Z A B R

Zone Atelier Bassin du Rhône

Caractérisation du corridor naturel alluvial du réseau hydrographique du bassin du Rhône à partir des orthophotographies de l'IGN. Premiers retours d'expérience pour l'élaboration de modèles hydrogéomorphologiques prédictifs.

Rapport final

Action n° 10 du Programme 2008 au titre de l'accord cadre Agence de l'Eau ZABR

E. Wiederkehr, S. Dufour et H. Piégay
Mai 2009

RAPPEL DES OBJECTIFS :

Ce rapport fait suite à l'étude publiée en 2008 sur l'utilisation de l'imagerie pour la caractérisation des milieux aquatiques qui s'insère dans une démarche pluriannuelle (Wiederkehr & al., 2008). A présent, l'objectif est de caractériser l'espace de bon fonctionnement écologique, dans le but de déterminer les secteurs prioritaires en termes de restauration. Cette caractérisation se fait à l'échelle des réseaux, en utilisant le potentiel des images et plus précisément les orthophotographies de la BD Ortho® de l'IGN.

L'étude réalisée ici a pour but la mise en place d'un protocole **d'extraction d'indicateurs de caractérisation physique des milieux aquatiques à partir de la BD Ortho® de l'IGN**. Il s'agit d'extraire à partir des orthophotographies une série de couches qui sont aussi bien vectorisées que rastérisées, et serviront pour l'extraction de données brutes, utilisées ensuite pour la création d'indicateurs.

Pour établir la méthode, nous avons fait une série de tests sur le bassin de la Drôme. Ce bassin a une surface de 1640 km². Il se caractérise par des paysages très contrastés, avec notamment de nombreuses zones de tresses. C'est également un bassin dont les problématiques de gestion qu'il s'agisse de la préservation de la forêt alluviale ou de la restauration d'habitats piscicoles sont importantes.

Dans le cadre de ce rapport, nous avons posé les bases d'une démarche complète depuis la sélection des images jusqu'aux indicateurs et tester l'efficacité de cette démarche en formulant plusieurs requêtes thématiques permettant par exemple de déterminer le tracé en plan des cours d'eau ou de caractériser les habitats aquatiques.

SOMMAIRE DU RAPPORT

CHAPITRE 1 - METHODE : DE L'IMAGE A L'INDICATEUR ____ 1

Partie 1. Extraction de l'information brute : des images aux objets ____ 2

A . Prétraitement des images ____ 2

B . Extraction des classes d'objets ____ 6

C . Problèmes rencontrés ____ 24

Partie 2. Des objets aux indicateurs ____ 26

A . Définition (Figure 21) ____ 26

B . Métriques et indicateurs ____ 28

CHAPITRE 2 - TESTS : PRESENTATION D'INDICATEURS ____ 37

Partie 1. Extraction de métriques brutes à partir des objets et seuillage de l'information ____ 39

A . Extraction des métriques ____ 39

B . Mise en place de grilles de lecture ____ 40

Partie 2. Etude des habitats piscicoles ____ 42

A . Présentation ____ 42

B . Détermination des faciès géomorphologiques ____ 43

C . Récapitulatif de la démarche ____ 45

Partie 3. Détermination des styles fluviaux ____ 46

A . Présentation ____ 46

B . Des tronçons géomorphologiquement homogènes ____ 46

C . Attribution du style fluvial ____ 47

D . Récapitulatif de la démarche (Figure 46) ____ 53

Partie 4. Identification d'ecotones ____ 54

A . Présentation ____ 54

B . Extraction des métriques nécessaires à la détermination des écotones ____ 54

CHAPITRE 1 - METHODE : DE L'IMAGE A L'INDICATEUR

Partie 1. Extraction de l'information brute : des images aux objets _____2

A . Prétraitement des images_____ 2

1 . Objectif..... 2

2 . Données et méthode 3

3 . Résultats (Figure 2) 5

B . Extraction des classes d'objets _____ 6

1 . Objectif..... 6

a . Données et méthode 6

b . Mise en place d'une méthode d'extraction des objets par classification orientée-objet..... 11

c . Résultats..... 19

C . Problèmes rencontrés _____ 24

1 . Secteurs difficiles à traiter..... 24

a . Ombres portées sur le chenal en eau 24

b . Zone amont 24

c . Différences entre dalles..... 25

2 . Temps de traitement..... 25

Partie 2. Des objets aux indicateurs_____26

A . Définition (Figure 21) _____ 26

B . Métriques et indicateurs _____ 28

1 . Généralités 28

2 . Protocole d'extraction des métriques issues de la détection d'objets géographiques sur la BD Ortho® 29

a . Métriques brutes et synthétiques : extraction de métriques au sein d'unités spatiales agrégées ou définies de manière systématique.... 29

b . Métriques structurales : extraction d'une structure spatiale … 31

Pour aboutir à la création d'indicateurs de caractérisation physique des cours d'eau à l'échelle du réseau hydrographique, nous proposons une démarche en deux parties.

1 – Dans un premier temps, il s'agit d'extraire de l'information, c'est-à-dire de modifier la donnée brute, l'image, en une donnée exploitable pour la création d'indicateurs. Ceci se fait en deux sous-étapes :

- La première consiste à « prétraiter » les **images** afin de diminuer le temps nécessaire à leur traitement et d'alléger les fichiers traités.
- La seconde est l'extraction des **objets** d'études (eau, bancs de galets, végétation) par une méthode automatique de classification.

2 – Puis dans un second temps, l'objectif est d'obtenir des indicateurs de qualité physique des milieux aquatiques. Pour cela, il est nécessaire :

- D'évaluer des **métriques** de description des objets extraits au cours de l'étape précédente.
- Puis d'élaborer des **indicateurs** sur la base des métriques construites lors de l'étape précédente. Il peut s'agir d'indicateurs de caractérisation des habitats aquatiques, de la végétation, des styles fluviaux ou de suivi si l'on dispose de plusieurs états temporels.

PARTIE 1. EXTRACTION DE L'INFORMATION BRUTE : DES IMAGES AUX OBJETS

A . PRÉTRAITEMENT DES IMAGES

1 . Objectif

La phase de prétraitement a pour objectif de diminuer le temps de traitement des données. En effet, traiter des images issues de la BD Ortho® peut s'avérer assez long. Or seul le corridor fluvial dans sa plaine alluviale nous intéresse. C'est pourquoi, il est judicieux de se limiter uniquement au fond de vallée pour la suite de l'étude. Pour cela, nous avons choisi de créer une couverture rastérisée à partir de la BD Ortho® contenant uniquement les fonds de vallée du bassin Rhône Méditerranée Corse. Ce travail se fait en utilisant des images rasters (BD Ortho®, BD Alti®), ainsi que des données vecteurs (BD Carthage®) (Tableau 1).

Tableau 1 : Récapitulatif des données brutes utilisées

Caractéristiques des données disponibles				
	BD ALTI®	Modèles Numériques de Terrain (50m)	raster	IGN
	BD ORTHO®	Orthophotographies (50cm)	raster	IGN
	BD CARTHAGE®	Référentiel hydrographique	vectoriel	IGN, MEDD et Agence de l'Eau

2 . Données et méthode

Dans un premier temps, il faut créer un objet vectoriel représentant le fond de vallée.

Le vecteur fond de vallée (Alber & al., 2008) a été construit à partir :

- d'un modèle numérique de terrain, la BD Alti® de l'IGN au pas de 50 m.
- et d'une couche vectorielle, la BD Carthage®, qui représente le linéaire fluvial.

De façon succincte, la méthode (Figure 1) consiste à simplifier l'objet fond de vallée en l'assimilant à l'espace inondable pour une hauteur d'eau en lit majeur dont le seuil est fixé arbitrairement à 10 m.

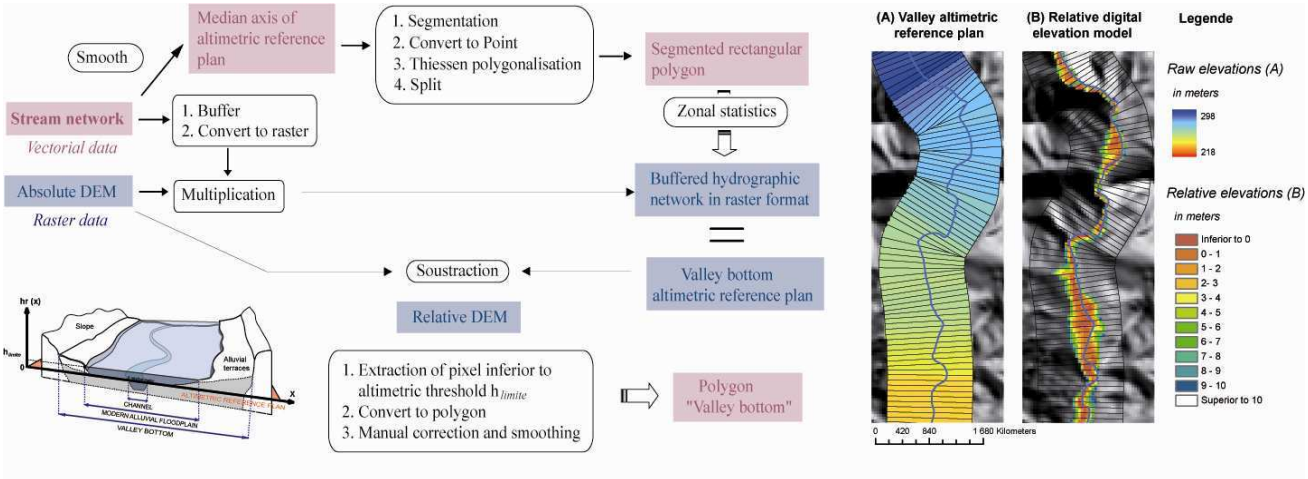


Figure 1 : Schéma opératoire utilisé pour extraire le fond de vallée du MNT (Alber & al., 2008)

Définition du fond de vallée

Dans ce rapport, nous parlons du fond de vallée, comme de l'objet géographique correspondant au remplissage alluvial holocène, autrement la plaine d'inondation.

Son intérêt principal est de délimiter l'espace maximal au sein duquel le cours d'eau peut potentiellement se déplacer et d'apporter ainsi une information sur la capacité du cours d'eau à divaguer ou non (Alber & al., 2008). Ce fond de vallée correspond aux espaces alluvionnaires construites depuis la fin de la glaciation du Würm (-12 000 ans).

Les images utilisées sont les orthophotographies de la BD Ortho® de l'IGN (Tableau 2). Il s'agit de photographies aériennes rectifiées géométriquement à très haute résolution (Wiederkehr & al., 2008) dans le domaine du visible. Elles ont été choisies car elles répondent aux exigences d'une étude hydromorphologique à large échelle (Wiederkehr & al., 2008). En effet, elles couvrent de façon homogène l'ensemble du territoire. Disposant d'archives remontant jusqu'aux années 1940, ce support peut permettre la réalisation d'études diachroniques.

Tableau 2 : Caractéristiques de la BD Ortho®

Généralités	
Résolution spatiale	50 cm
Résolution spectrale	3 canaux : visible (rouge, vert, bleu) ou infrarouge, rouge, vert
Fréquence d'acquisition	tous les 5 ans (à moyen terme, tous les 3 ans)
Taille d'une dalle	5 km * 5 km ou 1 km * 1 km
Dates d'acquisition	entre 2003 et 2006, selon les départements
Réseau Rhône Méditerranée Corse	
Nombre de dalles	6347
Poids d'une dalle	300 Mo (10000 * 10000)
Poids total	1,9 To (1900 Go)

La BD Ortho® comporte de nombreux avantages en termes de disponibilité ou de résolution spatiale mais également des inconvénients. Il peut notamment exister une différence de luminosité entre dalles. Un autre problème concerne la capacité de stockage dont on doit disposer pour conserver et traiter les données (Tableau 2). L'étape de prétraitement a pour but de faciliter le traitement des images pour pouvoir créer aisément des indicateurs de qualité physique à partir de ces données images. Il s'agit de tout mettre en œuvre pour que la chaîne de traitement (de la donnée image à l'indicateur) soit la plus efficace et la plus rapide possible.

Tableau 3 : Avantages et inconvénients de la BD Ortho®

Avantages	Inconvénients
Très haute résolution	Limites de l'image (ombres portées, …)
Archives	Stockage
Disponibilité	Différence de luminosités entre les dalles

Deux techniques d'extraction du fond de vallée ont été testées. Pour la première, un mosaïquage des dalles a été suivi d'une phase d'extraction du fond de vallée, alors que dans le cas de la seconde, l'extraction par dalles s'est faite en premier. La seconde technique est celle qui a été retenue car pour des résultats identiques à ceux de l'autre méthode, le temps de traitement et la capacité en mémoire informatique sont moindres. Pour l'extraction du fond de vallée de la Drôme (110 km), il a fallu compter une semaine de travail. L'automatisation évite donc 18 ans de travail pour l'ensemble du bassin RMC (103447 km).

3 . Résultats (Figure 2)

.

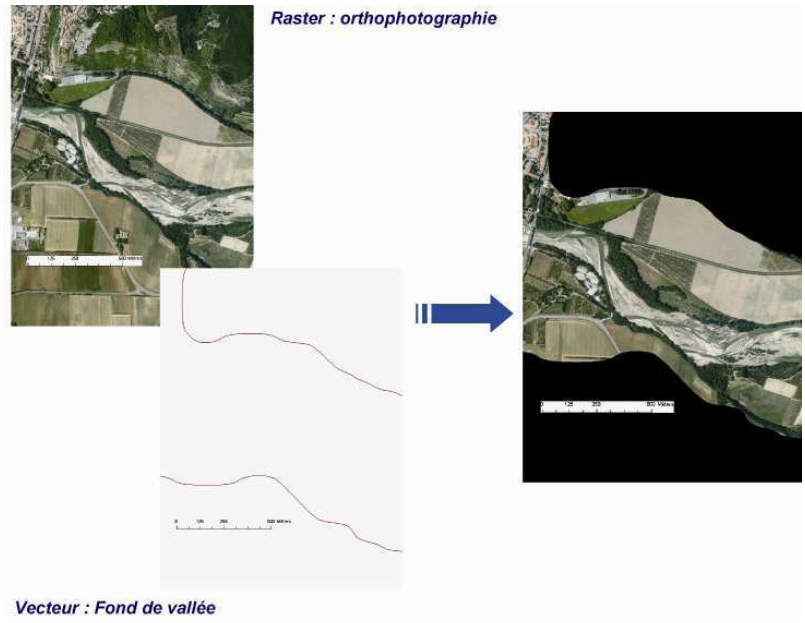


Figure 2 : Extraction du fond de vallée à partir des orthophotographies de l'IGN

B . EXTRACTION DES CLASSES D'OBJETS

1 . Objectif

L'objectif de cette étape est d'extraire, à partir des images, les classes « eau », « végétation » et « bancs de galets » sous la forme de données vectorielles et rastérisées.

a . Données et méthode

Les données utilisées sont les rasters images extraits de la BD Ortho® lors de l'étape précédente et qui représentent les fonds de vallée.

Différentes méthodes d'extraction

L'extraction de classes d'occupation des sols se fait par une méthode dite de **classification**. Il s'agit d'une action consistant à regrouper les pixels d'une image afin de former des zones ayant des caractères communs (Minvielle & Souiah, 2003). Ces zones sont plus communément appelées des classes. Il existe plusieurs méthodes de classification (Figure 3) :

1 – la **photo-interprétation**. Le regroupement des pixels, se fait de manière manuelle, par un opérateur qui définit lui-même les critères de regroupement.

Les méthodes qui suivent nécessitent l'emploi d'algorithmes, appelés des classificateurs :

2 – **l'approche par pixel**. Dans ce cas, le regroupement des pixels se fait seulement en fonction de la donnée spectrale. L'élément de référence qui est pris en compte est le pixel.

3 – **l'approche dite zonale**. Il s'agit de prendre en compte le pixel et son voisinage. Ainsi, on introduit une dimension spatiale.

4 – **l'approche orientée-objet**. Il ne s'agit pas seulement de caractériser l'objet par sa valeur radiométrique, mais également en fonction de sa forme, de sa texture[1] et de son contexte.

[1] *La texture : Sur une image photographique, désigne la fréquence de variation et la disposition des nuances de gris, ou des teintes. La texture est une fonction de l'uniformité spatiale des cibles dans la scène. Elle est souvent mesurée de façon qualitative: fine, moyenne, rugueuse, rayée ou tachetée. (Source : www.ccrs.nrcan.gc.ca)*

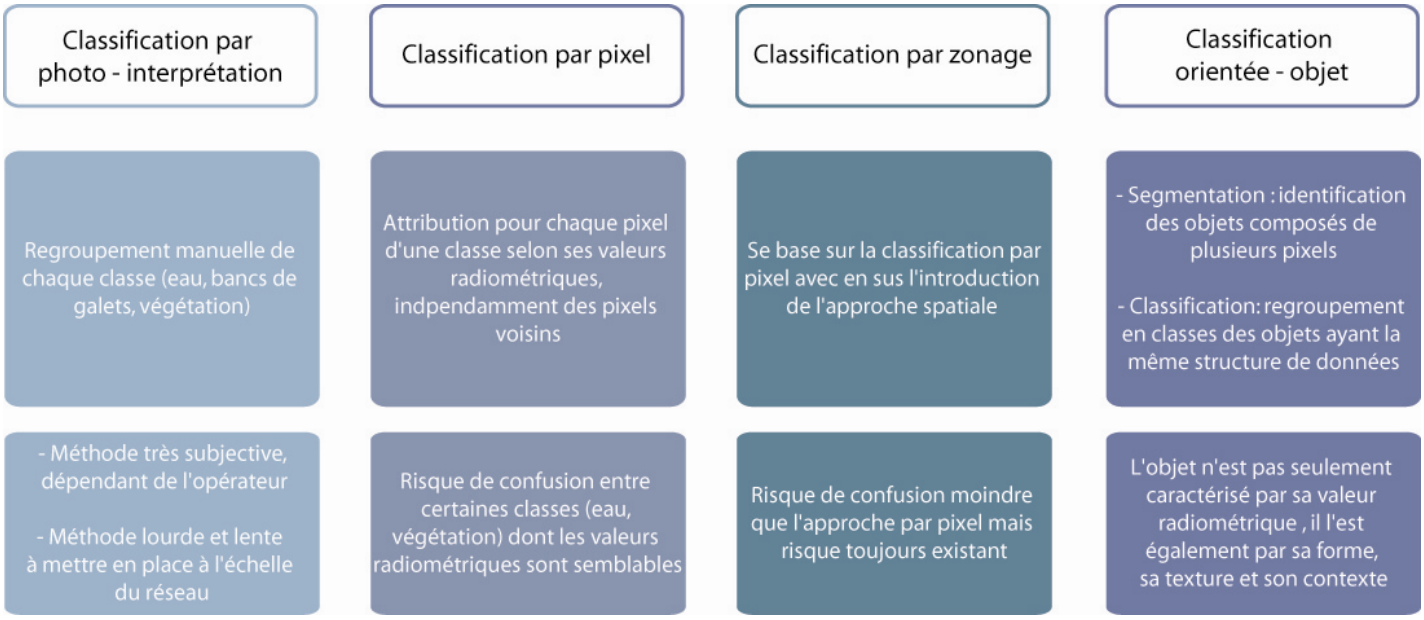


Figure 3: Présentations succinctes des différentes méthodes de classification

Suivant la position de l'opérateur (implication totale ou pas pour définir les critères) dans l'étape de classification, les procédures seront différentes (Figure 4):

- Si l'opérateur ne dispose d'aucune information ou décide de s'en dispenser, on parle de **classification non-supervisée**. C'est une procédure automatique qui ne nécessite pas d'information externe pour son application.

- On parle de **classification supervisée,** lorsque l'opérateur utilise ses connaissances de la zone d'étude, en identifiant des zones d'apprentissage (zones ou régions d'intérêts) représentatives des classes, qu'il aura préalablement définies.

- On parle de **procédure hybride**, lorsque les deux techniques sont combinées. Il peut s'agir par exemple, d'employer une classification supervisée pour certaines classes alors que d'autres seront renseignées de manière non-supervisée.

