

**Partenariat 2010** – *Hydro-morphologie et altérations physiques – Action 1 : Descripteurs pour les cours d'eau*



## Cahiers techniques SYRAH-CE

*Laurent Valette, Anaïs Cunillera Pôle Hydroécologie des  
cours d'eau Onema Cemagref Lyon*

*Novembre 2010*

## Contexte de programmation et de réalisation

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE) impose l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau d'ici 2015. Le projet SYRAH-CE (SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau) a pour objectif de recueillir les pressions impactant potentiellement le fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau. Ce recueil est réalisé à l'échelle de Tronçons Géomorphologiquement Homogènes pour lesquels des paramètres de fonctionnement hydromorphologique ont été calculés. La création des tronçons homogènes et les méthodes de calcul de ces paramètres sont l'objet des présents cahiers techniques.

La base de données géoréférencée résultante va servir de point de départ à une typologie de fonctionnement hydromorphologique des cours d'eau, filtre essentiel pour traduire les pressions anthropiques en risques d'altération du fonctionnement des cours d'eau.

## Les auteurs

**Laurent Valette**  
Ingénieur d'études Hydromorphologie et SIG  
[laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr)  
Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema Cemagref  
3bis Quai Chauveau CP 220  
69336 LYON CEDEX 09

**Anaïs Cunillera**  
Ingénieur d'études Hydromorphologie et SIG  
[anaïs.cunillera@cemagref.fr](mailto:anaïs.cunillera@cemagref.fr)  
Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema Cemagref  
3bis Quai Chauveau CP 220  
69336 LYON CEDEX 09

## Les correspondants

Onema : Jean-Marc Baudoin, DAST, [jean-marc.baudoin@onema.fr](mailto:jean-marc.baudoin@onema.fr)

Cemagref : Laurent Valette, Pôle Onema Cemagref de Lyon, [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr)  
André Chandesris, Pôle Onema Cemagref de Lyon, [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr)

<b>Droits d'usage :</b>	<i>accès libre</i>
<b>Couverture géographique :</b>	<i>France métropolitaine</i>
<b>Niveau géographique [un seul choix] :</b>	<i>national,</i>
<b>Niveau de lecture [plusieurs choix possibles] :</b>	<i>Professionnels, experts</i>
<b>Nature de la ressource :</b>	<i>Document technique</i>



***Cahiers techniques SYRAH-CE***

Laurent Valette, Anaïs Cunillera

**SOMMAIRE**

<b>Feuille n°1 : Description du réseau hydrographique des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes..</b>	<b>4</b>
<b>Feuille n°2 : Description du paramètre : Rang de Strahler Harmonisé.....</b>	<b>9</b>
<b>Feuille n°3 : Méthodologie de construction d'un polygone représentant le fond de vallée .....</b>	<b>13</b>
<b>Feuille n°4 : Description du paramètre : Largeur du fond de vallée.....</b>	<b>23</b>
<b>Feuille n°5 : Description du paramètre : pente de la vallée .....</b>	<b>32</b>
<b>Feuille n°6 : Description du paramètre : pente du lit mineur .....</b>	<b>42</b>
<b>Feuille n°7 : Description du paramètre : Superficie BV amont.....</b>	<b>46</b>
<b>Feuille n°8 : Description du paramètre : Débit spécifique de crue.....</b>	<b>54</b>
<b>Feuille n°9 : Description du paramètre largeur théorique à pleins bords .....</b>	<b>61</b>
<b>Feuille n°10 Description du paramètre intensité de bancs .....</b>	<b>77</b>
<b>Feuille n°11 : Description du paramètre rapport d'encaissement.....</b>	<b>89</b>

# **Feuille n°1 : Description du réseau hydrographique des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes**

## **1. Description des données**

### **1.1. Résumé**

Le réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (réseau TGH) est une couche SIG de polygones, qui représente le réseau hydrographique de base pour toutes les modélisations du pôle ONEMA-Cemagref Hydroécologie Cours d'eau de Lyon.

### **1.2. Objectif**

Disposer d'une couche de travail commune à tous les travaux en géomatique et SIG du pôle, qui reste compatible avec les référentiels nationaux.

### **1.3. Données utilisées**

- BD Carthage® version 3.0 de l'IGN ;
- Réseau hydrographique naturel étendu (Pella et *al.*, 2008) ;
- Les photographies aériennes (résolution 50cm) orthorectifiées de la BD Ortho® de l'IGN ;
- Les cartes numérisées au 1/25 000 de la BD Scan25® de l'IGN.

### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI ;
- ArcScript FlipLines (Visual Basic) développé par Michele Lundeen, trouvé à l'adresse suivante <http://support.esri.com>.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Construction**

#### **2.1.1. Origine**

L'intégralité de la BD Carthage®, représente plus de 500 000km de cours d'eau, dont beaucoup sont artificiels, de plus, elle ne possède pas de topologie correcte, ce qui ne correspond pas à notre objectif d'élaboration d'une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques. Nous avons par conséquent opté pour un réseau moins dense : le réseau naturel étendu, développé au Cemagref de Lyon (Pella et *al.*, 2008). Nous avons donc récupéré une version provisoire de ce réseau pour servir de base au nôtre.

### 2.1.2. Adaptation

La première étape consiste en une vérification et une correction de la topologie du réseau hydrographique. En effet, nous avons besoin d'un réseau où tous les arcs sont jointifs pour répondre aux besoins de modélisation (fonction de parcours réseau amont ou aval par exemple).

La méthode consiste à repérer les erreurs topologiques grâce aux outils de topologie natifs d'ArcGis. Quand des « trous » sont repérés sur le réseau, deux situations sont apparues :

- l'arc manquant existe dans la BD Carthage® (simple erreur de sélection) : il est alors récupéré dans notre couche de travail ;
- l'arc manquant n'existe nulle part : un arc fictif est créé pour assurer la connectivité du réseau. Cet arc, dépassant rarement les quelques dizaines de mètres, est dessiné, si possible (cas des cours d'eau enterrés), à partir des cartes numérisées (BD Scan25®) ou des photographies aériennes (BD Ortho®).

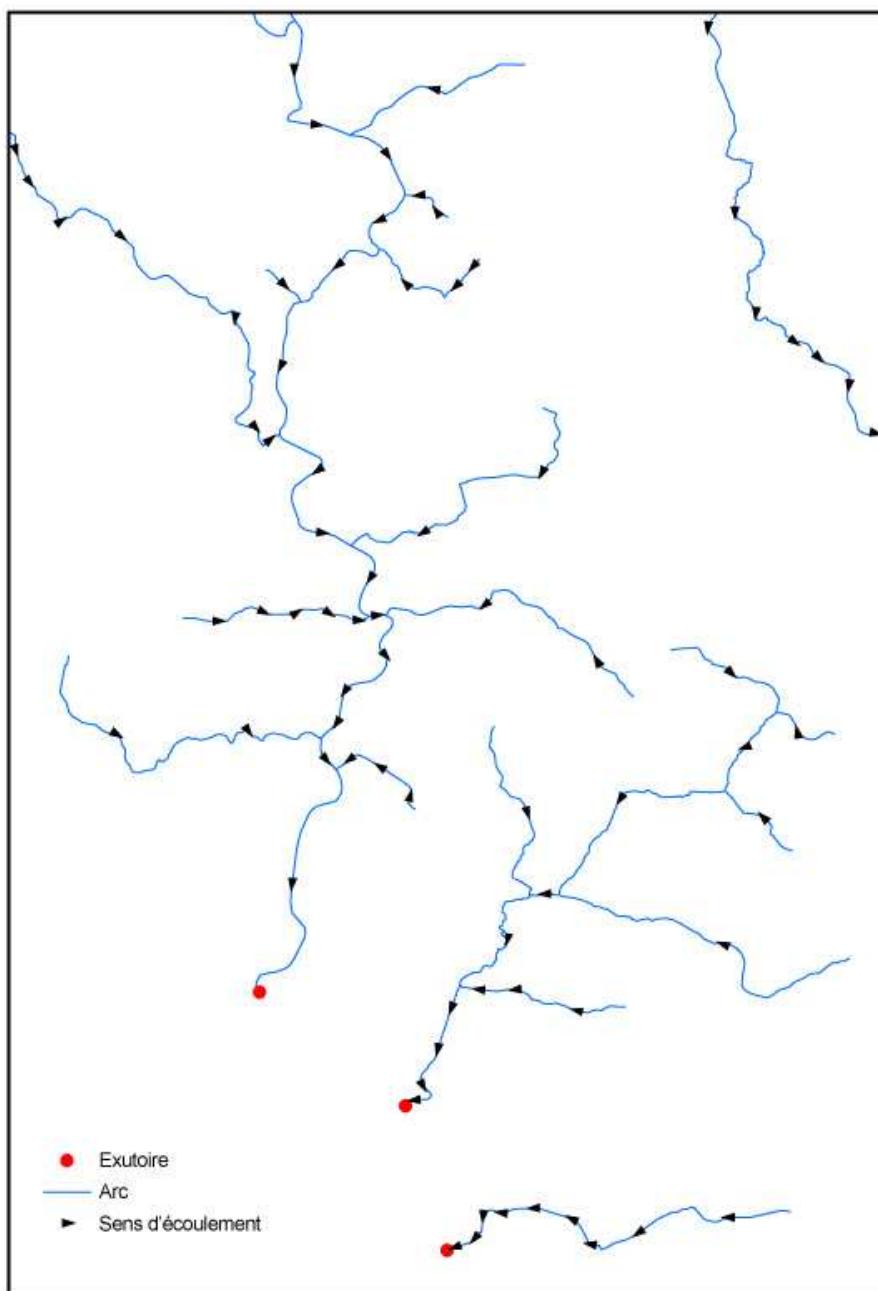
Une fois le réseau jointif créé, nous avons dû rajouter un « code hydro » aux arcs manquants : c'est le code de l'arc immédiatement à l'amont ou à l'aval qui a été choisi selon sa position (amont si l'arc concerné est à l'amont direct d'une confluence par exemple).

Par ailleurs, la codification Carthage ne correspond pas toujours à nos besoins pour la sectorisation du réseau qui est basée au départ sur un couple « Code Hydro » / Rang (Valette et *al.*, 2008). Par exemple, un arc fortement artificialisé, avec son code hydro propre, situé entre deux arcs naturels, se voit attribuer le code du ou des arcs naturels qui correspondent. Ce sont les seuls cas où la compatibilité avec le référentiel Carthage® n'est pas respectée.

Le réseau de départ a également été légèrement densifié pour coïncider avec des stations des réseaux de suivi (RCR et RCS).

## 2.2. **Orientation**

Notre réseau, désormais propre sur le plan topologique, doit être orienté pour le calcul de pente par exemple. La méthodologie consiste, à l'aide de l'outil « Analyse du réseau de distribution » d'ArcGis, à définir les points qui correspondent aux exutoires du réseau, après avoir transformé notre couche en réseau géométrique au sein d'une géodatabase. Une direction d'écoulement est alors attribuée à chaque arc du réseau (figure 1). Cette étape nous a également permis de repérer et de supprimer les « boucles », c'est à dire quand la rivière possède plusieurs bras. Dans ce cas l'outil n'affecte pas de sens d'écoulement et les modélisations type parcours amont ou aval ne sont pas permises.



**Figure 1 : Représentation du réseau orienté**

Ensuite, grâce à la commande « Flip Lines To Match Flow » de l'outil « FlipLines », le sens de digitalisation des arcs est modifié (si besoin) afin qu'il corresponde au sens d'écoulement préalablement défini. Cette orientation est nécessaire pour bien positionner les points amont et aval des tronçons, utiles pour les calculs de pente par exemple.

### **2.3. Sectorisation**

Une fois le réseau hydrographique jointif et orienté, il nous est apparu nécessaire de découper ce réseau pour répondre à nos besoins pour une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques. Cette sectorisation (détaillée dans Valette et *al.*, 2008) s'appuie sur les variables principales de contrôle de la dynamique fluviale. Elle aboutit à un découpage en 69502 tronçons géomorphologiquement homogènes, qui sont les unités de base de notre future typologie. C'est à cette échelle que vont être rapportés tous les valeurs/résultats de nos différents calculs et modélisations.

### **3. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous possédons désormais un réseau hydrographique (au format SIG) jointif, orienté et sectorisé, base des travaux géomatiques du pôle. Nous l'avons nommé : réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes ou réseau TGH. Il constitue la première étape d'une typologie nationale des cours d'eau.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## Bibliographie

- Pella, H., Snelder, T., Lamouroux, N., Vanderbecq, A., Shankar, U. and Rogers, C. (2008). Réseau hydrographique naturel étendu (RHE) construit à partir de la BD Carthage®. *Ingenieries*. **55-56**: 15-28.
- Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.

## **Feuille n°2 : Description du paramètre : Rang de Strahler Harmonisé**

### **1. Description du paramètre**

#### **1.1. Résumé**

L'attribut « rang de Strahler » représente le rang de Strahler, retravaillé par le pôle ONEMA-Cemagref de Lyon, de chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1).

#### **1.2. Objectif**

Cette valeur renseigne sur la taille du cours d'eau.

#### **1.3. Données utilisées**

- Réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Référentiel Strahler des Agences de l'Eau.

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI.

### **2. Méthodologie**

#### **2.1. Principes de l'ordination**

L'ordination d'un réseau hydrographique consiste à classer des segments de cours d'eau en fonction de leur position hiérarchique au sein du réseau. Cela permet, notamment, de comparer des rivières de tailles différentes de manière adimensionnelle.

Nous avons opté pour l'ordination de Strahler (1957) pour les raisons suivantes :

- méthode homogène qui autorise les comparaisons entre différents bassins versants ;
- bonne corrélation entre rang de Strahler et taille du cours d'eau (Bravard et Petit, 2000) ;

information rapidement mobilisable.

Les principes de l'ordination de Strahler sont les suivants :

- tout écoulement primaire est de rang 1 ;

- après chaque confluence avec un cours d'eau de même rang  $x$ , le segment aval est de rang  $x + 1$ .

## **2.2. Méthode employée**

Afin de garder le maximum de cohérence avec les bases de données existantes, nous n'avons pas calculé le rang de Strahler nous même sur notre réseau. En effet, l'information « rang de Strahler nous a été fournie par les agences de l'eau, gestionnaires, notamment, de bases de données sur l'eau et principaux destinataires du projet SYRAH-CE, dont ils sont les financeurs.

Le rang de Strahler qui nous a été donné, a été calculé sur l'ensemble des arcs de la BD Carthage® qui possèdent un « CODE HYDRO ».

## **2.3. Harmonisation**

Quand nous avons voulu fusionner les couches fournies par les agences, des différences significatives sont apparues. Elles sont dues à la différence de proportion d'arcs codés selon les agences : la totalité pour Loire-Bretagne, entre 32 et 52% pour les autres agences (Chandesris et *al.*, 2006). Pour corriger ce biais, nous avons appliqué l'opération suivante pour les arcs de Loire-Bretagne :

- les cours d'eau de rang 1 restent en rang 1 ;
- tous les autres voient leur rang réduit de 1, par exemple, un cours d'eau anciennement de rang 3 devient un arc de rang 2.

## **2.4. Adaptation pour la sectorisation**

Le rang de Strahler harmonisé est ensuite reporté sur les segments de cours d'eau (par jointure attributaire) que nous avons retenu dans le cadre du projet SYRAH-CE. Ce réseau hydrographique est la base du réseau TGH. Le changement de rang de Strahler est une des principales variables utilisées pour la sectorisation.

Les principes de la sectorisation (Valette et *al.*, 2008) imposent une taille minimale de tronçon. Ceux-ci étant découpés à chaque changement de rang de Strahler, nous avons dû faire quelques ajustements manuels de l'attribut « rang de Strahler harmonisé ». Quand un tronçon était trop petit en raison d'un changement de rang, un expert a jugé s'il était réellement individualisé en termes de variables de contrôle ou si son fonctionnement géomorphologique se rapprochait du tronçon amont ou aval. Dans le premier cas, rien n'a été modifié, dans le deuxième, le tronçon a été rattaché au tronçon amont ou aval et a donc récupéré son rang de Strahler.

Il est donc possible de voir un tronçon de rang 3 à l'aval d'une confluence de deux segments de rang 1.

La dernière adaptation concerne la différence entre les arcs codés de la BD Carthage® et ceux retenus pour le réseau TGH. Ces derniers sont moins nombreux (environ 230 000km), il est donc possible de trouver des rivières dont le rang de Strahler progresse alors qu'aucune confluence n'est visible. Ces confluences existent bel et bien mais les affluents n'ont pas été retenus pour le réseau TGH.



### **3. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner le rang de Strahler pour tous les arcs puis les tronçons du réseau TGH. L'attribut a été harmonisé pour répondre à des besoins de comparaison à l'échelle nationale.

Cette donnée a servi de base à la sectorisation du réseau TGH et va servir pour l'élaboration d'une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques des cours d'eau.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## **Bibliographie**

- Bravard, J.P. and Petit, F. (1997). Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial. Masson & Armand Colin Editeurs, 221 p.
- Chandesris, A., Wasson, J.G., Pella, H., Sauquet, H. and Mengin, N. (2006). Typologie des cours d'eau de France métropolitaine. Appui scientifique à la mise en oeuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Rapport, Cemagref, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Lyon. 62 p.
- Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union. **38**(6): 913-920.
- Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.

## **Feuille n°3 : Méthodologie de construction d'un polygone représentant le fond de vallée**

### **1. Description de la couche de données**

#### **1.1. Résumé**

Cette couche de données représente, sous la forme de polygones, le fond de vallée topographique (le plus proche du fond de vallée alluvial réel) des cours d'eau qui composent le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1).

#### **1.2. Objectif**

L'objectif de cette couche est de permettre des modélisations de largeur et de pente du fond de vallée pour les tronçons du réseau TGH. Les résultats de ces calculs serviront à élaborer une typologie de fonctionnement géomorphologique.

#### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Les Hydroécocorégions (HER) de niveaux 1 et 2 du Cemagref ;
- Le MNT 50m issu de la BD Alti® de l'IGN ;
- Cartes géologiques numérisées de France à 1/50 000 - Formations géologiques – du ©BRGM.

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI ;
- Extension Spatial Analyst® d'ESRI.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Principes généraux**

La première étape consiste à créer un raster de coût à partir du MNT 50m, à l'aide de l'outil « pente » de *Spatial Analyst* (ESRI). Cet outil calcule le taux de variation maximale entre chaque cellule d'un raster et ses voisines. Dans notre cas, c'est la pente la plus raide de chaque cellule qui est quantifiée, c'est à dire la variation maximale de l'altitude séparant la cellule de ses huit voisines. Plus la valeur de pente est faible, plus le terrain est plat et inversement.

Ce raster de pente ainsi calculé, va nous servir de raster de coût dans une fonction de « distance de chemin ». Cet outil de *Spatial Analyst*, détermine le coût de déplacement cumulé minimum entre une source et chacun des emplacements de cellule d'un raster. Il permet également de compenser ce coût par la distance réelle qui doit être parcourue et par les facteurs verticaux influençant le coût total de déplacement d'un point à un autre. Cette compensation est effectuée par le rajout d'un raster de surface, qui va calculer la distance réelle entre les cellules. Par exemple dans notre cas, pour passer d'une cellule à sa voisine la distance parcourue n'est pas toujours 50m (taille du pixel). En effet, pour les cellules adjacentes en diagonale, la distance parcourue est plus élevée. C'est ce paramètre que le raster de surface permet de prendre en compte.

La fonction distance de chemin nous permet donc, de modéliser le chemin de plus faible coût à partir d'une origine définie.

### **2.2. Préparation des données**

La source de notre calcul est le réseau TGH, ou plus exactement, les cellules du raster intersectées par la couche de polylignes le représentant. L'objectif est d'identifier la zone plate ou faiblement pentue autour des cellules sources, qui correspond à la surface topographique qui se rapproche le plus du fond de vallée alluvial d'un cours d'eau.

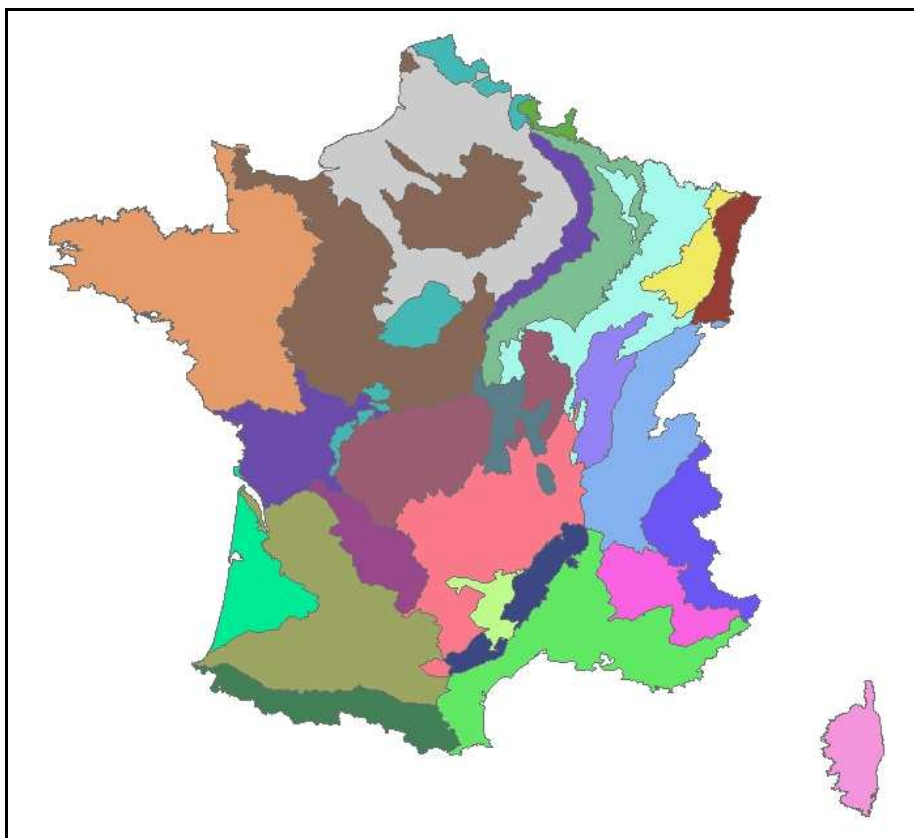
La fonction distance de chemin est donc lancée avec les paramètres suivants :

- la source est le réseau TGH ;
- le raster de pente est le raster de coût (plus la pente est forte, plus le coût sera important) ;
- le MNT brut comme raster de surface.

Un dernier paramètre est ajouté : le facteur vertical. Il s'agit de définir un angle d'inflexion seuil de la pente. Si l'angle entre l'altitude de deux cellules adjacentes dépasse la valeur fixée, le coût devient si important qu'il crée une barrière au déplacement. Les cellules ainsi identifiées sont exclues du calcul et donc du raster de distance. Cela nous permet de réaliser notre analyse du raster de distance sur un jeu de données dont l'amplitude est beaucoup plus restreinte. L'arrêt d'une valeur seuil se fait donc au sein d'une fourchette plus réduite, ce qui minimise le risque d'erreur lié à l'expertise et augmente la précision de notre choix. En outre, cela réduit considérablement la quantité de données à analyser.

L'objectif est de localiser la rupture de pente qui caractérise topographiquement la limite du fond de vallée.

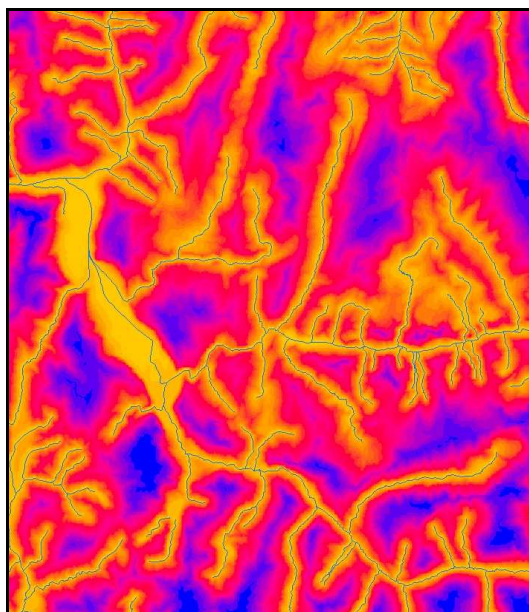
Le calcul a été réalisé en plusieurs fois. En effet, pour d'évidentes raisons de différence de forme et d'amplitude du relief, nous avons découpé la zone d'étude (France entière) suivant les hydroécorégions (Wasson et *al.*, 2002) de niveau 1 (HER1), voire de niveau 2 (HER2) pour des zones restreintes qui présentent un relief très différencié du reste de l'HER 1 (figure 1). Ce morcellement du travail en zones homogènes du point de vue du relief, nous a également permis de retenir des valeurs différentes et plus précises dans le raster de distance pour délimiter le fond de vallée.



