que le cours d’eau conserve son rang réel, dans un souci d’homogénéité de la sectorisation sur le plan longitudinal. Tous les secteurs concernés nécessitent donc des rectifications manuelles.

5.2 Question de la taille minimale des tronçons

De fortes discontinuités peuvent être observées sur de faibles distances. C’est notamment le cas des secteurs en gorges ou des milieux montagnards en général. Ces discontinuités sont souvent trop petites pour faire l’objet de tronçons complets à elles seules, à cause de la contrainte de la taille minimale des tronçons. Ces secteurs doivent donc être rattachés à d’autres pour former des tronçons d’une relative homogénéité. Dans beaucoup de cas, le cours d’eau reprend, à l’aval de ces zones, un fonctionnement très similaire à celui qu’il avait à l’amont. Cependant, dans les cas où l’amont et l’aval du secteur concerné présentent des caractéristiques différentes, la question du rattachement du secteur en

gorges, par exemple, est discutable et ne représente pas forcément la réalité hydromorphologique.

5.3 Limite inhérente à une typologie naturelle

La sectorisation hydromorphologique de SYRAH est établie sur la base d'un fonctionnement naturel. Elle représente la situation du cours d'eau tel qu'il devrait être sans ou avec peu d'aménagements. En effet, le but de l'audit est de retrouver la dynamique fluviale naturelle à des fins de restauration, pour atteindre le bon état écologique prôné par la directive cadre sur l'eau. Les données utilisées pour la sectorisation représentent l'état actuel de l'hydrosystème et il a été parfois difficile, notamment dans le cas de tronçons fortement artificialisés, de déterminer la dynamique morphologique naturelle du cours d'eau. L'expert a dû, dans ces cas là, procéder à des extrapolations auxquelles sont liées des incertitudes importantes, au vu du nombre limité de données à disposition. La question de la restauration des cours d'eau dont les aménagements sont très anciens ou très lourds, se pose, du fait du manque de données qualifiant ses processus géodynamiques originaux.

6 Usages

Ce chapitre permet de répondre aux interrogations éventuelles des futurs utilisateurs de la sectorisation. Il permet notamment de mieux interpréter les choix de l'opérateur, en précisant l'objectif visé et en expliquant quelques exemples de situations où le découpage s'est avéré complexe.

6.1 Rappel des objectifs de la sectorisation

L'objectif de la sectorisation en tronçons géomorphologiques homogènes est la création d'une base de données, qui puisse servir de référentiel aux études futures de restauration. Les tronçons du réseau hydrographique ainsi découpé, seront renseignés, dans la base de données, avec leurs caractéristiques structurales majeures : superficie du bassin versant, pente et largeur du fond de vallée, qui permettront de quantifier l'énergie du cours d'eau, principal critère de discrimination entre les différents styles fluviaux selon différents auteurs (Leopold & Wolman, 1957 ; Parker, 1976 ; Richards, 1982 ; Kellerhals & Bray, 1986 ; cités par Bravard et Petit, 2000).

L'objectif final de cette base de données est d'apprécier le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau à l'échelle du bassin versant, via la caractérisation de chaque tronçon, puis, de réaliser une typologie par rapprochement des tronçons qui ont un fonctionnement similaire.

Parallèlement, les données de la BD Topo[®] de l'IGN, seront récupérées, par le biais de zones tampons, sur chaque tronçon, afin de caractériser les pressions et les altérations physiques. Le croisement de la typologie et des variables d'altérations permettra, pour chaque tronçon, de mieux quantifier l'importance des pressions selon le contexte géomorphologique.

6.2 Exemples de choix d'interprétation

Le découpage en tronçons hydromorphologiques homogènes résulte des choix de l'opérateur qui a effectué la sectorisation sur la base du cahier des charges. Voici quelques exemples de choix et leur interprétation.

⇒ L'absence de découpage

Certaines ruptures hydromorphologiques nettes, mais de faible longueur (un secteur en gorges au passage d'un verrou géologique par exemple), ainsi que certaines variations faibles d'une ou plusieurs variables de contrôle (un léger élargissement de la largeur du fond de vallée sans modification des autres variables par exemple), n'ont pas fait l'objet d'un découpage. Ceci peut être dû à différentes raisons, comme le respect de la taille minimale des tronçons (cf. Tableau 2) ou d'une cohérence hydromorphologique globale du tronçon (pas de changement notable de style fluvial) à l'échelle du bassin versant.