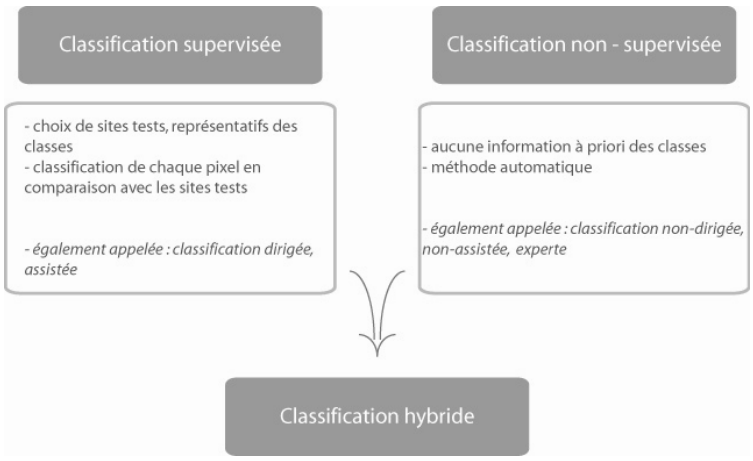


Figure 4 : Présentations des différentes procédures de classification

Classification orientée – objet : utilisation du logiciel eCognition©

Nous avons opté pour une **classification orientée-objet**. L'avantage de cette méthode porte sur sa qualité de discrimination des objets. Par rapport aux méthodes par pixel, le logiciel travaille sur les caractères radiométriques des objets mais également sur des paramètres de forme et de texture. Cette méthode offre des résultats qui peuvent se comparer à ceux obtenus par la photo-interprétation, car le logiciel crée des objets en prenant en compte les paramètres utilisés par « l'œil », ce qui permet de dire que cette méthode donne des résultats intéressants. L'avantage vis-à-vis de la photo-interprétation est l'automatisation de la procédure, synonyme de gain de temps. Ce type de classification comprend deux étapes (Wong & al, 2003) (Figure 5) :

- une phase de **segmentation**, qui permet d'identifier a priori des objets-images composés de plusieurs pixels (Perez Correa, 2004),

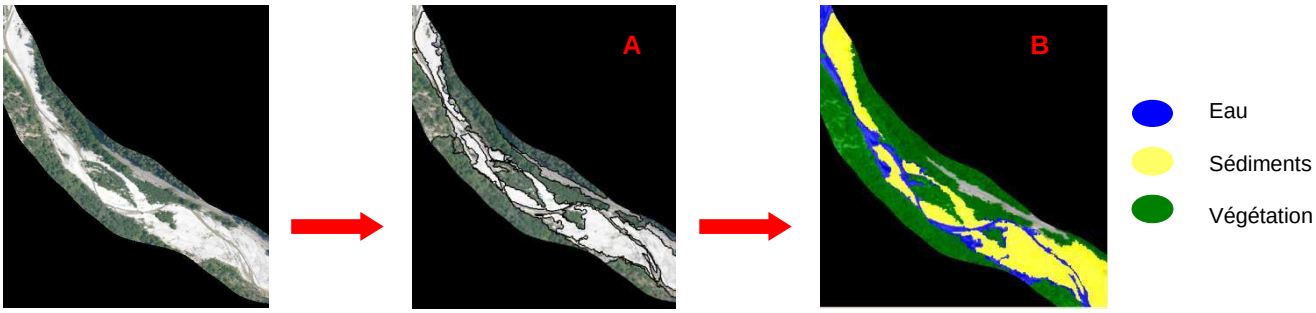


Figure 5 : Illustration des phases de segmentation (A) et de classification (B)

- une phase de **classification** stricto sensu, au cours de laquelle les objets, dont la structure de données et le comportement spectral sont identiques, sont regroupés en classes.

Cette classification est réalisée avec le logiciel eCognition© de Definiens, spécifiquement développé pour ce type d'usage (classification orientée – objet) et de support (photographies aériennes).

Principes de la segmentation sous le logiciel eCognition©

L'étape de segmentation se traduit par la subdivision de l'image en régions homogènes. Le logiciel eCognition© utilise une méthode de segmentation de type « croissance de régions », c'est une approche ascendante, qui « consiste à agréger des pixels adjacents pour lesquelles l'augmentation de l'hétérogénéité de la région résultante est la plus faible. » (Perez Correa, 2004). La segmentation de l'image selon le principe de la segmentation multirésolution (Barbier, 2006) nécessite néanmoins un travail préalable de calage des facteurs suivants (Thomas, 2005; Barbier, 2006) :

- **Echelle** (scale[2]) (Figure 6): se définit comme l'hétérogénéité maximale autorisée au sein des objets. Plus l'échelle est grande, plus les régions sont étendues. Influençant le niveau de finesse de la segmentation, c'est donc le paramètre le plus important.



Figure 6 : Illustration du paramètre d'échelle à différentes valeurs

- **Critère d'homogénéité** (shape[2]) (Figure 7) : il s'agit d'une pondération entre un facteur couleur (ou spectral) et un facteur de forme. La valorisation du facteur de forme se fait au dépend de l'homogénéité spectrale et limite le nombre d'objets générés.

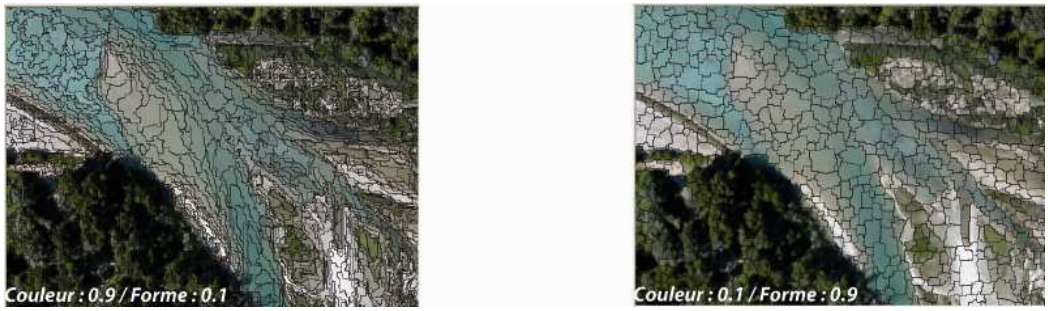


Figure 7 : Illustration du paramètre d'homogénéité à différentes valeurs

- **Lissage et compacité** (compactness[2]) (Figure 8) : il s'agit de rendre l'objet plus ou moins régulier. Une faible compacité limite le nombre d'objets.

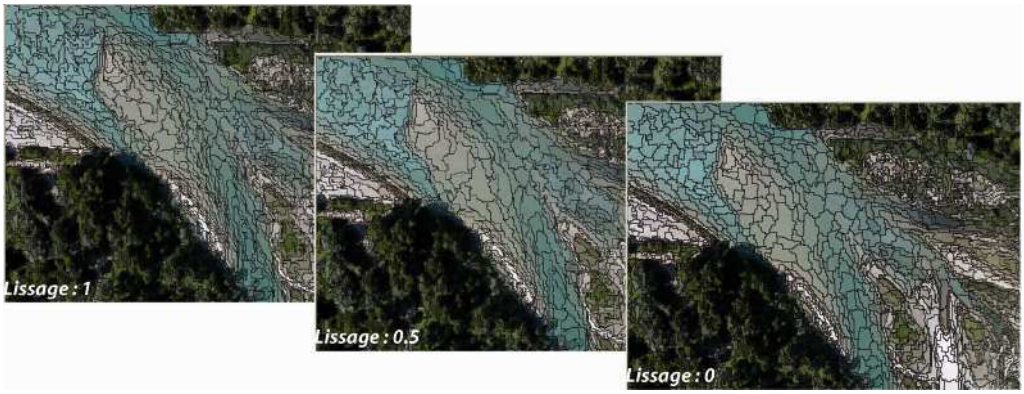


Figure 8 : Illustration du paramètre de lissage à différentes valeurs

[2] *Ainsi nommé dans le logiciel.*

Une fois la segmentation faite (Figure 9), ce ne sont plus les valeurs spectrales des pixels qui sont utilisées mais les caractéristiques des objets et notamment les caractéristiques de la distribution des valeurs radiométriques des pixels qui composent l'objet : valeur radiométrique moyenne, écart-type, percentiles, … (Thomas, 2005).

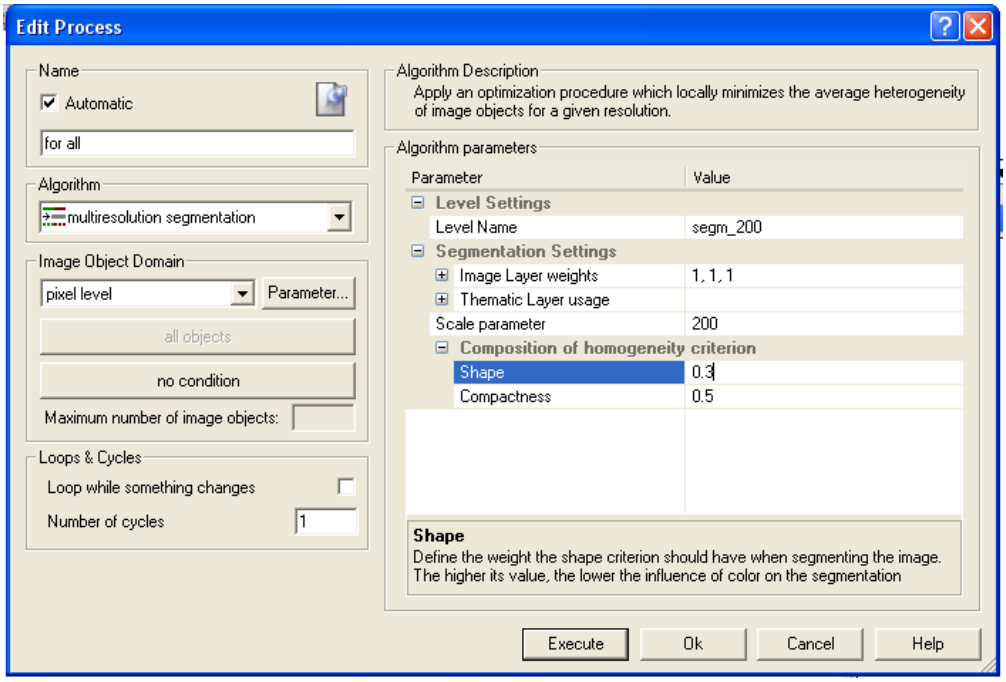


Figure 9: Présentation de l'interface segmentation sous le logiciel eCognition

Principes de la classification sous le logiciel eCognition©

Généralement, pour affecter ou non un objet à une classe, les logiciels de classification utilisent les valeurs d'appartenance de 1 ou 0. On parle alors de classificateurs « durs » ou « hard classifiers » (Thomas, 2005). Au contraire, le logiciel eCognition© de Definiens, qui fonde sa méthode (classification orientée-objet) sur une logique floue, attribue à chaque objet une classe en fonction du degré d'appartenance (ou probabilité) à chaque classe. Celle-ci est comprise entre 0 et 1. Il s'agit de classificateurs « doux » ou soft classifiers. L'avantage d'une telle approche est la prise en compte des incertitudes dans la description des classes.

Ce logiciel permet de faire deux types de classification (Perez Correa, 2004) :

- Une **classification « experte »**. L'opérateur introduit les fonctions d'appartenance, à partir d'un ou plusieurs facteurs discriminant (valeur des pixels, homogénéité de l'objet, texture…),
- Et une **classification « supervisée »** selon le « plus proche voisin », sur la base de parcelles d'échantillonnages, le logiciel générant lui-même les fonctions d'appartenance.

Il est possible d'insérer de nouvelles fonctions d'appartenance.

b . Mise en place d'une méthode d'extraction des objets par classification orientée-objet

La première étape est de définir les classes de rang 1 qui seront utilisées pour la suite du travail. Dans notre cas, il s'agit d'abord de faire ressortir le **chenal en eau**, les **bancs de galets** et la **végétation riveraine**. Par la suite, il sera possible d'affiner la classification en définissant de nouvelles classes de rang 2 correspondant à des sous-classes du rang 1, autrement dit à une sous-segmentation de l'image. Le principe est de mettre en évidence **différents niveaux hiérarchiques de classification** (Figure 10).

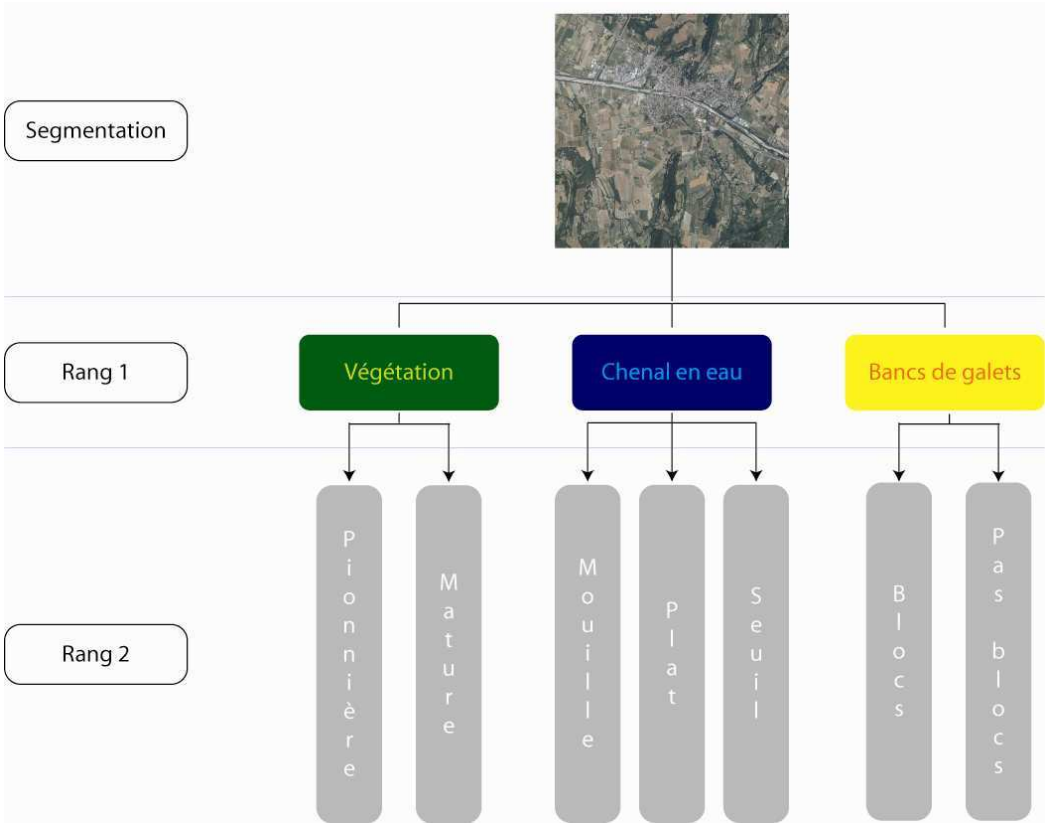


Figure 10 : Présentation des différents niveaux de classes possibles – modifié (après Karsenty & al, 2007)

Mise en place de la segmentation

Le critère à privilégier étant celui de l'échelle, il convient de faire plusieurs tests pour déterminer la valeur échelle à utiliser dans le cas de l'extraction des objets de la bande naturelle. Pour cela, une série de tests visuels a été effectuée. Il s'agissait d'observer pour chaque classe (eau, bancs de galets, végétation) le meilleur paramètre d'échelle en fonction de la largeur du chenal. Les résultats (Figure 11) ont montré que le paramètre d'échelle décroissait avec la largeur du chenal. Mais cette décroissance est plus ou moins en fonction de l'objet (Tableau 4).

Tableau 4 : Valeur du paramètre d'échelle en fonction de la largeur du chenal en eau

Objets	Largeur du chenal en eau principal	Paramètre d'échelle
Eau	< à 5 m 5 à 20 m 20 à 100 m > à 100 m	10 50 100 300
Bancs de galets	< à 5 m 5 à 50 m > à 50 m	10 50 50 ou 100
Végétation	< à 40 m > à 40 m	50 100

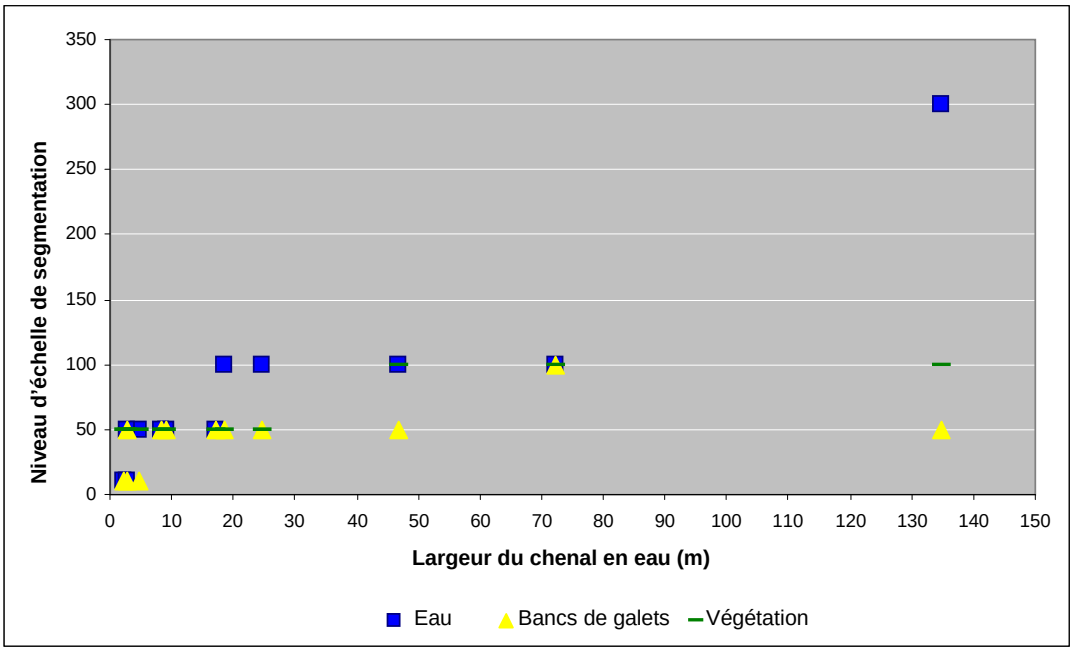


Figure 11 : Relation entre la largeur du chenal en eau (m) et le niveau d'échelle de segmentation des différents objets (eau, bancs de galets et végétation)

Quant aux autres paramètres de segmentation (Figure 12), ils sont :

- de 0.3 pour l'homogénéité car l'aspect couleur est privilégié à celui de la forme. En effet, chacun des objets à extraire se différencie davantage, à l'œil nu, par sa couleur que par sa forme. Au contraire d'autres objets, comme les routes dont la forme rectiligne est caractéristique.
- de 0.5 pour la compacité. Il a été décidé de rester neutre afin de ne pas complexifier inutilement cette étape.