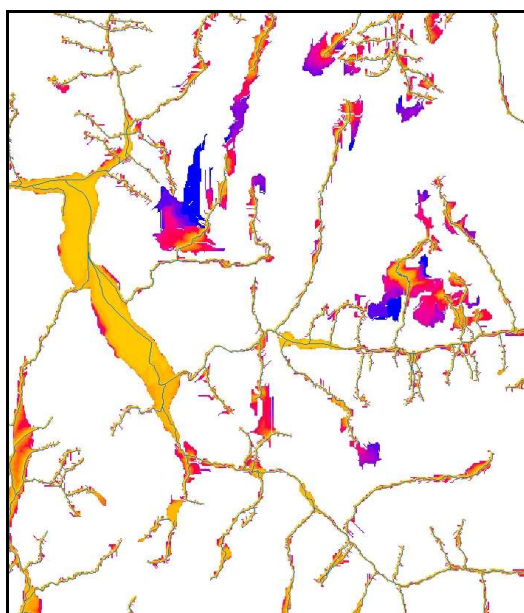
Novembre 2010 - p 15/93

### 2.3.2. Création du raster de distance

Le raster de distance est la couche qui contient les résultats du calcul. C'est le point de départ de notre délimitation du fond de vallée. Il stocke, pour chaque cellule, la distance cumulée de plus faible coût qui provient de la cellule source de plus faible coût. Toutes les cellules de ce raster, hormis celles exclues par le facteur vertical, sont classées en fonction de leur distance de coût cumulée à la rivière la plus proche. Les extraits suivants d'un raster de distance (figures 2 et 3) illustrent la différence de résultat en fonction de l'application d'un facteur vertical.



**Figure 2 : Raster de distance discrétisé, avec toutes les cellules classées selon la valeur du coût cumulé**



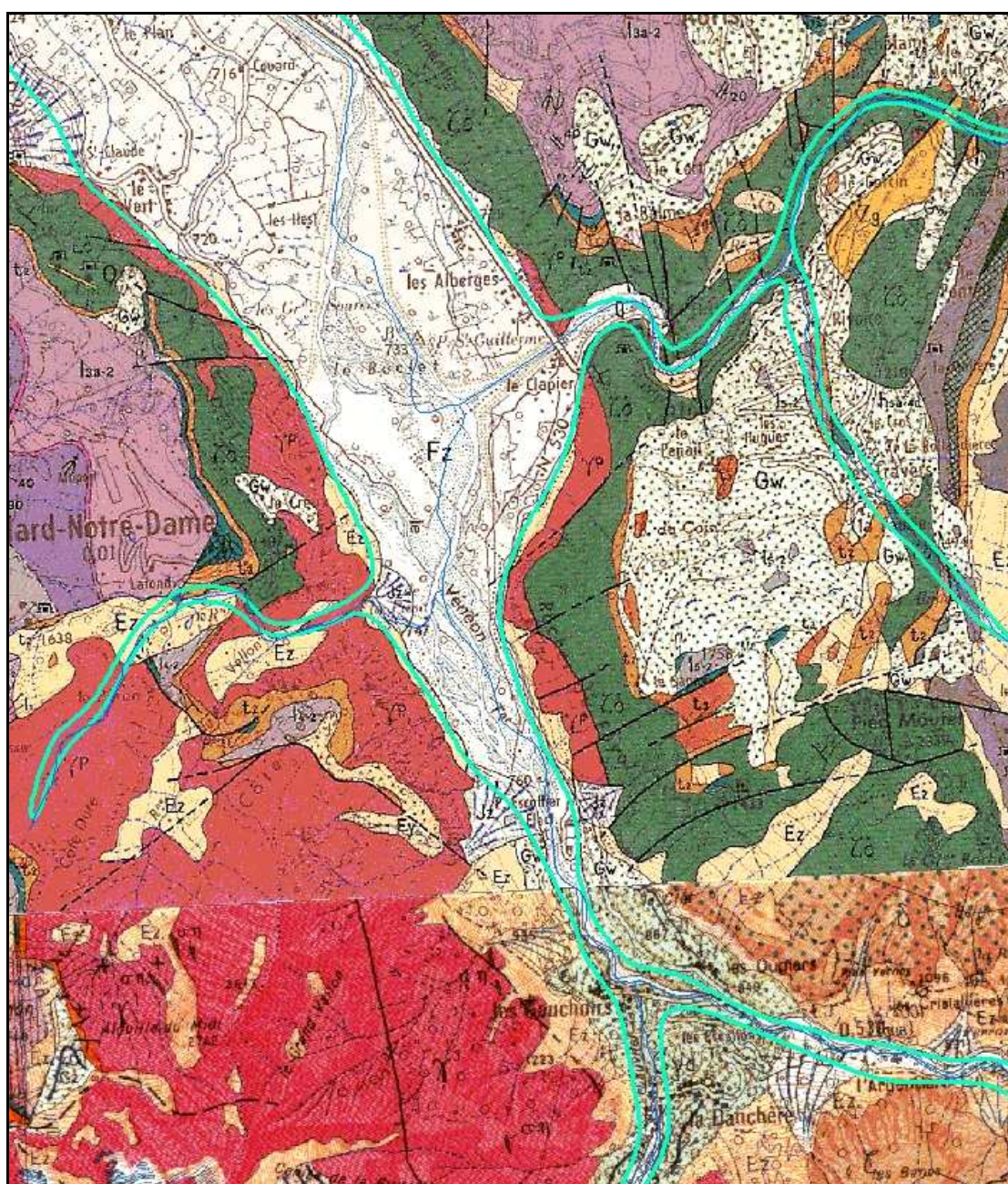
**Figure 3 : Même raster de distance discrétisé, sans les cellules exclues par le facteur vertical**



### 2.3.3. Valeurs seuils

L'étape suivante consiste à définir pour chaque raster de distance obtenu, la valeur seuil de coût cumulé au dessus de laquelle le terrain n'est plus considéré comme le fond de vallée. Cette valeur est évidemment différente selon les zones de travail.

Tous les seuils ont été fixés par calage visuel avec les cartes géologiques au sein de chaque HER de niveau 2 (figure 4), afin de maximiser la corrélation entre notre fond de vallée, de construction uniquement topographique et l'étendue des alluvions modernes (notées « Fz » sur les cartes du BRGM).

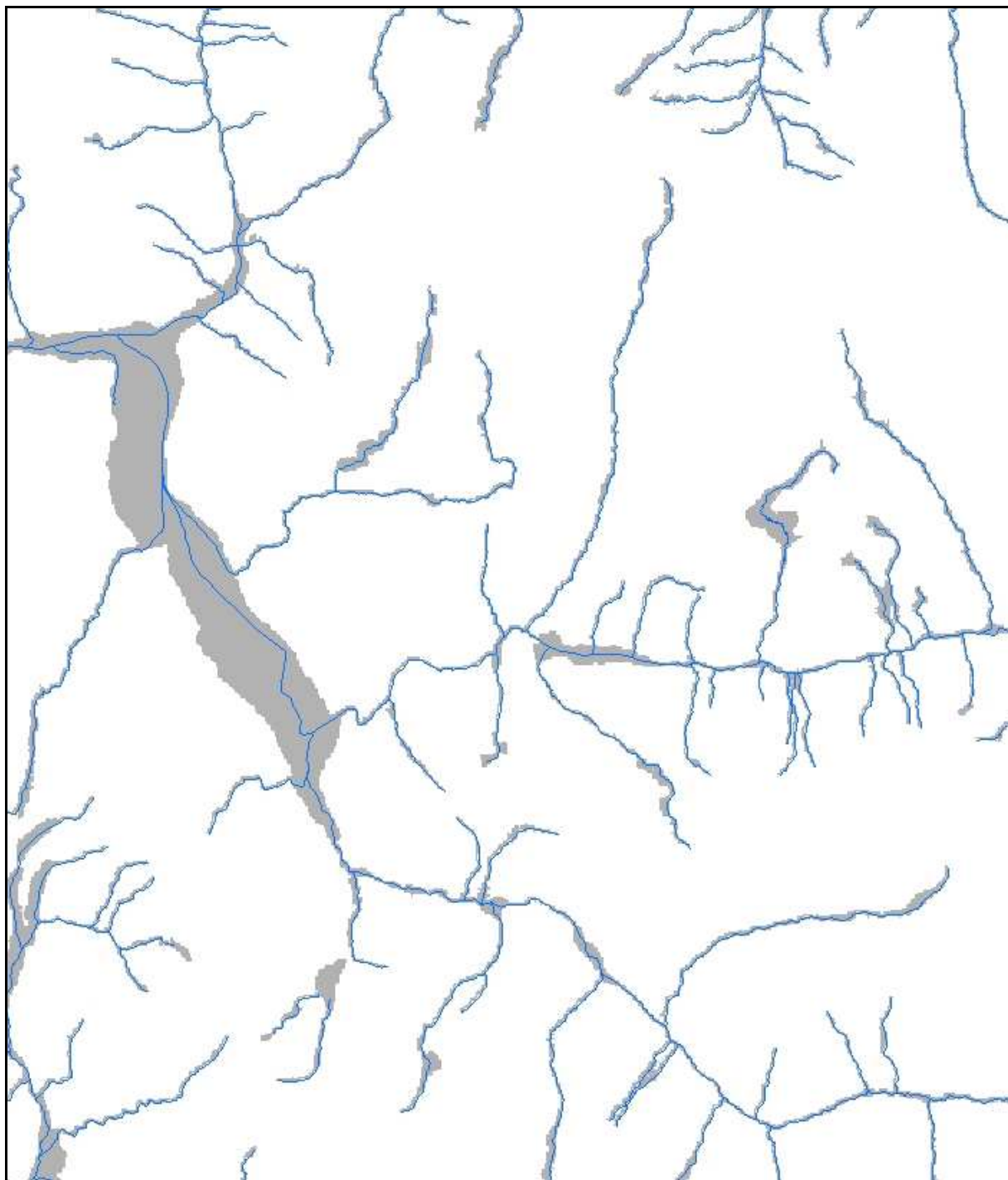


**Figure 4 : Exemple de recalage du fond de vallée avec les cartes géologiques au 1/50 000**



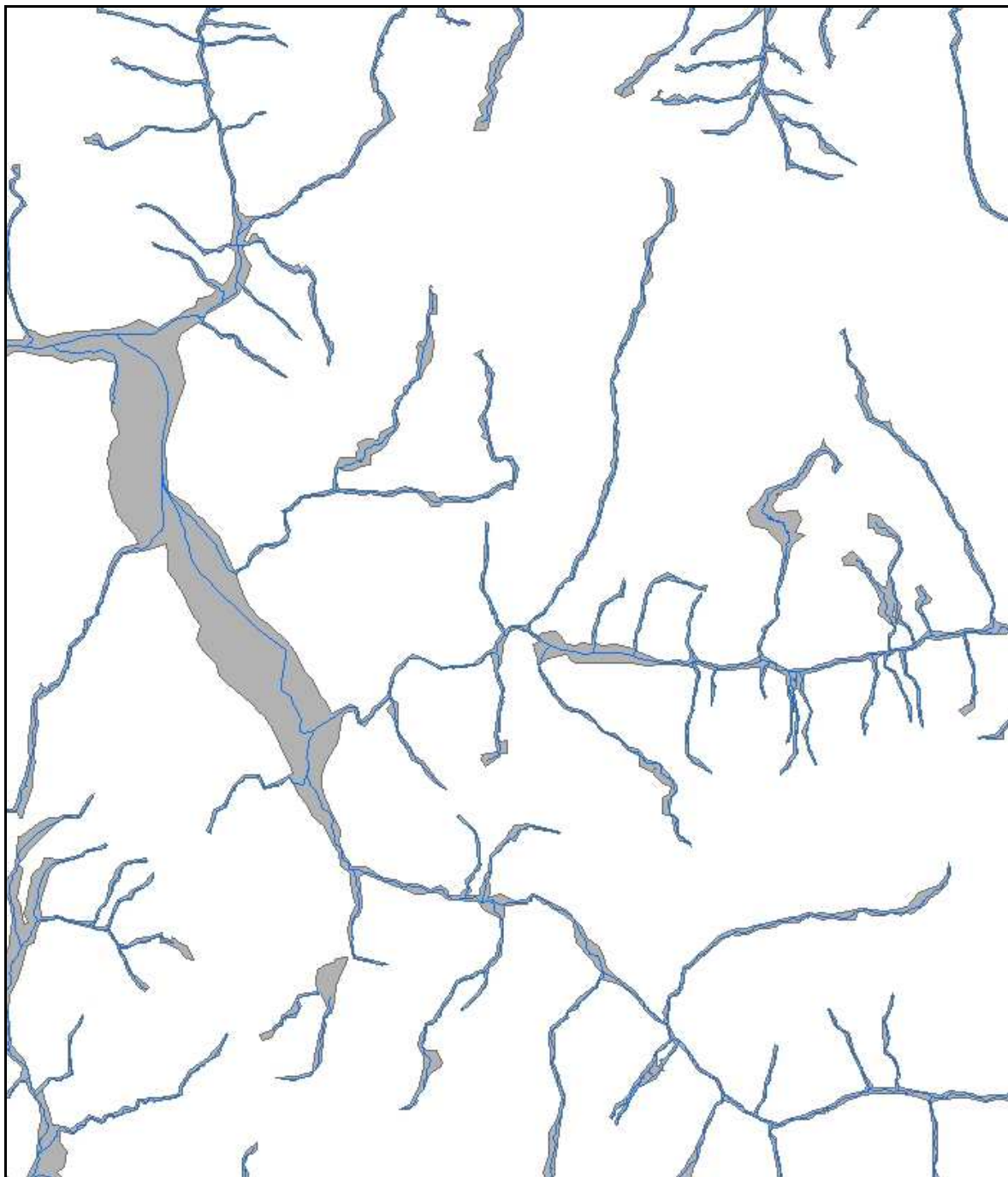
#### 2.3.4. Création du polygone

Les rasters de distance correspondants aux valeurs seuils déterminées (figure 5) ont été vectorisés, agrégés (par secteur hydrographique de la BD Carthage® pour des soucis de quantité de données), puis lissés afin de faire disparaître l'effet pixel du raster. La figure 6 présente un extrait du polygone ainsi obtenu.



**Figure 5 : Raster de distance reclassé selon la valeur seuil définie**





**Figure 6 : Polygone final du fond de vallée**

### **3. Limites de l'exercice**

#### **3.1. Taille du pixel**

Le polygone que nous obtenons au final est une bonne représentation du fond de vallée topographique, mais pas toujours du réel fond de vallée alluvial. La principale limite de la méthode est la taille des pixels du MNT. En effet, la largeur minimale du fond de vallée est de 50 mètres, la taille du pixel source, alors que dans la réalité, le fond de vallée peut atteindre des valeurs très inférieures, par exemple pour des cours d'eau de têtes de bassins.

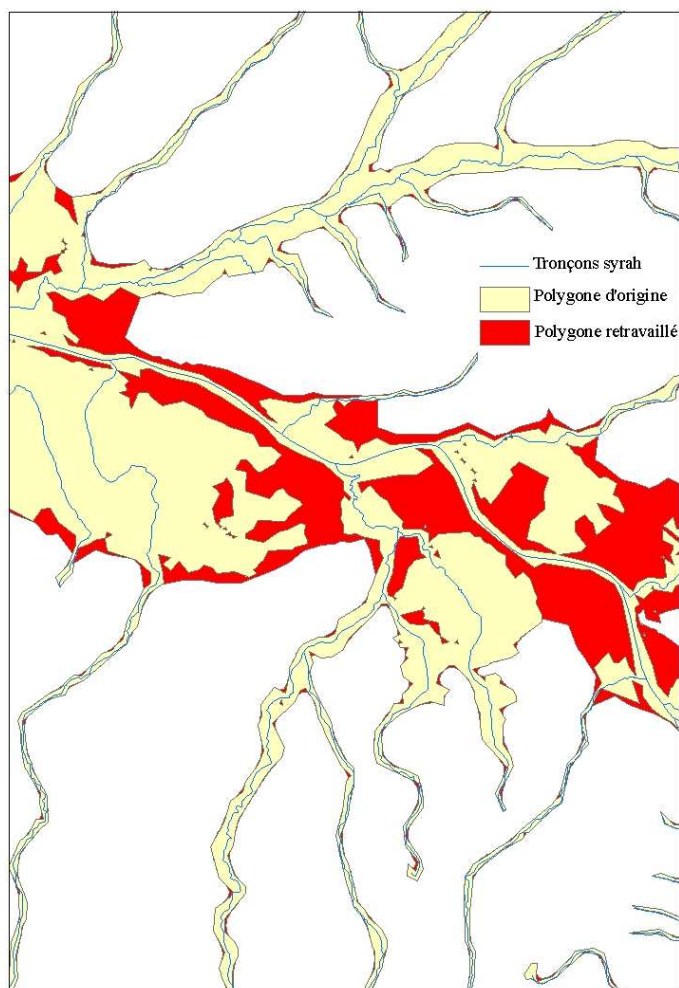
*Cahiers techniques SYRAH\_CE, L. Valette*

Une autre limite inhérente à l'utilisation du MNT et de la BD Carthage<sup>®</sup>, est un décalage géographique plus ou moins important avec la réalité de terrain. Le polygone a la même forme et la même largeur que le fond de vallée alluvial, mais son emplacement peut être décalé de 50 à 100 m et l'on peut croire qu'une partie du versant a été considéré comme le fond de la vallée. Il faut donc éviter d'utiliser la donnée à une échelle trop grande.

### **3.2. Grands systèmes alluviaux**

Pour les grands cours d'eau, les digues ou autres levées de terre d'origine anthropique sont prises en compte dans le MNT. Ce qui nous donne un fond de vallée ridiculement petit par rapport à sa taille réelle, car l'espace au delà des digues a été exclu du raster de distance par le facteur vertical. Ces erreurs ont été retravaillées localement, quand elles ont été décelées, comme par exemple pour certains secteurs de la Garonne et de certains de ses principaux affluents (figure 7) ou de la Loire. Une valeur seuil plus élevée a été retenue pour ces secteurs très localisés. Le résultat a ensuite été agrégé sur le polygone principal.

Un développement futur avec une prise en compte plus exhaustive des digues bloquées par le facteur vertical est à envisager.



**Figure 7 : Exemple de la retouche du fond de vallée de la Garonne impacté par l'effet des digues**

### **3.3. Zones montagnardes**

Dans certaines vallées, où l'héritage glaciaire est très important, le passage entre la zone des alluvions fluviales ou fluvio-glaciaires à celle des alluvions glaciaires n'est pas toujours bien marqué topographiquement parlant. Le polygone du fond de vallée va donc inclure des espaces que le cours d'eau, dans sa dynamique actuelle, n'est plus en mesure de coloniser.

## **4. Utilisations et usages de la couche de données**

### **4.1. Le projet SYRAH-CE**

La construction d'une couche représentant le fond de vallée à l'échelle de la France a été commandée par les besoins du projet SYRAH-CE (Chandesris et *al.*, 2008). Il a tout d'abord été utilisé pour récupérer certaines caractéristiques physiques des cours d'eau, comme la largeur et la pente du fond de vallée (*cf.* cahiers techniques SYRAH-CE). Des valeurs ont pu être extraites pour chacun des 69 500 tronçons qui composent le réseau TGH. Ces données serviront à l'élaboration d'une typologie de fonctionnement géomorphologique des rivières françaises.

Le polygone va également être utilisé, dans le cadre de l'audit SYRAH-CE comme périmètre d'extraction de certaines données de pressions pouvant altérer le fonctionnement naturel des cours d'eau. C'est le cas, par exemple, des voies de communication ou des digues. Les valeurs ainsi obtenues vont servir au calcul d'indicateurs de pression.

### **4.2. Usages potentiels**

Le polygone de fond de vallée peut être utilisé comme outil d'aide à la décision par les gestionnaires de cours d'eau.

Il constitue en effet un bon périmètre de base pour les réflexions sur l'espace de mobilité/liberté ou sur l'identification des zones d'expansion des crues ou encore sur la protection contre les crues. Il s'agit bien sûr d'un outil préliminaire qui doit être affiné avant d'engager des actions plus concrètes.

## **5. Conclusion**

La méthodologie présentée ici, a permis de délimiter le fond de vallée de plus de 225 000 km de cours d'eau. Le polygone ainsi réalisé, uniquement topographique, se rapproche au maximum de la réalité de terrain grâce aux caractéristiques de sa construction et à la validation par HER.

On peut imaginer augmenter encore la précision du modèle en travaillant sur des zones plus réduites et donc plus homogènes. Ceci pourrait être utile pour les gestionnaires locaux, d'autant plus que cette méthodologie est facilement reproductible. Elle ne demande ni de fortes connaissances en SIG, ni une somme de données considérable.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## **Bibliographie**

- Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y., Pella, H. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau : principes et méthodes. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 64 p.
- Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. and Blanc, L. (2002). Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Rapport, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 190 p.

## **Feuille n°4 : Description du paramètre : Largeur du fond de vallée**

### **1. Description du paramètre**

#### **1.1. Résumé**

L'attribut « Largeur du fond de vallée » représente la largeur médiane, en mètres, du fond de vallée topographique pour chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1).

#### **1.2. Objectif**

Cette valeur aide à définir la dynamique fluviale du cours d'eau et permet de calculer un rapport d'encaissement (Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°11), essentiel à l'élaboration d'une typologie de fonctionnement géomorphologique.

#### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- le polygone du fond de vallée créé par le pôle ONEMA-Cemagref de Lyon (*cf.* cahier techniques SYRAH-CE – Feuille n°3).

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI ;
- ArcView® 3.2 d'ESRI ;
- R® de R Foundation.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Préparation des données

#### 2.1.1. Fractionnement par agence et par rang

Pour des raisons de temps de calcul, de quantités trop importantes de données et de risque de confusion, le réseau TGH est fractionné. Les tronçons sont extraits dans de nouvelles couches par agence de l'eau et par rang de Strahler. La méthodologie expliquée ici a donc dû être répétée plusieurs fois. Nous obtenons ainsi, 40 couches de tronçons comme base de départ de notre calcul.

#### 2.1.2. Lissage

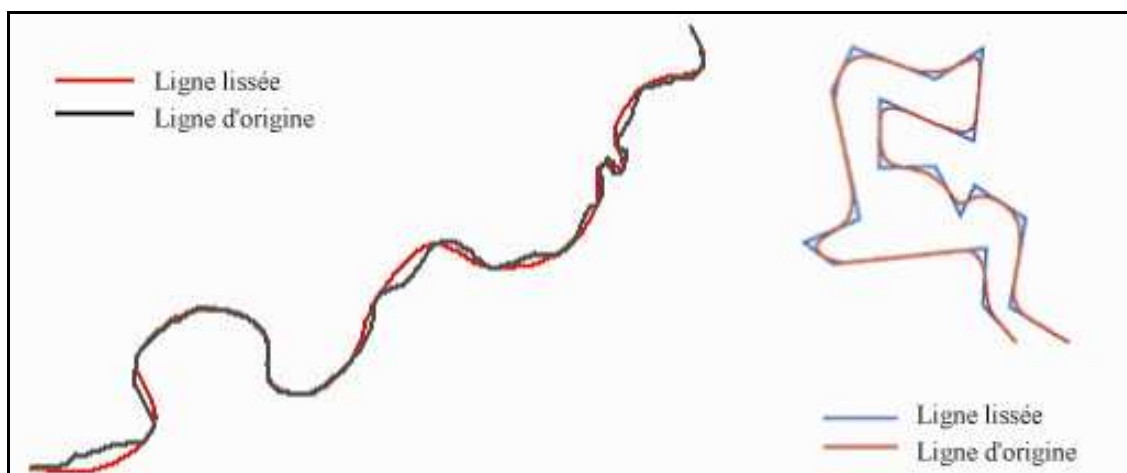
Le principe de la méthodologie pour la récupération de la largeur du fond de vallée est le suivant : nous traçons des perpendiculaires aux tronçons et nous en mesurons la partie comprise à l'intérieur du fond de vallée.

Pour que ces perpendiculaires le soient aussi avec le tracé du fond de vallée, nous devons nous rapprocher au plus près de l'axe médian de la vallée. Pour cela, nous avons, à l'aide de l'outil « Lisser des lignes » d'ArcToolbox, lissé les tronçons plus ou moins fortement suivant leur rang de Strahler (tableau 1).

**Tableau 1 : Tolérance de lissage utilisée en fonction du rang de Strahler du tronçon**

Rang	Lissage
<b>1</b>	<b>1000</b>
<b>2</b>	<b>2000</b>
<b>3</b>	<b>5000</b>
<b>4</b>	<b>5000</b>
<b>5</b>	<b>5000</b>
<b>6</b>	<b>5000</b>
<b>7</b>	<b>5000</b>
<b>8</b>	<b>5000</b>

L'algorithme de lissage utilisé est le décalage maximum autorisé qui dérive une ligne dans le cadre défini sans obligatoirement passer par les sommets de la ligne d'origine.



**Figure 1 : Exemples de lissage avec l'algorithme : décalage maximum autorisé**

Nous obtenons pour chaque couche de tronçons une nouvelle couche avec les tronçons lissés qui vont servir de base à la mesure des largeurs.

## **2.2. Création des perpendiculaires**

### **2.2.1. ATtILA (Analytical Tools Interface for Landscape Assessments)**

Pour générer les perpendiculaires aux tronçons qui vont servir à la mesure de la largeur, nous avons utilisé l'outil « ATtILA2004 v1.0 » développé par l'US Environmental Protection Agency. Cette extension d'ArcView permet de générer des perpendiculaires à des lignes existantes, dans notre cas, les tronçons lissés. Le paramétrage de l'outil nous permet de définir la taille et l'espacement des perpendiculaires.

### **2.2.2. Taille des perpendiculaires**

Nous avons défini des tailles différentes pour les perpendiculaires selon le rang de Strahler (tableau 2). Les longueurs retenues sont volontairement très importantes, afin d'être sûr que les perpendiculaires traversent le polygone de fond de vallée de bord en bord, même dans les zones planes.