De même, quand plusieurs ruptures hydrologiques ou géomorphologiques se succèdent sur une courte distance, l'opérateur a choisi, avec les données dont il dispose, la rupture qui lui apparaît comme la plus importante en terme de changement de dynamique fluviale.

⇒ Les découpages aux confluences

Un paramètre qui a fortement influencé les choix de l'opérateur dans ce domaine, est la non-exhaustivité des données à sa disposition. En effet, l'information de débit liquide n'était pas disponible pour l'ensemble du réseau hydrographique et les débits solides ont dû être évalués en fonction des caractéristiques géomorphologiques locales.

Quand deux confluences importantes se succèdent sur une courte distance, le choix a été fait de placer la limite de tronçon à l'aval de la dernière confluence, même si la confluence amont semblait être la plus génératrice de changements hydromorphologiques. On considère dans ce cas la différence entre la dynamique fluviale de l'amont du secteur des confluences et celle de l'aval de même secteur, le segment du milieu étant perçu uniquement comme une transition.

Les données de débits n'étant pas disponibles sur l'ensemble du réseau, le rang de Strahler a souvent été utilisé comme indication principale de l'importance d'un affluent. Certaines confluences, avec des débits liquides et solides remarquables, ont donc pu être oubliées car possédant un rang de Strahler faible (donc la règle des coupures aux confluences avec les rivières de rang $n-1$ et $n-2$ ne s'applique pas). Inversement, des limites de tronçons ont été placées à l'aval de certaines confluences qui peuvent paraître notables en terme d'apports liquides et solides (manque de données), mais qui ont une importance toute relative en réalité.

⇒ Imprécision du placement des limites

Les limites de tronçons ont été placées à l'aval de ruptures hydromorphologiques et doivent représenter des changements de dynamique fluviale. Cependant, ceux-ci peuvent, selon des caractéristiques hydromorphologiques locales que l'opérateur n'avait pas à sa disposition, intervenir sur des distances variables. Cette variabilité de l'adaptation de la dynamique fluviale aux modifications des structures, uniquement appréciable par des campagnes de terrain, est difficilement quantifiable pour l'opérateur. Il en résulte une certaine

imprécision du positionnement de la limite de tronçons, de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres pour les petites rivières, à quelques kilomètres pour les grands cours d'eau.

De même, lorsque le changement de dynamique fluviale se fait progressivement, il est difficile de choisir l'emplacement exact de la limite de tronçon. Celle-ci est, en règle générale, placée immédiatement à l'aval d'une confluence, même peu importante, afin de marquer une certaine rupture. Mais ce type de situation, nécessite une vérification sur le terrain et très certainement un léger déplacement de la coupure entre les tronçons après validation.

6.3 Une nécessaire validation locale

Cette imprécision, qui influe peu sur la compréhension du fonctionnement hydromorphologique à l'échelle du bassin versant, nécessite d'être validée, voire corrigée par des études plus précises, préalables à des travaux de restauration par exemple.

Des études à plus petite échelle, avec notamment des mesures de terrain, sont nécessaires à la validation de la sectorisation, qui est basée sur un nombre restreint de variables. Ces études peuvent entraîner des modifications du positionnement des limites de tronçons, qui pourront, par la suite, être prise en compte dans la base de données de référence du SYRAH-CE. L'objectif étant de disposer, à terme, de la base de données la plus précise possible.

6.4 Possibilité de créer des sous-tronçons

Les tronçons du SYRAH-CE présentent une homogénéité de fonctionnement à l'échelle du bassin versant. Pour les études qui auraient besoin d'un niveau de précision plus important, prenant notamment en compte les moindres variations de dynamique fluviale, nous proposons que les réalisateurs des études créent un réseau de sous-tronçons, en se basant sur le réseau de tronçons du SYRAH-CE. Ceux-ci pourraient, par exemple, prendre en compte les changements qui ont lieu sur des courtes distances (particulièrement en zone montagneuse avec ses successions de phases d'élargissement et de rétrécissement du fond de vallée), ce qui n'est pas le cas dans le cadre du système d'audit.