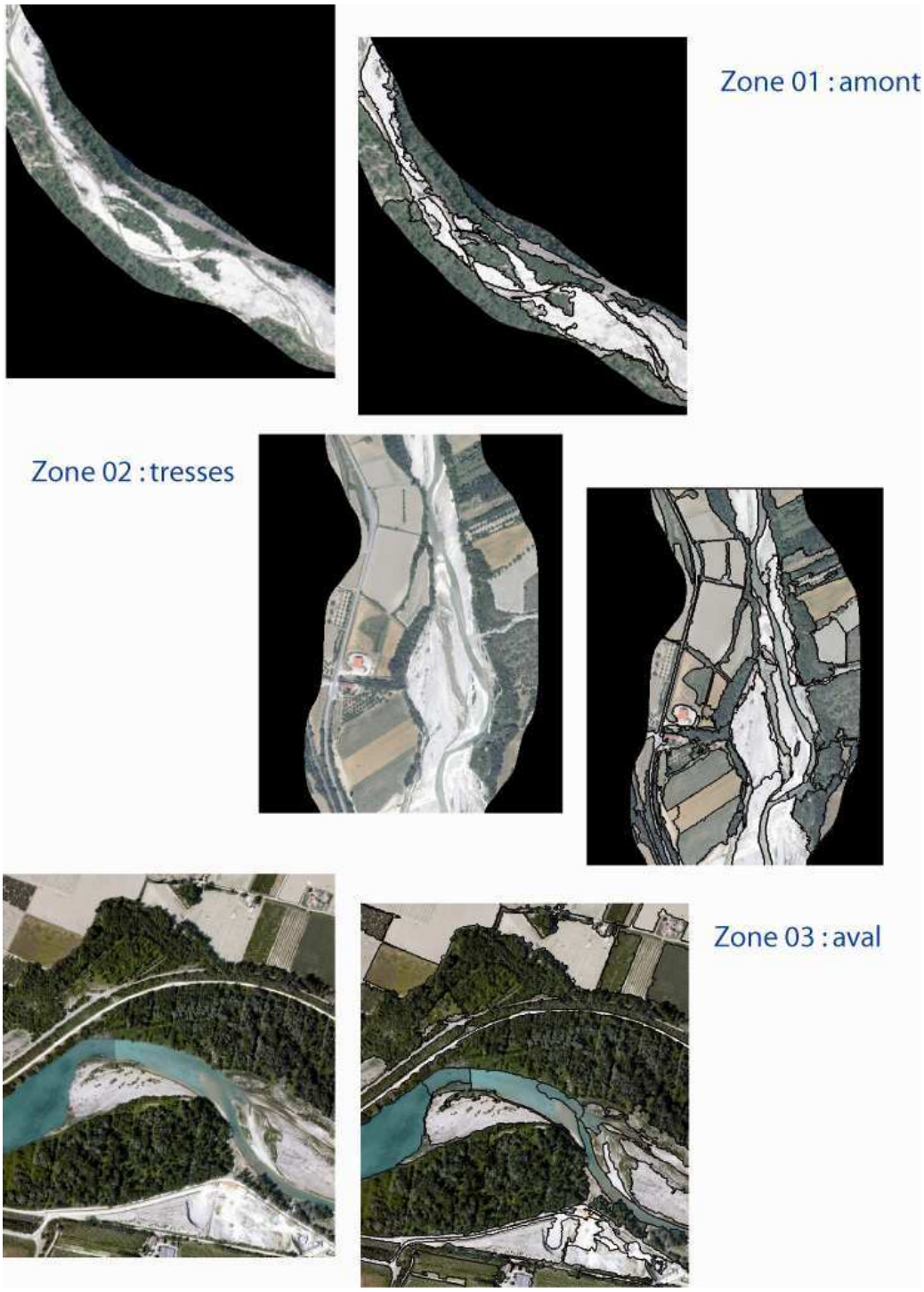


Figure 12: Illustration de la segmentation de l'image dans différents secteurs du linéaire de la Drôme

Mise en place de la classification

La mise en place d'une classification automatique à l'échelle du bassin du Rhône, doit passer par une série de tests. Celle-ci permet d'extraire les paramètres déterminants pour la discrimination des différentes classes (eau, sédiments, végétation). Il s'agit de procéder en trois étapes.

- La première étape consiste à partir de la photo-interprétation à créer un jeu de données où on attribue à chaque objet une classe. Il s'agit de faire une base de données références qui puisse être

assimilée à des données terrain, dont on connaît la nature. Cela permettra pour la suite du travail, d'avoir une série d'objets servant de comparaison.

▪ La seconde étape consiste à déterminer les paramètres qui permettent de discriminer chaque classe. Pour y parvenir, on utilise le jeu de données établies précédemment.

▪ La troisième étape correspond à la classification automatique, avec le logiciel eCognition© en appliquant les seuils des paramètres définis dans l'étape précédente.



Figure 13 : Zones tests : classification par photo-interprétation

Etape 1 : Classification par photo-interprétation

Dans un premier temps, on effectue une classification par photo-interprétation de quelques zones tests (Figure 13) afin d'obtenir un jeu de données de référence. Ensuite, on extrait pour chacun des objets, les valeurs des différents paramètres (forme, textures, …) existant dans le logiciel eCognition©.

On a choisi quatre zones tests, en prenant garde que chacune se situe sur une dalle différente des autres, afin de prendre en compte les différences radiométriques et la variation de la largeur du chenal pouvant exister entre chaque assemblage d'images. La classification se fait sur une base de trois classes représentant la bande naturelle : eau, sédiments et végétation.

Etape 2 : Détermination des paramètres discriminants

Etape 2 a : Extraction des paramètres discriminants

Le jeu de données résultant de la classification par photo-interprétation est composé de 914 objets (Tableau 5).

Tableau 5 : Répartition du jeu de données entre chaque classe

Classes	Nombre d'objets
Eau	173
Sédiments	407
Végétation	334

Pour chacun de ces objets un certain nombre de métriques potentiellement intéressantes pour la discrimination des classes a été extrait. Il s'agit par exemple de la moyenne radiométrique de chaque canal composant l'image, ou bien des métriques de formes

Etape 2 b : Choix des variables discriminantes

Afin de mettre en évidence les paramètres qui discriminent le mieux chaque classe, un arbre de segmentation[3] a été réalisé sous le logiciel SPSS. Cet arbre montre que le premier paramètre discriminant est un paramètre radiométrique, la Mean Layer 2 (Figure 14). Il permet déjà d'isoler une partie des segments (également appelés des objets) des classes végétation et bancs de galets.

La lecture de cet arbre montre que les différentes classes se différencient les unes des autres en fonction de paramètres radiométriques et texturaux.

A l'issue de ce premier classement, certains objets ne sont pas classés (Figure 14 : carrés A et B). Il faut donc procéder à une nouvelle segmentation, c'est ainsi que deux nouveaux arbres de segmentation ont été créés (Figure 15). On définit les attributs des classes de la même façon que pour le premier arbre de segmentation.

[3] *Arbre de segmentation : Représentation visuelle sous forme d'un arbre représentant les différentes étapes de segmentation d'une population et les différents segments et effectifs obtenus au terme de la démarche. Le tronc représente la population initiale non segmentée et les branches terminales correspondent à chaque segment. (www.ledicodumarketing.fr)*

Les paramètres de texture

Selon Haralick (1973), 14 attributs statistiques peuvent être calculés à partir de la matrice de co-occurrences GLCM (Grey Level Co-occurrence Matrix). Cette matrice est composée d'éléments représentant « l'estimation de la probabilité de transition d'un niveau de gris à un autre selon une direction donnée avec une distance inter pixels bien définie » (Alaoui & al., 2005).

Les différents paramètres de texture pouvant être extraits sont, par exemple (Robin, 1995) :

- L'inertie, correspondant à l'étalement du nuage autour de la diagonale de la matrice,

- L'entropie, qui correspond au degré d'organisation du nuage de points,

- L'écart-type, correspondant à la dispersion du nuage de points.

Les paramètres et les seuils qui caractérisent chaque classe sont ainsi définis (Tableau 6) (Annexes).

Tableau 6 : Récapitulatif des paramètres utilisés pour la classification (Definiens, 2006)

Classes	Paramètres	Spectraux	Texturaux	Forme
VÉGÉTATION	*GLCM Ang. 2nd moment (all dir.)*		X	
	GLCM Homogeneity (all dir.)		X	
	Mean Layer 2	X		
	Rectangular Fit			X
	Stddev Curvature (only main line)	X		
EAU	*GLCM Ang. 2nd moment (all dir.)*		X	
	GLCM Homogeneity (all dir.)		X	
	Mean Layer 1	X		
	Mean Layer 2	X		
	Rectangular Fit			X
	Stddev Curvature (only main line)	X		
SÉDIMENTS	*GLCM Ang. 2nd moment (all dir.)*		X	
	GLCM Homogeneity (all dir.)		X	
	Mean Layer 1	X		
	Mean Layer 2	X		
	Rectangular Fit			X
	Stddev Curvature (only main line)	X		

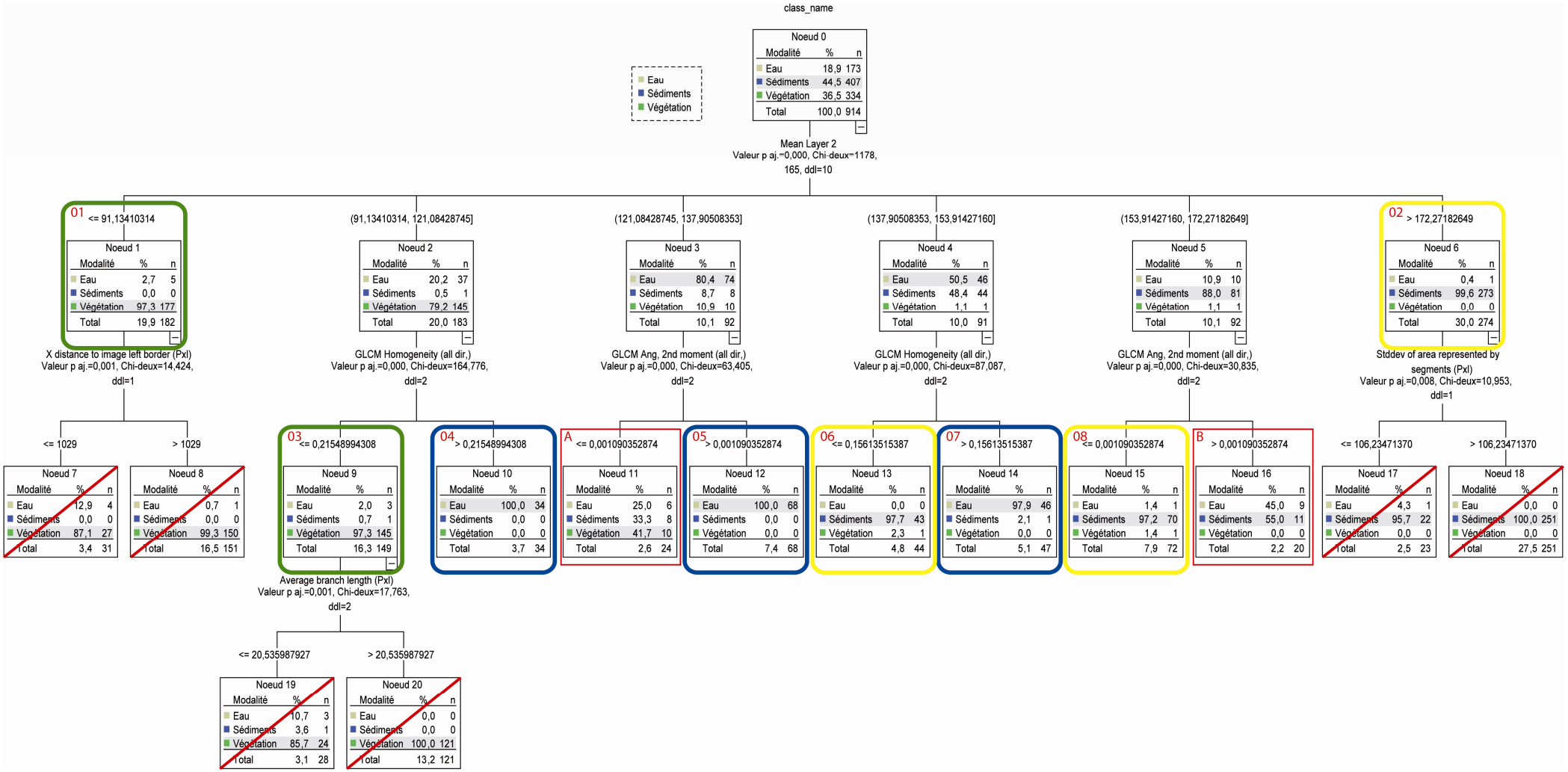


Figure 14 : Arbre de segmentation permettant de discriminer une classe par rapport à l'autre selon les paramètres disponibles sur eCognition®

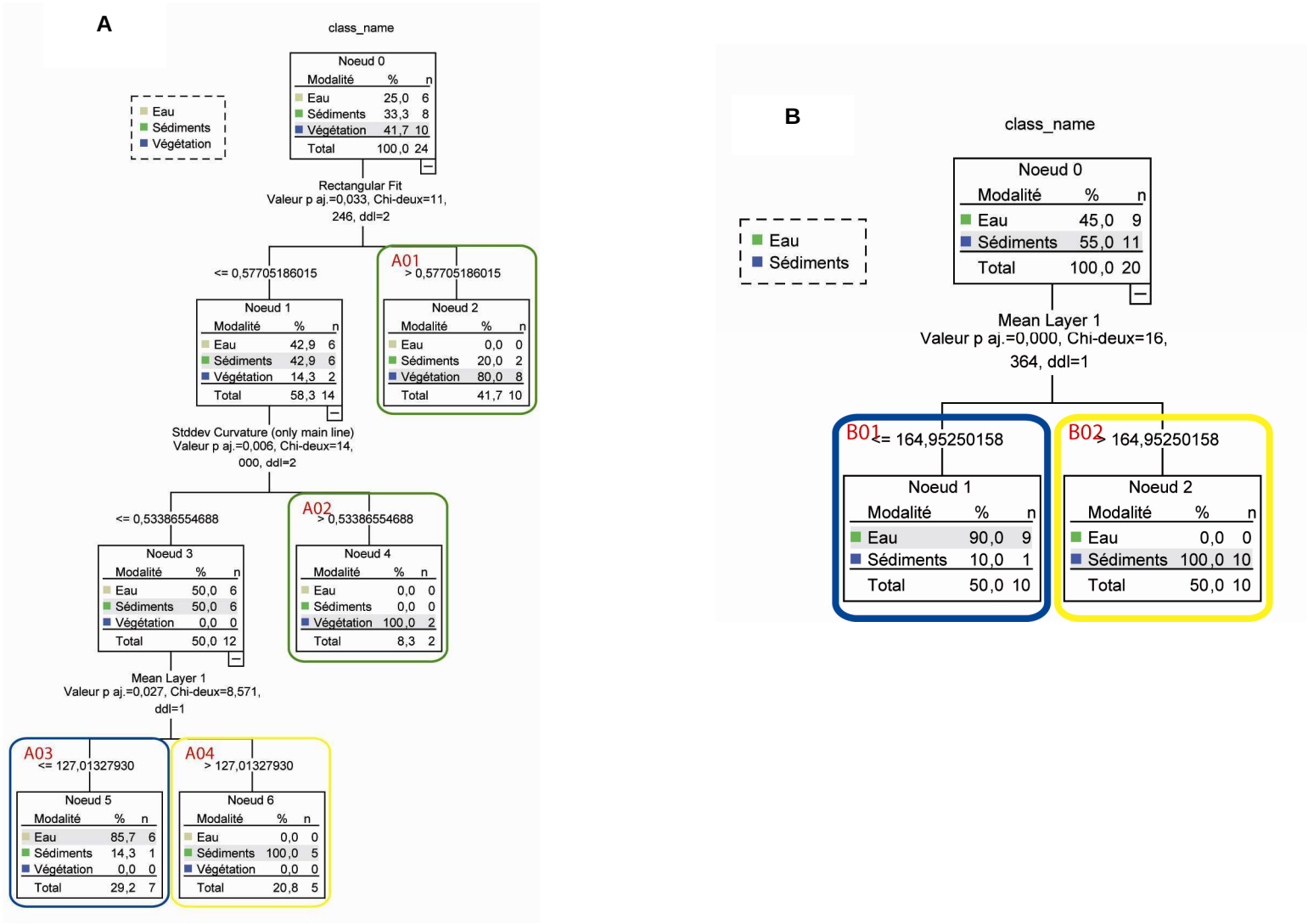


Figure 15 : Arbre de segmentation : A (si 121.08 < Mean Layer 2 < 137.91 GLCM Ang. 2nd moment < 0.0001090) et B (si 153.91 < Mean Layer 2 < 172.28 GLCM Ang. 2nd moment < 0.0001090)

Etape 3 : Classification « experte »

Lorsque les paramètres définissant chaque classe sont identifiés, on peut lancer une classification hiérarchique sous eCognition©. On constate rapidement que cette première classification :

- ne différencie pas la végétation rivulaire de la végétation de pleins champs,
- et que par endroit se confondent des champs avec des secteurs en eau ou des zones de bancs de galets.

Pour résoudre ces ultimes problèmes de détection des classes d'occupation, nous avons fait un nettoyage visuel.

> ***Méthode – classification***
>
> *1 – Classification par photo-interprétation*
>
> *Mise en place d'un jeu de données de références établi à partir d'une connaissance du terrain.*
>
> *2 – Détermination des attributs discriminants*
>
> *Il s'agit de mettre en évidence les attributs de texture, de forme ou de contexte qui permettent la meilleure discrimination possible entre chaque classe. Pour cela, on utilise un arbre de segmentation.*
>
> *3 – Classification experte*
>
> *Lancement d'une classification experte, en utilisant les attributs et leurs seuils définis lors de l'étape 2.*
>
> *4 – Nettoyage*

c . Résultats

Le résultat de cette étape est une classification de l'image. Pour chaque classe (eau, bancs de galets, végétation), on obtient un fichier vecteur et un fichier raster.

Validation de la classification

Généralités sur la validation d'une méthode de classification

L'évaluation de la classification dépend des exigences de départ. En effet, plus on cherche à obtenir une classification robuste pour éviter les retouches, plus on attachera de l'importance à la qualité des résultats de l'évaluation. *« L'évaluation quantitative s'appuie sur des outils statistiques développés dans le cadre d'une échelle de mesure nominale dont l'élément principal est* ***la matrice de confusion*** *(*Tableau 7*)» (*Caloz & al., 2001*).* Ce tableau à double entrée permet d'identifier deux types d'erreurs que peuvent commettre les classificateurs (ainsi appelés les algorithmes de classification) *(*Caloz & al., 2001) :

- **L'erreur de commission** (user's accuracy), lorsque le classificateur n'a pas affecté les objets à la bonne classe.
- **L'erreur d'omission** (producer's accuracy), qui rend compte du non-classement des objets. Le classificateur peut incorrectement exclure des pixels d'une classe.

Tableau 7 : Matrice de confusion (d'après Caloz & Collet, 2001)

		classes de test				marge
	n° de classes	1	2	i	n	
classes affectées	1	m (1,1)	m (1,2)	m (1,i)	m (1,n)	m (1,+)
	2	m (2,1)	m (2,2)	m (2,i)	m (2,n)	m (2,+)
	i	m (i,1)	m (i,2)	m (i,i)	m (i,n)	m (i,+)
	n	m (n,1)	m (n,2)	m (n,i)	m (n,n)	m (n,+)
marge	total classés	m (+,1)	m (+,2)	m (+,i)	m (+,n)	$T_{classés}$
	non classés	m (x,1)	m (x,2)	m (x,i)	m (x,n)	$T_{non\text{-}classés}$
	total	T (1)	T (2)	T (i)	T (n)	T

où

T	total des pixels échantillonnés, toute classe confondue
T(i)	total des pixels échantillonnés par classe
Tclassés	total des pixels classés, toute classe confondue
m (i,i)	pixels de la classe i correctement classés
m (i,j)	i ≠ j, pixels issus de l'échantillonnage mais affectés de manière erronée à une autre classe (erreur de commission)
m (x,i)	pixels non classés, de la classe i (erreur d'omission)
m (i,+)	valeur marginale de la ligne i (somme de la ligne)
m (+,I)	total des pixels classés devant appartenir à la classe i

Pour évaluer la qualité de la classification, on peut soit **traiter individuellement chaque classe**, soit **globalement l'ensemble des éléments** de la matrice de confusion (Caloz & al., 2001 ; Fung & LeDrew, 1988)

- par classe :
  - L'indice P(i) est relatif à l'erreur d'omission.

$$P(i) = \frac{m(i,i)}{m(+,i)}$$

  - L'indice U(i) est relatif aux erreurs de commission.

$$U(i) = \frac{m(i,i)}{m(i,+)}$$

- globalement : il s'agit d'exprimer de façon globale le résultat de la classification mais l'indice créé ne prend pas en compte les pixels non classés. Il s'agit du rapport des pixels bien classés sur la totalité des pixels classés (à l'exclusion donc des pixels non classés).

L'indice de Kappa, proposé par Cohen (1960), est un autre indice utilisé pour la validation d'une classification. Il ne prend en compte que les erreurs de commission et estime la précision de chaque classe de manière individuelle.

Validation de la classification

La classification automatique a été validée sur trois secteurs du linéaire principal de la Drôme (Figure 16). Ces trois zones ont été choisies car elles se composent de paysages contrastés avec des largeurs de chenal différentes, sur des dalles distinctes ce qui permettra de prendre en compte les différences radiométriques. Nous avons comparé les résultats obtenus de manière automatique avec ceux obtenus par photo-interprétation. Ceci a permis de dresser quatre matrices de confusion : une par zone et une qui regroupe l'ensemble des secteurs.