**Tableau 2 : Correspondance rang de Strahler/longueur des perpendiculaires**

Rang	Longueur perpendiculaires (m)
<b>1</b>	<b>20000</b>
<b>2</b>	<b>20000</b>
<b>3</b>	<b>20000</b>
<b>4</b>	<b>20000</b>
<b>5</b>	<b>20000</b>
<b>6</b>	<b>40000</b>
<b>7</b>	<b>40000</b>
<b>8</b>	<b>100000</b>



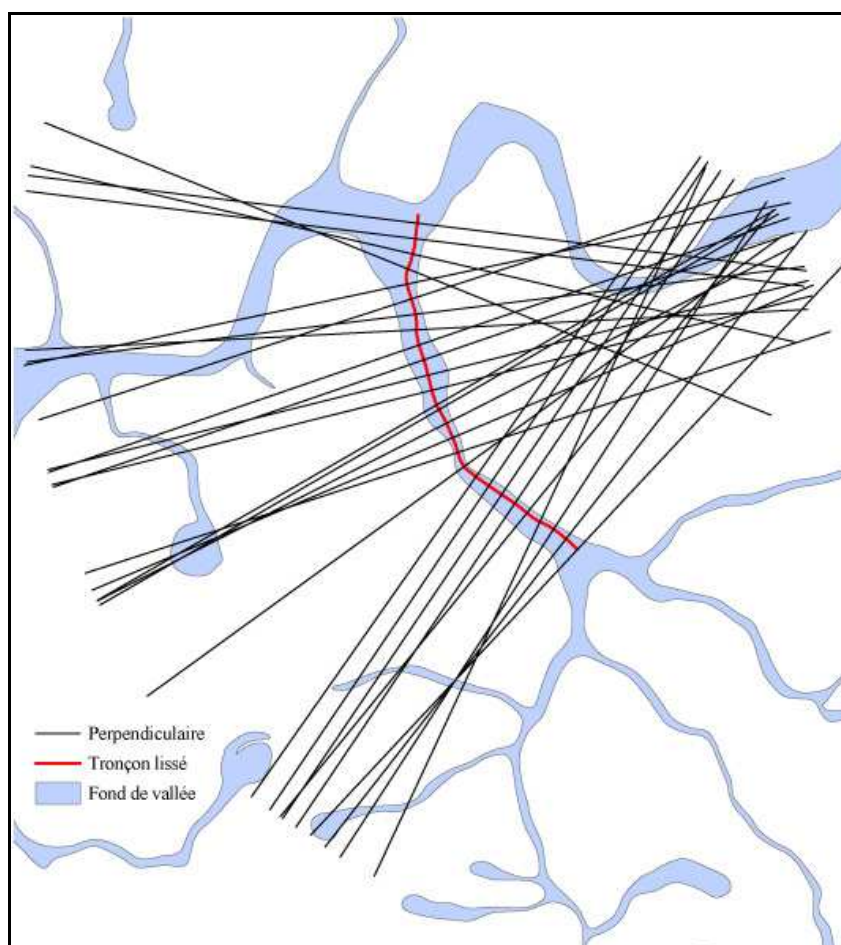
### 2.2.3. Espacement des perpendiculaires

Afin de bien prendre en compte les différentes caractéristiques du fond de vallée, il convient de tracer un nombre suffisant de perpendiculaires par tronçon. Cependant pour des raisons de temps de traitement, nous avons limité le nombre de perpendiculaires pour les tronçons de taille importante (longueur des tronçons plus importante et variations de la taille du fond de vallée plus lente) en augmentant l'espace entre elles (tableau 3).

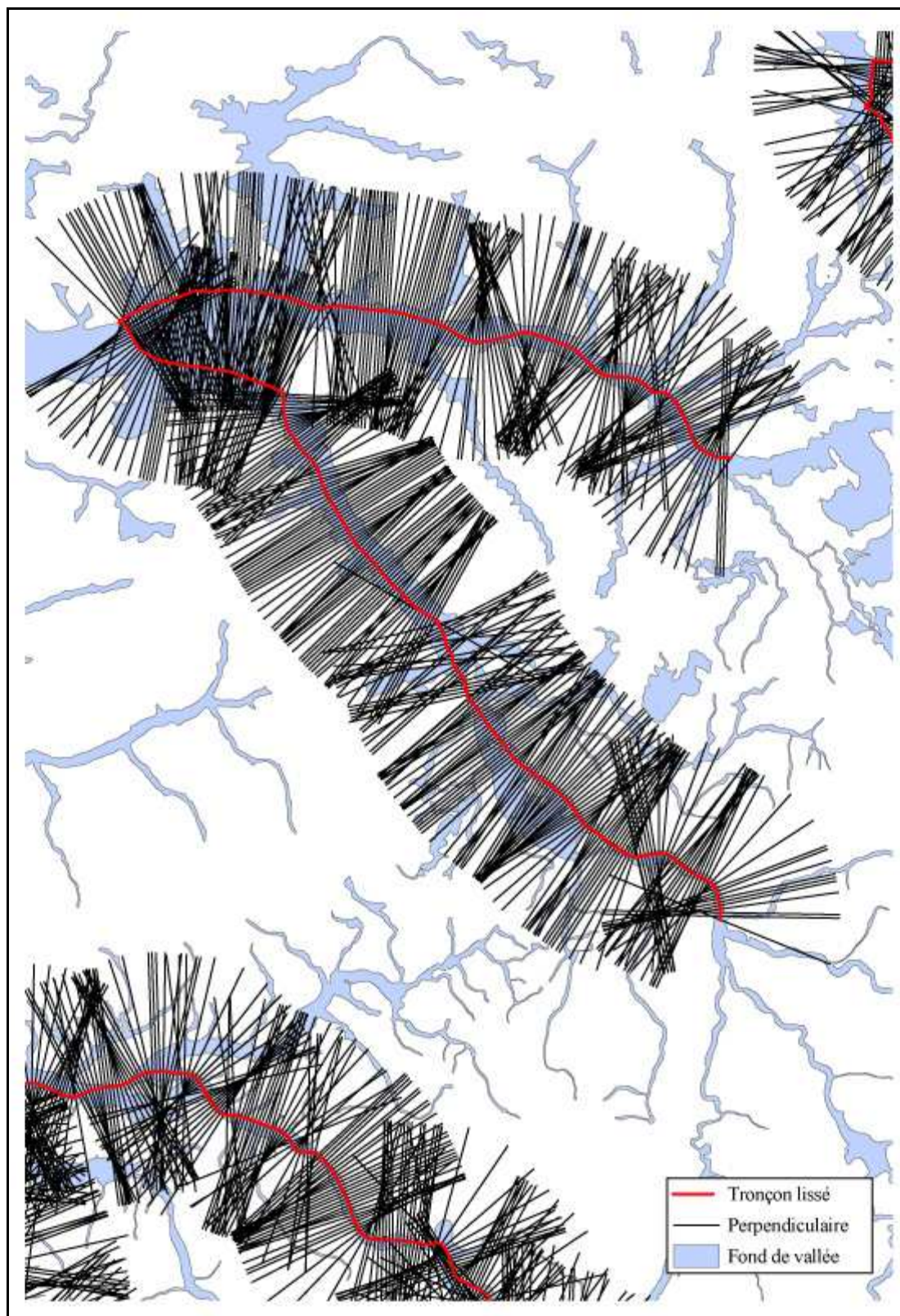
**Tableau 3 : Distance entre les perpendiculaires selon le rang de Strahler**

Rang	Espacement (m)
<b>1</b>	<b>100</b>
<b>2</b>	<b>100</b>
<b>3</b>	<b>100</b>
<b>4</b>	<b>300</b>
<b>5</b>	<b>300</b>
<b>6</b>	<b>500</b>
<b>7</b>	<b>500</b>
<b>8</b>	<b>1000</b>

### 2.2.4. Exemples de tronçons avec ses perpendiculaires générées





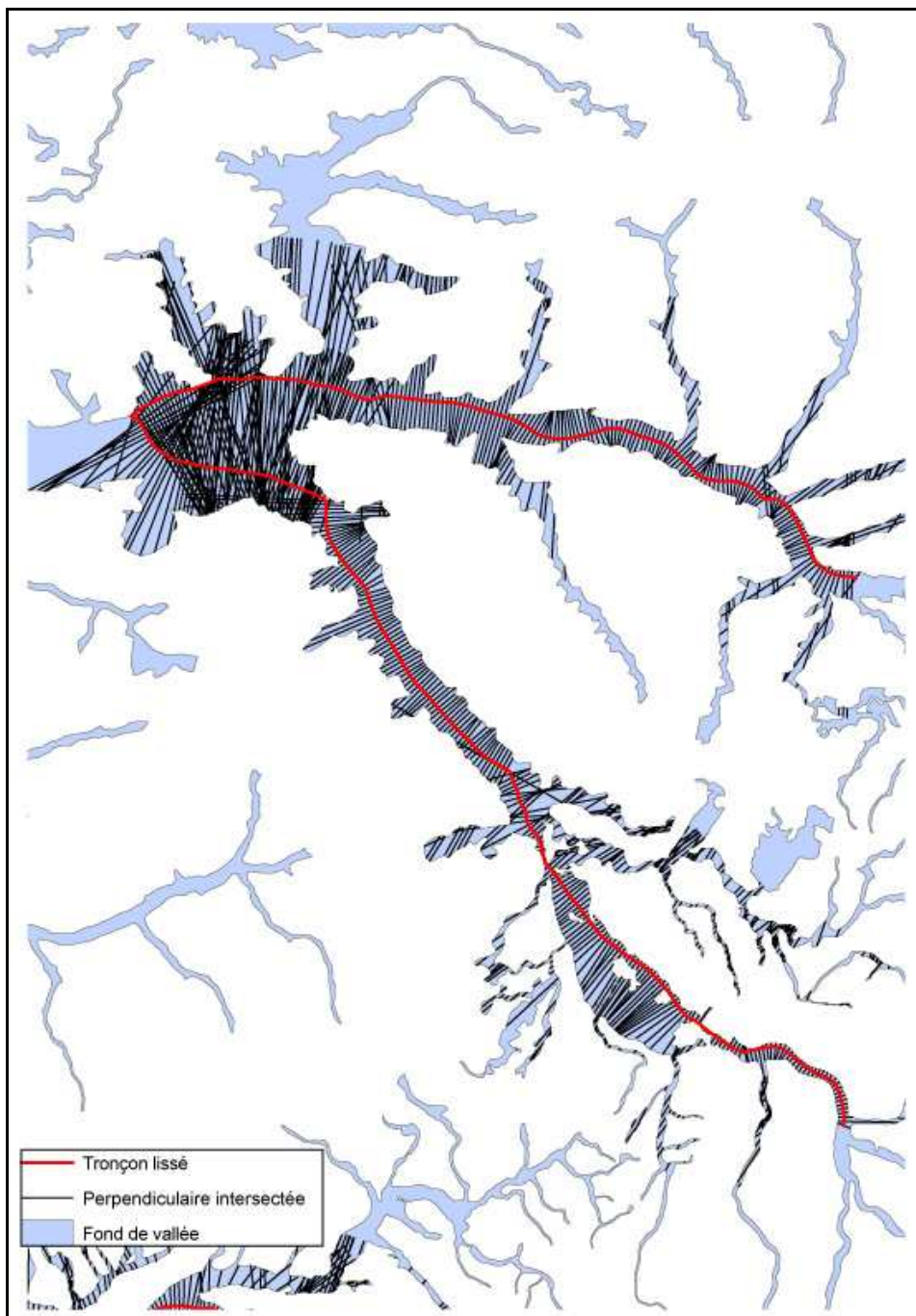


**Figure 2 : Exemples de perpendiculaires générées avec l'outil ATtILA et notre paramétrage**

## **2.3. Croisement avec le polygone du fond de vallée**

### **2.3.1. Intersecter**

L'outil « intersecter » d'ArcGis permet de croiser les géométries de différentes classes d'entités. Nous pouvons ainsi créer une nouvelle couche de données qui contient uniquement les segments des perpendiculaires contenus dans le polygone du fond de vallée (figure 3).



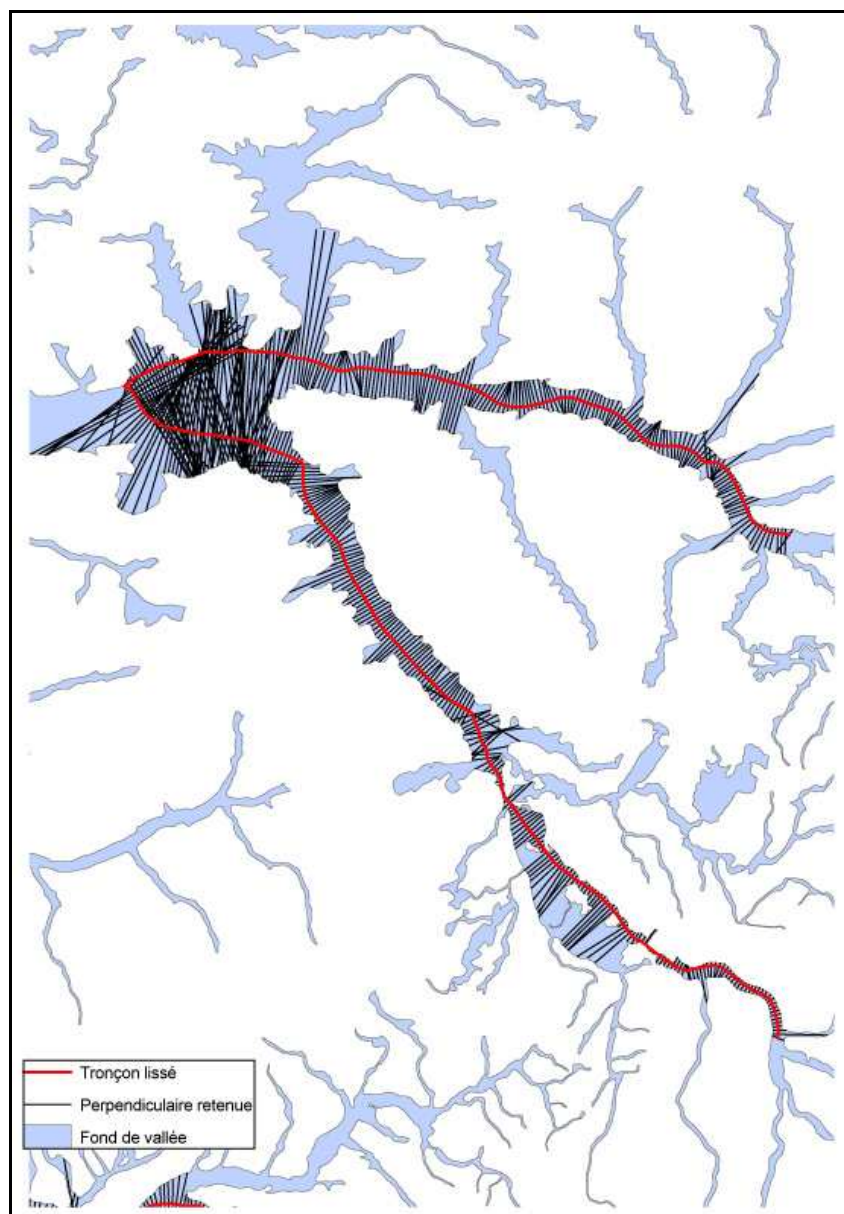
**Figure 3 : Extrait de la couche des perpendiculaires intersectées**



### 2.3.2. Tri des perpendiculaires

Comme nous pouvons le voir dans la figure 3, tous les segments de perpendiculaires de la nouvelle couche ne correspondent pas à la vallée dans laquelle les largeurs doivent être mesurées. Un tri est nécessaire pour ne conserver que ceux qui sont en contact avec le bon tronçon.

L'outil ATtILA conserve pour chaque perpendiculaire l'identifiant de son tronçon d'origine. Une jointure spatiale (outil d'ArcGis) donne aux segments l'identifiant du ou des tronçons qu'ils intersectent (ou une valeur nulle s'ils ne sont en contact avec aucun). Sont uniquement conservés dans une nouvelle couche, les segments où les deux identifiants correspondent (figure 4).



**Figure 4 : Extrait de la couche des segments de perpendiculaires retenus pour le calcul des largeurs**

## **2.4. Calcul de la largeur médiane**

Par un simple calcul de géométrie, la longueur en mètres de chaque segment retenu est inscrite dans la table attributaire de la couche.

Cette table est exportée vers le logiciel de traitement statistiques R, qui nous permet de réaliser des statistiques par tronçon (grâce à l'identifiant unique). Nous obtenons alors une nouvelle table qui comprend pour chaque identifiant de tronçon, la valeur médiane du fond de vallée, calculée à partir de tous les segments de perpendiculaires préalablement triés. Nous avons choisi la médiane par rapport à la moyenne, en raison des segments proches des confluences qui ont tendance à surestimer la largeur (figure 4), la médiane étant moins influencée par les valeurs extrêmes.

Cette valeur médiane est ensuite reportée dans la table attributaire de la couche du réseau TGH par simple jointure attributaire.

## **3. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner, pour chaque tronçon du réseau TGH, la largeur du fond de vallée. D'autres statistiques, également disponibles, pourront servir plus tard à une caractérisation plus fine du fond de vallée.

Cette donnée va servir, dans le cadre du projet SYRAH-CE, à la création d'une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques des cours d'eau.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## **Bibliographie**

Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008).  
SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et  
méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie  
Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.

# **Feuille n°5 : Description du paramètre : pente de la vallée**

## **1. Description du paramètre**

### **1.1. Résumé**

L'attribut « pente de la vallée » représente, pour chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1), la pente, en %, de l'axe de la vallée dans laquelle il s'inscrit.

### **1.2. Objectif**

Cette donnée est une variable majeure de contrôle de la géomorphologie fluviale. Elle va être utilisée directement pour l'élaboration d'une typologie de fonctionnement géomorphologique.

### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Le polygone du fond de vallée créé par le pôle ONEMA-Cemagref de Lyon (*cf.* cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°3).

### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'esri ;
- Edit Tools GeoWizards® 9.8 de Ianko Tchoukanski ;
- Flip Lines To Match Flow de Michele Lundeen ;
- Python 2.5 ;
- R de GNU GPL.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Préparation des données**

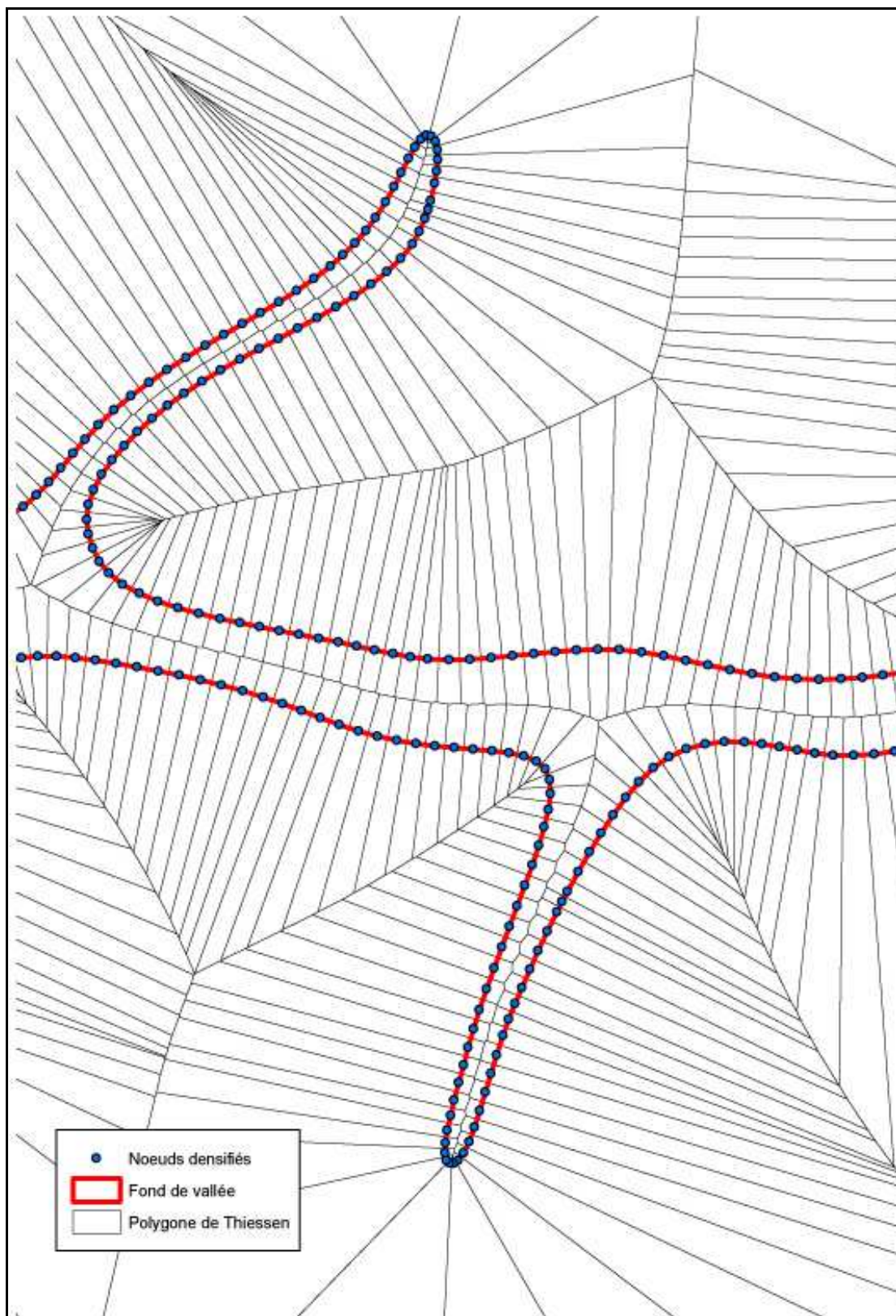
#### **2.1.1. Création de l'axe de vallée**

La présente méthodologie vise à calculer la pente de la vallée dans laquelle chaque tronçon s'inscrit. Il s'agit donc, de s'affranchir des sinuosités du tracé du cours d'eau (pente du lit mineur – cf. Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°6). Nous allons pour cela créer un axe de vallée qui va suivre uniquement les sinuosités de la vallée. Cet axe a, en effet, une longueur développée bien moins importante que celle du cours d'eau, ce qui va modifier sensiblement les valeurs de pente, même à altitudes égales.

La vallée est représentée, dans cette méthodologie, par le polygone du fond de vallée créé par le pôle ONEMA-Cemagref de Lyon (cf. cahier techniques SYRAH-CE – Feuillet n°3).

La première étape consiste à densifier les nœuds qui constituent le contour de ce polygone, à l'aide de l'outil « Densify » d'Edit Tools GeoWizards. Puis, ces nœuds sont exportés dans une nouvelle couche de points (outil d'ArcGIS « sommets d'entités vers points »). Ces points vont servir de base à la création d'une couche de polygones proximaux de Thiessen (figure 1), à l'aide de l'outil « créer des polygones de Thiessen » (disponible uniquement avec une licence ArcINFO). Les polygones de Thiessen présentent une propriété unique : chaque polygone contient un seul point en entrée, et toutes les positions d'un polygone sont plus proches de leur point associé que du point de n'importe quel autre polygone (Aide d'ArcGIS).