Il est à noter que ces éventuels sous-tronçons ne peuvent pas figurer dans la base de données du SYRAH-CE, mais qu'ils peuvent en revanche faire l'objet d'une annexe à ce référentiel, qui pourrait devenir un outil très intéressant pour les gestionnaires de rivières.

7 Conclusion

La sectorisation du réseau hydrographique en tronçons géomorphologiques homogènes, est l'outil du support géographique du système d'audit. Elle offre, en effet, une échelle pertinente de travail pour le recueil, l'analyse, l'interprétation ou la cartographie des données, voire pour la gestion des travaux de restauration ultérieurs. C'est un complément approprié à l'atlas large échelle (Chandesris et al., 2007 b), qui s'intéresse plus aux forces motrices ou activités humaines à l'origine des perturbations.

La sectorisation en tronçons homogènes, qui vise à expliquer et à cartographier les altérations des processus de fonctionnement hydromorphologique, se base sur un nombre restreint de variables, pour éviter la redondance et faciliter l'interprétation. Cette discrimination respecte les dynamiques naturelles d'un cours d'eau, notamment dans sa dimension longitudinale.

La sectorisation a été intégralement réalisée sous SIG, ce qui en fait un outil opérationnel et aisément mobilisable pour les différents gestionnaires de cours d'eau.

La cartographie résultant de la sectorisation donne un canevas spatial efficace pour identifier les secteurs où la présence d'altérations est très probable. Cependant, dans l'optique d'atteindre le bon état écologique des masses d'eau, objectif prioritaire de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau, il convient de mieux cerner les liens entre la biologie et l'hydromorphologie et de réaliser des études locales plus précises, avant d'entamer d'éventuels travaux de restauration.

Les objectifs à court terme dans la poursuite de ce travail sont :

- Valider la sectorisation par une étude précise sur quelques bassins versant tests ;
- Caractériser les tronçons obtenus avec certaines variables quantitatives, telles que la largeur du fond de vallée, la pente et la taille du bassin versant ;
- Permettre l'extraction des données des BD Topo[®] et Carthage[®] de l'IGN par tronçons homogènes ;
- Créer des indicateurs de pression à analyser et à lier à l'état écologique du cours d'eau.

Bibliographie

Bravard J.P. & Petit F., 2000. Les cours d'eau. Colin, Paris. 222 p.

Commission of the European Communities (CEN), 2002. A guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers. Norme CEN TC 230/WG2/TG5 : N32. 21 p.

Chandesris A., Malavoi J.R., Souchon Y., Wasson J.G. & Mengin N., 2007 a. Le système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH CE): un outil multi-échelles d'aide à la décision pour la gestion des cours d'eau. Ingénieries - Eau Agriculture & Territoires, n° 50, p. 77-80.

Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J.R., Souchon, Y. and Wasson, J.G., 2007 b. SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau - Atlas à large échelle - Usages des sols, Aménagements. Rapport, Cemagref Lyon BEA/LHQ. 45 p.

Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J.R., Souchon, Y., Wasson, J.G. and H. Pella, 2007 c. SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau - Principes & Méthodes. Rapport, Cemagref Lyon BEA/LHQ. 38 p + Annexes.

Chandesris, A., Wasson, J.G., Pella, H., Sauquet, H. and Mengin, N., 2006. Typologie des cours d'eau de France métropolitaine. Rapport Cemagref, Lyon. 62 p.

Malavoi, J.R., 1989. Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques des cours d'eau à haute énergie. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. 315: 189-210.

Malavoi, Area, J. and Strategis, 2000. Typologie et sectorisation des cours d'eau du bassin Loire-Bretagne. 98016, 79 p.

Pella H., Sauquet E. & Chandesris A., 2006. Construction d'un réseau hydrographique simplifié à partir de la BD Carthage®. Ingénieries - Eau Agriculture & Territoires, n°46. p. 3-14.

Sauquet E., 2005. Cartographie des écoulements annuels moyens en France. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Cemagref HHLY. 39 p.

Strahler A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 38(6). p. 913-920.

Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. and Blanc, L., 2002. Les hydro-écorégions de France métropolitaine. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Cemagref BEA/LHQ. 190 p.