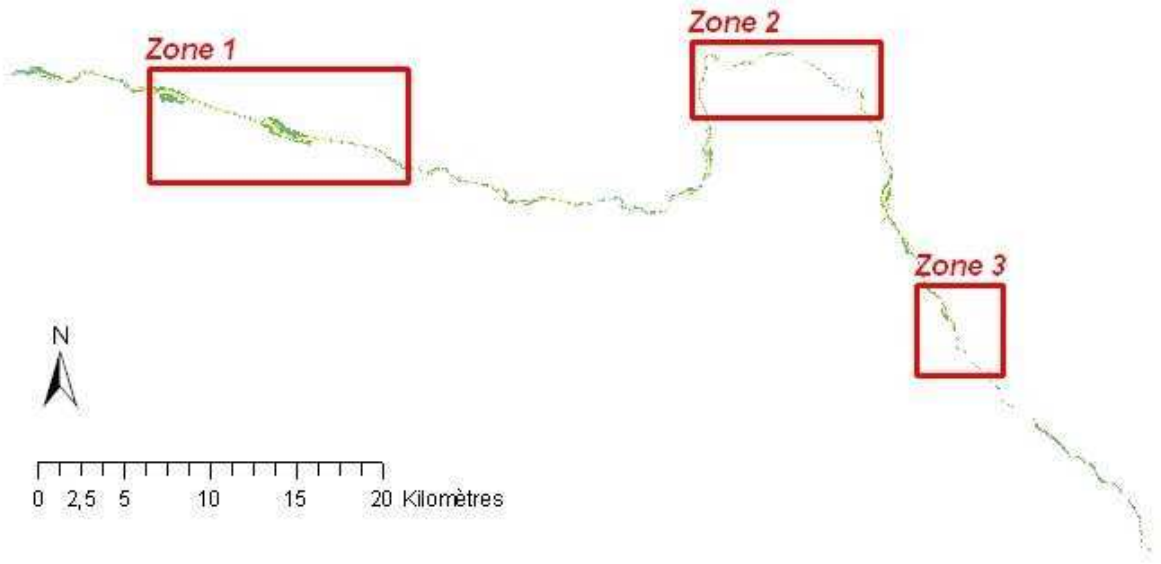


Figure 16 : Présentation des 3 zones testées sur le linéaire de la Drôme pour la validation de la classification

Tableau 8 : Matrices de confusion

opérateur = photo-interprétation et classification = classification automatique

producer's accuracy : erreur d'omission / user's accuracy: erreur de commission / overall accuracy : erreur totale

Zone 1

Opérateur →

Classification ↓

Classes	Bancs de galets	Chenal en eau	Végétation	Total (m²)
Bancs de galets	**1 376 928,17**	27 673,20	23 028,45	1 427 629,82
Chenal en eau	53 672,26	**387 519,67**	46 171,70	487 363,62
Non classés	810,49	1 066,21	1 409,56	3 286,27
Végétation	19 605,19	33 746,90	**2 423 533,76**	2 476 885,84
Total (m²)	1 451 016,11	450 005,97	2 494 143,48	4 395 165,55

Producer'accuracy	94,89%	86,11%	97,17%
User's accuracy	96,45%	79,51%	97,85%
Overall accuracy	**95,29%**		

Zone 2

Opérateur →

Classification ↓

Classes	Bancs de galets	Chenal en eau	Végétation	Total (m²)
Bancs de galets	**542 412,17**	30 461,72	10 030,98	582 904,88
Chenal en eau	25 349,97	**249 971,63**	16 539,79	291 861,39
Non classés	13 652,92	6 709,83	22 119,19	42 481,93
Végétation	18 499,55	26 082,09	**573 830,16**	618 411,80
Total (m²)	599 914,61	313 225,27	622 520,12	1 535 660,00

Producer'accuracy	90,41%	79,81%	92,18%
User's accuracy	93,05%	85,65%	92,79%
Overall accuracy	**88,97%**		

Zone 3

Opérateur →

Classification ↓

Classes	Bancs de galets	Chenal en eau	Végétation	Total (m²)
Bancs de galets	**111 837,38**	5 178,13	4 829,43	121 844,94
Chenal en eau	20 852,68	**35 176,06**	12 178,89	68 207,63
Non classés	27 461,82	2 532,34	59 973,91	89 968,07
Végétation	19 937,11	16 793,89	**425 591,74**	462 322,74
Total (m²)	180 088,99	59 680,42	502 573,97	742 343,37

Producer'accuracy	62,10%	58,94%	84,68%
User's accuracy	91,79%	51,57%	92,06%
Overall accuracy	**77,13%**		

Général

Opérateur →

Classification ↓

Classes	Bancs de galets	Chenal en eau	Végétation	Total (m²)
Bancs de galets	**2 031 177,72**	63 313,05	37 888,87	2 132 379,64
Chenal en eau	99 874,91	**672 667,36**	74 890,37	847 432,64
Non classés	41 925,23	10 308,38	83 502,66	135 736,27
Végétation	58 041,85	76 622,88	**3 422 955,66**	3 557 620,38
Total (m²)	2 231 019,71	822 911,66	3 619 237,56	6 673 168,92

Producer'accuracy	91,04%	81,74%	94,58%
User's accuracy	95,25%	79,38%	96,21%
Overall accuracy	**91,81%**		

Les résultats (Tableau 8) montrent que suivant les secteurs la qualité de la classification est différente. Toutefois, dans tous les cas, la classification est assez bonne, voire très bonne : avec en moyenne plus de 91% des pixels bien classés.

L'observation détaillée classe par classe montre que la classification effectuée à l'aide du classificateur est très fiable pour les classes « bancs de galets » et « végétation ». Le « chenal en eau » est moins bien discriminé, le taux de surface correspondant sur le terrain à la classe annoncée avoisine les 80%, mais peut être d'à peine 50% (zone 3) dans certains secteurs. Il semble que de manière générale, la classification soit plus robuste dans les secteurs en aval. Ceci peut s'expliquer par l'accroissement de la largeur des objets à détecter de l'amont vers l'aval.

Quelques pistes en vue d'améliorer la classification

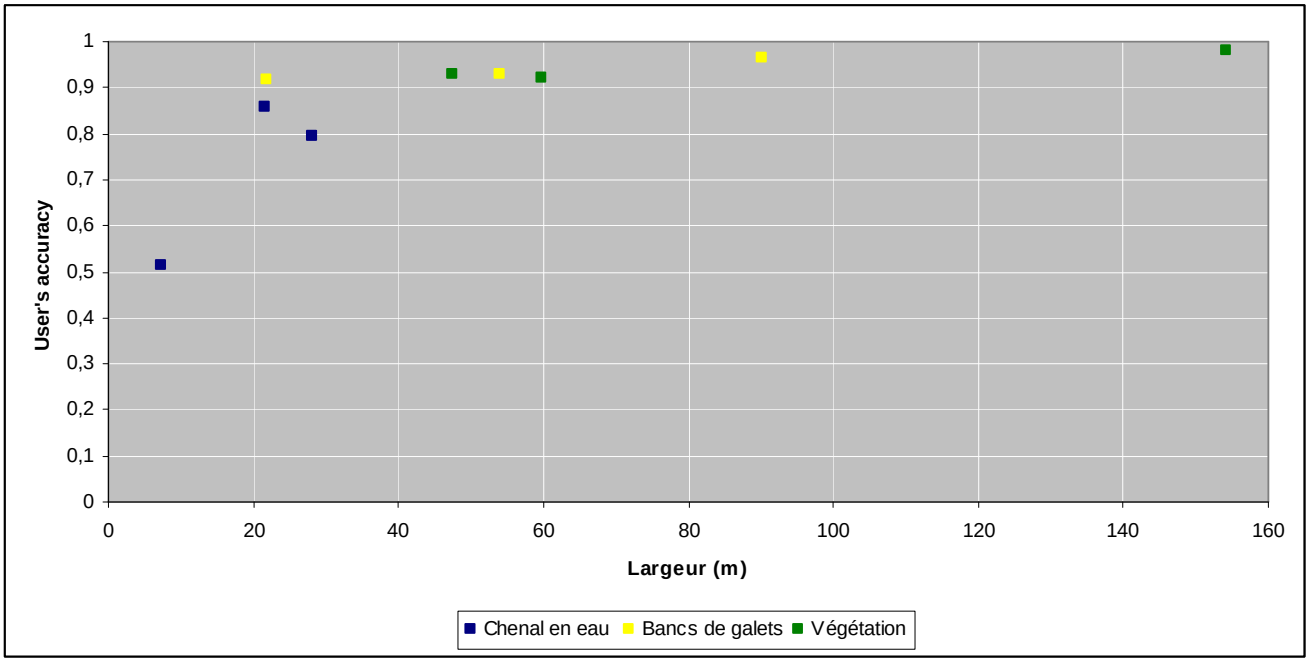


Figure 17 : Erreurs de commission (user's accuracy) en fonction de la largeur moyenne des objets par zone tests

Pour savoir si la qualité de la classification dépend effectivement de la largeur des objets (eau, bancs de galets, végétation), nous avons extrait la largeur moyenne de chaque objet pour chaque secteur test. Nous avons ensuite représenté ces données sur un graphique (Figure 17), où l'on confronte la largeur moyenne de l'objet par rapport à l'erreur de commission. N'ayant que trois points pour chaque classe, on ne peut pas conclure d'un point de vue statistique mais on peut déceler une tendance, qui montre que les deux variables semblent dépendantes l'une de l'autre. Il semble notamment que pour des largeurs d'objet inférieures à 20 m pour le chenal, la qualité baisse fortement.

Ces résultats suggèrent que pour améliorer la classification, il serait intéressant d'**améliorer** davantage **la partie segmentation de l'image** que la classification à proprement parlé. Il s'agirait d'adapter plus la taille des objets, que les paramètres en eux-mêmes, notamment sur les tronçons amont du réseau. Ceci peut se faire à l'aide du logiciel eCognition de Definiens et également d'un nouveau logiciel (ENVI d'ITT).

C . PROBLÈMES RENCONTRÉS

1 . Secteurs difficiles à traiter

a . Ombres portées sur le chenal en eau



Figure 18 : Illustration de l'ombre portée

Les ombres portées (Figure 18) causent deux types de problèmes :

- D'une part, le chenal en eau se confond avec la végétation lors de l'extraction des objets.
- D'autre part, lors de l'extraction de métriques au sein du chenal, les valeurs radiométriques calculées peuvent être biaisées. En effet, le phénomène d'ombrage affaiblit les valeurs radiométriques moyennes de l'objet. Il faut donc faire attention de ne pas confondre l'ombre avec un lit profond, qui aurait pourtant les mêmes valeurs radiométriques.

b . Zone amont



Figure 19 : Illustration de l'étroitesse du chenal

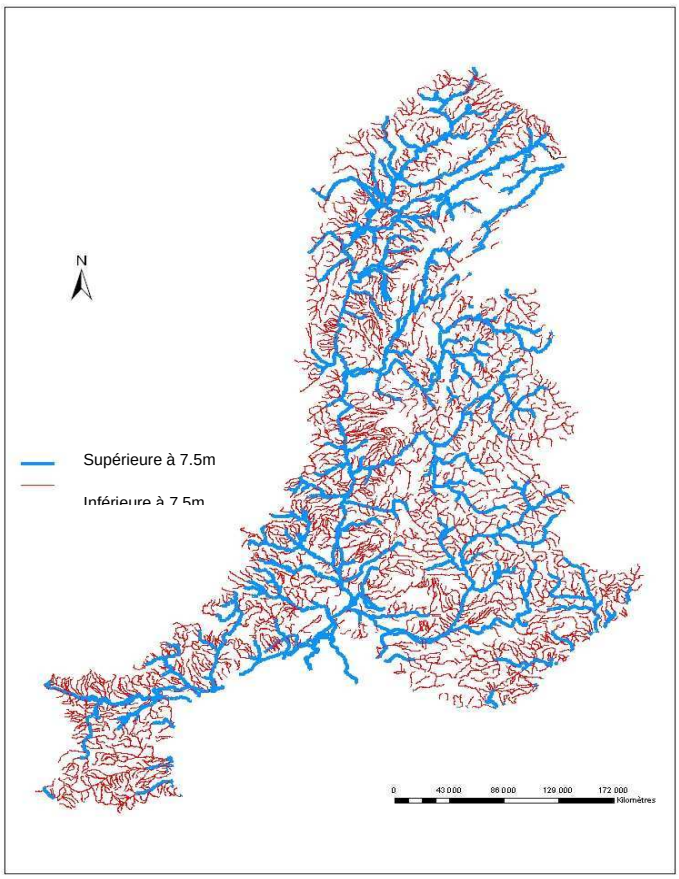


Figure 20 : Réseau hydrographique du district Rhône Méditerranée dont la largeur est supérieure à 7.5 m (Wiederkehr & al., 2008)

A l'amont du réseau hydrographique, l'extraction de la bande active devient difficile, voire impossible à cause de son étroitesse (Figure 19). En effet, les houppiers des arbres de berge viennent recouvrir le chenal en eau. Toutefois, si la bande active est étroite, mais sans végétation arborescente riveraine, l'extraction des objets est possible. Ce qui est un avantage de la BD Ortho® par rapport à la BD Topo®. En effet, sur les données vectorielles de la BD Topo® (Figure 20), la largeur du chenal en eau est représentée pour des valeurs supérieures à 7,5 m. Or grâce à l'utilisation de la classification orientée-objet, nous avons extrait des zones, où le chenal en eau à une largeur inférieure à 1 m.

c . Différences entre dalles

Les problèmes concernant les différences radiométriques entre les dalles peuvent être réglés en partie lors de la phase de prétraitement des images en appliquant un étirement radiométrique par dalle. Ce traitement permet d'homogénéiser la distribution radiométrique entre les différentes photographies.

2 . Temps de traitement

Bien qu'ayant automatisée la méthode, on constate que le temps de traitement (Tableau 9) (segmentation et classification) est relativement élevé pour un PC standard. Il faut effectivement compter une demi-année pour traiter toutes les images couvrant le réseau RMC. Pour réduire le temps de traitement, plusieurs solutions peuvent être envisagées, notamment :

- Soit en utilisant un autre logiciel de classification orientée-objet, comme le module d'extraction « Feature extraction » du logiciel ENVI® (ENvironment for Vizualizing Images) d'ITT.

- Soit en traitant les images avec un ordinateur beaucoup plus puissant, voire un centre de calcul.

Tableau 9: Temps de traitement testé sur une mosaïque de la Drôme et temps estimé sur la totalité du réseau hydrographique du bassin RMC
Tests effectués sur un PC standard à partir du logiciel eCognition

	Test	Estimation	
	Mosaïque	**Drôme**	**Réseau hydrographique RMC (BD Carthage)**
	1,09 Go	**4,63 Go - 110 km**	**35480 km**
Segmentation (échelle 150)	1h22	5h48	11 semaines
Classification	1h33	6h35	12 semaines
Total	2h55	12h23	23 semaines

PARTIE 2. DES OBJETS AUX INDICATEURS

A . DEFINITION (FIGURE 21)

Les classes « eau », « bancs de galets » et « végétation » ont été extraites lors de l'étape précédente sous une forme vectorielle. Il s'agit **d'objets géographiques unitaires (UGO).** Les UGO (Alber & al., 2008) sont segmentés sur la base d'unités spatiales, appelés des **segments de désagrégation**, de 10 m de long (chenal en eau) ou 100 m (bancs de galets et végétation). On crée ainsi des **objets géographiques désagrégés (DGO)**. A partir de ces DGO, on extrait des métriques radiométriques (couche rastérisée) ou géométriques (couche vectorisée). Il est possible de regrouper les DGO ayant des valeurs similaires, on crée ainsi des **objets géographiques agrégés (AGO).** Le test d'agrégation, qui est utilisé pour le regroupement des DGO, est le test statistique de Pettitt (1977), qui repose sur le calcul des valeurs moyennes d'une série de données.

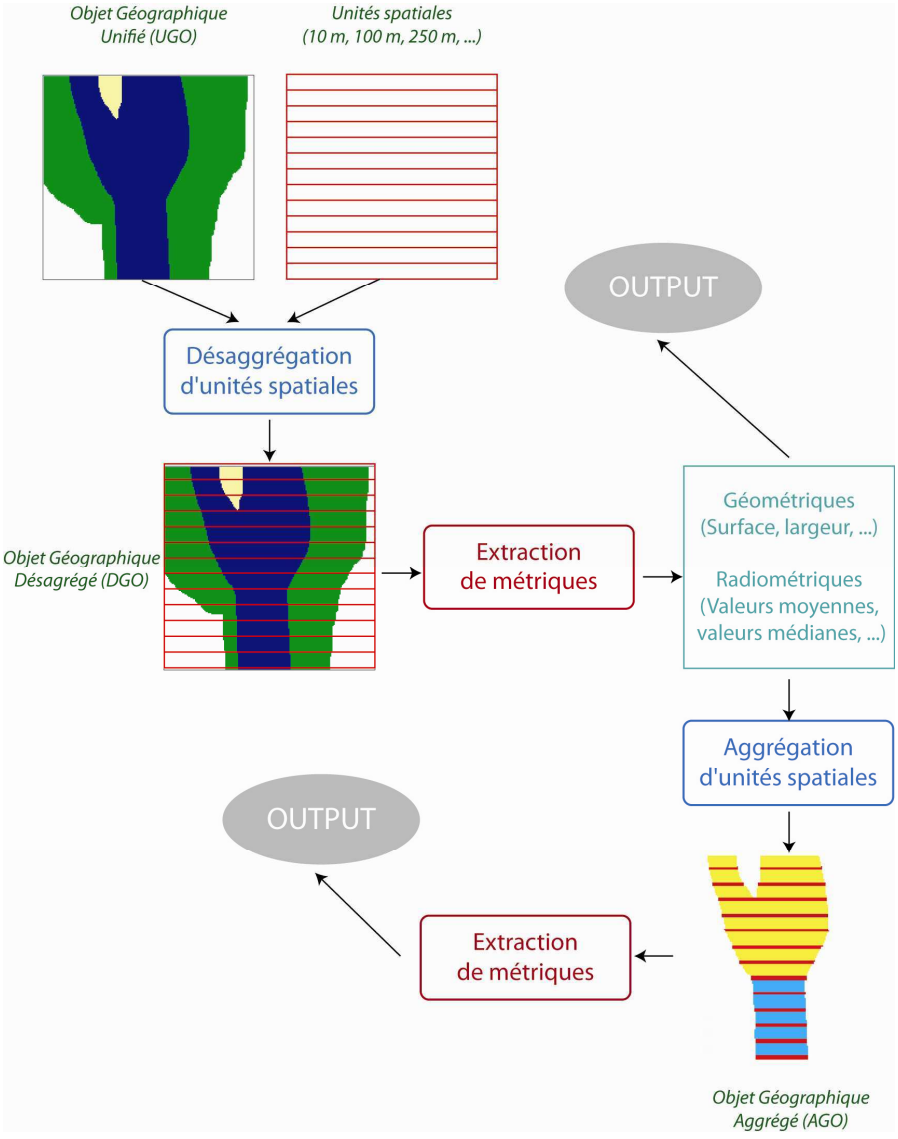


Figure 21: Présentation de la démarche d'extraction d'indicateurs (OUTPUT) à partir d'objets

Méthode – Création des unités spatiales (Figure 22)

1 – Segmentation de l'axe médian de la bande active

Utilisation de la fonction Split Polyline d'ET Geowizard pour segmenter l'axe en longueur de 10 ou 100 m.

Convertir la polyligne ainsi créée en point avec la fonction Convert polyline to point d'ET Geowizard.

2 – Polygonisation de Thiessen

Appliquer le module de polygonisation de Thiessen sur le vecteur point.

3 – Création du polygone segmenté

En intersectant le polygone bande active avec le polygone obtenu lors de l'étape précédente.