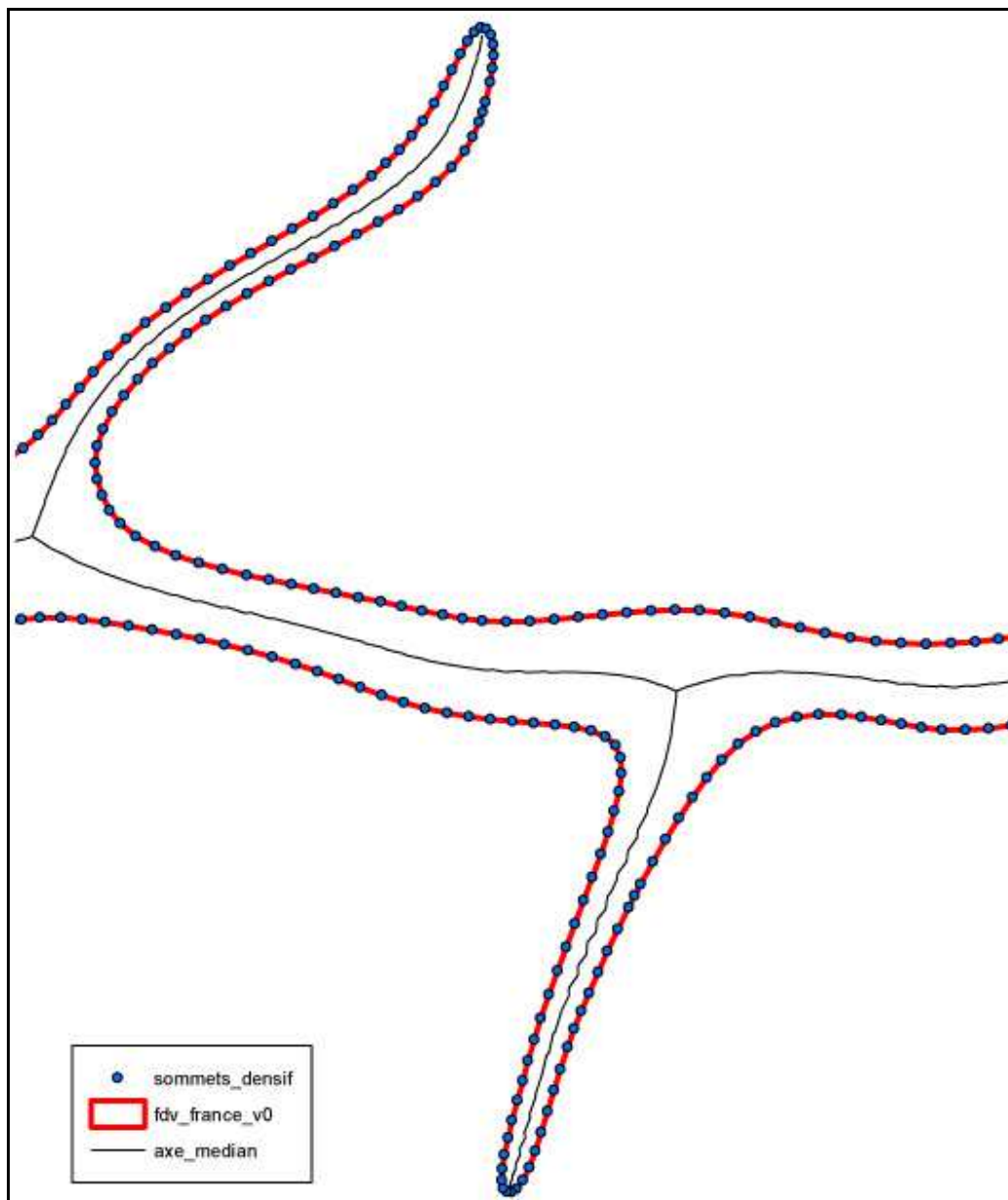


**Figure 1 : Exemples de polygones proximaux de Thiessen**

Les polygones de Thiessen ainsi créés, sont ensuite découpés de façon à ce que chaque côté forme un segment à part. Ce découpage est automatique avec l'outil « Polygone vers ligne ». Il suffit alors de réaliser une sélection par emplacement



et de ne conserver, dans une nouvelle couche, uniquement les segments qui sont intégralement contenus dans le polygone de fond de vallée. Les segments sont combinés pour former l'axe de vallée (figure 2).



**Figure 2 : Illustration de l'axe de vallée obtenu**

Il est important de préciser que tous les traitements sur les polygones de Thiessen ont été fractionnés par hydroécorégion (HER, Wasson et *al.*, 2002) de niveau 1, pour des raisons de taille trop importante des données. Cela a donc entraîné un travail pour combiner les différents morceaux de l'axe de vallée en une couche nationale. Quelques corrections manuelles ont été nécessaires aux limites entre deux HER pour bien que les arcs s'interconnectent.

#### 2.1.2. Orientation et ordination de l'axe de vallée

L'étape suivante consiste à orienter correctement l'axe de vallée, afin de pouvoir lui attribuer une ordination de Strahler. Il faut pour cela, transformer le l'axe en

un réseau géométrique à l'aide de « Network Analyst ». Cet outil définit le sens d'écoulement de tous les segments d'un réseau, en déterminant ses exutoires. Cette étape permet également de vérifier si les connexions manuelles ont été correctement effectuées et de les reprendre le cas échéant.

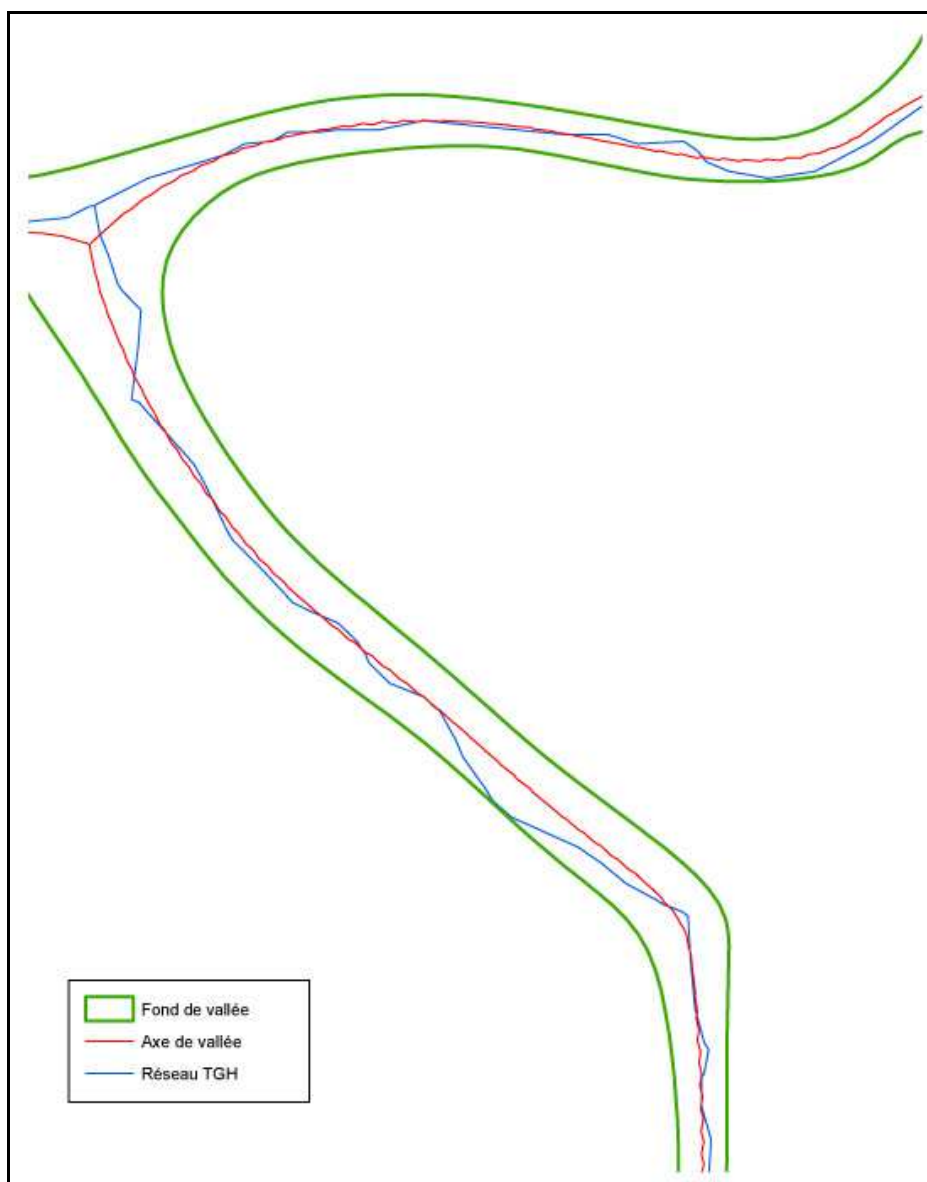
L'utilisation de l'ArcScript « Flip Lines To Match Flow » développé par Michele Lundeen (disponible à l'adresse suivante <http://arcscripts.esri.com>), nous permet de faire coïncider l'orientation des segments du réseau avec leur sens d'écoulement préalablement défini. Cette étape est indispensable avant une hiérarchisation du réseau.

Celle-ci est réalisée grâce à un outil (dérivé de l'outil « ordre d'écoulement » de Spatial Analyst) développé au pôle ONEMA-Cemagref de Lyon en langage Python. Nous appliquons donc à notre réseau d'axe de vallée, une ordination de Strahler, dans laquelle l'ordre d'écoulement augmente uniquement lorsque deux cours d'eau du même ordre se rencontrent.

Cette méthodologie de détermination d'un ordre d'écoulement est également appliquée aux tronçons du réseau TGH, afin d'améliorer la correspondance entre les deux réseaux. En effet, l'attribut « rang de Strahler harmonisé » du réseau TGH n'est pas déterminé uniquement sur des critères géométriques (cf. cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°2).

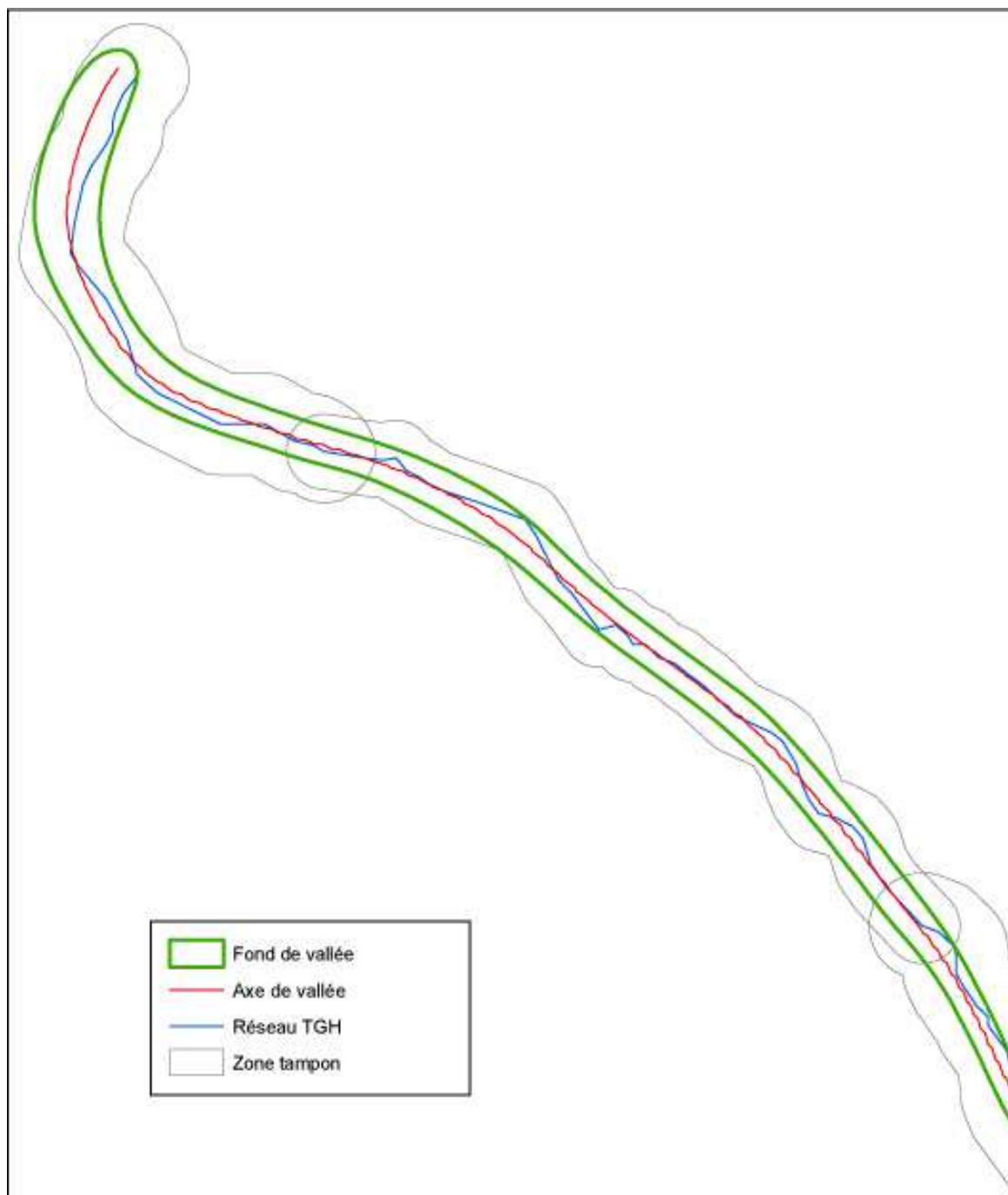
### **2.1.3. Création des zones tampons**

Les tracés des deux réseaux (axe de vallée et TGH) ne se superposent pas et leurs limites de tronçons ou segments ne coïncident pas non plus (figure 3). La récupération des données de l'axe de vallée est donc faite au moyen de zones tampons.



**Figure 3 : Différence de tracés entre l'axe de vallée et le réseau TGH**

Celles-ci vont être déterminées autour des tronçons du réseau TGH. Leur taille est définie, pour chaque tronçon, par le double de la largeur médiane de son fond de vallée (figure 4), calculée au préalable (*cf.* cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°4). L'axe de vallée est, en effet, obligatoirement inclus dans le polygone du fond de vallée, mais le tracé du réseau TGH peut couler très près d'un bord. Elles sont dessinées avec l'outil « zone tampon » d'ArcGIS). Nous tenons à préciser que nous n'avons pas pu utiliser des zones tampons à bords plats, car, en raison de la quantité et de la complexité des données, le logiciel génère beaucoup de bugs géométriques qui risquaient de fausser nos calculs.



**Figure 4 : Exemples de zones tampons pour la récupération des données de l'axe de vallée**

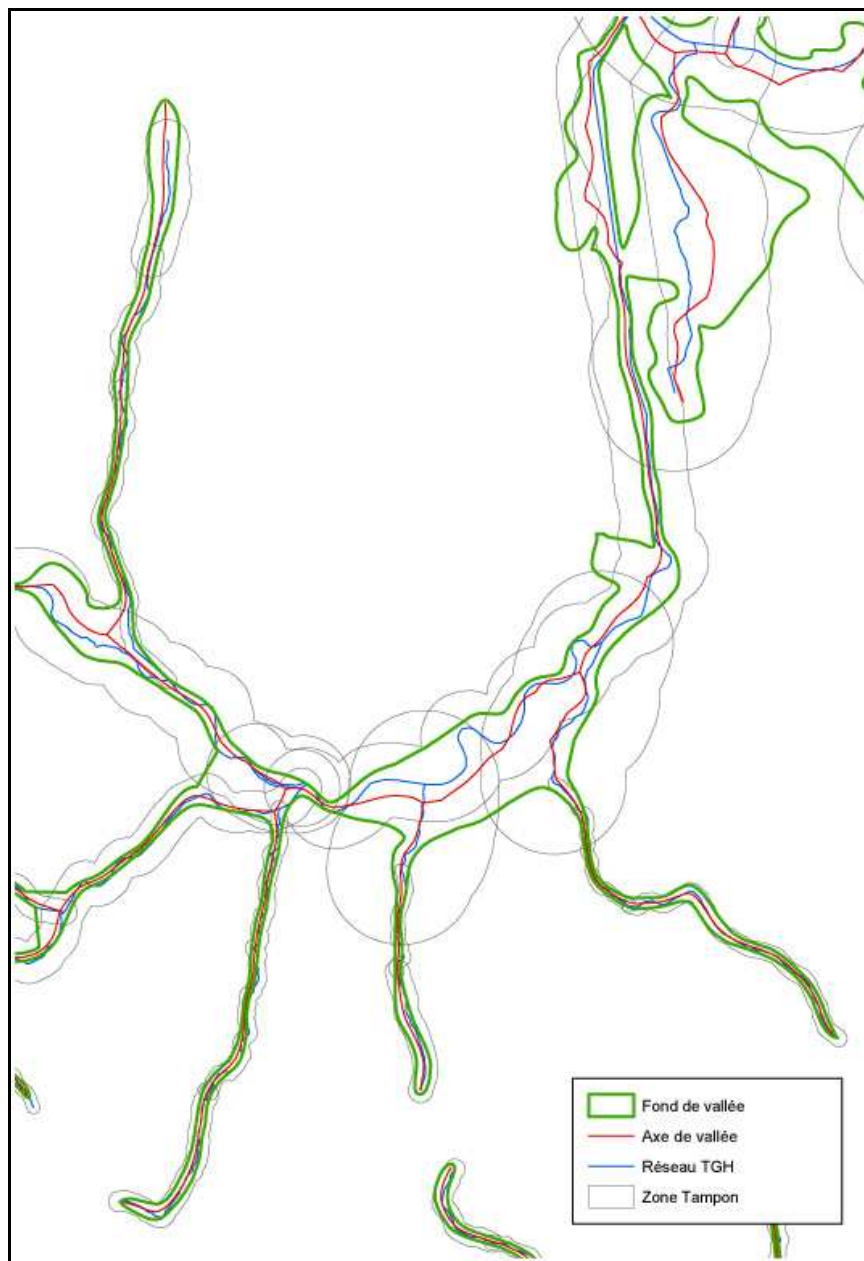
## **2.2. Croisement de l'axe avec les zones tampons**

### **2.2.1. Intersecter**

Pour pouvoir calculer la pente de la vallée pour chaque tronçon, il faut sélectionner les segments de l'axe de vallée qui leur correspondent. Nous utilisons pour cela l'outil « Intersecter ») d'ArcGIS qui croise les géométries de deux couches, c'est à dire que l'axe de vallée est découpé suivant les limites des zones tampons, créant ainsi de nouveau segments dans une nouvelle couche de

données. Les segments de l'axe de vallée se situant à l'intérieur de la zone tampon d'un tronçon, se voient attribuer l'identifiant de ce tronçon.

### 2.2.2. Tri des segments



**Figure 5 : Exemples de sélection trop large par les zones tampons**

Cependant, comme nous le constatons sur la figure 5, les zones tampons, volontairement très larges, sélectionnent souvent des segments de l'axe qui ne correspondent pas à la vallée du tronçon concerné.

C'est pour remédier à ce problème que nous avons renseigné les segments de l'axe et les tronçons du réseau TGH avec le rang de Strahler. En effet, ne sont sélectionnés et conservés, dans une nouvelle couche, uniquement les segments dont le rang est égal à celui de la zone tampon, donc du tronçon. Cela évite, par exemple, que des segments de l'axe de vallée d'un affluent, se voient attribuer

au confluent. Ce tri est réalisé par jointure attributaire entre les tables des segments « croisés » et des zones tampons.

### **2.2.3. Cas particuliers**

Certaines rivières de faible rang, circulent dans la vallée d'un cours d'eau bien plus important. Pour les tronçons concernés, les zones tampons ne sélectionnent aucun segment de l'axe de vallée. Ils ont donc dû être traités manuellement (découpe et sélection des segments, et report de l'identifiant tronçon).

## **2.3. Calcul de la pente de la vallée**

Pour chaque segment conservé dans la nouvelle couche, la pente (en %) est calculée selon la méthodologie décrite dans les cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°6. La longueur en mètres du segment est également mesurée. Ces deux paramètres sont ajoutés à la table attributaire.

Cette dernière est alors exportée dans le logiciel R. Nous calculons alors pour chaque identifiant tronçon une moyenne des pentes, pondérée par la longueur relative des différents segments.

Cette moyenne pondérée est ensuite rapatriée dans la table de la couche des tronçons du réseau TGH.

## **3. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner pour chaque tronçon du réseau TGH, la pente de la vallée. Cette méthodologie reste très lourde en termes de quantités de données à traiter et de corrections manuelles.

Cette donnée va être une des principales variables de régionalisation dans la création d'une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques des cours d'eau, dans le cadre du projet SYRAH-CE.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## **Bibliographie**

- Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. and Blanc, L. (2002). Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Rapport, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 190 p.

## **Feuille n°6 : Description du paramètre : pente du lit mineur**

### **1. Description du paramètre**

#### **1.1. Résumé**

L'attribut « pente du lit mineur » représente la pente du lit mineur, en %, de chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1).

#### **1.2. Objectif**

Cette valeur est une variable hydromorphologique très significative et utile pour les calculs de puissance ou de capacité de transport solide, elles-mêmes essentielles à l'élaboration d'une typologie de fonctionnement géomorphologique.

#### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Le MNT 50m issu de la BD Alti® de l'IGN.

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI ;
- Extension Spatial Analyst® d'ESRI.



## **2. Méthodologie**

### **2.1. Préparation des données**

#### **2.1.1. Création des points amont et aval**

La première étape consiste à générer deux nouvelles couches de points, qui représenteront respectivement les points amont et aval de chaque tronçon du réseau TGH. Il convient de préciser que le réseau TGH a été préalablement orienté afin de correspondre au sens d'écoulement réel. L'outil d'ArcGis utilisé se nomme « sommet d'entités vers des points ».

Nous obtenons donc deux nouvelles couches de données qui intègrent les identifiants uniques des tronçons.

#### **2.1.2. Extraction des valeurs d'altitude**

A chaque point de ces deux couches va être attribuée l'altitude correspondante, en mètres, à l'aide de l'outil « extraction de valeurs vers des points » (de Spatial Analyst). Celui-ci permet, en effet, de rapatrier pour chaque point la valeur du pixel correspondant d'un raster, ici le MNT 50m.

Par simple jointure attributaire, il est alors possible d'attribuer à chaque tronçon ses valeurs d'altitude amont et aval.

### **2.2. Calcul de la pente**

Avec les valeurs d'altitude ainsi récupérées, il est alors aisé de réaliser un calcul de dénivelé, qui correspond à la différence entre l'altitude de l'amont et celle de l'aval.

Parallèlement, la longueur, en mètres, de chaque tronçon a été renseignée par un calcul de géométrie.

La pente du lit mineur en %, est ensuite calculée, dans un nouveau champ, avec la formule suivante :

$$\text{Dénivelé} / \text{Longueur du tronçon} * 100$$

### **2.3. Problèmes rencontrés**

#### **2.3.1. Emprise spatiale**

Certains segments du réseau TGH débordent parfois de l'emprise spatiale du MNT de l'IGN. Dans ce cas, l'outil d'extraction renseigne une valeur de -9999, qui signifie valeur aberrante pour le logiciel. Ces valeurs ont été converties en « NULL » et pour les tronçons concernés (par une ou deux valeurs), la pente n'a pas été calculée. Elle apparaît alors comme « NULL », afin de bien la différencier des valeurs de pente égale à zéro.

#### **2.3.2. Décalage entre BD Carthage® et BD Alti®**

Il arrive que le tracé du réseau TGH, issu de la BD Carthage®, ne coïncide pas parfaitement avec le talweg du MNT. Dans ce cas, la valeur d'altitude extraite est celle du versant et elle est donc surévaluée. Cela a entraîné des résultats au

calcul de pente, soit négatifs, soit trop importants. Des corrections manuelles ont été nécessaires pour réparer ces erreurs.

## **2.4. Limites de l'exercice**

La précision altimétrique de 1m du MNT est source de quelques complications. En effet, notamment pour les grands cours d'eau, la pente réelle du lit mineur de certains tronçons est très légèrement supérieure à zéro. Alors qu'avec notre méthodologie, ces tronçons vont se voir attribuer une valeur de pente égale à zéro. Leurs futures valeurs de puissance seront donc automatiquement égales à zéro.

Cependant, le MNT 50m de l'IGN est l'unique source de données homogènes sur l'ensemble du territoire national.

## **3. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner, pour chaque tronçon du réseau TGH, la pente du lit mineur de manière homogène sur l'ensemble du territoire.

Cette donnée va servir, dans le cadre du projet SYRAH-CE, à la création d'une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques des cours d'eau.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## **Bibliographie**

Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.

## **Feuille n°7 : Description du paramètre : Superficie BV amont**

### **1. Description du paramètre**

#### **1.1. Résumé**

L'attribut « Superficie BV amont » représente la superficie, en km<sup>2</sup>, du bassin versant de chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1).

#### **1.2. Objectif**

Cette valeur renseigne sur la taille du cours d'eau et permet de calculer des variables essentielles à l'élaboration d'une typologie de fonctionnement géomorphologique, comme le débit spécifique.

#### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage<sup>®</sup> de l'IGN ;
- le MNT 50m issu de la BD Alti<sup>®</sup> de l'IGN ;
- les données des stations de la Banque HYDRO (<http://www.hydro.eaufrance.fr>).

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop<sup>®</sup> 9 d'ESRI ;
- Extension Spatial Analyst<sup>®</sup> d'ESRI ;
- Arcscript Accrocher des points à des lignes de G. Tournadre et G. Lavenue.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Préparation des données

#### 2.1.1. Réseau TGH : choix du point de mesure

Tout d'abord, il a été décidé de calculer la superficie du bassin versant à partir du point médian de chaque tronçon. En effet, le bassin versant du point amont a tendance à être sous-estimé pour les secteurs aval du tronçon et inversement pour le bassin versant du point aval. De plus, nous avons voulu éviter toute erreur due à une trop faible taille de bassin versant avec le point amont ou à la prise en compte de l'affluent ou du confluent avec le point aval (beaucoup de limites de tronçons se situent sur des confluences).

A l'aide de l'outil « Sommets d'entités vers points », nous extrayons, dans une nouvelle couche de données, le point médian de chacun des 69 502 tronçons.

#### 2.1.2. MNT

Un MNT est une matrice de cellules (ou pixels) géoréférencées et organisées en grille, qui contiennent une valeur, l'altitude dans notre cas.

A l'aide de l'outil « direction de flux » de l'extension Spatial Analyst, nous pouvons déterminer la direction du flux de chaque cellule du MNT. Cette fonction génère un raster où chaque pixel reçoit un code représentant l'une des huit directions d'écoulement. La direction du flux est déterminée par la pente maximale de chaque cellule, elle même calculée à partir du rapport de la variation de la valeur d'altitude sur la distance. On obtient en sortie, un raster de direction de flux (figure 1).