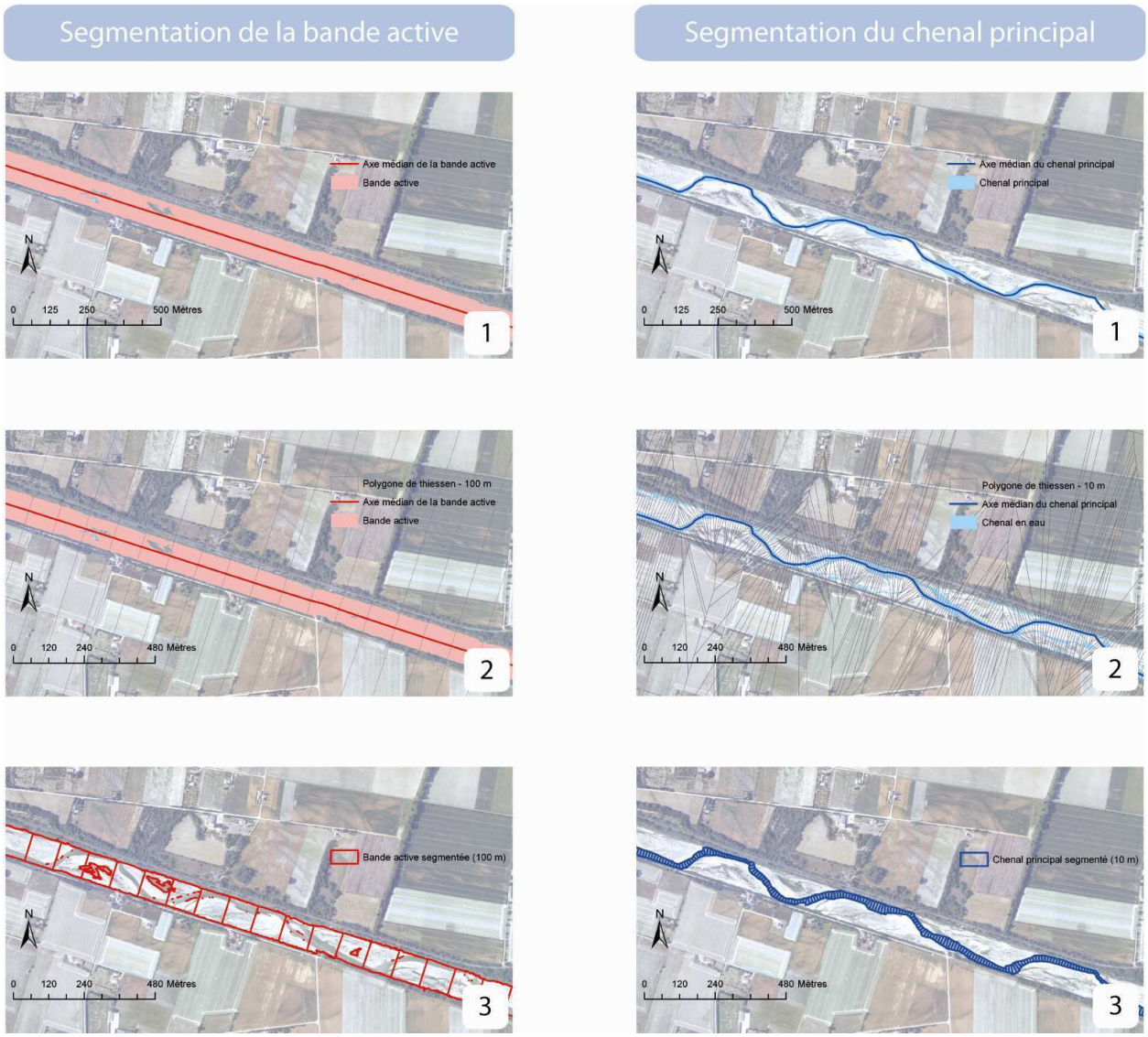


Figure 22 : Illustrations des étapes de création des unités spatiales

B . MÉTRIQUES ET INDICATEURS

1 . Généralités

La mise en place d'un indicateur est liée d'une part à l'échelle spatiale en jeu (les préoccupations ne sont pas les mêmes selon que l'on soit gestionnaires à petite ou large échelle) et d'autre part à l'objectif et à la thématique étudiée :

- Détermination du style géomorphologique,
- Caractérisation des habitats piscicoles,
- Identification des ouvrages,
- Caractérisation de la végétation,
- Détection de pollution.

Un indicateur (Figure 23) est un paramètre ou une combinaison de paramètres qui indique un état ou une évolution utilisé pour établir un diagnostic et mettre en place une politique d'actions planifiée à l'échelle d'un territoire ou pour réaliser un suivi permettant de mesurer l'efficacité d'actions (Wiederkehr & al., 2008). Ce qui signifie que la mise en place d'un indicateur implique la création d'une base de données, où pour chaque objet d'études (eau, bancs de galets, végétation, …), différentes métriques seront renseignées. Une métrique peut servir à créer plusieurs indicateurs et un indicateur peut être formé à partir d'une seule métrique ou de plusieurs.

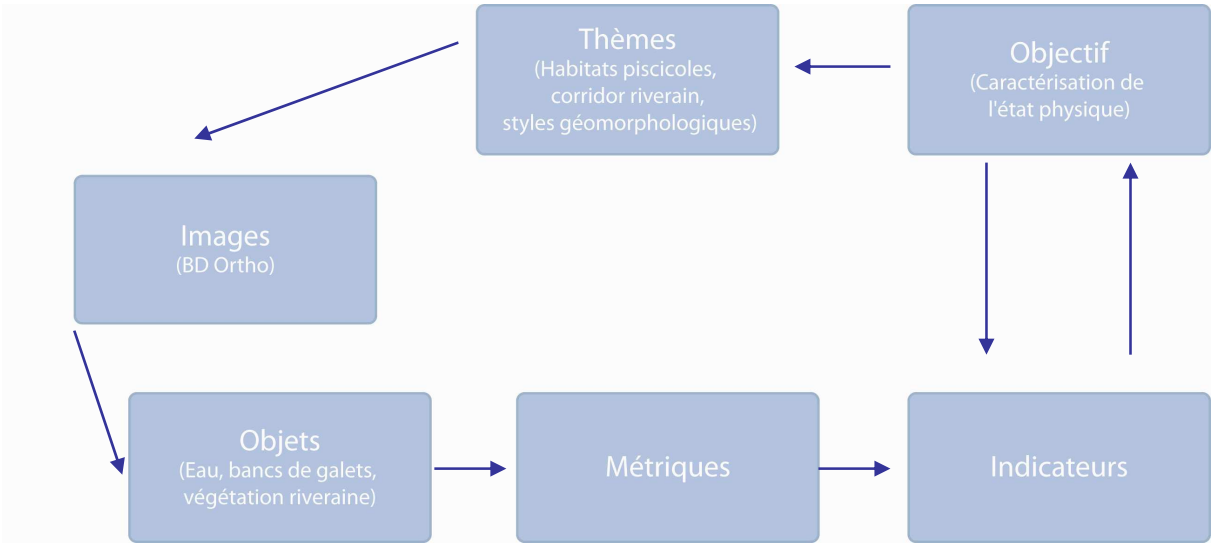


Figure 23 : Présentation de la démarche de création d'indicateurs

Une fois les métriques extraites, le nombre potentiel d'indicateurs est très important. Il dépend des objectifs et de la connaissance que l'on a du terrain. Il est donc possible d'en créer une multitude, comme : la densité d'alternance seuil / mouille par tronçon, les styles fluviaux, la densité d'écotone, ….

2 . Protocole d'extraction des métriques issues de la détection d'objets géographiques sur la BD Ortho®

Nous avons détecté une série d'objets, les UGO, à partir de la BD Ortho® : eau, bancs de galets, végétation riveraine, bande active. A présent nous nous penchons sur la possibilité d'**extraire des métriques à partir de ces objets** pour à terme créer des indicateurs d'état ou de suivi.

On peut dans un premier temps classer les métriques en trois groupes :

- les **métriques brutes** qui correspondent aux métriques extraites directement par unités spatiales (AGO ou DGO),

- les **métriques synthétiques** qui sont issues soient de la combinaison de plusieurs métriques brutes, soient de la combinaison de plusieurs objets,

- et les **métriques structurales** qui sont illustratives d'une structure spatiale.

a . Métriques brutes et synthétiques : extraction de métriques au sein d'unités spatiales agrégées ou définies de manière systématique

Les métriques brutes

Au niveau des unités spatiales, on peut extraire directement (Tableau 10) :

- Des **métriques géométriques**, comme la largeur de l'unité spatiale ou de sa surface par exemple. Dans ce cas-là, on se sert de l'information vectorielle.

- Des **métriques radiométriques** qui sont issues de la donnée raster. Ce type de métrique est mesuré en fonction de la valeur des pixels. Selon Robin (1995) (Figure 24), il existe 6 informations accessibles sur un objet (UGO ou AGO) : la couleur (ou niveau de gris), le contraste, la taille, l'orientation, la texture et la forme.

Tableau 10 : Présentation des différentes métriques pouvant être extraits par unités spatiales

* On distingue le chenal principal de la classe eau, qui représente le chenal principal et les bras secondaires.
** Les métriques radiométriques regroupent toutes les métriques mesurées à partir des valeurs des pixels, mais aussi de l'agencement des pixels entre eux (forme, taille, …).

Objets	Unités spatiales		Support		Métriques radiométriques	Métriques géométriques		
	10 m	100 m	Raster	Vecteur	Valeurs radiométriques**	Largeur	Surface	Coordonnées (x ; y)
Eau*		X		X			X	
Bancs de galets		X		X			X	
Végétation		X	X	X	X	X	X	
Chenal principal*	X		X	X	X	X		
Bande active		X				X	X	X
Outils utilisés					*ArcMap - statistiques zonales*	*ArcMap - Calculer la géométrie*		*ArcMap - les coordonnées X ; Y*

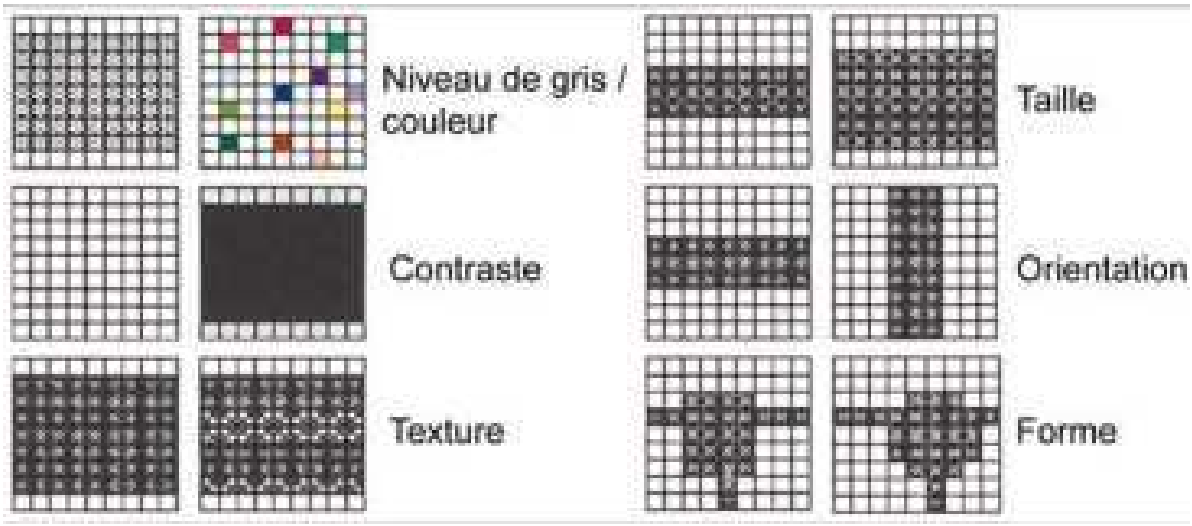


Figure 24 : Les six informations accessibles sur un objet (Lejot, 2008 d'après Robin, 1995)

Les métriques synthétiques

Une fois les métriques brutes extraites, il est possible de combiner plusieurs d'entre elles pour créer de nouvelles métriques, que l'on appellera des **métriques synthétiques**. Ces métriques peuvent également êtres construites en fonction non pas des données (largeur, surface, …) d'un seul objet mais de plusieurs objets. Voici quelques exemples de métriques synthétiques :

- La densité d'écotone, qui correspond au rapport de longueur de contact entre deux objets par unité de surface ou de longueur par unités spatiales (DGO ou AGO). Cette densité est un indicateur de l'intérêt et de la diversité écologique d'un secteur.

- L'indice de sinuosité, qui indique le taux de sinuosité d'un cours d'eau, se calcule en divisant la longueur de la bande active par la longueur du fond de vallée.

- *Le* nombre de ponts par kilomètre, qui est calculé en dénombrant le nombre de ponts par unités spatiales. Cette métrique peut avoir plusieurs sens. Elle rend compte d'un niveau d'anthropisation, ou d'un niveau de fragmentation du corridor naturel.

Ces différentes métriques, brutes ou synthétiques, donnent une information à l'instant t et, permettent ainsi de faire un état des lieux répondant à une question donnée. Or si l'on souhaite avoir un suivi, faire une comparaison entre plusieurs états, il faut construire des métriques temporelles par agrégation d'états.

Ainsi, on peut, par exemple, étudier le taux d'érosion entre deux dates, en superposant la surface de bancs de galets par unités spatiales à l'instant t et à l'instant t-n (Figure 25).

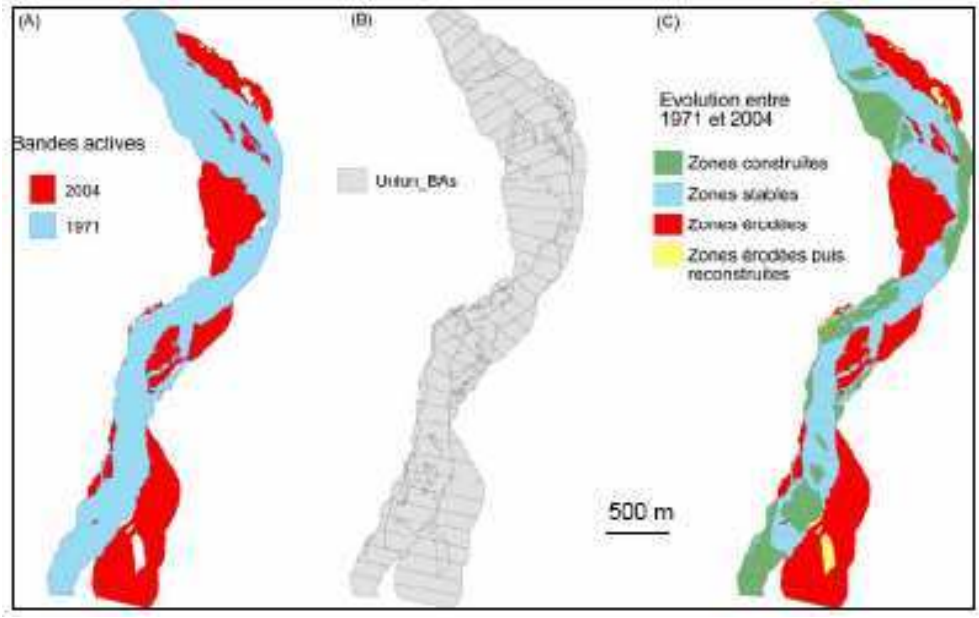


Figure 25 : Détermination de l'instabilité latérale sur une section le Buech entre 1971 et 2004 à partir de deux photographies aériennes

b . Métriques structurales : extraction d'une structure spatiale …

Les indicateurs construits à partir des métriques structurales permettent de mettre en valeur les **différentes structures qui s'expriment le long d'un continuum**. La mise en valeur de ces structures peut se faire de deux façons : soit par **détection de rupture**, soit en **analysant le signal**.

Ces métriques permettent de mettre en valeur les variations ou évolution d'un type de données le long d'un linéaire. On peut par exemple :

- Étudier la largeur de la bande active de l'amont vers l'aval et ainsi détecter les zones où la bande active est étroite, ce qui peut être synonyme d'anthropisation (endiguement).

- Observer les secteurs où la texture de la végétation est plus prononcée, ce qui peut faire apparaître des zones où la végétation est plus dense.

On caractérise donc la structure longitudinale du signal en détectant la variabilité de l'information, sa régularité ou sa répétitivité, mais également ses maxima et minima locaux. On observe l'information de manière globale, sur l'ensemble du réseau de l'amont vers l'aval.

… par détection de rupture

Le test statistique de Pettitt (Renard, 2006) est utilisé pour détecter les ruptures à l'intérieur du signal, autrement dit il sert à faire un seuillage de l'information. Il s'agit d'un test de rupture par la moyenne. Ce test non paramétrique est basé sur le test de Mann Whitney (Pettitt, 1979). L'hypothèse nulle de ce test est l'absence de rupture dans la série Xi de N données.

Le signal et son traitement

Un **signal** se définit généralement comme une *entité véhiculant une information et ce, dans n'importe quel domaine.* Il peut s'agir d'une onde acoustique transmettant une information musicale, ou d'une onde lumineuse transmettant de la lumière. Autrement dit, le signal représente la description mathématique d'une onde, d'une impulsion ou de toute autre séquence, permettant de voir *l'intensité d'un phénomène en fonction d'une ou plusieurs variables indépendantes*, comme le temps, la température ou la distance. La simple observation de ce signal permet de relever son début, sa fin, et ses variations, mais elle ne permet pas d'identifier ses périodicités[5] (ses fréquences[6])

Un signal peut se classer de différentes manières :

- La *classification dimensionnelle* : qui dépend du nombre de variables.
- La *classification phénoménologique* : en fonction du caractère déterministe (pouvant être prédit par un modèle mathématique) ou aléatoire du signal.
- La *classification morphologique*.

Le **traitement d'un signal** est la procédure permettant d'extraire l'information, de la mettre en forme pour in-fine permettre la reconnaissance des formes composants le signal afin de l'interpréter.

La **simplification du signal** passe par sa décomposition en une somme de fonctions basiques (sinus, ou cosinus) c'est-à-dire en une **somme de sinusoïdes simples**. La somme de toutes les ondes forment **l'onde totale** (Figure 26). Le signal se caractérise par *l'ensemble des amplitudes des sinusoïdes* qui la composent. On parle de fonction non périodique ou de signal quelconque, lorsque les sinusoïdes sont de fréquence et d'amplitude variables.

La théorie du signal fait donc référence à la représentation mathématique d'un signal dans le domaine de la ou des variables originales ou dans un domaine transformé, et à la modification (algorithmique) des signaux permettant d'extraire l'information utile.

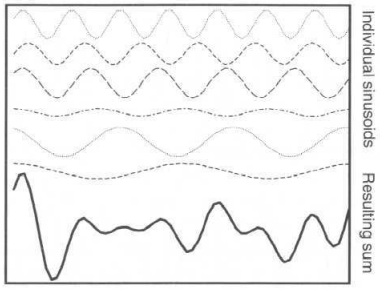


Figure 26 : la somme de plusieurs ondes sinusoïdales forme une onde totale

[4] *Cette partie est tirée des publications suivantes : Burke Hubbard, 2000 ; Grossman & Torrésani, 2001 ; Demayer & al., 2003 ; Rioul, 2005; Quinquis, 2007.*

TP[5] *La périodicité se définit par ce qui se reproduit à intervalles réguliers.*

[6] *La fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit pendant une durée déterminée.*

Représentation du signal (Tableau 11)

De l'analyse de Fourier aux ondelettes de Gabor

C'est en 1807, que Joseph Fourier a montré qu'une **fonction** pouvait « s'écrire » comme la **somme de plusieurs sinusoïdes de fréquences différentes**. La décomposition du signal se fait en appliquant des coefficients multiplicateurs aux amplitudes, permettant de leurs attribuer plus ou moins d'importance et en décalant les phases, de sorte qu'on puisse les additionner ou les compenser. On obtient alors une nouvelle fonction exprimant le nombre de sinusoïdes de chaque fréquence qui compose le signal d'origine. Cette fonction est nommée **la transformée de Fourier de la fonction originale**. On parle d'une **série de Fourier**, lorsqu'elle s'applique à une **fonction périodique**.

Concrètement, **il s'agit de transformer une fonction, dépendant du temps, en une autre fonction dépendant de la fréquence**. Autrement dit, la fonction (ou signal), définit *dans un domaine original est transformé dans un autre domaine*, nommé domaine fréquentiel ou domaine transformé.

L'application de la TF ne se limite pas uniquement aux fonctions variant **dans le temps**, mais également à celles variant **dans l'espace**. D'un coté, on a la fréquence temporelle, qui se définit comme l'inverse du temps, et d'autre part on a la fréquence spatiale (ou nombre d'ondes) qui correspond à l'inverse de la longueur.