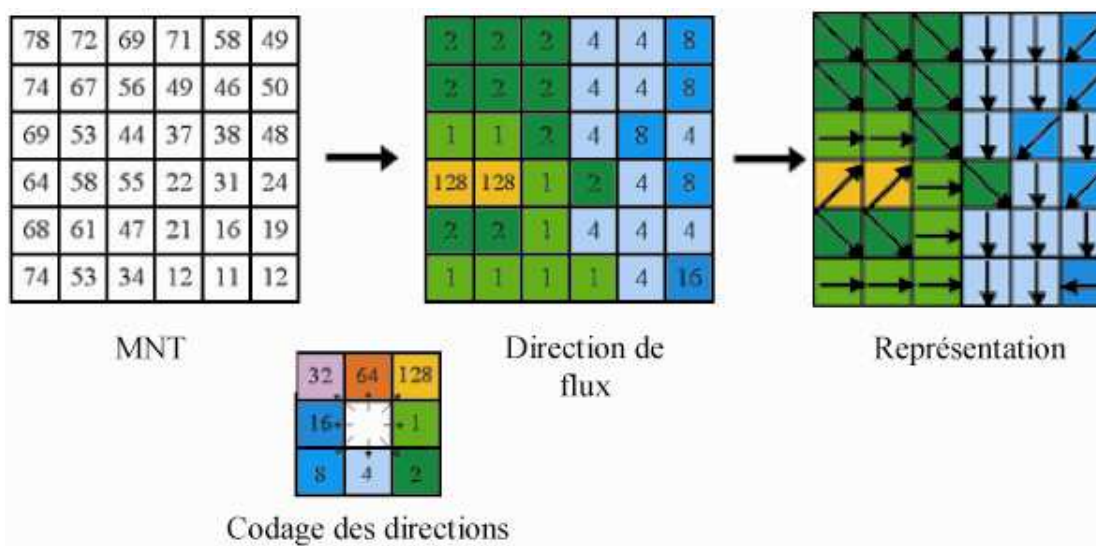


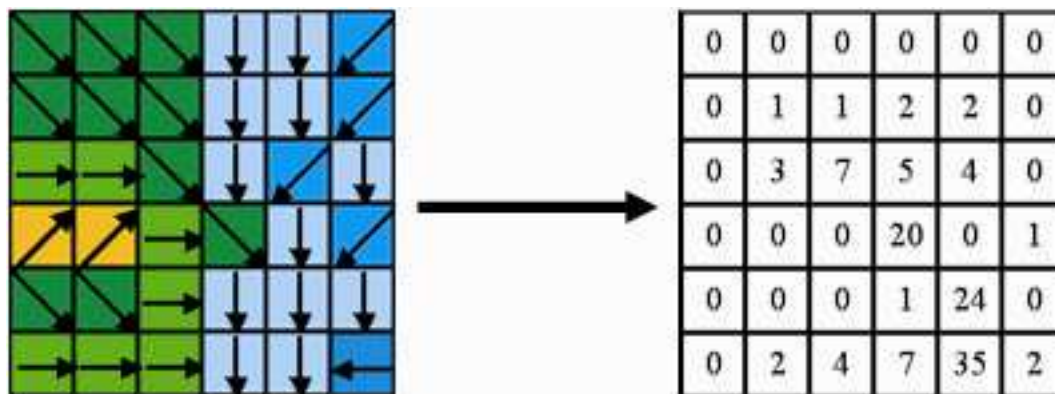
Figure 1 : schématisation de la fonction « direction de flux » (images tirées de l'aide de Spatial Analyst®)



## 2.2. Calcul du paramètre

### 2.2.1. Accumulation de flux

Nous appliquons ensuite la fonction « accumulation de flux » de Spatial Analyst® sur le raster de direction de flux. Celle-ci calcule le flux accumulé dans chaque cellule du raster. Pour un pixel donné, la valeur en sortie correspond au nombre de cellules qui s'écoulent vers ce pixel (figure 2).

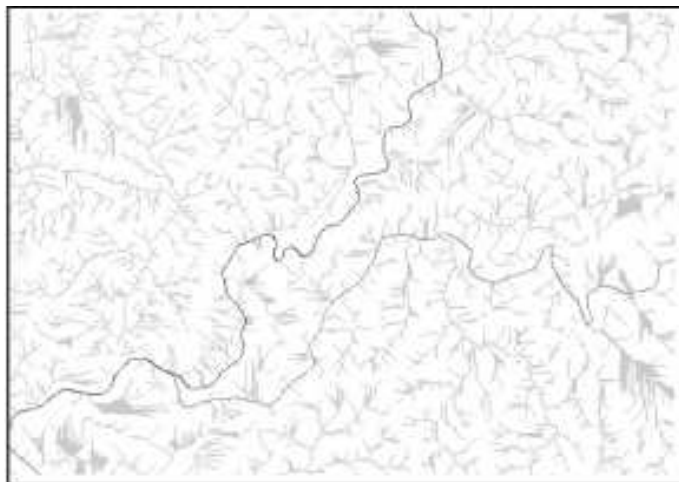


**Figure 2 : Schématisation de la fonction « accumulation de flux » (images tirées de l'aide de Spatial Analyst®)**

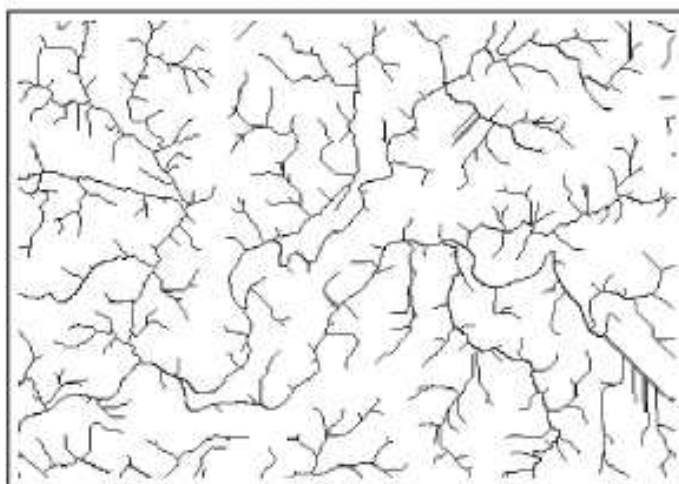
Les cellules présentant une accumulation de flux élevée sont les zones de flux concentré, c'est à dire les talwegs. A l'inverse les pixels où l'accumulation est faible correspondent aux crêtes. A partir du raster d'accumulation de flux, il est possible d'identifier un réseau hydrographique.

### 2.2.2. Création d'un nouveau réseau hydrographique

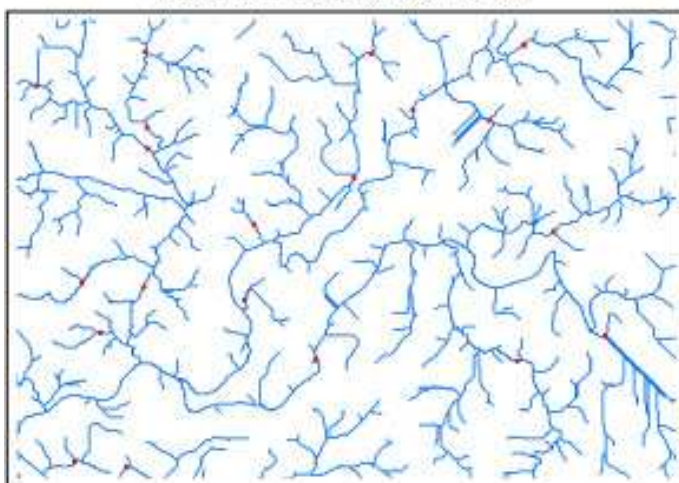
Nous ne conservons par la suite que les cellules qui possèdent une valeur d'accumulation de flux supérieure ou égale à 100, ce qui représente un bassin versant amont de 0,25 km<sup>2</sup> minimum. Les autres cellules se voient attribuer une valeur correspondant à une absence de données. Cette opération est effectuée par la fonction « reclassification » de Spatial Analyst®. Les pixels retenus sont stockées dans un nouveau raster. Puis celui-ci est vectorisé et enregistré comme nouvelle couche de données. Nous obtenons donc un nouveau réseau hydrographique qui correspond aux écoulements théoriques du raster d'accumulation de flux (figure 3).



**Accumulation de flux**



**Reclassification du raster**

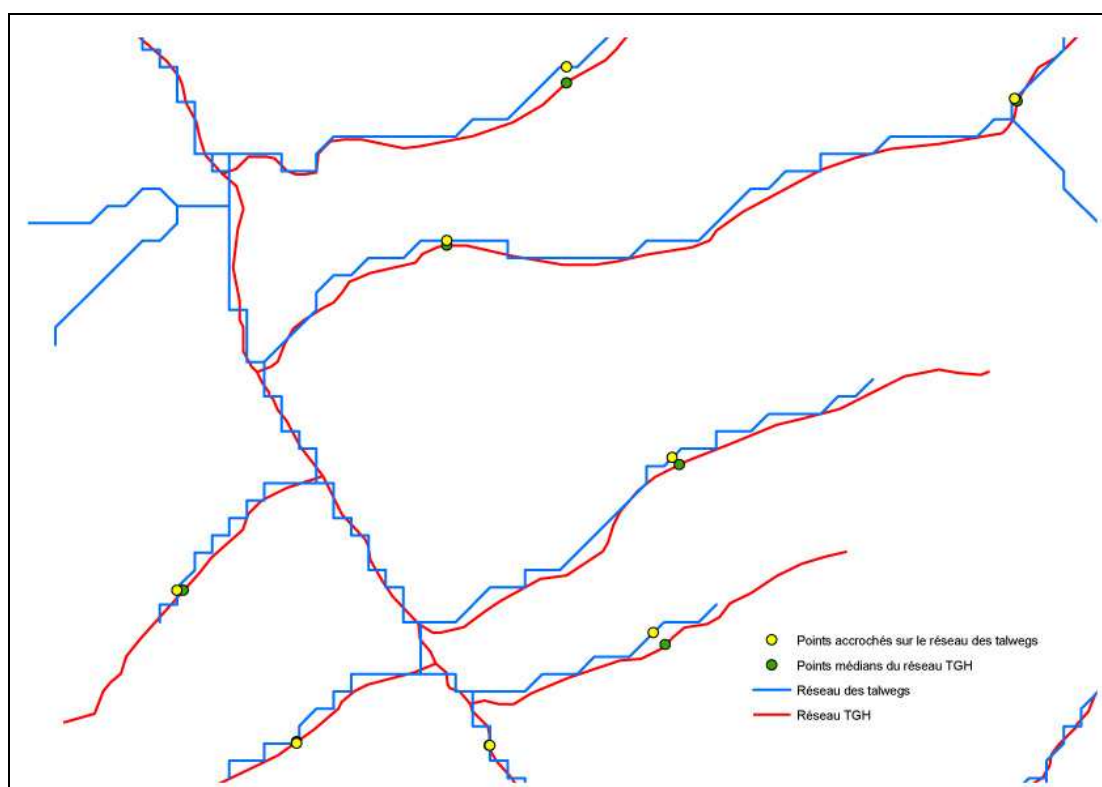


**Réseau des talwegs vectorisé**

**Figure 3 : Extraits des 3 phases de création du réseau des talwegs issu du MNT**

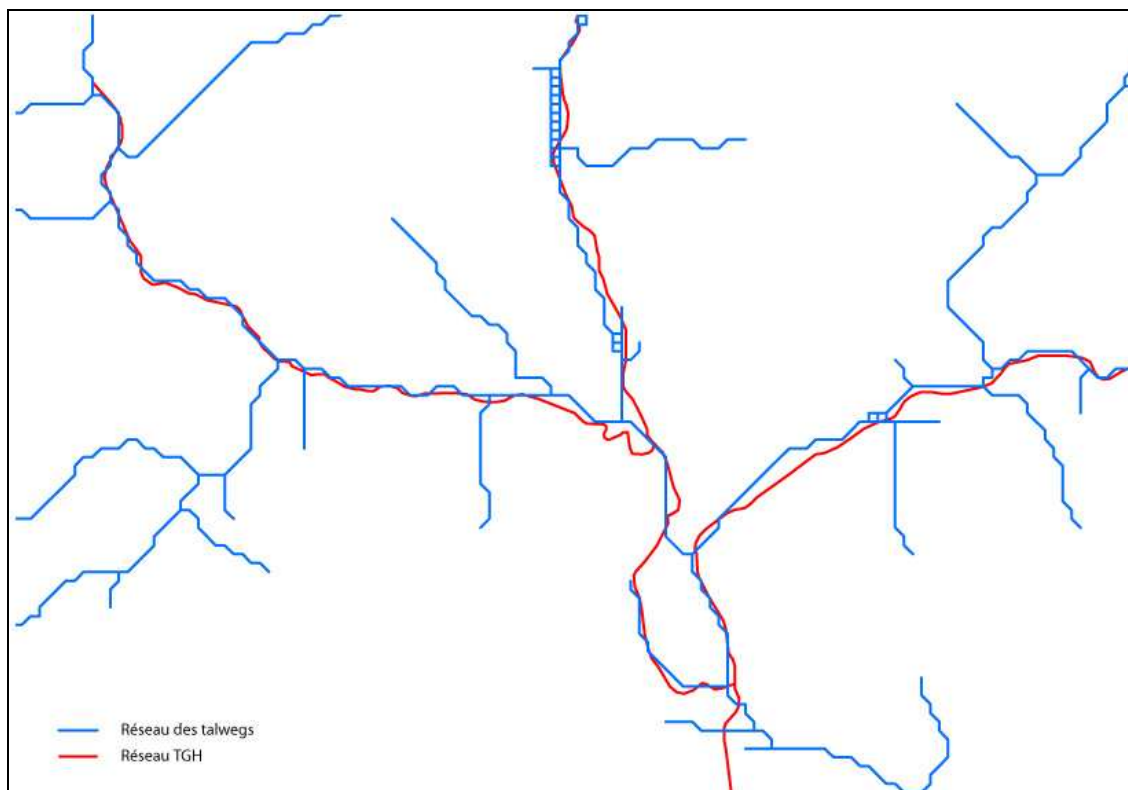
### 2.2.3. Repositionnement des points médians

L'étape suivante consiste à accrocher les points médians des tronçons sur le réseau hydrographique théorique du MNT, à l'aide de l'outil « accrocher des points à des lignes » de G. Tournadre et G. Lavenu - ESRI France (trouvé sur le site <http://support.esrifrance.fr/>). Cet outil repositionne les points sur l'entité géographique la plus proche, en l'occurrence, le réseau des talwegs issu du MNT (figure 4).

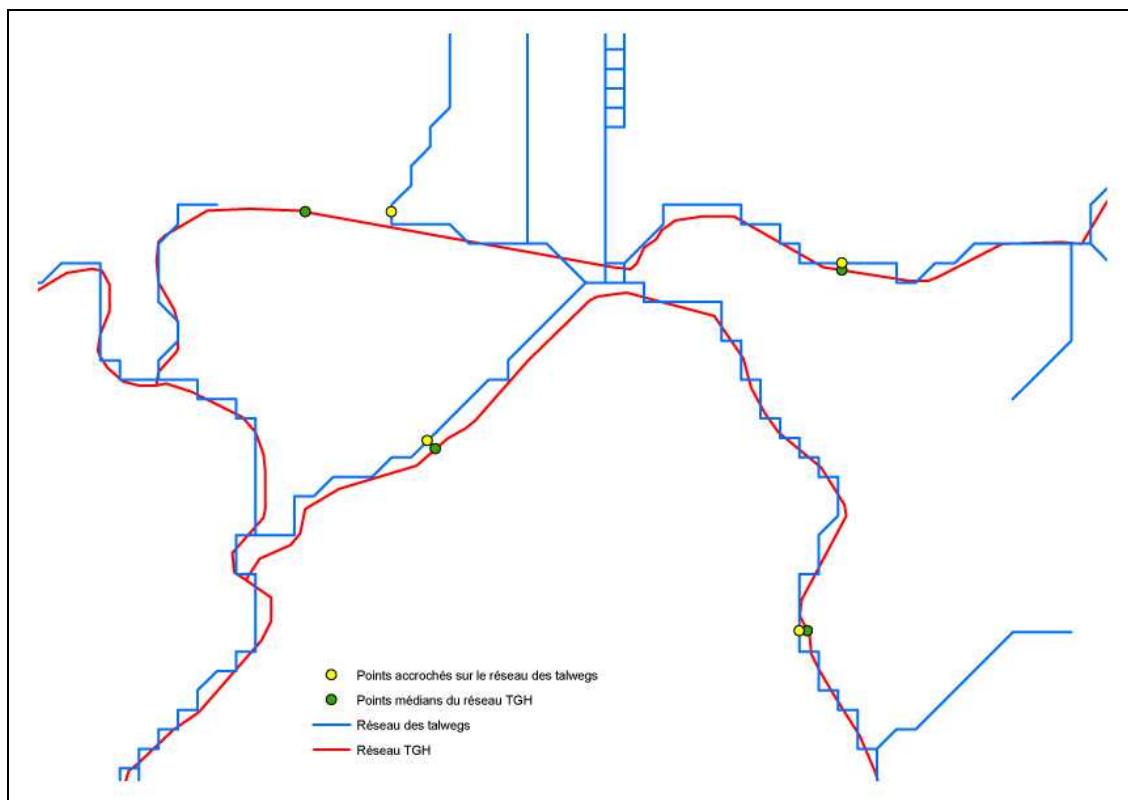


**Figure 4 : Illustration du repositionnement des points médians sur le réseau des talwegs**

Cette étape nécessite une correction visuelle pour vérifier que le point a été replacé sur le bon cours d'eau, à cause du décalage entre le tracé initial des rivières et celui des talwegs théoriques (figure 4). Ce décalage induit un écart plus ou moins important entre une confluence du réseau TGH issu de la BD Carthage® et la confluence correspondante du réseau des talwegs extrait du de la BD Alti®. Cet espacement peut avoir des effets sur le repositionnement des points mais aussi sur la valeur d'accumulation de flux, si le point médian est accroché sur la mauvaise branche du réseau (figures 5 et 6).



**Figure 5 : Illustration du décalage entre le réseau des talwegs et le réseau TGH**



**Figure 6 : Exemple d'erreurs du MNT qui nécessitent une correction manuelle**

Nous pouvons ensuite, à l'aide de l'outil « extraction de valeurs vers des points » de Spatial Analyst®, extraire pour chaque point médian la valeur d'accumulation

de flux correspondante. La maille du MNT étant composée de pixels de 50 m de côté, chaque cellule a une aire de 250 m<sup>2</sup>. Nous pouvons alors simplement transformer la valeur d'accumulation de flux en surface en km<sup>2</sup>. Cette dernière correspond à la superficie du bassin versant amont. Cette opération est répétée automatiquement, grâce un calcul de champ, pour chaque point médian.

## **2.3. Problèmes rencontrés**

### **2.3.1. Cours d'eau transfrontaliers**

Le MNT à notre disposition ne couvre que le territoire national. Les valeurs de surface de bassin versant obtenues pour les rivières transfrontalières sont donc sous estimées. Pour remédier à ce problème, nous avons dans un premier temps identifié les cours d'eau concernés. Nous avons ensuite recherché l'existence de stations de la banque hydro sur ces rivières à proximité de la frontière. Pour celles où nous avons trouvé des données (par exemple : le Rhône, le Rhin, le Doubs ou la Semois), nous avons ajouté la superficie du bassin versant extra-français à la valeur de tous les tronçons aval.

### **2.3.2. Erreurs du MNT**

Le MNT contient plusieurs erreurs qui faussent le calcul d'accumulation de flux. En effet, quelques cellules isolées contiennent des valeurs d'altitude aberrantes qui induisent une inversion de l'écoulement. C'est le cas par exemple du Rhône, de la Garonne ou de l'Oise. La solution a été de faire, pour chaque bassin concerné, la différence entre la surface totale du bassin versant et les valeurs erronées au sein du même bassin. Nous n'avons pas trouvé de méthode pour détecter automatiquement ce type de problème. Nous n'avons donc pu procéder qu'à des vérifications visuelles et des corrections manuelles.

## **3. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner, pour chaque tronçon du réseau TGH, la superficie de son bassin versant amont. Il faut préciser que cette méthodologie a été privilégiée, principalement pour des raisons de délai de mise en œuvre, à d'autres, plus lourdes, qui permettent d'avoir les contours du bassin versant amont.

Cette donnée va servir, dans le cadre du projet SYRAH-CE, à la création d'une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques des cours d'eau.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).



## **Bibliographie**

Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.

## **Feuillelet n°8 : Description du paramètre : Débit spécifique de crue**

### **1. Description du paramètre**

#### **1.1. Résumé**

L'attribut « débit spécifique de crue » représente, pour chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillelet n°1), le débit statistique Q0,99 rapporté à la surface du bassin versant amont et exprimé en  $\text{l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ .

#### **1.2. Objectif**

Cette valeur, à l'origine du calcul de puissance spécifique de crue, est une variable très signifiante pour une régionalisation des caractéristiques hydrologiques des cours d'eau. Les rivières de différentes importances peuvent être comparées grâce à ce paramètre.

#### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Interpolation des Courbes des Débits Classés (Catalogne et Sauquet, 2009).

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'esri ;
- Arcscript Accrocher des points à des lignes de G. Tournadre et G. Lavenue ;
- Python 2.5.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Préparation des données

#### 2.1.1. Choix du débit

L'objectif du paramètre est de poser les bases d'une régionalisation du débit de crue. Le débit de pleins bords (souvent assimilé au débit de période de retour 2 ans :  $Q_2$ ) est le débit le plus morphogène, donc le plus signifiant en hydromorphologie. Cependant, une donnée homogène n'est pas disponible sur l'ensemble du territoire national.

Un modèle d'interpolation des courbes de débits classés est développé au Cemagref de Lyon. Il regroupe, après un tri sévère, les données de la Banque Hydro les plus fiables et les régionalise selon une méthode d'interpolation longuement testée.

Parmi les données de ce modèle, nous avons sélectionné, comme base de notre calcul, le débit statistique  $Q_{0,99}$ , débit non dépassé 99% du temps sur la courbe des débits classés. Ce débit, bien que situé dans la partie haute de la courbe, reste fiable et homogène. De plus, il reste un débit significatif comme le montre la figure 1.

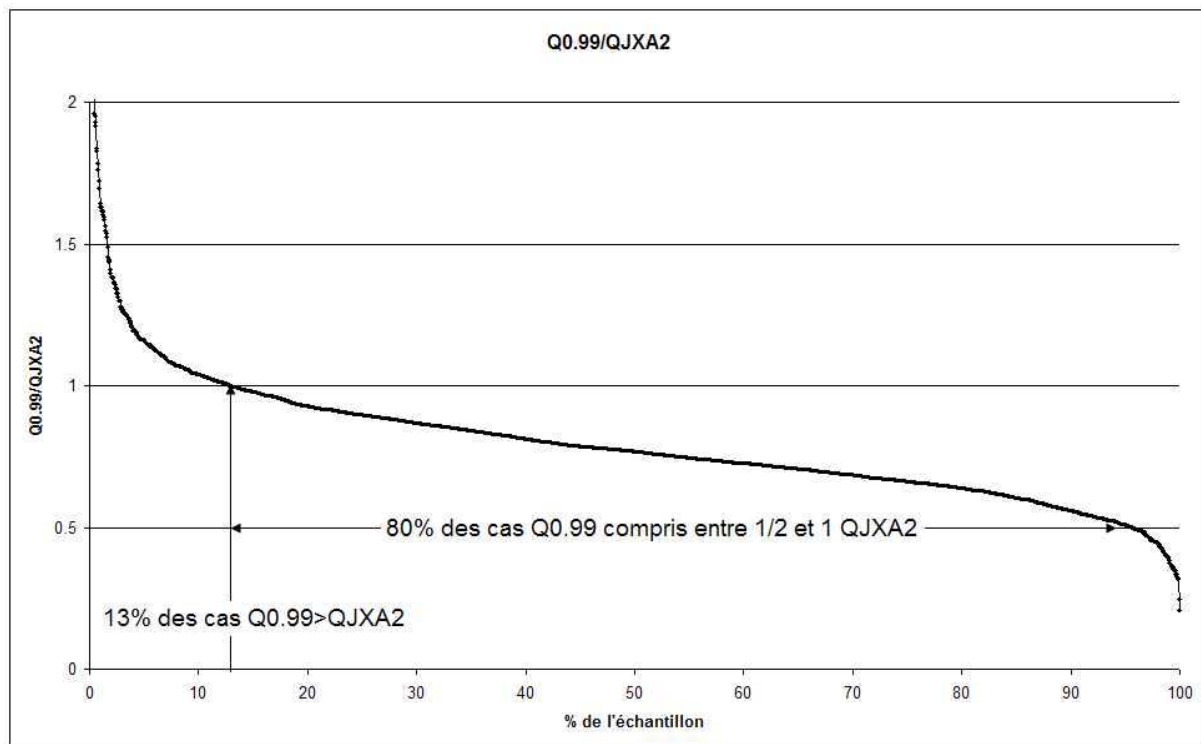


Figure 1 : Rapport entre le  $Q_{0,99}$  et le débit moyen journalier de période de retour 2 ans ( $Q_{JXA2}$ )

#### 2.1.2. Organisation des données hydrologiques

Les courbes de débits classées sont interpolées sur un réseau théorique d'écoulement, construit à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à l'échelle kilométrique. Chaque point de ce réseau possède donc une valeur  $Q_{0,99}$  ( $m^3/s$ ) normée.

Ces données nous ont été fournies sous forme d'une table présentant les coordonnées x et y de chaque point du réseau théorique d'écoulement (un point tous les kilomètres) et les valeurs  $Q_{0,99}$  ( $m^3/s$ ) associées.

Nous avons, à partir de ce tableau, créé une couche de points à l'aide de l'outil « ajouter des données x y ».