Bien qu'enregistrant la *même information*, *la TF et le signal d'origine* n'utilisent *pas le même langage* pour l'exprimer. Alors que le *signal* est défini dans l'espace réel et qu'il apporte une information sur son *évolution temporelle ou spatiale*, la *TF*, définie dans l'espace réciproque, ou *espace de Fourier*, ou « K-space » met en exergue des informations relatives aux *fréquences*.

Les informations sur le temps ou l'espace sont « cachées » dans la TF au niveau des phases, autrement dit au niveau des décalages existants entre les sinusoïdes.

La **TF** n'apportant pas d'information sur le temps, celle-ci ne peut **pas s'appliquer à des signaux caractérisés par des changements brusques**. Elle permet d'avoir une idée sur la régularité du signal (variation rapide ou lente), mais elle *ne permet pas la localisation de l'information*. Si la TF a de faibles valeurs pour des valeurs élevées de la fréquence, ceci veut dire que le signal varie rapidement, au moins dans certaines zones, et inversement.

C'est à Dennis Gabor, que l'on doit la **possibilité d'analyser un signal à la fois dans le temps et dans l'espace**. Il est à l'origine de l'application de **« fenêtres » à la TF**. Le signal est découpé en plages temporelles, également appelés des fenêtres. Sur chacune de ces plages, on applique une analyse de Fourier. Une fois la plage analysée, on passe à la suivante. C'est pourquoi on parle de **transformée de Fourier à fenêtre glissante**.

L'inconvénient de cette méthode porte sur la *longueur de la fenêtre, ou échelle*, qui reste *fixe*, ne permettant donc pas de prendre en compte les phénomènes dont les échelles de temps sont très différentes.

Bien que le signal soit représenté en fonction du temps et de la fréquence, une analyse multi-échelle (multirésolution) permettrait de compléter l'analyse du signal.

L'analyse multi-échelle : les ondelettes (Figure 27 et Figure 28)

Pour faire face à cette difficulté, Morlet a préféré *modifier la taille de la fenêtre*, que de faire varier le nombre d'oscillations au sein de cette fenêtre, comme le faisait Gabor. Il garde le *nombre d'oscillations constantes* en faisant varier la taille de la fenêtre par **contraction** et **dilatation**. Pour tenir compte de la régularité locale, l'analyse par ondelettes adopte le **concept d'échelle**. Ce qui la différencie des *méthodes précédentes* qui s'attachaient au *concept de fréquence*. La **transformée en ondelettes** est **une fonction à deux variables : le temps et l'échelle**.

En jouant sur le facteur d'échelle, on fait une sorte de zoom avant/arrière sur une portion du signal. Les ondelettes *s'adaptent automatiquement aux différentes composantes du signal* : **fenêtre étroite pour regarder les composantes de haute fréquence et fenêtre large pour regarder les composantes de longue durée, de basses fréquences**. Elles sont de formes constantes, ne se différenciant que par leur taille. C'est à ce niveau là que se trouvent la différence avec les fenêtres de Gabor, les ondelettes sont translatées et dilatées tandis que les *fenêtres de Gabor* sont *déplacées et modulées.*

Le **signal** correspond à la **somme des ondelettes**. L'analyse du signal se fait avec la même fonction. On part d'une fonction, appelée « ondelette-mère », qui est localisée et oscillante. Ensuite cette ondelette engendrera d'autres ondelettes par dilation[7] et translation. Les ondelettes sont *localisées en temps et en fréquence*, et doivent leur caractère localisé au fait que la fonction est non nulle sur un intervalle fini, et nulle partout ailleurs. Par rapport à la transformée de Fourier, l'analyse en ondelettes à des **résolutions temporelles et fréquentielles différentes en tous points du plan temps-fréquence** ou espace et fréquence.

Le *signal* est *d'abord étudié à la résolution la plus fine*. L'algorithme répétera la procédure à une résolution demie de la précédente tant que le signal n'aura pas perdu sa substance. En général, 5 niveaux de résolutions sont utilisés.

La régularité d'une fonction se traduit par sa rapidité à varier. *Plus une fonction est régulière, plus ses coefficients d'ondelettes décroissent vite quand l'échelle décroît* et inversement. L'analyse en ondelettes permet aisément **l'étude des discontinuités** (variations très rapides, sauts, marches) car l'ondelette détecte ces singularités.

En fonction de l'échelle, l'information sur le signal sera plus ou moins détaillée.

- les **hautes échelles**, qui correspondent aux **basses fréquences** apportent une information **globale**, non détaillée, généralement sur la **durée entière du signal**.

[7] *Dilater dans le sens d'étirer et de comprimer.*

- tandis que les **basses échelles (hautes fréquences)** offrent une vision beaucoup plus détaillée d'un modèle, se produisant sur un **temps relativement court** et qui est **caché dans le signal**.

L'échelle comme une opération mathématique, dilate ou comprime un signal. Les grandes échelles correspondent aux signaux dilatés et les petites échelles aux signaux comprimés. La valeur du paramètre d'échelle (a) est toujours positive :

- si **a<1** : la fonction d'ondelettes est **contractée**.
- si **a>1** : la fonction d'ondelettes est **dilatée**.

Pour conserver l'énergie de l'ondelette d'une échelle à l'autre il suffit d'utiliser le coefficient pondérateur $|a|^{-1/2}$.

L'objectif de la fonction ondelette est de pouvoir analyser les composantes de haute et basse fréquences du signal en adoptant automatiquement une résolution temps – fréquence adéquate. L'aire temps – fréquence des ondelettes est constante car indépendante du paramètre d'échelle.

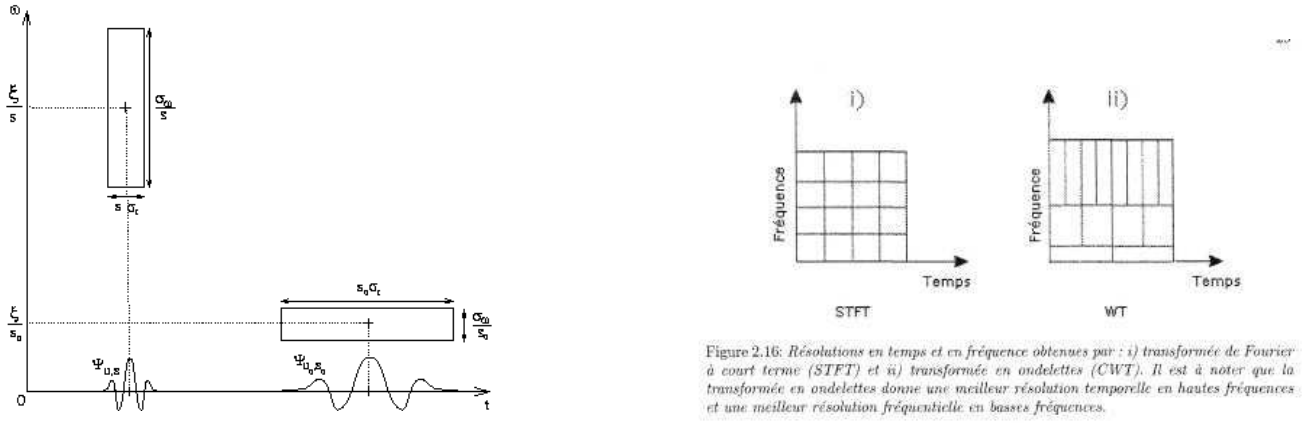


Figure 2.16: *Résolutions en temps et en fréquence obtenues par : i) transformée de Fourier à court terme (STFT) et ii) transformée en ondelettes (CWT). Il est à noter que la transformée en ondelettes donne une meilleur résolution temporelle en hautes fréquences et une meilleur résolution fréquentielle en basses fréquences.*

Figure 27 : Présentation de différents types d'ondelettes

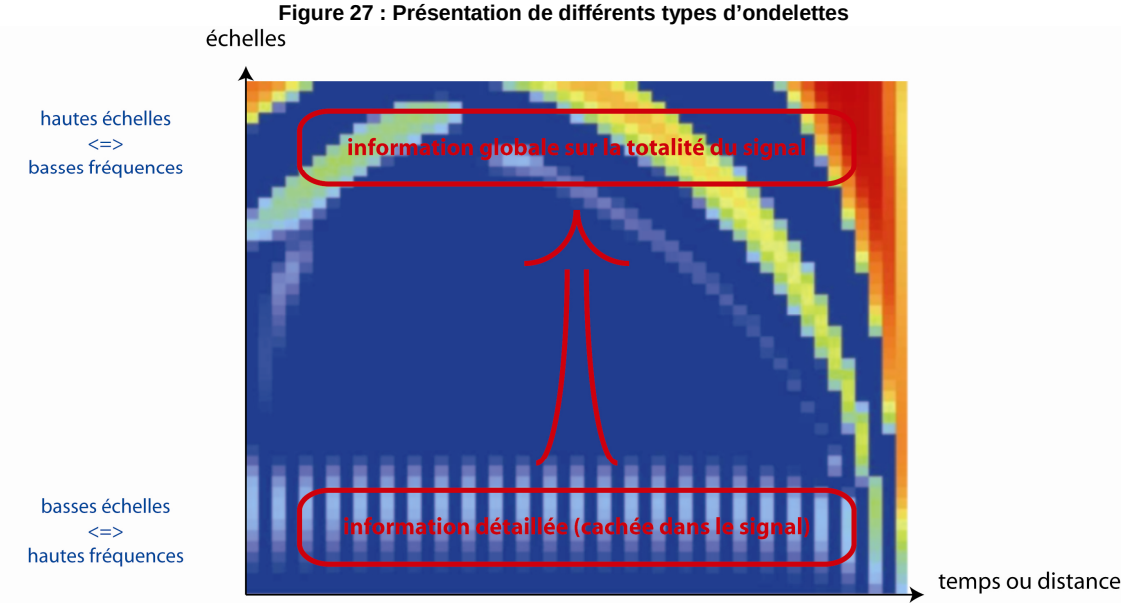


Figure 28 : Exemple de lecture d'une ondelette de Morlet

Tableau 11 : Récapitulatif des différentes méthodes de traitements du signal avec leurs avantages et inconvénients

	type de décomposition	fonction analysante	variable	information	signaux auxquels la transformée convient	remarque
transformation de Fourier	fréquence	les sinus et cosinus, qui oscillent indéfiniment	fréquence	les fréquences qui composent le signal	les signaux stationnaires (prévisibles, car obéissant à des lois constantes)	avec la transformation de Fourier rapide (FFT), la transformée de Fourier d'un signal de n points nécessite n log n calculs
transformation de Fourier à fenêtre	temps - fréquence	une onde limitée dans le temps, multipliée par des oscillations trigonométriques (sinus et cosinus), la taille de la fenêtre est fixe pour chaque analyse, mais la fréquence à l'intérieur de la fenêtre varie,	fréquence; position de la fenêtre	plus la fenêtre est petite, mieux on localise dans le temps, mais on perd l'information sur les basses fréquences; avec des fenêtres plus larges, on accède aux basses fréquences, mais on localise mal dans le temps,	les signaux quasi-stationnaires (stationnaires à l'échelle de la fenêtre)	on la nomme parfois "short-time Fourier analysis", car on fait coulisser la fenêtre le long du signal pour ne regarder qu'un intervalle à la fois, qd l'enveloppe est une gaussienne, la transformation est parfois nommée "transformation de Gabor". La transformation de Fourier rapide (une forme de série de Fourier) est orthogonale
transformation en ondelettes	temps-échelle (le changement d'échelle entraîne un changement de la fréquence)	une onde limitée dans le temps, avec un nombre fixe d'oscillations; on contracte ou dilate l'ondelette pour changer la taille de la "fenêtre", et donc l'échelle à laquelle on regarde le signal: la "fréquence" de l'ondelette change en même temps,	l'échelle (donc la fréquence, approximativement) ; la position de l'ondelette	avec des ondelettes étroites, on localise bien en temps, mal en fréquence. Avec des ondelettes larges, on localise bien en fréquence, mal en temps.	les signaux non stationnaires, surtout les signaux brefs et les signaux qui ont une structure intéressantes aux diverses échelles (les fractales, par exemple)	une transformée en ondelette peut être continue ou discrète; une transformée discrète peut être orthogonale, biorthogonale ou non-orthogonale. La transformée en ondelettes orthogonales d'un signal de n points nécessite cn calculs, où la constante c dépend de la complexité de l'ondelette employée

CHAPITRE 2 - TESTS : PRESENTATION D'INDICATEURS

Partie 1. Extraction de métriques brutes à partir des objets et seuillage de l'information _____39

A . Extraction des métriques _____ 39

B . Mise en place de grilles de lecture _____ 40

Partie 2. Etude des habitats piscicoles_____42

A . Présentation _____ 42

B . Détermination des faciès géomorphologiques _____ 43

C . Récapitulatif de la démarche _____ 45

Partie 3. Détermination des styles fluviaux _____46

A . Présentation _____ 46

B . Des tronçons géomorphologiquement homogènes _____ 46

C . Attribution du style fluvial _____ 47

1 . Choix des métriques utilisées pour la détermination du style fluvial 47

2 . Présentation des deux étapes permettant le regroupement en différents types fluviaux..... 48

D . Récapitulatif de la démarche (Figure 46) _____ 53

Partie 4. Identification d'ecotones _____54

A . Présentation _____ 54

B . Extraction des métriques nécessaires à la détermination des écotones _____ 54

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté une démarche permettant **l'extraction de métriques à partir de photographies à très haute résolution** (BD Ortho de l'IGN – résolution spatiale : 50 cm) permettant à terme la mise en place d'indicateurs. Dans ce chapitre nous mettons en pratique cette méthode que nous illustrerons par plusieurs exemples. Il s'agit de tests effectués sur le bassin de la Drôme.

- Dans une première partie, nous présenterons simplement différentes **données brutes** extraites des objets (eau, bancs de galets, végétation riveraine) à partir de données vectorielles et rastérisées. Puis nous verrons comment ces données peuvent être simplifiées afin de les rendre plus lisibles en appliquant le test statistique de Pettitt.

- Dans une deuxième partie, nous allons présenter la possibilité de déterminer des **faciès géomorphologiques** à partir des valeurs extrêmes d'un signal radiométrique extrait le long d'un linéaire. Ces faciès serviront à terme de base pour l'étude des habitats piscicoles.

- Dans une troisième partie, nous montrerons comment déterminer les **styles fluviaux** à partir de métriques extraites uniquement par des outils géomatiques, et sans être dans l'obligation de collecter des données sur le terrain.

- Puis dans une dernière partie nous montrerons quelques pistes permettant de caractériser la complexité écologique de la **mosaïque paysagère**, à partir des écotones présents dans le corridor alluvial.

> ***Rappel***
>
> *DGO – objets géographiques désagrégés par des segments de désagrégation (unités spatiales de 10 m ou 100 m).*
>
> *UGO – objets géographiques unitaires. Classes d'objets : eau, végétation, bancs de galets, ….*
>
> *AGO – objets géographiques agrégés. Regroupement de DGO ayant des valeurs similaires.*

PARTIE 1. EXTRACTION DE METRIQUES BRUTES A PARTIR DES OBJETS ET SEUILLAGE DE L'INFORMATION

A . EXTRACTION DES MÉTRIQUES

Nous avons extrait pour chacun des objets (UGO) par unités spatiales de 10 ou 100 m (Figure 29) :

- La largeur et la surface. Il s'agit de données issues des données vectorielles. Ce sont des métriques géométriques.

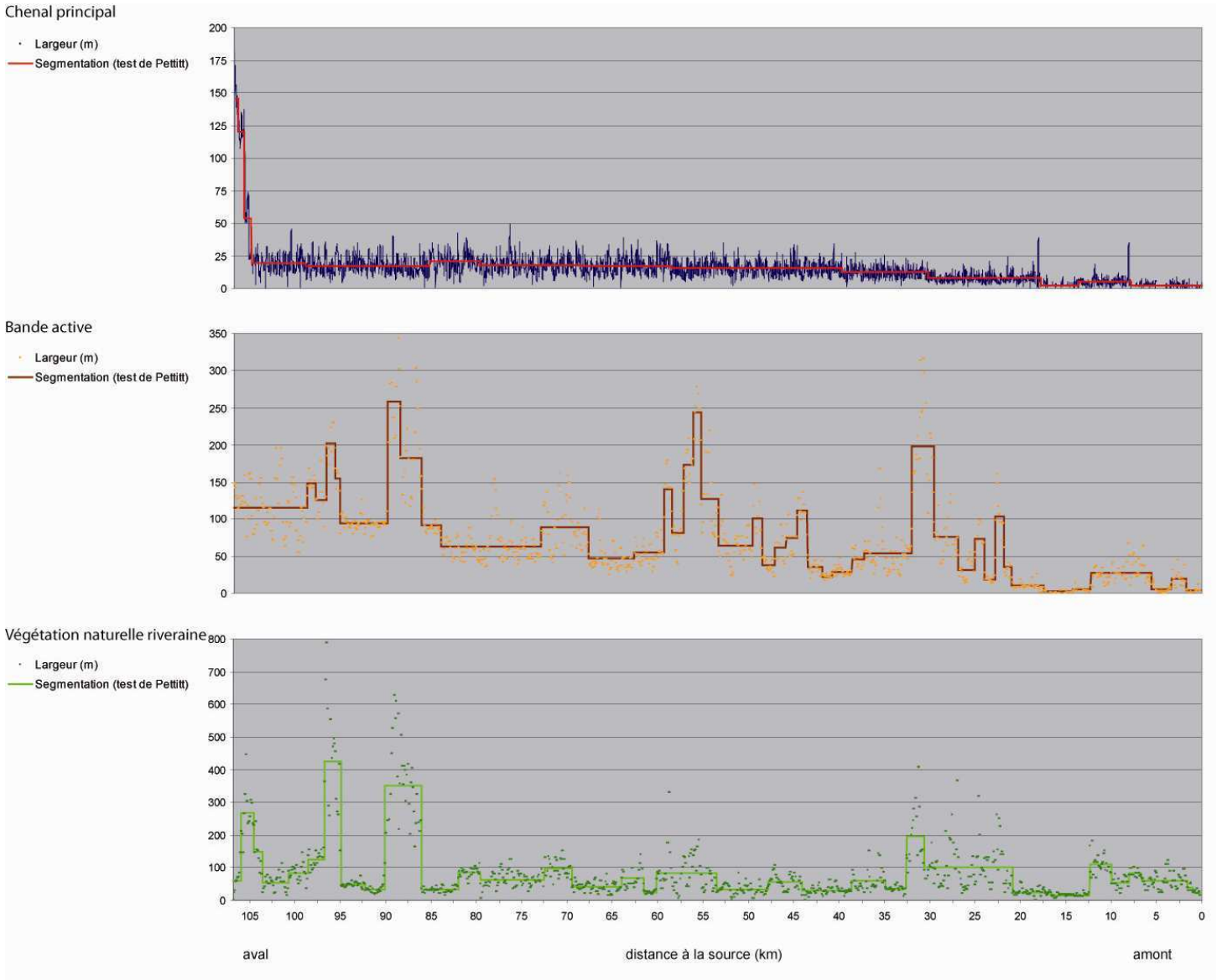


Figure 29 : Largeur du chenal principal (tous les 10 m), de la bande active (tous les 100 m) et de la végétation naturelle riveraine (tous les 100 m) et segmentation de cette information par le test statistique de Pettitt.

▪ Les valeurs radiométriques moyennes dans le canal rouge (Figure 30) pour chaque unité spatiale (DGO) composant le chenal en eau principal (sans les bras secondaires).