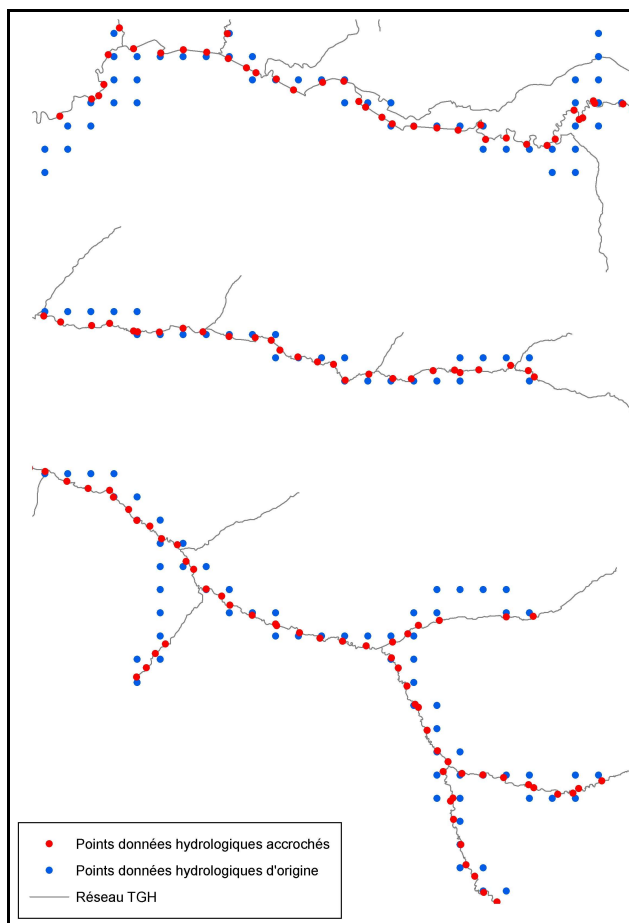
### 2.1.3. Création des points médians

L'étape suivante consiste à créer, dans une nouvelle couche, les points médians des tronçons du réseau TGH (outil « sommets d'entités vers des points »). C'est en effet sur ces points que nous allons récupérer les valeurs hydrologiques.

## 2.2. **Déroulement du calcul**

### 2.2.1. Accrochage sur notre réseau

Les tracés du réseau TGH et du réseau théorique d'écoulement ne se superposent pas. Il convient donc d'accrocher les points issus de la table des données hydrologiques, sur le réseau TGH (figure 2). Nous utilisons pour cela l'outil « accrocher des points à des lignes » de G. Tournadre et G. Lavenue - ESRI France (trouvé sur le site <http://support.esrifrance.fr/>). Ces points accrochés sont exportés dans une nouvelle couche de données.



**Figure 2 : Accrochage des points contenant les données hydrologiques sur le réseau TGH**

Cette étape a demandé une validation, notamment aux confluences, pour vérifier que les points étaient accrochés sur le bon cours d'eau.

### 2.2.2. Récupération des valeurs

L'étape suivante consiste à récupérer la valeur  $Q_{0,99}$  sur les points médians. Cependant, comme on peut le voir sur la figure 2, certains tronçons sont intégralement dépourvus de données hydrologiques, car le réseau théorique d'écoulement est issu d'un MNT à maillage grossier.

Pour récupérer des données hydrologiques sur un maximum de tronçons, nous avons développé une méthodologie particulière. Il nous est en effet apparu, qu'une interpolation de données déjà elles-mêmes interpolées allait créer une forte incertitude. Nous avons donc opté, en accord avec les experts hydrologues (créateurs de la donnée), pour la méthode suivante : nous attribuons, à chaque tronçon, la valeur ( $Q_{0,99}$ ) du premier point rencontré, en parcourant le réseau hydrographique en aval du point médian du tronçon. Si aucun point n'a été accroché à l'aval d'un point médian ou si la distance entre les deux points est trop importante, la valeur « NULL » (absence de données) est attribuée aux tronçons concernés.

Pour réaliser cette étape, nous transformons le réseau TGH en itinéraires et les deux couches de points en événements le long de ces itinéraires, avec les commandes de la boîte à outils « référencement linéaire ».

Pour la recherche du premier point aval et la récupération des données, nous avons développé un script en langage python. Celui-ci, attribue à chaque point médian l'identifiant du premier point hydrologique accroché qu'il rencontre en parcourant le réseau dans le sens d'écoulement (le réseau TGH a été préalablement orienté, cf. cahiers techniques SYRAH-CE - Feuille n°1), ainsi que la distance qui sépare les deux points. La valeur  $Q_{0,99}$  est ensuite rapportée à la couche des tronçons par jointure attributaire.

Dans le cas où la distance séparant le point médian du point accroché le plus proche, est trop importante, nous sommes allés vérifier la pertinence de la valeur pour décider de la conserver ou pas. Cette validation s'est faite par expertise avec les données de la Banque HYDRO (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>) quand elles étaient disponibles.

### 2.2.3. Calcul du débit spécifique

Une fois la valeur  $Q_{0,99}$  en  $m^3/s$  récupérée pour chaque tronçon, il convient de la transformer en l/s. Pour cela, il suffit de multiplier par  $10^3$  la valeur de départ.

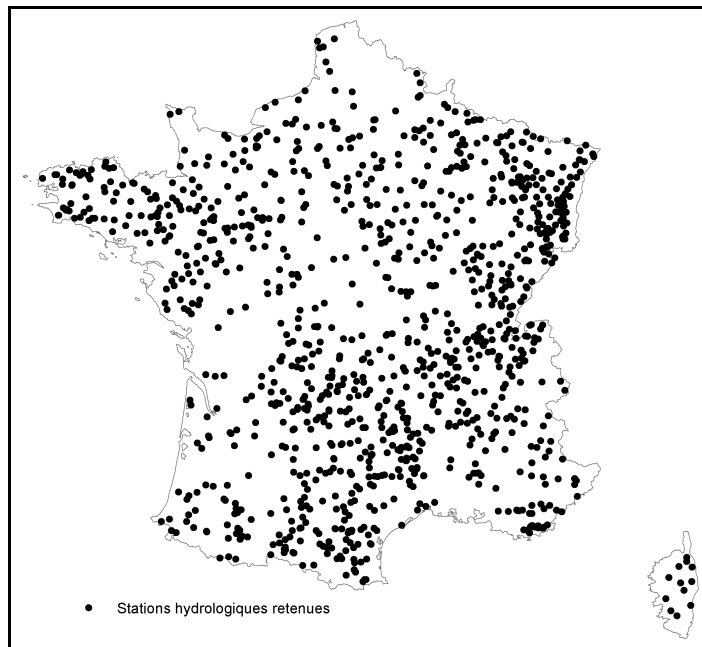
Cette valeur en l/s est ensuite divisée par la superficie ( $km^2$ ) du bassin versant amont du point médian de chaque tronçon (cf. cahiers techniques SYRAH-CE - Feuille n°7). Nous obtenons ainsi le débit spécifique de crue en  $l/s/km^2$ .

## 3. **Limites de l'exercice**

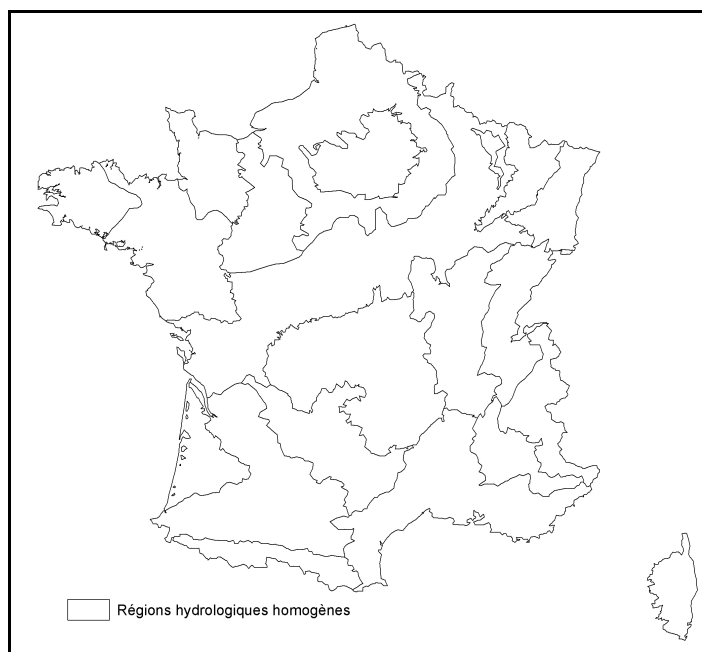
Comme nous pouvons le voir sur la figure 3, certaines zones possèdent peu de stations hydrologiques répondant aux critères de sélection de la méthodologie de nos experts hydrologues. Même si l'interpolation des valeurs hydrologiques a été réalisée à l'intérieur de régions hydrologiques homogènes (en termes de



précipitations, géologie, relief ; figure 4 ; Catalogne et Sauquet, 2009), elle reste, dans ces zones, basée sur une quantité de données limitée.



**Figure 3 : Répartition des stations hydrologiques retenues pour l'interpolation**



**Figure 4 : Régions hydrologiques homogènes**

Notre paramètre débit spécifique de crue présente donc une incertitude variable en fonction de la situation des tronçons. Cependant l'importance de cette incertitude est difficilement mesurable. Nous avons tout de même remarqué que les secteurs à faible précipitations présentent les données les moins fiables. Cette remarque reste une tendance et dépend également de la proximité des stations et du caractère plus ou moins exceptionnel de certains fonctionnements hydrologiques.

## **4. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner, pour chaque tronçon du réseau TGH, le débit spécifique de crue de manière homogène sur l'ensemble du territoire.

Cette donnée est la base pour le calcul de la puissance spécifique. Nous pouvons également calculer le débit de crue non rapporté à la surface du bassin versant, afin de ne pas perdre de vue les ordres de grandeurs réels.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## **Bibliographie**

- Catalogne, C. and Sauquet, E. (2009). Interpolation des courbes de débit classés. HH Cemagref, Lyon. 97 p.
- Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.

## **Feuille n°9 : Description du paramètre largeur théorique à pleins bords**

### **1. Description du paramètre**

#### **1.1. Résumé**

L'attribut « largeur théorique à pleins bords » représente la largeur du lit mineur ou largeur à pleins bords du cours d'eau en mètres, pour chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1).

#### **1.2. Objectif**

L'objectif est de créer un modèle de largeur théorique de cours d'eau, variable de réponse importante en hydromorphologie (un des premiers compartiments à réagir aux différentes pressions), qui permet notamment de calculer la puissance spécifique et le rapport d'encaissement.

#### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Les photographies aériennes (résolution 50 cm) orthorectifiées de la BD Ortho® de l'IGN.

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI ;
- XLSTAT® d'Addinsoft ;
- R® de R Foundation.

## 2. Contexte et objectifs

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) pose clairement le principe d'une évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques par la mesure d'un écart à des conditions de référence. Ce qui implique, dans un premier temps, une délimitation d'unités élémentaires d'évaluation : les masses d'eau. Ces masses d'eau sont ensuite regroupées en grands « types » et des conditions de référence sont attribuées à chacun, principalement sur la base de bioindicateurs.

La mise en œuvre de la directive, en ce qui concerne les eaux de surface continentales, passe donc par l'établissement d'une typologie permettant la définition des conditions de référence biologiques, mais aussi hydromorphologiques et physico-chimiques. Pour répondre pleinement à ces exigences, cette typologie doit être basée sur les processus qui génèrent les différents types de milieux et leurs peuplements associés : plus qu'une simple classification, il faut aboutir à une typologie fonctionnelle relativement précise.

C'est dans ce contexte qu'un projet de mise en place d'un système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE) (Chandesris et *al.*, 2008) au niveau national a été lancé. En effet, l'objectif de « bonne qualité écologique » impose d'optimiser les priorités de restauration en tenant compte des conditions fonctionnelles naturelles et de l'état de dégradation des cours d'eau. Cela nécessite une typologie de référence incorporant notamment le fonctionnement hydromorphologique de l'ensemble des cours d'eau du territoire, fondée sur l'identification de caractères primaires 'naturels' et non impactés des cours d'eau tels que les largeurs à plein bords ou la quantité d'alluvions en lit mineur. Ces données serviront en effet au paramétrage de la typologie de référence en calculant par exemple la puissance spécifique du cours d'eau.

L'état actuel des cours d'eau étant dépendant des caractéristiques naturelles et des pressions anthropiques, les unes et les autres fortement structurées par la géographie, le Cemagref a développé plusieurs outils permettant d'établir une typologie à différentes échelles.

Ainsi, une sectorisation de 230 000km de cours d'eau français a été réalisée à partir de la BD Carthage® de l'IGN (Valette et *al.*, 2008). Basée sur les variables de contrôle que sont la géologie, l'hydrologie, la largeur, la forme et la pente de la vallée, cette étude fournit une maille de tronçons géomorphologiquement homogènes, adaptée à une typologie à grande échelle.

De plus, une approche par hydro-écorégions (HER) sur 2 niveaux a été proposée afin de regrouper les structures géographiques aux caractéristiques naturelles similaires (Wasson et *al.*, 2002). Cette régionalisation utilise donc les facteurs de contrôle globaux (plutôt que leurs conséquences au niveau local) et est basée sur les déterminants primaires du fonctionnement des cours d'eaux (à l'échelle du bassin) que sont la géologie, le relief et le climat. Ces hydro-écorégions sont ensuite couplées avec une ordination du réseau hydrographique par rang de Strahler (1957) afin de mieux discriminer les cours d'eau selon leur taille. Cette approche conduit à isoler des régions homogènes en termes de processus physiques dominants, et aboutit à définir pour chaque région une « enveloppe de variabilité » des paramètres hydro-morphologiques, chimiques et biologiques à plus petite échelle pour les tronçons.

Ce présent document vise à expliquer la méthodologie d'échantillonnage et de renseignement des largeurs de lit à plein bords sur un nombre limité de tronçons. Cet échantillon représentatif pourra ainsi servir à l'élaboration d'une typologie fonctionnelle des tronçons de cours d'eau, engagée avec le projet SYRAH-CE.

### 3. Outils et données utilisés

- **Logiciel ArcGIS Desktop** (©ESRI): Logiciel de cartographie permettant l'affichage simultané de plusieurs couches d'éléments géoréférencés (photos aériennes, réseau hydrographique, surfaces et typologies d'occupation du sol, etc.) ainsi que leur modification éventuelle. Ces couches ou fichiers de formes (ligne, point, surface) possèdent également des informations attributaires enregistrées dans une base de données. L'ensemble constitue un Système d'Information Géographique (SIG).
- **Réseau TGH** : Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (ci-après nommés 'tronçons homogènes') issus de la BD Carthage® (IGN) et créés dans le cadre du projet SYRAH-CE.

Un réseau hydrographique français simplifié (230 000km, cf. Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°1) a été sectorisé en entités homogènes (tronçons) à partir des variables de contrôle que sont la géologie, l'hydrologie, la largeur, la forme et la pente de la vallée (Valette et *al.*, 2008). Ainsi, selon les lois de la géomorphologie fluviale, à variables de contrôle similaires, le tronçon doit présenter des caractéristiques géomorphologiques homogènes (ou variables de réponses) : géométrie du lit (largeur, profondeur), pente, style fluvial, etc. Si un tronçon identifié comme homogène présente des portions de son linéaire manifestement différentes les unes des autres, on peut alors suspecter une ou plusieurs altérations, résultantes de pressions anthropiques, de son fonctionnement hydromorphologique.

Le réseau TGH obtenu, réparti sur la France entière, possède 69 502 tronçons sur environ 230 000km de cours d'eau de la BD Carthage® (présentant un total de 500 000km). Ce réseau est caractérisé par un certain nombre de données pour chaque tronçon, détaillées dans les autres feuillets des cahiers techniques SYRAH-CE.

- **Semis de 10 150 points d'échantillonnage** répartis selon les rangs de Strahler sur l'ensemble du réseau TGH (Tableau ).

L'évaluation du transport solide ne pouvant se faire sur l'ensemble des tronçons, un échantillonnage semi-aléatoire représentatif a été projeté sur les cours d'eau du réseau TGH, à l'aide de la fonction « Créer des points aléatoires » d'ArcGIS. Pour cela, les tailles des semis de points ont été définies proportionnellement au linéaire de cours d'eau développé pour chaque rang de Strahler.



**Tableau 1 - Nombre de points d'échantillonnage projeté sur les tronçons, par rang de Strahler**

Rang	Nombre de points projetés (points d'échantillonnage)	Longueur totale du réseau TGH (km)	Représentativité sur le réseau TGH (%)
1	5500	119516,990261	53,0695503013
2	2000	46167,8779185	20,5000855037
3	1300	28946,4479267	12,8531932651
4	500	16025,2446522	7,11574584755
5	400	8776,13686922	3,89689897658
6	170	3790,06381948	1,68291539198
7	70	1569,82702535	0,69705582532
8	10	415,632781121	0,18455488828

- **BD ORTHO®** (©IGN) : base orthophotographique<sup>1</sup> en couleurs (Infra Rouge Couleur), géoréférencée et couvrant la France entière avec une résolution comprise entre 20 et 50 cm selon les départements<sup>2</sup> ;
- **BD SCAN 25® topographique** (©IGN) : collection d'images cartographiques numériques au 1 : 25 000, couvrant la France entière en dalles de 10 km x 10 km avec une résolution au sol de 2,5 m. De nombreuses informations y sont représentées, par exemple : courbes de niveaux, tracé des cours d'eau et plans d'eau, urbanisation, forêts, aménagements hydrauliques ;
- **XLSTAT®** (©Addinsoft) **et R®** (R Foundation<sup>3</sup>) : deux logiciels statistiques.

## 4. Méthodologie de recueil des largeurs

### 4.1. Méthodologie fonctionnelle

L'utilisation d'un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) et des orthophotographies IGN permet une campagne de mesures sur les largeurs de cours d'eau au niveau national. Pour cela, on exploite l'affichage simultané du logiciel pour visualiser les couches nécessaires à la saisie :

- Le réseau TGH (couche de polygones) ;

<sup>1</sup> On appelle orthophotographie, ou plus communément orthophoto, une image obtenue par traitement d'un cliché aérien numérique ou argentique dont la géométrie a été redressée de sorte que chaque point (Graphie) soit superposable à une carte plane qui lui correspond.

<sup>2</sup> Voir métadonnées disponibles sur le site <http://professionnels.ign.fr/11/la-gamme/gamme-de-produits.htm>

<sup>3</sup> Licence GNU GPL ; Site Web : [www.r-project.org](http://www.r-project.org)

Cahiers techniques SYRAH\_CE, A. Cunillera, L. Valette

- les points d'échantillonnage ciblant les tronçons homogènes à mesurer (couche de points) ;
- les orthophotographies et les Scan 25 (couches raster) ;
- la couche de saisie des largeurs mesurées (couche de polylignes).

L'opérateur effectue cinq mesures de largeurs par point d'échantillonnage, sur la totalité du tronçon ; si plusieurs points d'échantillonnage désignent un même tronçon, les cinq mesures initiales sont multipliées par le nombre de points.

Ces mesures sont représentées par des tracés de segments perpendiculaires aux berges (figure 3), les deux extrémités du segment étant posées à hauteur du niveau à pleins bords (niveau avant débordement hors du lit mineur, qui constitue le débit le plus morphogène et qui a donc le plus d'impact sur les formes fluviales, figures 1 et 2).

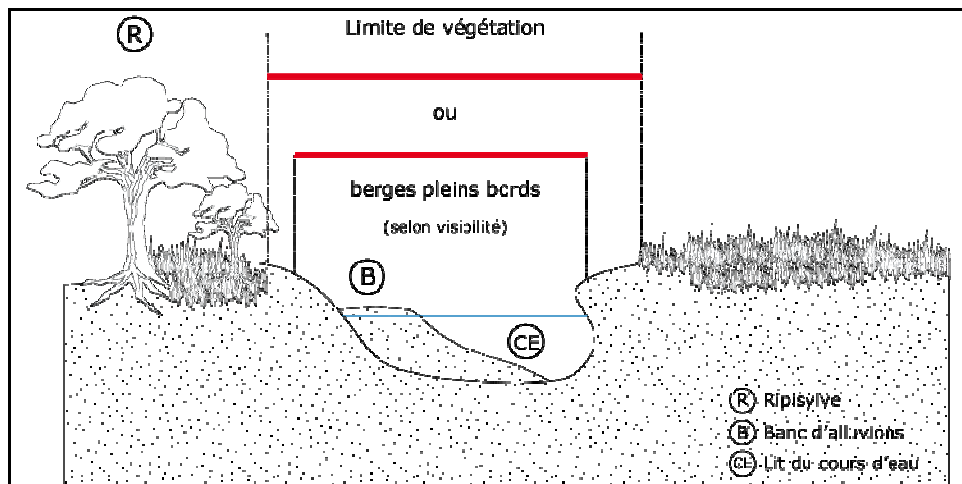


Figure 1 - Exemple de mesure des largeurs à pleins bords avec une bonne visibilité.

Les photos aériennes étant plus ou moins lisibles, et en fonction des conditions du terrain, les repères visuels pour les largeurs à pleins bords varient.

Si la hauteur des berges à pleins bords est difficilement repérable, on se base sur les limites de végétation non pérenne lorsque la ripisylve est absente ou peu présente.

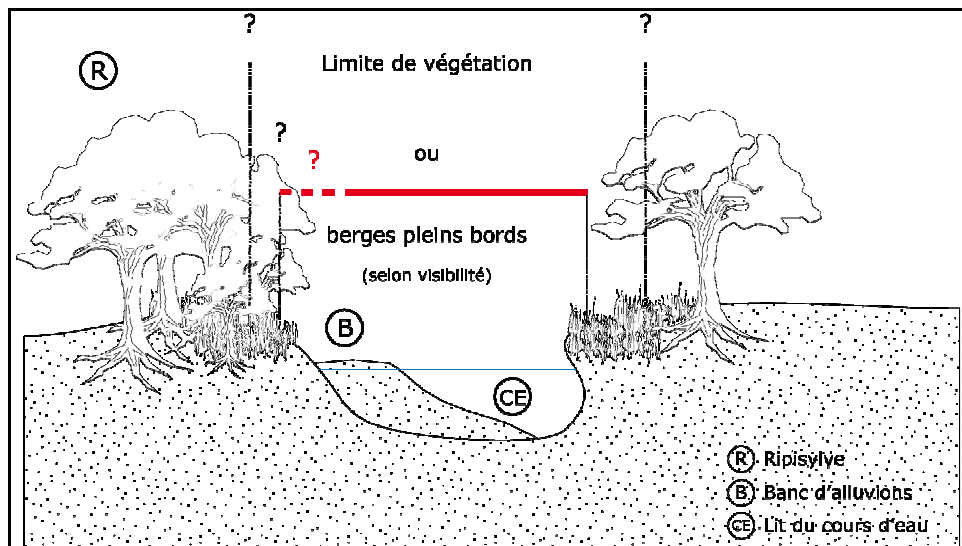


Figure 2 - Exemple de mesure des largeurs à pleins bords avec une visibilité partielle ou mauvaise.

La hauteur des berges à pleins bords inclut donc les bancs d'alluvions.

Lorsque la ripisylve est trop dense sur une des berges, la largeur n'est pas mesurée.



Figure 3 - Exemple d'échantillonnage et de mesure des largeurs à pleins bords

Le résultat de ce travail se traduit donc par un fichier de formes (couche de type 'polylignes' sous le logiciel ArcGIS®) composé de segments représentant les largeurs géoréférencées et individualisées par un identifiant unique<sup>4</sup>. Les mesures étant propres à chaque tronçon analysé, le fichier de lignes 'largeurs' est traité afin de récupérer les attributs métrologiques (longueur de la mesure) et topologiques (identifiant du tronçon SYRAH, code de l'hydro-écorégion...) de chaque élément.

- Création d'un nouveau champ [LARG\_LONG] dans le fichier 'largeurs' lignes ;
- renseignement de la longueur de chaque élément en utilisant la fonction « Calculer la géométrie » sur le champ [LARG\_LONG] ;
- duplication du fichier 'lignes' en un fichier 'points' avec l'outil « Sommets d'entités vers points » (utilisation du point médian – MID) de la boîte à outils ;
- accrochage des points largeurs sur les lignes du réseau TGH avec l'outil « Accrocher des points à des lignes » (Guillaume TOURNADRE / Gaëtan LAVENU - ESRI France, 2002) ;
- récupération de l'identifiant du tronçon homogène propre à chaque point largeur accroché : jointure spatiale entre le fichier largeurs 'points' et le réseau TGH ;
- récupération du code de l'HER2 à laquelle appartient chaque point largeur accroché : jointure spatiale entre le fichier largeurs 'points' et les polygones HER2.

## **4.2. Visibilité et expertise**

L'objectif de l'étude étant la proposition de valeurs de référence, les mesures se font uniquement sur les tronçons ayant un linéaire naturel suffisant, caractère validé par un expert sur des critères visuels. Les tronçons homogènes échantillonnés sont pour cela parcourus d'amont en aval, à différentes échelles selon leur rang, assurant ainsi une visibilité et une compréhension optimales du terrain projeté par les photos aériennes.