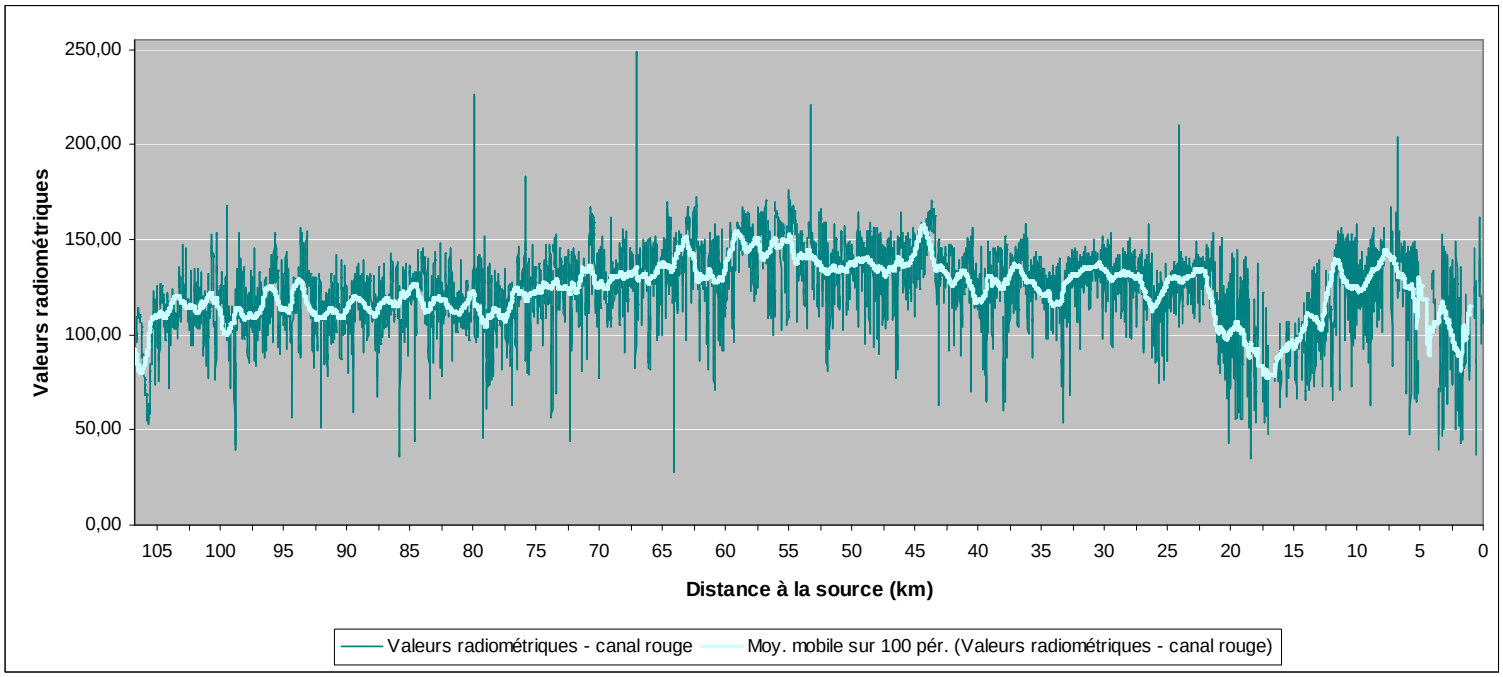


Figure 30 : Extraction des valeurs radiométriques dans le chenal principal tous les 10 m. (Une valeur élevée apparaît plus clair à l'œil qu'une valeur faible).

B . MISE EN PLACE DE GRILLES DE LECTURE

Afin de nous aider à commenter nos premiers résultats, nous avons mis en place deux « canevas ». Il s'agit de deux **grilles de lecture** (Figure 31), permettant d'obtenir une interprétation rapide des résultats. Ainsi, par exemple, la localisation des différentes confluences peuvent expliquer un élargissement de la bande active.

Le premier canevas est dit « **géographique** », il regroupe un certain nombre d'informations concernant l'environnement géographique du cours d'eau (ville, changement de vallée, affluent). Le deuxième canevas est dit « **radiométrique** », car il précise la position des dalles de la BD Ortho® tout au long du linéaire du cours d'eau. C'est une information importante. En effet, la date de prise de vue peut-être différente d'une dalle à l'autre, ce qui peut avoir des répercussions sur les valeurs radiométriques brutes que l'on obtient. Par exemple, au sein du chenal, une évolution des valeurs radiométriques peut faire songer à un changement dans la nature du fond du chenal, alors qu'en réalité ces variations radiométriques peuvent tout simplement s'expliquer par des dates et des heures de clichés différentes.

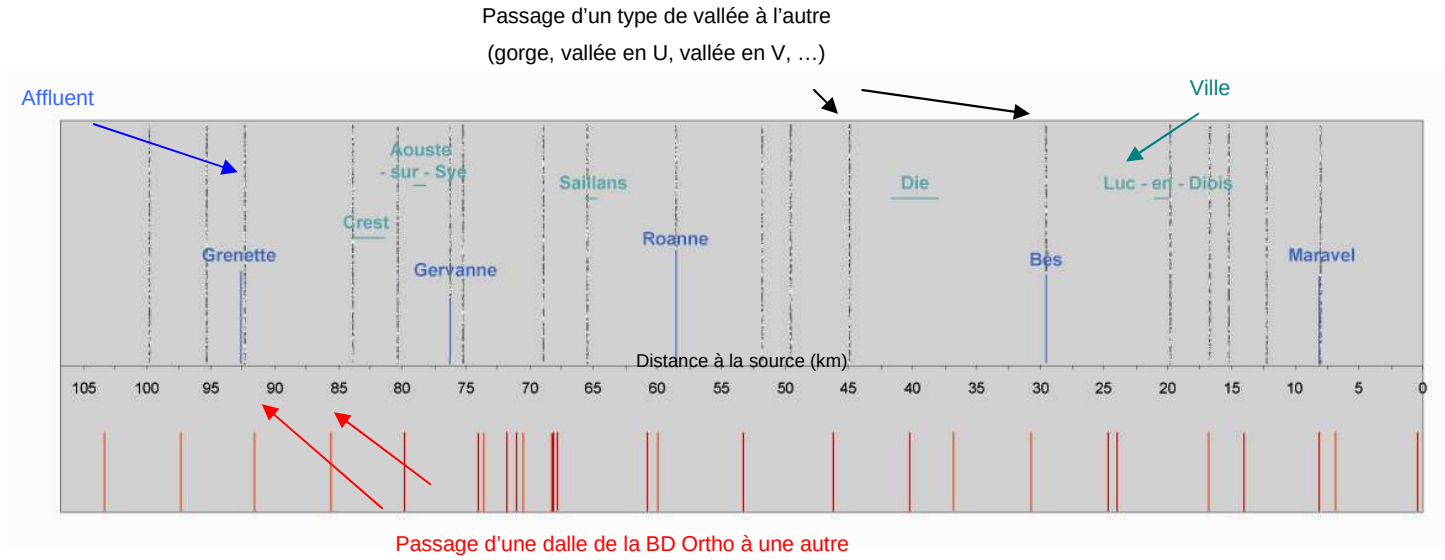
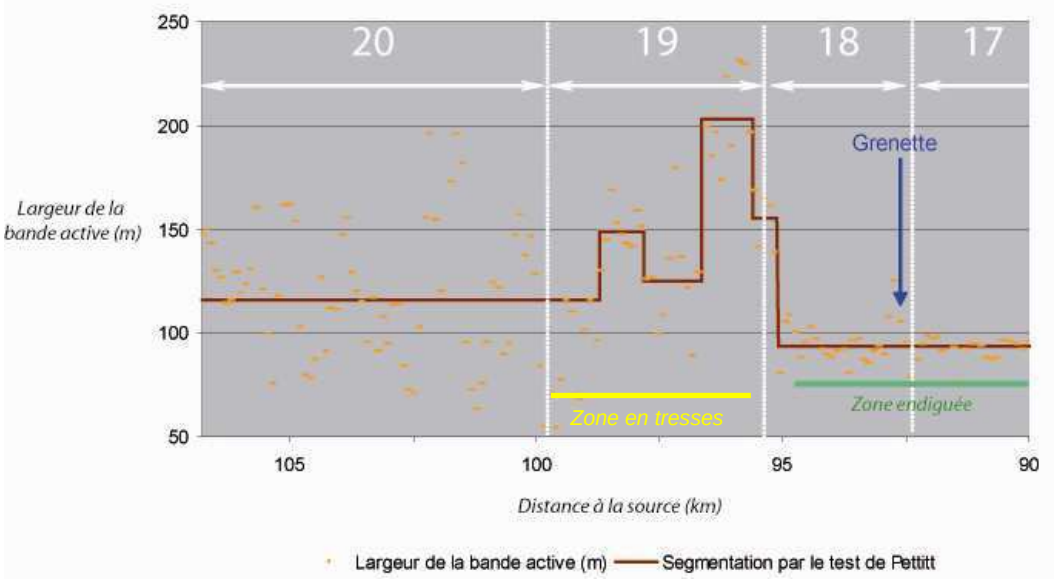


Figure 31 : Illustration des grilles de lecture du linéaire de la Drôme (en haut : géographique ; en bas : radiométrique)

Nous présentons ci-dessous un exemple (Figure 32) montrant l'intérêt d'une grille de lecture. Sur la partie aval du linéaire de la Drôme, on constate un élargissement de la bande active qui correspond au tronçon du fond de vallée n°19 (Alber & al. (200 8)). L'exemple montre que la superposition de la métrique et du contexte géographique globale permet une première analyse des résultats avec ici l'exemple de la mise en évidence d'une succession d'un secteur étroit, correspondant à une zone endigué (17, 18), d'un secteur large, zone en tresses (19) et enfin d'un secteur de largeur moyenne (20).



Numéro de tronçons de fond de vallée	Longueur (m)	Largeur moyenne du fond de vallée (m)	Indice de sinuosité	Indice de confinement* médian (Alber & al., 2008)
17	8093	2389	1,08	0,03
18	2838	2392	0,81	0,01
19	4095	1050	1,26	0,11
20	6859	4573	1,02	0,02

* IC (i, j) = Ampl (i, j) / WBW (i, j) avec Ampl. : amplitude des arcs hydrographique et WBW : largeur du fond de vallée

Figure 32 : Illustration de la largeur de la bande active sur le linéaire de la Drôme

Ce premier niveau d'analyse est évidemment insuffisant par rapport aux objectifs de caractérisation. Néanmoins cela permet la visualisation de l'information spatialisée ainsi qu'une première appropriation de l'information en analysant les grandes tendances et en faisant ressortir les principaux ensembles.

PARTIE 2. ETUDE DES HABITATS PISCICOLES

A . PRÉSENTATION

La DCE exige qu'à moyen terme le bon état écologique des milieux aquatiques soient atteint. Pour y parvenir, il est donc nécessaire de faire un état des lieux des conditions biologiques des masses d'eau. Les poissons sont considérés comme un indicateur de cet état. Or les paramètres physiques influencent la qualité de l'habitat de ces populations. Il y a donc un intérêt sérieux à caractériser cet habitat et à le relier aux données biologiques.

Pour caractériser les habitats[8] piscicoles, il faut en premier lieu extraire les faciès morphologiques. Il s'agit donc de mettre en place une **méthode d'extraction des seuils et des mouilles**. Les images offrent potentiellement la capacité à passer d'une caractérisation stationnelle à une caractérisation continue sur l'ensemble du réseau.

Notre postulat de départ est que les valeurs radiométriques extraites à partir du chenal en eau vont permettre de détecter les mouilles et les seuils. En effet, sur une photographie aérienne, il est assez facile de repérer les mouilles, qui sont des zones apparaissant plus foncées à l'œil que le reste du chenal, ce qui se traduit en analyse spectrale, par une faible radiométrie. Donc selon cette hypothèse **les variations radiométriques peuvent permettre la détection des différents faciès présents au sein du chenal**.

[8] L'habitat se définit comme le milieu le mieux adapté à la vie d'une espèce. L'écosystème aquatique combine une communauté vivante (biocénose) qui s'adapte à un environnement physique et chimique (biotope) particulier.

B . DÉTERMINATION DES FACIÈS GÉOMORPHOLOGIQUES

Pour valider ou invalider notre hypothèse concernant l'utilisation des valeurs radiométriques pour identifier les différents faciès du chenal en eau, un test a été réalisé.

1 – Il s'agit dans un premier temps d'identifier manuellement les seuils et les mouilles (Figure 33).



Figure 33 : Pointage manuel des seuils et mouilles au sein d'une zone test

2 – Puis dans un second temps, on observe le signal radiométrique. Nous avons choisi les valeurs radiométriques moyennes dans le canal rouge. Sur le graphique (Figure 34) représentant les valeurs radiométriques par rapport à la distance, nous avons positionné les seuils et les mouilles.

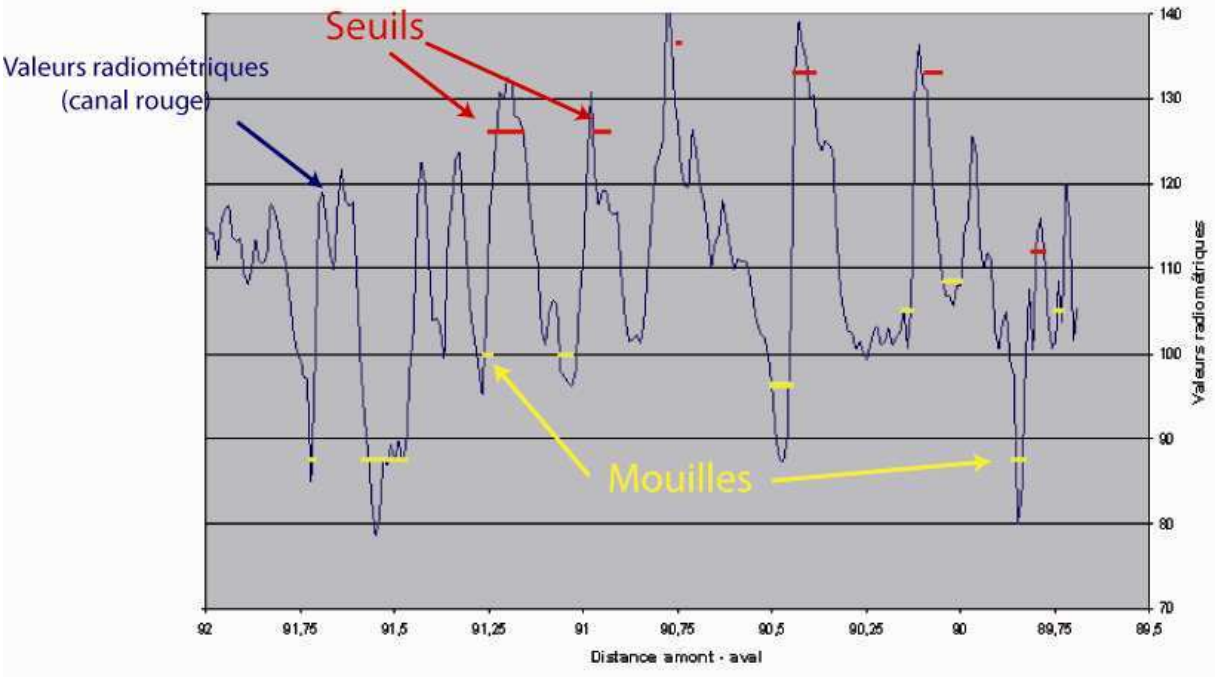


Figure 34 : Représentation du signal (valeurs radiométriques dans le canal rouge extraits dans le chenal en eau par unités de 10 m) et positionnement des seuils et des mouilles.

3 – Après étude du graphique, nous constatons que les seuils correspondent à des maxima locaux, et les mouilles à des minima locaux (Figure 35).

4 – Il semble donc intéressant d'explorer davantage la **question des valeurs minimales et maximales comme identifiant des différents faciès géomorphologiques**. Une fois les faciès détectés et positionnés sur une carte, nous pourront créer de nouvelles métriques, comme l'alternance seuil / mouille au sein d'un tronçon homogène.

Ces différents sujets seront abordés lors d'une prochaine étude, durant laquelle nous multiplierons les métriques et ferons le lien avec des données in situ de caractérisation de l'habitat : présence / absence des alternances seuil / mouille, leurs fréquences, leurs amplitudes afin de mettre en place des indicateurs de qualité physique.

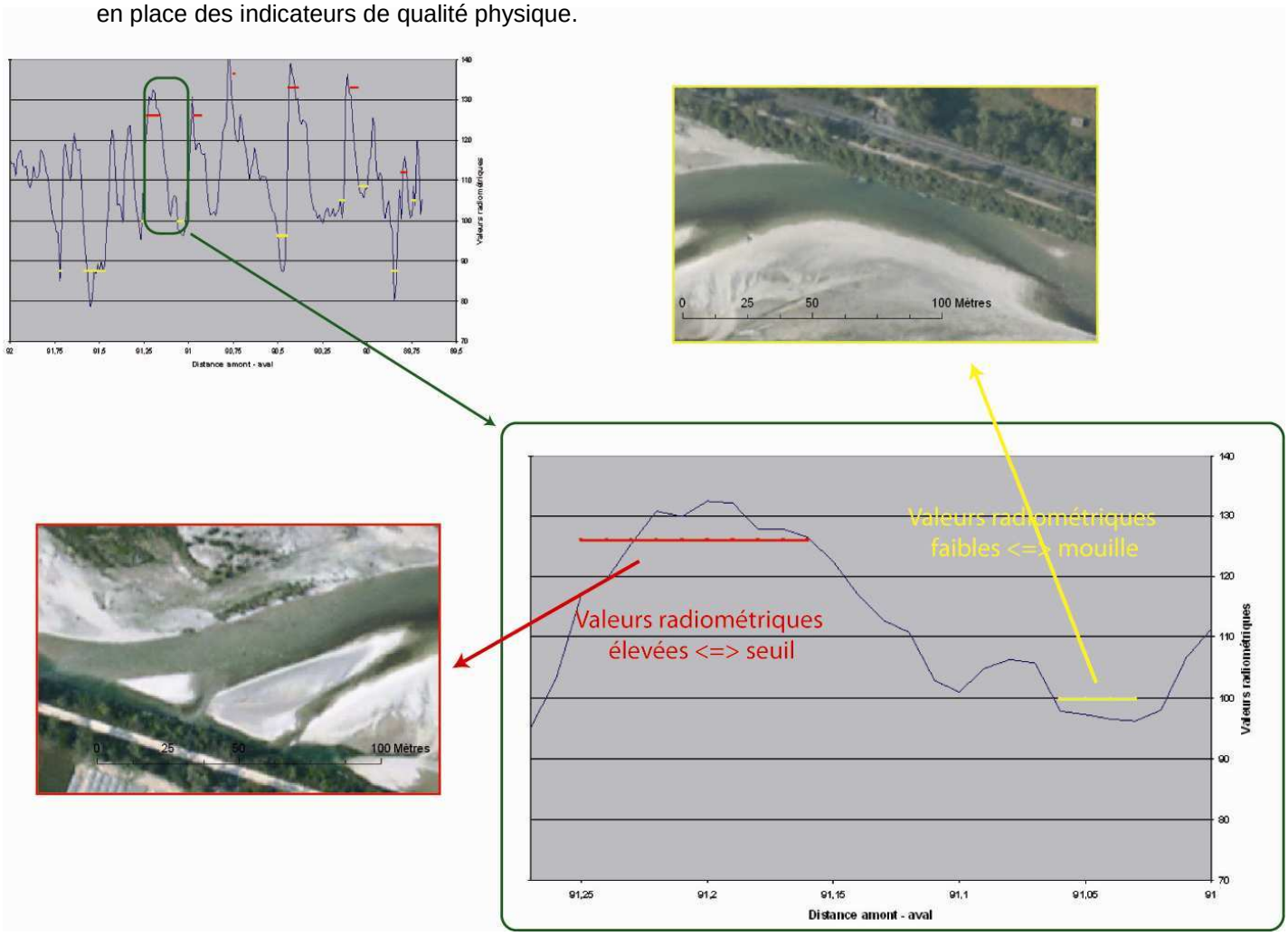


Figure 35: Valeurs radiométriques moyennes dans le canal rouge en fonction de la distance à la source (km)

C . RÉCAPITULATIF DE LA DÉMARCHE

L'étude du signal radiométrique doit se faire en deux phases (Figure 36) :

1 : extraction des valeurs radiométriques du chenal en eau.

2 : exploitation de ces valeurs à l'aide d'outils statistiques. Par exemple, on peut détecter des ruptures ou des structures au sein de la série avec un test statistique de Pettitt.