Les petits cours d'eau peuvent ainsi être parcourus à une échelle plus grande que les grands cours d'eau, afin qu'une vision de l'ensemble des occurrences territoriales susceptibles de représenter des pressions pour le milieu –retenues, zones urbaines, etc.- soient visibles. En effet, les conséquences de ces aménagements sont généralement plus importants sur les grands cours d'eau, notamment en linéaire : il est alors nécessaire de modifier régulièrement l'échelle de travail afin de repérer les éventuelles pressions plus en amont ou aval, voire hors du tronçon.

---

<sup>4</sup> Nouveau champ ou champ [FID] créé automatiquement par ArcGIS  
Cahiers techniques SYRAH\_CE,A.Cunillera, L. Valette





Figure 4 – Visualisation des orthophotographies à grande échelle pour les petits cours d'eau.



Figure 5 – Visualisation des orthophotographies à petite échelle pour les grands cours d'eau.

Ainsi, les largeurs à pleins bords sont mesurées sur les zones où **le lit majeur est le plus naturel possible**, lorsque les deux berges sont visibles (cf. 5.1).

Cette étude ayant débuté avec le travail d'un stagiaire (Berthommé, 2009), il y a eu plusieurs opérateurs de saisie des largeurs, avec des appréciations différentes selon les situations (l'opérateur final ayant effectué 56% des saisies). Néanmoins, une analyse des saisies, réalisée par rang de Strahler et par HER 2 (pour les rangs 1 à 4) par les deux opérateurs principaux ne montre pas de biais opérateur.

Enfin, les premières analyses statistiques ont montré que certains types de cours d'eau n'étaient pas représentés. Ces observations ayant été corroborées par l'avis des experts et leur connaissance du terrain, ces zones ont été ré-échantillonnées afin de compléter le jeu de données.



## 5. Spécifications pour la saisie des largeurs du lit à pleins bords

### 5.1. Notions de base

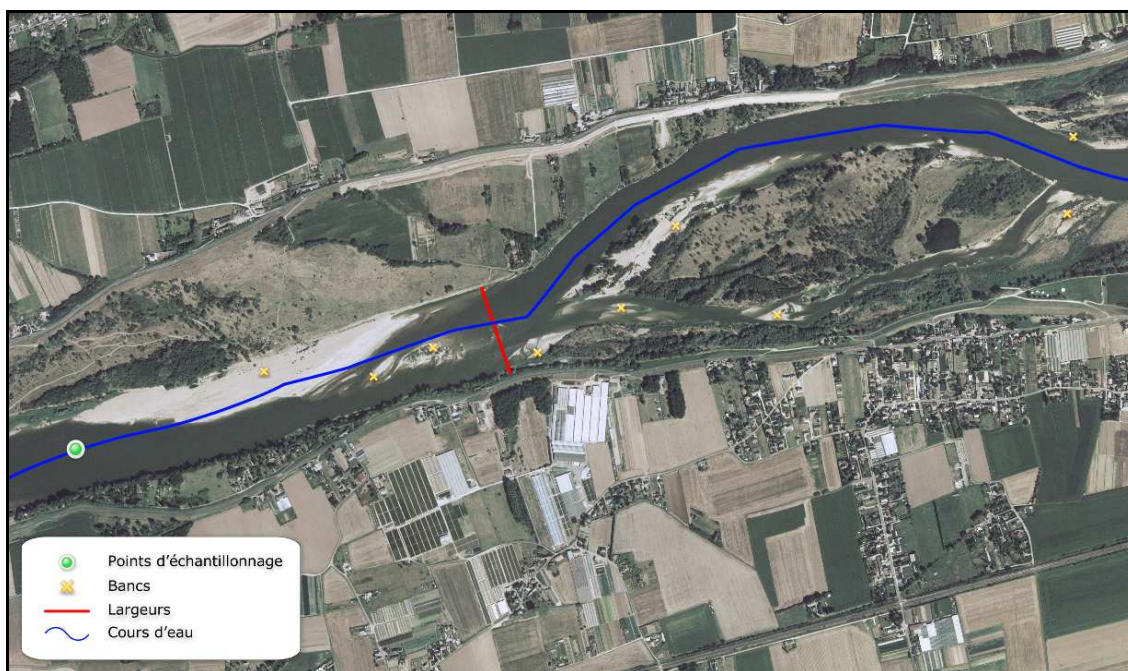
Le repérage des zones les plus naturelles possibles sur le tronçon, s'accompagne de la saisie directe des largeurs du lit à pleins bords si les deux berges sont visibles. Cela concerne notamment les zones :

- de points d'inflexion entre deux méandres (figure 6) ;



Figure 6 - Méandre, point d'inflexion et mesure de la largeur pleins bords

- non artificielles, non recalibrées, non urbaines et sans retenue ;
- éloignées de l'influence des barrages, étangs, gravières et seuils (zones de remous, surlargeur, dépôt alluvionnaire important dû à une réduction artificielle de la pente) ;
- à la confluence des bras multiples lorsque le tronçon se subdivise (ou qu'il est parcouru de bancs alluviaux non mobilisables, avec végétation secondaire de type arboré, figure 7) ;



**Figure 7 – Mesure de la largeur pleins bords lorsque le tronçon se subdivise.**

- où les deux berges sont apparentes (absence de ripisylve continue) car il n'est pas possible à l'opérateur de mesurer avec précision la largeur du couvert végétal (figures 1 et 2).

Chaque tronçon est identifié selon la possibilité de saisie des largeurs. Ainsi, les largeurs sont mesurées si le tronçon possède une longueur naturelle suffisante. Dans le cas contraire, les tronçons ne sont pas pour autant écartés, les causes d'une absence de mesure pouvant être prises en compte ultérieurement dans la typologie. Ces informations sont donc rapportées ainsi :

- artificiel/recalibré : la majeure partie du linéaire (plus de 50%) du tronçon est artificialisé. Il peut s'agir de tronçons artificiels et/ou recalibrés, en zone urbaine (figure 8), rectifiés pour l'assainissement d'un champ (figure 9) ou encore traversant une retenue de barrage ;



**Figure 8 – Tronçon artificiel à plus de 50 % de son linéaire : les largeurs ne sont pas mesurées mais le tronçon est renseigné comme artificiel.**





Figure 9 – Exemple de rectification du cours d'eau en zone agricole.

- ripisylve/forêt : lorsque qu'il existe un linéaire naturel suffisant (potentiellement) mais que la saisie est impossible en raison du couvert végétal (berges non visibles, figures 2 et 8) ;
- retenue : lorsque le tronçon se situe dans une retenue artificielle (liée à un seuil, barrage, etc.), ou que des annexes hydrauliques artificielles (gravières, étang, etc.) ont été repérées. Les largeurs peuvent avoir été saisies sur ces tronçons, hors des zones d'influence, si le cours d'eau ne semble pas présenter de surlargeur, ou bien si la largeur fluctue selon une dynamique fluviale naturelle. Dans ces cas, les mesures ont été réalisées :
  - entre deux zones de remous ;
  - à l'aval non immédiat d'un barrage ou à l'amont, hors de sa zone d'influence ;
  - à l'aval ou à l'amont d'un seuil, hors des zones d'influence ;
  - sur une portion du linéaire ne présentant pas d'annexes hydrauliques en rive droite ou gauche.

Il est important de noter que pour certains cours d'eau de rang 6 et plus, il est particulièrement difficile de trouver des portions naturelles. Les saisies ont alors été réalisées sur les portions les moins impactées et jugées les plus représentatives de l'état naturel du cours d'eau par les experts.

## 5.2. Pièges et solutions adoptés

Ces notions de base, essentielles pour l'obtention d'un jeu de données homogène, sont à adapter sur certaines zones géographiques. Le tableau ci-dessous résume les difficultés rencontrées et les solutions adoptées.

**Tableau 2 – Récapitulatif des choix méthodologiques par type de difficulté rencontrée**

<b>Difficulté</b>	<b>Solution adoptée généralement</b>
<b>Comment repérer le plein bord ?</b>	Bord de berge (rupture de pente), limite de végétation pérenne...
<b>Aménagements agricoles (fossés), séparations et changements de cultures (tracé peu sûr, invisible).</b>	Ces saisies sont délicates de par l'appréciation d'un éventuel héritage agricole, d'une rectification/recalibration du cours d'eau ou de la présence d'un fossé ou d'un drain.  Saisir les largeurs uniquement s'il y a des traces d'une dynamique latérale.
<b>Contraintes latérales (routes, digues, urbanisation)</b>	Lorsque le cours d'eau est encadré par du bâti ou des voies de circulation, aucune saisie n'est réalisée. Le tronçon est codé comme artificiel/recalibré.
	S'il est contraint sur une seule rive et que l'autre est relativement libre, les largeurs sont saisies si aucune autre solution n'est possible.
<b>Influence d'ouvrages transversaux (barrages, seuils, ponts)</b>	Ne pas saisir dans les zones de remous et en aval ou amont direct des ponts (souvent accompagné d'un radier de stabilisation qui fixe les profils en long et en travers).
	Si le cours d'eau ne semble pas présenter de surlargeur, ou bien si la largeur n'est pas uniforme sur le linéaire ciblé (signe d'une dynamique latérale active). Dans ce cas, les mesures ont été réalisées : <ul style="list-style-type: none"> <li>* entre deux zones de remous ;</li> <li>* à l'aval non immédiat d'un barrage ou à l'amont, hors de sa zone d'influence ;</li> <li>* à l'aval ou à l'amont d'un seuil, hors des zones d'influence ;</li> <li>* sur une portion du linéaire ne présentant pas d'annexes hydrauliques en rive droite ou gauche.</li> </ul>
<b>Visibilité / Ripisylve</b>	Certains tracés de cours d'eau, repérables sur les orthophotographies, sont majoritairement recalibrés (seuil, curage, rectification), mais s'il existe une portion intéressante sous couvert (tracé totalement sous ripisylve ou peu impacté) ils sont codés en tant que « invisible/sous-ripisylve » tout de même.
<b>Zones d'abreuvement du bétail</b>	Ne pas saisir de largeurs sur ces zones où le piétinement du bétail favorise l'élargissement du lit.

## 6. Calcul du paramètre

Le détail des statistiques et des résultats décrits dans ce paragraphe fera l'objet d'un rapport, actuellement en cours de rédaction au pôle ONEMA – Cemagref de Lyon.

### 6.1. Statistiques

La donnée de départ de tous nos calculs est la table attributaire de la couche des largeurs (4.1). Le principe est de classer toutes les largeurs qui ont été saisies, afin d'en calculer une largeur moyenne par type, pour pouvoir ensuite extrapoler cette valeur aux cours d'eau non échantillonnés du même type. Cette classification consiste en :

- un couple Rang / HER 2, pour les cours d'eau de rang inférieur ou égal à 4, avec quelques regroupements pour les petites HER qui possèdent peu de valeurs ;
- un couple Rang / CGENELIN (codification unique de chaque rivière dans la BD Carthage®), pour les cours d'eau de rang 5 à 8, avec quelques regroupements et redécoupages, pour les rivières qui présentent deux tronçons très différents au sein d'un même type (secteur en gorges par exemple).

Des statistiques univariées (moyenne, médiane, quartile...) sont ensuite réalisées sur les valeurs de largeur au sein de chaque type. La figure 10 est un exemple de représentation de ces statistiques.

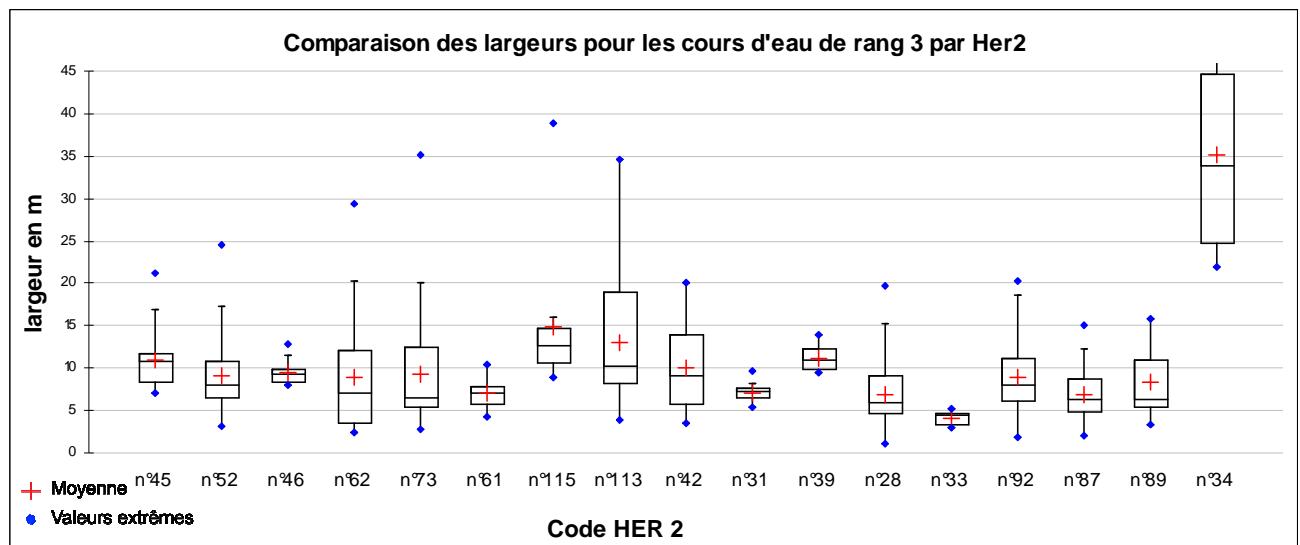


Figure 10 : Exemple de représentation des statistiques univariées effectuées sur les valeurs de largeur à pleins bords

La valeur médiane est retenue pour qualifier la largeur à pleins bords théorique des tronçons.

Cependant, la largeur à pleins bords présente naturellement une certaine variabilité, par exemple la rivière est plus large dans la courbe d'un méandre que dans une portion plus rectiligne. De même, les cours d'eau au sein d'un type peuvent présenter des différences de taille plus ou moins importantes en fonction du contexte géomorphologique local. Nous avons donc décidé de prendre les valeurs correspondant aux 1<sup>er</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles comme bornes d'un intervalle de largeur à pleins bords. Par exemple, les cours d'eau de rang 3 de l'HER2 n°52 ont une largeur à pleins bords comprise entre 7 et 12 m, cependant pour les calculs ultérieurs, c'est la valeur médiane qui sera utilisée, ici 9,5 m (figure 10).

Les champs correspondants sont créés dans la table attributaire des tronçons du réseau TGH : largeur théorique à pleins bords, intervalle bas largeur à pleins bords et intervalle haut largeur à pleins bords.

## 6.2. Extrapolation

Les codes des types issus de la classification statistique sont renseignés pour tous les tronçons de rang inférieur ou égal à 4. Les paramètres de largeur à pleins bords sont alors renseignés, pour chaque tronçon, par simple jointure attributaire.

Pour les tronçons non échantillonnés de rang 5 à 8, leur appartenance à un type statistique a été déterminée individuellement par expertise, principalement par l'étude de photographies aériennes.

A l'issue de cette étape, tous les tronçons du réseau TGH ont leurs attributs de largeur renseignés.

### **6.3. Largeur observée**

Afin de ne pas perdre une information de largeur à pleins bords plus précise, un champ « largeur observée » est créé. Il est renseigné de la manière suivante :

- sur la couche des largeurs, la moyenne des largeurs à pleins bords par identifiant tronçon est réalisée ;
- le champ « largeur observée » est renseigné par cette valeur par jointure attributaire.

Ce paramètre n'est rempli que pour les tronçons faisant partie de l'échantillon de départ et pour lesquels les largeurs ont pu être mesurées (bonne visibilité notamment). Pour les autres tronçons, la valeur « NULL » est automatiquement attribuée.

## **7. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner, pour chaque tronçon du réseau TGH, une largeur théorique à pleins bords, ainsi qu'une plage de variation de cette largeur. Les tronçons échantillonnés directement possèdent également une largeur observée plus précise. Ce modèle de largeur à pleins bords a pour objectif de remplacer un modèle de largeur plus ancien basé uniquement sur le rang du cours d'eau. Il suggère une certaine homogénéité de la rivière, c'est pourquoi nous l'avons appliqué sur le réseau TGH.

Des travaux de validation sont menés actuellement au pôle ONEMA – Cemagref de Lyon, notamment une confrontation avec des données de géométrie hydraulique recueillies sur le terrain. Un rapport présentant le déroulement plus détaillé des statistiques et les résultats complets est également en cours de rédaction.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).



## Bibliographie

- Berthommé, J. (2009). Identification des largeurs plein bord selon la typologie des cours d'eau et recensement des bancs alluviaux à l'échelle nationale. Master 1ère année IHBV, Université Tours, Pôle Hydroécologie des cours d'eau Onema Cemagref Lyon, 31 p.
- Chandesris, A., Wasson, J.G., Pella, H., Sauquet, H. and Mengin, N. (2006). Typologie des cours d'eau de France métropolitaine. Appui scientifique à la mise en oeuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Rapport, Cemagref, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Lyon. 62 p.
- Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y., Pella, H. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau : principes et méthodes. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 64 p.
- Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union. **38**(6): 913-920.
- Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. and Blanc, L. (2002). Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Rapport, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 190 p.

# **Feuille n°10 Description du paramètre intensité de bancs**

## **1. Description du paramètre**

### **1.1. Résumé**

L'attribut « intensité de bancs » représente un ordre de grandeur adimensionnel du transport solide observable sur un échantillon de tronçons qui composent le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes, issus de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1)

### **1.2. Objectif**

Evaluer l'intensité du transport solide des cours d'eau, variable essentielle à l'élaboration d'une typologie nationale des fonctionnements hydromorphologiques.

### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Les photographies aériennes (résolution 50cm) orthorectifiées de la BD Ortho® de l'IGN ;
- Les cartes numérisées au 1/25 000 de la BD Scan25® de l'IGN.

### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI ;
- Arcscript Accrocher des points à des lignes de G. Tournadre et G. Lavenue.

## **2. Contexte et objectifs**

La Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE) pose clairement le principe d'une évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques par la mesure d'un écart à des conditions de référence. Ce qui implique, dans un premier temps, une délimitation d'unités élémentaires d'évaluation : les masses d'eau. Ces masses d'eau sont ensuite regroupées en grands « types » et des conditions de référence sont attribuées à chacun, principalement sur la base de bioindicateurs.

La mise en œuvre de la directive, en ce qui concerne les eaux de surface continentales, passe donc par l'établissement d'une typologie permettant la définition des conditions de référence biologiques, mais aussi hydromorphologiques et physico-chimiques. Pour répondre pleinement à ces exigences, cette typologie doit être basée sur les processus qui génèrent les différents types de milieux et leurs peuplements associés : plus qu'une simple classification, il faut aboutir à une typologie fonctionnelle relativement précise.

C'est dans ce contexte qu'un projet de mise en place d'un système relationnel d'audit de l'hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE) (Chandesris et *al.*, 2008) au niveau national a été lancé. En effet, l'objectif de « bonne qualité écologique » impose d'optimiser les priorités de restauration en tenant compte des conditions fonctionnelles naturelles et de l'état de dégradation des cours d'eau. Cela nécessite une typologie de référence incorporant notamment le fonctionnement hydromorphologique de l'ensemble des cours d'eau du territoire, fondée sur l'identification de caractères primaires 'naturels' et non impactés des cours d'eau tels que les largeurs à plein bords ou la quantité d'alluvions en lit mineur. Ces données serviront en effet au paramétrage de la typologie de référence en calculant par exemple la puissance spécifique du cours d'eau.

L'état actuel des cours d'eau étant dépendant des caractéristiques naturelles et des pressions anthropiques, les unes et les autres fortement structurées par la géographie, le Cemagref a développé plusieurs outils permettant d'établir une typologie à différentes échelles.

Ainsi, une sectorisation de 230 000km de cours d'eau français a été réalisée à partir de la BD Carthage® de l'IGN (Valette et *al.*, 2008). Basée sur les variables de contrôle que sont la géologie, l'hydrologie, la largeur, la forme et la pente de la vallée, cette étude fournit une maille de tronçons géomorphologiquement homogènes, adaptée à une typologie à grande échelle.

De plus, une approche par hydro-écorégions (HER) sur 2 niveaux a été proposée afin de regrouper les structures géographiques aux caractéristiques naturelles similaires (Wasson et *al.*, 2002). Cette régionalisation utilise donc les facteurs de contrôle globaux (plutôt que leurs conséquences au niveau local) et est basée sur les déterminants primaires du fonctionnement des cours d'eaux (à l'échelle du bassin) que sont la géologie, le relief et le climat. Ces hydro-écorégions sont ensuite couplées avec une ordination du réseau hydrographique par rang de Strahler (1957) afin de mieux discriminer les cours d'eau selon leur taille. Cette approche conduit à isoler des régions homogènes en termes de processus physiques dominants, et aboutit à définir pour chaque région une « enveloppe de variabilité » des paramètres hydro-morphologiques, chimiques et biologiques à plus petite échelle pour les tronçons.

Ce présent document vise à expliquer la méthodologie de repérage des bancs d'alluvions sur un nombre limité de cours d'eau et à présenter les premiers résultats de l'analyse qui permettra, à terme, d'établir une typologie du transport solide (seuils et taux de transport solide pour les cours d'eau). Cet échantillon représentatif pourra ainsi servir à l'élaboration d'une typologie fonctionnelle des tronçons de cours d'eau, engagée avec le projet SYRAH-CE.

### **3. Outils et données utilisés**

- **Logiciel ArcGIS Desktop** (©ESRI): Logiciel de cartographie permettant l'affichage simultané de plusieurs couches d'éléments géoréférencés (photos aériennes, réseau hydrographique, surfaces et typologies d'occupation du sol, etc.) ainsi que leur modification éventuelle. Ces couches ou fichiers de formes (ligne, point, surface) possèdent également des informations attributaires enregistrées dans une base de données. L'ensemble constitue un Système d'Information Géographique (SIG).
- **Réseau TGH** : Réseau des Tronçons Géomorphologiquement Homogènes (ci-après nommés 'tronçons homogènes') issus de la BD Carthage® (IGN) et créés dans le cadre du projet SYRAH-CE.

Un réseau hydrographique français simplifié (230 000km, cf. Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°1) a été sectorisé en entités homogènes (tronçons) à partir des variables de contrôles que sont la géologie, l'hydrologie, la largeur, la forme et la pente de la vallée (Valette et *al.*, 2008). Ainsi, selon les lois de la géomorphologie fluviale, à variables de contrôle similaires, le tronçon doit présenter des caractéristiques géomorphologiques homogènes (ou variables de réponses) : géométrie du lit (largeur, profondeur), pente, style fluvial, etc. Si un tronçon identifié comme homogène présente des portions de son linéaire manifestement différentes les unes des autres, on peut alors suspecter une ou plusieurs altérations, résultantes de pressions anthropiques, de son fonctionnement hydromorphologique.

Le réseau TGH obtenu, réparti sur la France entière, possède 69 502 tronçons sur environ 230 000km de cours d'eau de la BD Carthage® (présentant un total de 500 000km). Ce réseau est caractérisé par un certain nombre de données pour chaque tronçon, détaillées dans les autres feuillets des cahiers techniques SYRAH-CE.

- **Semis de 10 150 points d'échantillonnage** répartis selon les rangs de Strahler sur l'ensemble du réseau TGH (Tableau ).

L'évaluation du transport solide ne pouvant se faire sur l'ensemble des tronçons, un échantillonnage semi-aléatoire représentatif a été projeté sur les cours d'eau du réseau TGH, à l'aide de la fonction « Créer des points aléatoires » d'ArcGIS. Pour cela, les tailles des semis de points ont été définies proportionnellement au linéaire de cours d'eau développé pour chaque rang de Strahler.

Tableau 1 - Nombre de points d'échantillonnage projeté sur les tronçons, par rang de Strahler

Rang	Nombre de points projetés (points d'échantillonnage)	Longueur totale du réseau TGH (km)	Représentativité sur le réseau TGH (%)
1	5500	119516,990261	53,0695503013
2	2000	46167,8779185	20,5000855037
3	1300	28946,4479267	12,8531932651
4	500	16025,2446522	7,11574584755
5	400	8776,13686922	3,89689897658
6	170	3790,06381948	1,68291539198
7	70	1569,82702535	0,69705582532
8	10	415,632781121	0,18455488828

- **BD ORTHO®** (©IGN) : base orthophotographique<sup>5</sup> en couleurs (Infra Rouge Couleur), géoréférencée et couvrant la France entière avec une résolution comprise entre 20 et 50 cm selon les départements<sup>6</sup> ;
- **BD SCAN 25® topographique** (©IGN) : collection d'images cartographiques numériques au 1 : 25 000, couvrant la France entière en dalles de 10 km x 10 km avec une résolution au sol de 2,5 m. De nombreuses informations y sont représentées, par exemple : courbes de niveaux, tracé des cours d'eau et plans d'eau, urbanisation, forêts, aménagements hydrauliques ;

## 4. Méthodologie de recueil des bancs

### 4.1. Fonctionnalité SIG

L'utilisation d'un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) et des orthophotographies IGN (BD Ortho) permet une campagne d'échantillonnage des bancs d'alluvions visibles. Pour cela, on exploite l'affichage simultané du logiciel pour visualiser les couches nécessaires à la saisie :

- le réseau TGH (couche de polygones) ;

<sup>5</sup> On appelle orthophotographie, ou plus communément orthophoto, une image obtenue par traitement d'un cliché aérien numérique ou argentique dont la géométrie a été redressée de sorte que chaque point (Graphie) soit superposable à une carte plane qui lui correspond.

<sup>6</sup> Voir métadonnées disponibles sur le site <http://professionnels.ign.fr/11/la-gamme/gamme-de-produits.htm>

- les points d'échantillonnage ciblant les tronçons homogènes à échantillonner (couche de points) ;
- les orthophotographies et les Scan 25 (couches raster) ;
- la couche de saisie des bancs (couche de points).

L'opérateur repère l'ensemble des bancs d'alluvions **visibles** et **mobilisables** sur les tronçons échantillonnés. Ces saisies sont représentées par des points dans le cours d'eau (figure 1).



**Figure 1 - Le recueil des bancs d'alluvions en rivière doit être exhaustif et concerne les bancs de formation naturelle et mobilisables.**

Le résultat de ce travail se traduit donc par un fichier de formes (couche de type 'points' sous le logiciel ArcGIS®) composé de points localisant les bancs d'alluvions individualisés par un identifiant unique<sup>7</sup>. Le nombre de bancs étant spécifique à chaque tronçon analysé, le fichier de points 'bancs' est traité afin de récupérer différents attributs comme l'identifiant du tronçon SYRAH ou le code de l'hydro-écorégion.

- accrochage des points bancs sur les lignes du réseau TGH avec l'outil « Accrocher des points à des lignes » (Guillaume TOURNADRE / Gaëtan LAVENU - ESRI France, 2002) ;
- récupération de l'identifiant du tronçon homogène propre à chaque point bancs accroché : jointure spatiale entre le fichier de points bancs et le réseau TGH ;
- récupération du code de l'HER2 à laquelle appartient chaque point bancs accroché : jointure spatiale entre le fichier de points bancs et les polygones HER2.

<sup>7</sup> Nouveau champ ou champ [FID] créé automatiquement par ArcGIS



## 4.2. Visibilité et expertise

L'objectif de l'étude étant la proposition d'une quantification du transport solide sur les cours d'eau français, les bancs géoréférencés doivent présenter un caractère naturel et mobilisable. Les tronçons homogènes échantillonnés sont pour cela parcourus d'amont en aval, à différentes échelles selon leur rang, assurant ainsi une visibilité et une compréhension optimales du terrain projeté par les photos aériennes.

Les petits cours d'eau peuvent ainsi être parcourus à une échelle plus grande que les grands cours d'eau, afin qu'une vision de l'ensemble des occurrences territoriales susceptibles de représenter des pressions pour le milieu –retenues, zones urbaines, etc.- soient visibles (figure 2). En effet, les conséquences de ces aménagements sont généralement plus importants sur les grands cours d'eau, notamment en linéaire : il est alors nécessaire de modifier régulièrement l'échelle de travail afin de repérer les éventuelles pressions plus en amont ou aval, voire hors du tronçon.



Figure 2 – Visualisation des orthophotographies à grande échelle pour les petits cours d'eau.



Figure 3 – Visualisation des orthophotographies à petite échelle pour les grands cours d'eau.

### 4.3. Spécifications pour la saisie des bancs alluviaux

Ainsi, la quantification du transport solide nécessite que la charge alluviale soit **mobilisable et en proportions intéressantes pour la dynamique fluviale**. Le repérage et la saisie des bancs alluviaux sont donc réalisés sur les tronçons de rang supérieur à 1 (sur ces derniers, la visibilité est souvent très mauvaise). Cette identification concerne :

- les bancs non végétalisés ou présentant uniquement une végétation pionnière (figure 4),
- les bancs situés à proximité des ouvrages (pont, seuil...),
- les bancs latéraux (figure 5),
- les bancs de convexité (figure 5).

A contrario, certaines situations sont à écarter de la saisie :

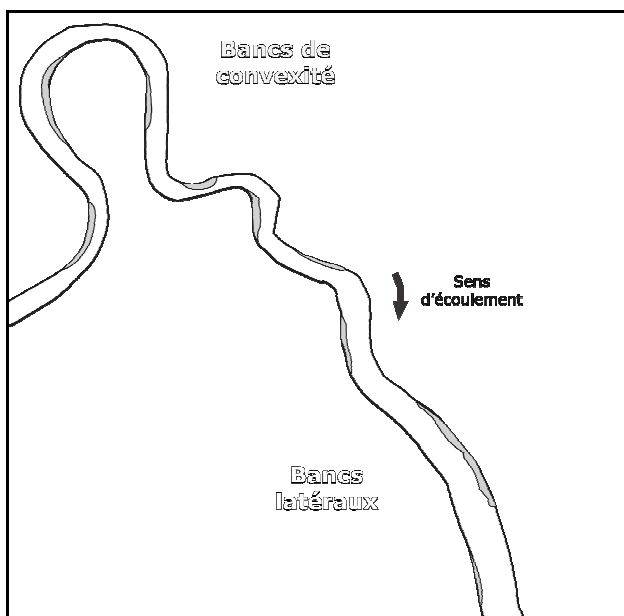
- les bancs végétalisés (figure 4),
- les bancs latéraux s'ils ne sont pas assez importants par rapport au cours d'eau (souvent en fonction de son rang),
- les formations alluvionnaires issues du piétinement du bétail (plusieurs indices permettent de les identifier, tels que l'accès au cours d'eau, le troupeau non loin, etc. figure 6),
- les algues et blocs en rivière pouvant ressembler à de l'alluvionnement selon la qualité des orthophotographies.

Des compléments d'information sur la nature du transport solide et du fond alluvial peuvent être rapportés au tronçon (coexistence possible de ces informations et d'une saisie des bancs) :

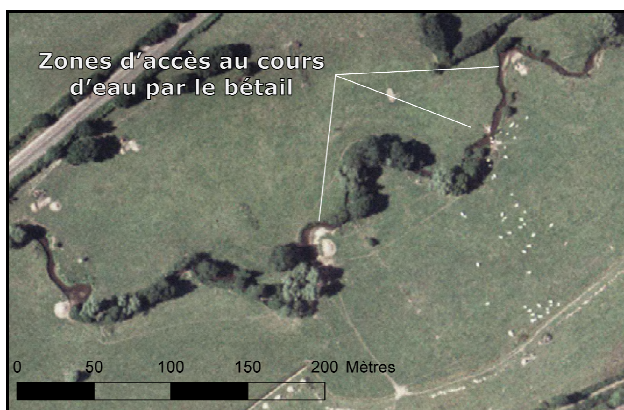
- si le cours d'eau présente une morphologie de tressage : la différenciation des bancs n'étant pas aisée, ils ne sont généralement pas saisis sur ces tronçons (figure 7),
- s'il existe des zones où le substratum rocheux (dalle) est visible (figure 8),
- s'il existe des zones asséchées (pertes ou cours d'eau intermittents, figure 9),
- la mobilisation sédimentaire et la capacité de transfert étant liées à la charge, au débit et à la morphologie du cours d'eau, les tronçons présentant des zones de remous (barrages, seuils...) sont également identifiés.



**Figure 4 - Le degré de végétalisation des bancs alluviaux renseignent sur leur mobilité.**

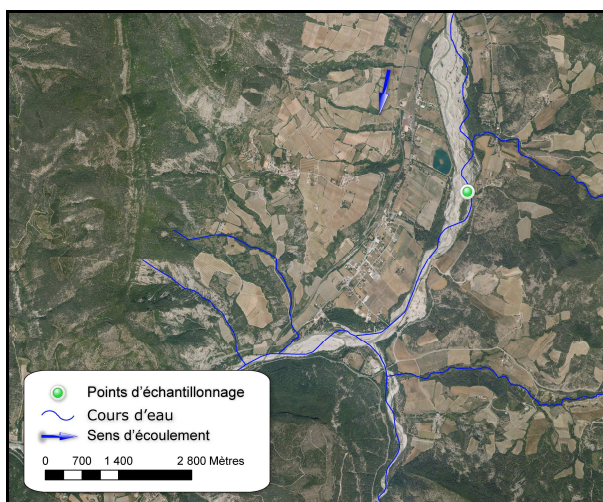


**Figure 5- Schéma de localisation et d'identification des bancs latéraux et de convexité.**

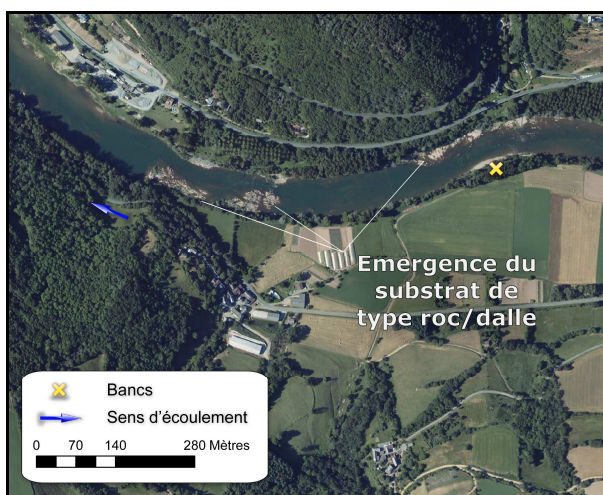


**Figure 6 - Les formations alluvionnaires créées par le bétail lors de son accès au cours d'eau ne doivent pas être confondues avec des bancs alluviaux naturels.**

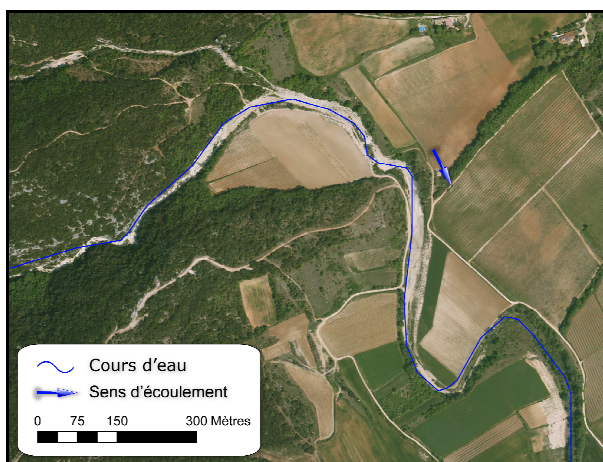




**Figure 7 – La différenciation des bancs étant difficile sur les cours d'eau en tresse, l'information est directement renseignée au niveau du tronçon.**



**Figure 8 - L'émergence du substrat de type roc ou dalle au sein du cours d'eau est renseignée dans la base de données.**



**Figure 9 – La présence de substrat alluvionnaire repérable sur les zones de pertes ou sur les cours d'eau intermittents est renseignée dans la base de données.**

## 5. Calcul du paramètre

Il convient de préciser que l'attribut intensité de bancs a été calculé uniquement sur les tronçons qui ont été échantillonnés par la méthodologie décrite précédemment.

*Cahiers techniques SYRAH\_CE, A.Cunillera, L. Valette*

## **5.1. Préparation des données**

La première consiste à réaliser des statistiques (fréquence) par identifiant tronçon sur la table attributaire de la couche de points représentant les bancs, pour connaître le nombre exact de bancs sur chaque tronçon échantillonné. Une simple jointure attributaire permet de récupérer cette information sur la couche de tronçons.

Certains paramètres doivent être préalablement renseignés pour le calcul du paramètre intensité de bancs :

- la longueur du tronçon en km, par simple calcul de géométrie sous ArcGis ;
- la largeur à pleins bords moyenne mesurée du tronçon en km (*cf.* cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°9) ;
- la largeur à pleins bords moyenne théorique du tronçon en km (*cf.* cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°9).

## **5.2. Calcul de l'intensité de bancs**

A partir des données ainsi récupérées, l'intensité de bancs est mesurée selon la formule suivante :

$$(Nombre\ de\ bancs\ /\ longueur\ tronçon) * largeur\ à\ pleins\ bords$$

L'intensité de bancs consiste donc en un nombre de bancs par km adimensionné par la largeur à pleins bords du cours d'eau (en km). En effet, la taille des formes fluviales est fortement liée à la taille de la rivière. Un nombre de bancs par km brut ne permet pas de comparer le niveau du transport solide de cours d'eau de tailles différentes.

Par exemple, une rivière de rang 2 possédant 10 bancs par km n'a pas forcément un transport solide plus important qu'une rivière de rang 7 qui possède 1 banc par km. Premièrement car la taille des bancs n'est pas mesurée, mais aussi car la longueur d'onde des sinuosités (les bancs se trouvent majoritairement dans les convexités des sinuosités) n'est pas comparable.

Le critère « largeur à pleins bords » est utilisé selon la disponibilité des données. En effet, même si le protocole de mesure de la largeur à pleins bords a été réalisé sur le même échantillon que le recueil des bancs, les critères d'exclusion ne sont pas les mêmes. Donc, dans certains cas, la largeur réelle du tronçon n'est pas disponible, nous prenons alors la largeur théorique à pleins bords (disponible sur l'ensemble des tronçons qui composent de le réseau TGH).

## **5.3. Prise en compte des compléments d'informations**

### **5.3.1. Les cours d'eau en tresse**

Les rivières en tresse ont été identifiées (*cf.* 4.3) mais les bancs n'ont pas été localisés en raison de la difficulté de différenciation et afin d'éviter une perte temps. Cependant ces cours d'eau sont ceux qui ont le transport solide le plus important. Une valeur forte leur a donc été attribuée à tous indépendamment du nombre de bancs réel. Cette valeur d'intensité de bancs : 3, a volontairement été choisie très forte par rapport au maximum calculé par la méthodologie décrite précédemment : 1,65. Cela permet de repérer aisément ces cours d'eau

(principalement situés dans le sud-est de la France) et de les intégrer automatiquement, dans l'objectif d'une typologie hydromorphologique nationale, dans la classe de transport solide la plus élevée.

### 5.3.2. Autres informations

Le repérage des bancs par analyse de photographies aériennes présente une certaine imprécision. Nous avons voulu en tenir compte pour pouvoir relativiser l'intensité de bancs en fonction des situations.

Un champ sous-estimation est créé dans la table attributaire et représente la probabilité que tous les bancs alluviaux n'aient pas été recensés. La valeur 1 est renseignée dans les situations suivantes :

- le cours d'eau est partiellement recouvert de ripisylve qui peut masquer des bancs alluviaux ;
- présence d'une ou plusieurs zones de remous (seuils, barrages, ...) qui peuvent également masquer les bancs présents sur le tronçon.

De la même façon, un champ surestimation a été créé. La valeur 1 représente le risque de surestimation du nombre de bancs alluviaux, par confusion avec d'autres éléments du paysage. Les cas suivants sont concernés :

- le cours d'eau est asséché (type oued) au moment de la photographie aérienne : il y a un risque de confusion entre les alluvions du fond du lit et de réels bancs mobiles ;
- la rivière traverse un secteur où le substratum rocheux affleure, la résolution des photographies aériennes ne permet pas toujours de différencier ces dalles de bancs alluviaux.

## **6. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner l'intensité de bancs pour un échantillon de tronçon du réseau TGH. Des travaux sont actuellement en cours pour essayer d'extrapoler ces valeurs à un plus grand nombre de rivières.

Cette variable de contrôle de la géomorphologie fluviale va servir à l'élaboration d'une typologie nationale des fonctionnements des cours d'eau.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).



## **Bibliographie**

- Chandesris, A., Wasson, J.G., Pella, H., Sauquet, H. and Mengin, N. (2006). Typologie des cours d'eau de France métropolitaine. Appui scientifique à la mise en oeuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Rapport, Cemagref, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Lyon. 62 p.
- Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y., Pella, H. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau : principes et méthodes. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 64 p.
- Strahler, A.N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union. **38**(6): 913-920.
- Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.
- Wasson, J.G., Chandesris, A., Pella, H. and Blanc, L. (2002). Définition des Hydro-écorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés. Rapport, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ, 190 p.

## **Feuille n°11 : Description du paramètre rapport d'encaissement**

### **1. Description du paramètre**

#### **1.1. Résumé**

L'attribut « Rapport d'encaissement » représente le rapport d'encaissement moyen de vallée pour chaque tronçon qui compose le réseau TGH (Tronçons Géomorphologiquement Homogènes issu de la sectorisation réalisée dans le cadre du projet SYRAH-CE, Valette et *al.*, 2008, Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuille n°1).

#### **1.2. Objectif**

Evaluer les capacités de déplacement latéral du lit mineur et de recharge sédimentaire.

#### **1.3. Données utilisées**

- Le réseau TGH issu de la BD Carthage® de l'IGN ;
- Le MNT 50m issu de la BD Alti® de l'IGN ;
- Les photographies aériennes (résolution 50cm) orthorectifiées de la BD Ortho® de l'IGN ;
- Les cartes numérisées au 1/25 000 de la BD Scan25® de l'IGN.

#### **1.4. Logiciels utilisés**

- ArcGis Desktop® 9 d'ESRI ;
- Extension Spatial Analyst® d'ESRI.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Calcul du rapport d'encaissement

Le calcul du rapport d'encaissement nécessite de disposer préalablement de la largeur du fond de vallée et de la largeur du lit mineur du tronçon concerné (cf. cahiers techniques SYRAH-CE – Feuilles n° 4 et 9). Le paramètre est alors calculé selon la formule suivante

$$\text{Rapport d'encaissement} = \text{Largeur du fond de vallée} / \text{Largeur du lit mineur}$$

Un résultat faible se traduit par un cours d'eau encaissé, alors qu'un résultat plus important représente un fond de vallée alluvial large, qui offre des possibilités de divagation à la rivière. Cette variable est essentielle à l'élaboration d'une typologie hydromorphologique car elle permet de décrire le type de vallée dans lequel s'inscrit le cours d'eau.

### 2.2. Cas particuliers

En raison de l'imprécision, liée à la résolution du Modèle Numérique de Terrain utilisé, dans le calcul de la largeur du fond de vallée, notamment pour les cours d'eau de petite taille, nous avons décidé, dans l'objectif d'une typologie de fonctionnement hydromorphologique, de corriger leur rapport d'encaissement.

En effet, nous nous sommes rendus compte que certaines rivières, de tête de bassin notamment, avaient une largeur de fond de vallée, et donc un rapport d'encaissement, surestimés. Pour les identifier, nous avons utilisé la méthodologie suivante :

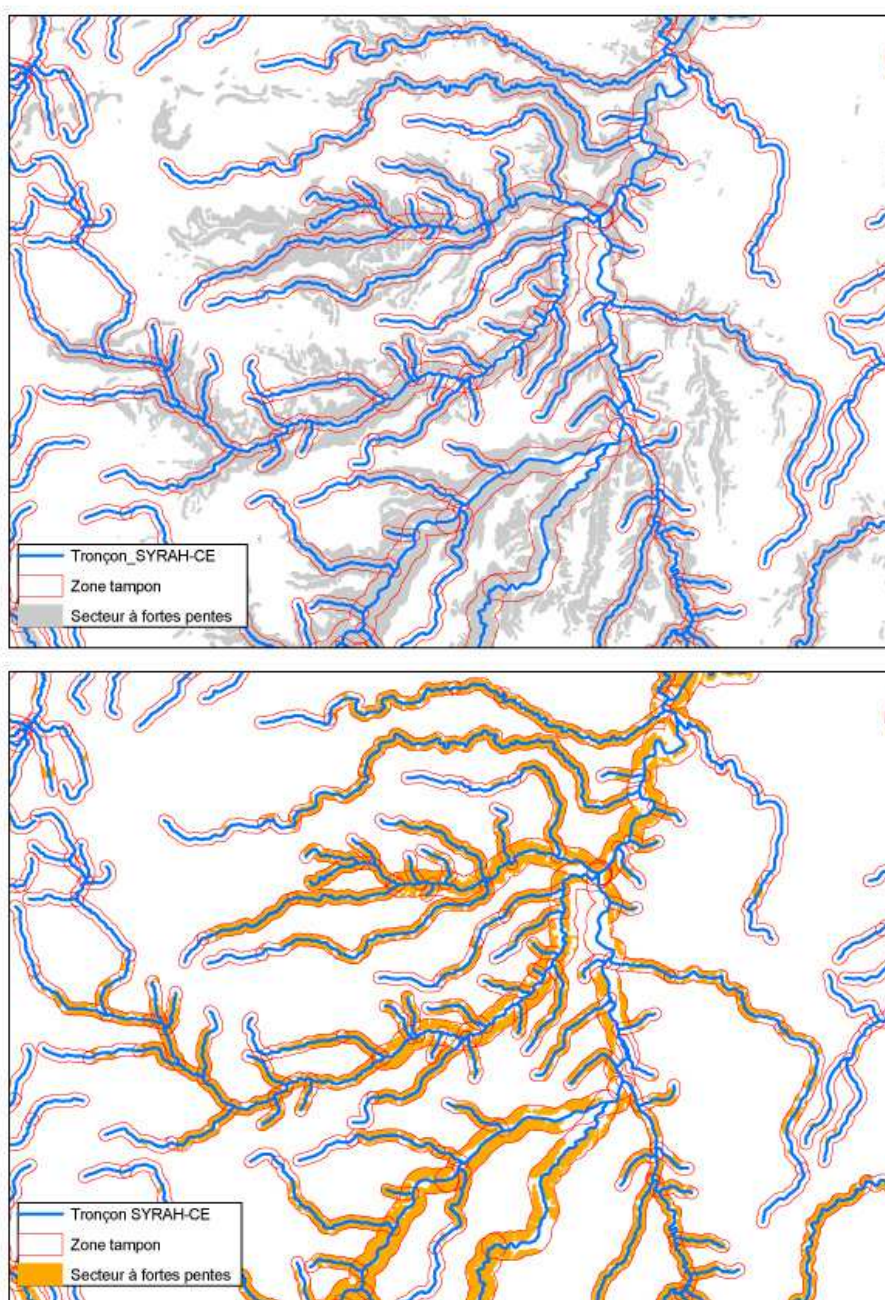
A partir du MNT 50m de l'IGN, nous avons identifié les zones où la pente des versants est supérieure à 30% (figure 1, cette valeur a volontairement été fixée très forte pour repérer les vallées potentiellement très encaissées). Cette opération est réalisée à l'aide de l'outil « pente » de Spatial Analyst, qui mesure la variation maximum entre les valeurs d'altitude de chaque cellule par rapport aux cellules adjacentes.



Figure 1 : Secteurs où les pentes des versants sont supérieures à 30%

Des zones tampons sont ensuite créées autour des tronçons de rang inférieur ou égal à 4 qui ont une largeur de fond de vallée inférieure à 120 m (cf. Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°4). La taille des ces zones tampons est de 200 m pour les rangs 1 et 2 et de 400 m pour les rangs 3 et 4. Ces valeurs ont été retenues car elles correspondent à l'imprécision maximale du fond de vallée créé par le pôle ONEMA-Cemagref de Lyon (cf. Cahiers techniques SYRAH-CE – Feuillet n°3).

L'étape suivante consiste en un croisement de la couche des pentes supérieures à 30% avec les zones tampons (figure 2), afin de déterminer la proportion (en surface) de versants très pentus dans ces dernières.



**Figure 2 : Croisement des pentes supérieures à 30% et des zones tampons**

Une fois l'intersection réalisée, la surface de chaque polygone de la couche des fortes pentes est mesurée (par un simple calcul de géométrie). Puis, à l'aide de *Cahiers techniques SYRAH-CE*, L. Valette

l'outil « Résumés statistiques », la surface de pentes fortes pour chaque identifiant tronçon est calculée. La proportion de secteurs à fortes pentes dans chaque zone tampon est alors évaluée et rapportée à chaque tronçon.

La comparaison de ces données avec des photographies aériennes (BD Otho®) et des cartes numérisées (BD Scan25®), a permis de définir un seuil au delà duquel :

- l'encaissement de la vallée est fort,
- la dynamique latérale de la rivière est très contrainte,
- il n'y a pas, dans la plupart des cas, de substrat alluvial.

Ce seuil a ainsi été fixé à 2% de la surface de la zone tampon correspondant à des pentes supérieures à 30%. Donc, tous les tronçons du réseau TGH qui possèdent une largeur de fond de vallée inférieure à 120m et plus de 2% de fortes pentes dans leur zone tampon, reçoivent la valeur 1 pour le paramètre rapport d'encaissement. Cette valeur très faible a été retenue pour être sûr de pouvoir repérer les tronçons concernés (par rapport à ceux où le rapport d'encaissement est calculé par la première méthode). Pour la construction de la typologie de fonctionnement, les tronçons possédant la valeur 1 seront inclus dans la classe des cours d'eau très encaissés.

### **3. Conclusion**

Grâce à la méthodologie présentée ici, nous avons pu renseigner le rapport encaissement, pour chaque tronçon du réseau TGH.

Cette variable de contrôle de la géomorphologie fluviale va servir à l'élaboration d'une typologie nationale de fonctionnement des cours d'eau.

Pour de plus amples renseignements, merci de vous adresser à [laurent.valette@cemagref.fr](mailto:laurent.valette@cemagref.fr) ou [andre.chandesris@cemagref.fr](mailto:andre.chandesris@cemagref.fr).

## **Bibliographie**

Valette, L., Chandesris, A., Mengin, N., Malavoi, J., Souchon, Y. and Wasson, J.G. (2008). SYstème Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'eau : Principes et méthodes de la sectorisation hydromorphologique. Rapport Pôle Hydroécologie Onema-Cemagref Lyon MAEP-LHQ, 22 p.

Onema  
Hall C – Le Nadar  
5 square Félix Nadar  
94300 Vincennes  
01 45 14 36 00  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

*Cemagref*  
*Parc de Tourvoie*  
BP 44,  
92163 Antony cedex  
01 40 96 61 21  
[www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)