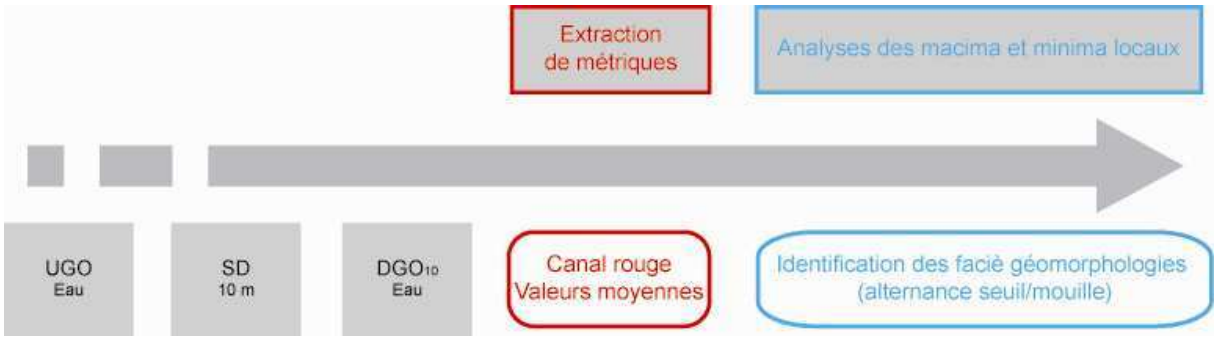


Figure 36: Illustration de la démarche d'extraction de métriques pour la détermination des habitats aquatiques

Méthode Extraction des valeurs radiométriques

Etape 1 : détection du chenal principal. La Drôme se caractérise par un tressage actif. Il est donc nécessaire de faire ressortir uniquement le chenal principal et non pas les chenaux secondaires car le signal alors calculé rendra compte de plusieurs faciès fusionnés. Ceci est fait de façon manuelle.

Etape 2 : mise en place d'un axe médian du chenal principal qui servira de base à la segmentation du cours d'eau (Alber & al., 2008).

Etape 3 : création de segments élémentaires de 10m.

Etape 4 : application de la fonction statistique zonale d'arc gis. Cette fonction permet d'extraire un certain nombre de paramètres sur la donnée raster.

PARTIE 3. DETERMINATION DES STYLES FLUVIAUX

A . PRÉSENTATION

On peut constater en se promenant le long d'un cours d'eau que le paysage fluvial évolue de l'amont vers l'aval. Le corridor naturel alluvial présente différents visages : allant du simple chenal en eau bordé d'un étroit linéaire de végétation, à des secteurs en tresses encerclés par de vastes forêts en passant par des zones méandriformes. Ce corridor alluvial ne peut pas être considéré comme une entité statique, ni dans l'espace, ni dans le temps.

De nombreux scientifiques (Leopold & Wolmann, 1957 ; Tricart, 1977 ; Schumm & Meyer, 1979 ; Kellerhals & Church, 1989) se sont penchés sur la question de la classification des styles fluviaux. Parmi eux, Leopold et Wolman (1957) ont mis en place une classification selon deux critères : la multiplicité des chenaux et l'indice de sinuosité. D'autres ont pris en compte des critères géométriques (pente, largeur, profondeur) ou des critères ayant un rapport avec la dynamique fluviale (charge solide, charge liquide) (Bravard & Petit, 2002). Il doit donc être possible de déterminer des styles fluviaux à partir de métriques pouvant être extraites à partir de la BD Ortho®. La détermination des styles fluviaux se fait en deux étapes :

- la première étape est la décomposition en tronçons homogènes,
- la seconde étape correspond à l'attribution pour chaque tronçon d'un style fluvial.

B . DES TRONÇONS GÉOMORPHOLOGIQUEMENT HOMOGÈNES

La construction des tronçons homogènes se fait en utilisant deux métriques :

- la largeur de la bande active (Figure 37),
- et la largeur du fond de vallée (Figure 38).



Figure 37 : segmentation de la bande active en fonction de la largeur (utilisation du test de Pettitt)

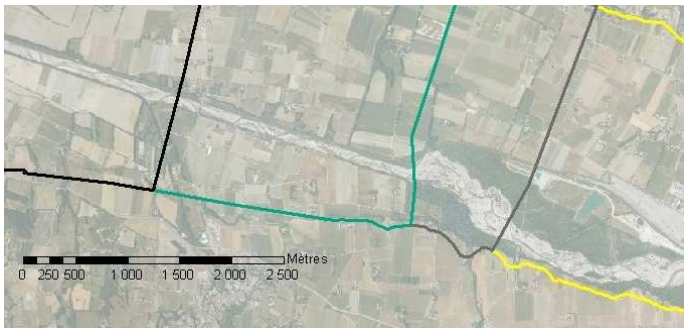


Figure 38 : segmentation du fond de vallée en fonction de la largeur (utilisation du test de Pettitt)

La largeur de la bande active a été calculée par unités spatiales de 100 m. ensuite, on a appliqué un test de Pettitt. Ce test statistique permet d'identifier des ruptures dans une série de données, ce qui nous a permis de segmenter la série de données (largeur de la bande active). Ainsi nous avons obtenu 43 tronçons homogènes. On a procédé de la même manière pour identifier des tronçons de fond de vallée, ce qui a permis d'en faire ressortir une vingtaine.

En combinant ces deux segmentations (bande active et fond de vallée), nous avons identifiés 55 tronçons géomorphologiquement homogènes (Figure 39).

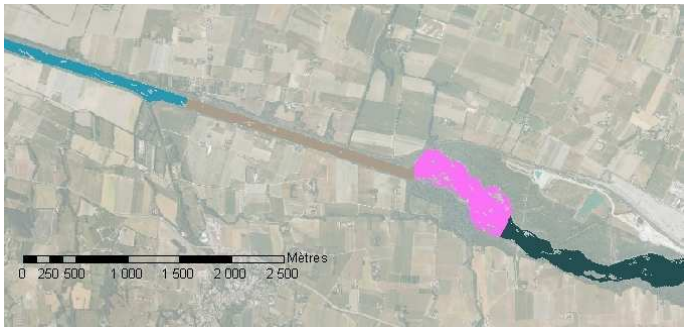


Figure 39 : tronçons géomorphologiquement homogènes en fonction de la largeur de la bande active (Figure 37) et de la largeur du fond de vallée (Figure 38)

C . ATTRIBUTION DU STYLE FLUVIAL

1 . Choix des métriques utilisées pour la détermination du style fluvial

Une fois les tronçons homogènes construits, il nous reste à déterminer le style fluvial de chacun de ces tronçons. Pour cela, nous avons choisi quatre métriques, qui caractérisent le style fluvial. Nous avons extrait chacune de ces métriques par unités spatiales de 100 m. Ces métriques (Tableau 12) sont :

- la **largeur de la bande active**. Elle nous permet de différencier les zones étroites des zones larges.
- **l'indice de confinement**. Il nous informe sur la possibilité ou non que peut avoir la bande active pour se déplacer latéralement. En effet, un confinement important peut réduire à terme la liberté de mouvement du cours d'eau.
- **l'indice de sinuosité**. Il indique le taux de sinuosité du cours d'eau (rectiligne, méandriforme, sinueux),
- le **taux surfacique eau / bande active**, qui permet d'apprécier la multiplicité des chenaux. Ce critère peut nous apporter différentes informations sur la diversité des milieux (chenal principal, îles végétalisées ou pas, chenaux secondaires) composant la bande active.

Tableau 12 : Récapitulatif des métriques utilisées pour la détermination du style fluvial

Nom de la métrique **Indication**	**Largeur de la bande active** (adimensionnelle) - Larg_ba_adim Largeur de la bande active			**Indice de confinement** - Ind_conf Confinement			**Indice de sinuosité** - Ind_sinu Sinuosité			**Taux surfacique eau / bancs de galets** - Eau/Ba Multiplicité des chenaux*		
Moyen d'acquisition				(larg_ba / larg_fdv)			(long_ba / long_fdv)			(surf_eau / surf_ba)		
Seuils	étroit 0 - 15 m	moyen 15 - 50 m	large > 50 m	confinés <0,05	partiellement confinés 0,05 – 0.15	non confinés > 0.15	rectiligne <1.05	sinueux 1.05 – 1.5	à méandres >1.5	chenal unique <0.3	chenal unique à bancs alternés 0.3-0.7	chenal en tresses > 0.7
Références	BD Carthage			Alber & al., 2008			Bravard et Petit, 2002					

2 . Présentation des deux étapes permettant le regroupement en différents types fluviaux

Étape 1 : classification ascendante hiérarchique (CAH)

Pour regrouper les tronçons en différents types, nous avons appliqué, à l'aide du logiciel SPSS, une classification ascendante hiérarchique (Figure 40) sur la série de données. Nous avons obtenu au départ 8 classes.

Explications de la classification ascendante hiérarchique

La classification ascendante hiérarchique permet de regrouper des individus sur la base de plusieurs variables. Cette méthode part de l'ensemble des tronçons homogènes, considérés chacun comme une classe, et réunit à chaque pas les deux tronçons les plus semblables en termes de valeurs des variables retenues jusqu'à obtenir une seule classe. La délimitation des groupes se lit sur le dendrogramme résultant de cette analyse.

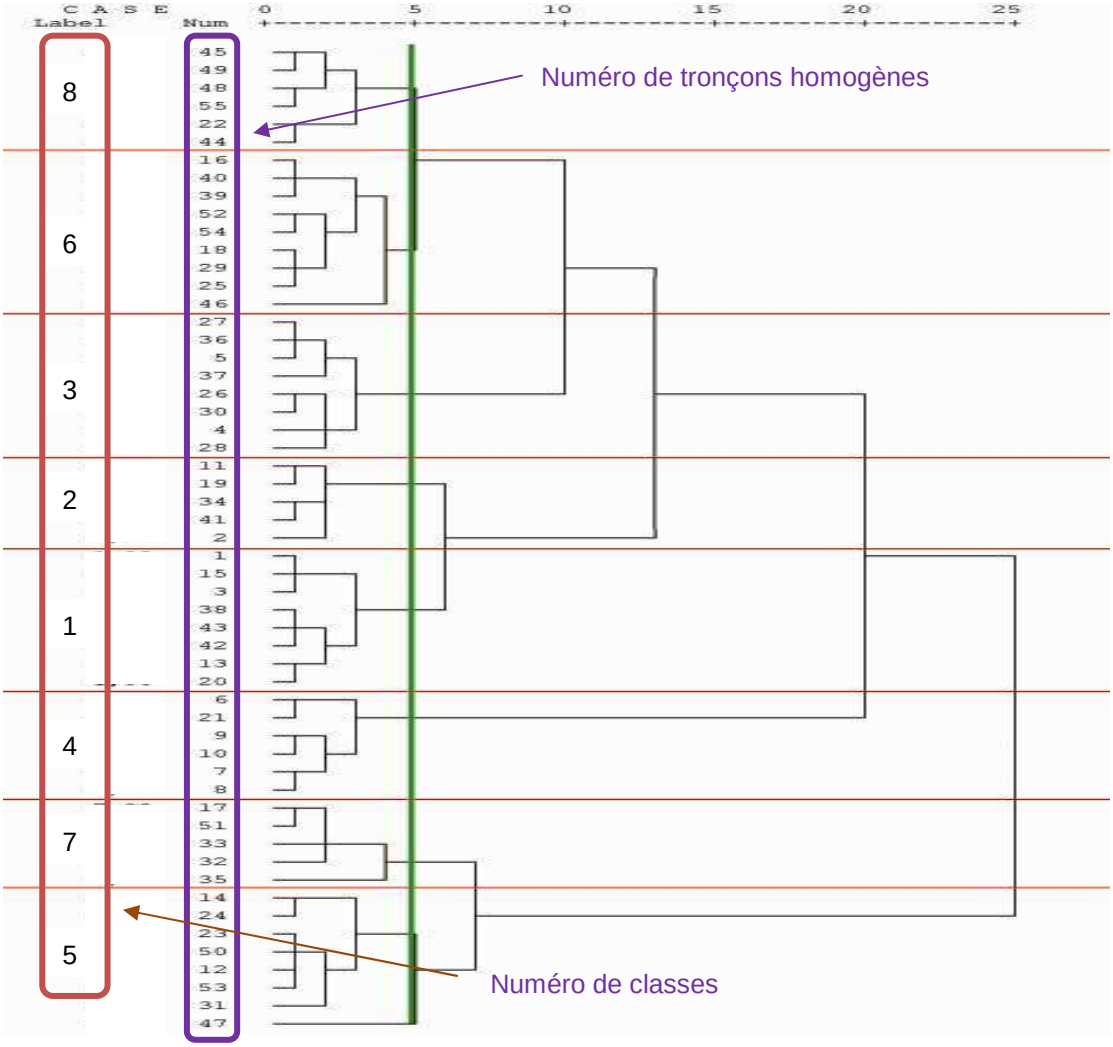


Figure 40 : Résultat de la classification ascendante hiérarchique

Étape 2 : box plot

Pour déterminer précisément à quel type de styles fluviaux correspond chacune des classes définie préalablement, nous avons étudié la distribution de chacune des métriques (largeur bande active, taux surfacique eau/bande active, indice de sinuosité et indice de confinement) par classes (pour chacune des 8 classes déterminées ci-dessus) à l'aide de boîtes à moustaches (Figure 41 ; Figure 42 ; Figure 43 ; Figure 44). Ainsi nous avons pu voir quelle(s) classe(s) se différenciaient des autres, mais aussi voir quels paramètres influençaient le plus chacune de ces classes. L'information extraite de ces graphiques a été rassemblée dans le Tableau 13.

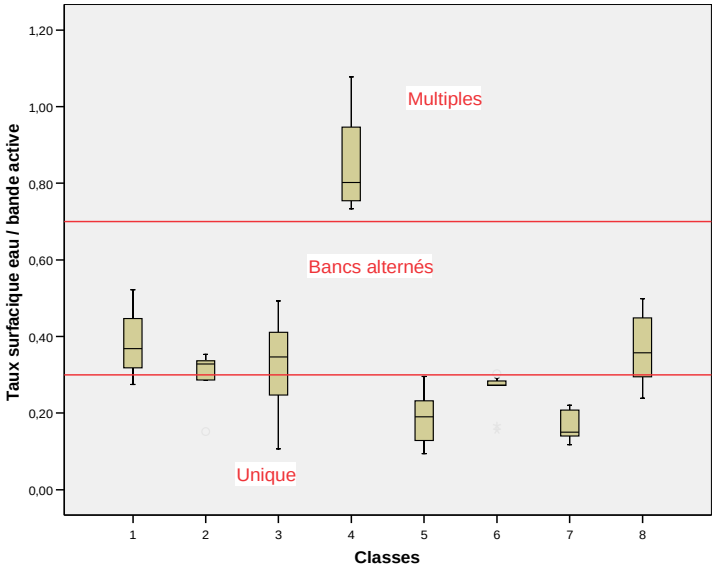


Figure 41 : taux surfacique eau / bande active

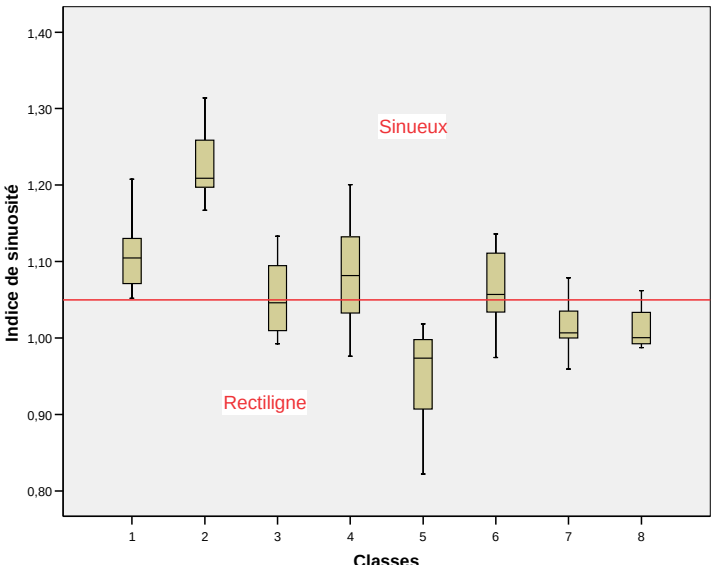


Figure 42 : indice de sinuosité

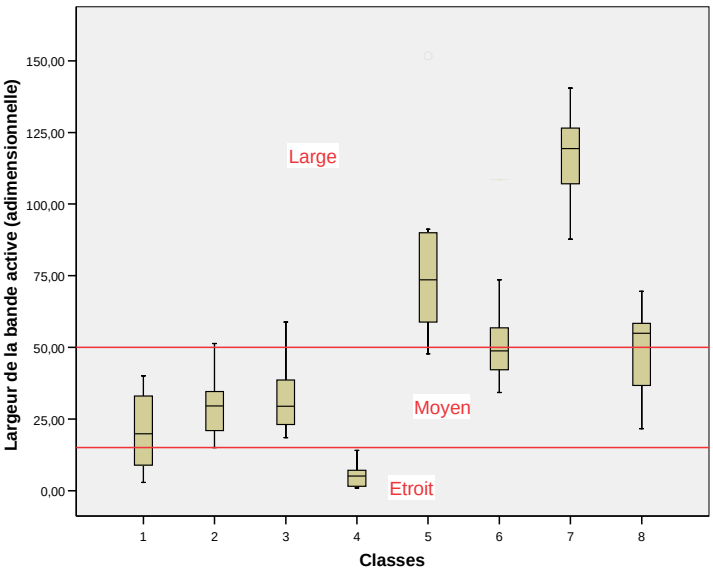


Figure 43 : Largeur de la bande active

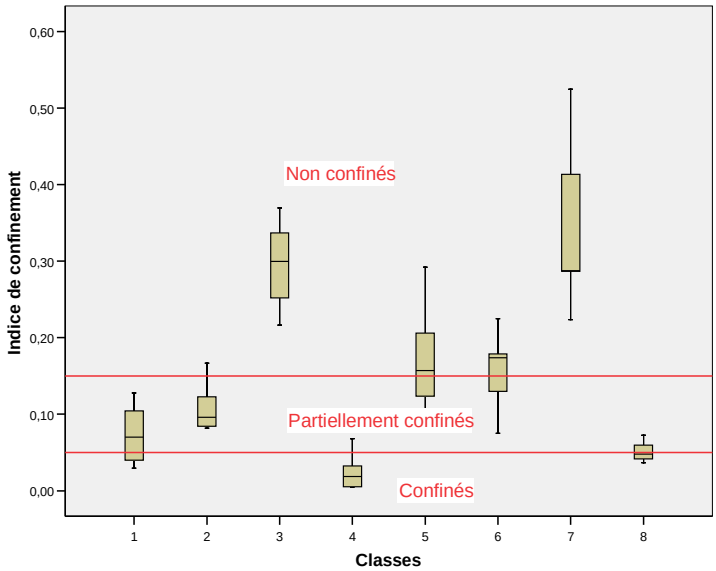


Figure 44 : indice de confinement

Tableau 13 : Détermination des styles fluviaux de façon automatique

Num. de classes (avant box plot)	Num. de styles fluviaux (après box plot)	Indice de sinuosité	Taux surfacique eau / bande active	Largeur de la bande active	Indice de confinement	Styles fluviaux	
3	1	rectiligne	unique à bancs alternés	moyen	non confinés	*Chenal unique à bancs alternés avec une bande active de largeur moyenne et non confinée*	Re - Ub - M - NCf
8	2	rectiligne	unique à bancs alternés	large	partiellement confinés	*Chenal unique à bancs alternés avec une large bande active partiellement confinée*	Re - Ub - L - PCf
5	3	rectiligne	multiples	large	non confinés	*Chenaux en tresses avec une large bande active et non confinée*	Re - Mu - L - NCf
7		rectiligne	multiples	large	non confinés		
4	4	sinueux	unique	étroit	confinés	*Chenal divaguant, étroit et confiné*	Si - Un - E - Cf
1	5	sinueux	unique à bancs alternés	moyen	partiellement confinés	*Chenal divaguant à bancs alternés avec une bande active de largeur moyenne et partiellement confinée*	Si - Ub - M - PCf
2		sinueux	unique à bancs alternés	moyen	partiellement confinés		
6	6	sinueux	unique à bancs alternés	large	non confinés	*Chenal divaguant à bancs alternés avec une large bande active et non confinée*	Si - Ub - L - NCf

Certaines classes mises en évidence par la CAH semblent en réalité similaire sur le plan du style. C'est pourquoi nous les avons regroupés. Nous avons donc déterminé **6 styles fluviaux,** représentés ci-dessous (Figure 45).

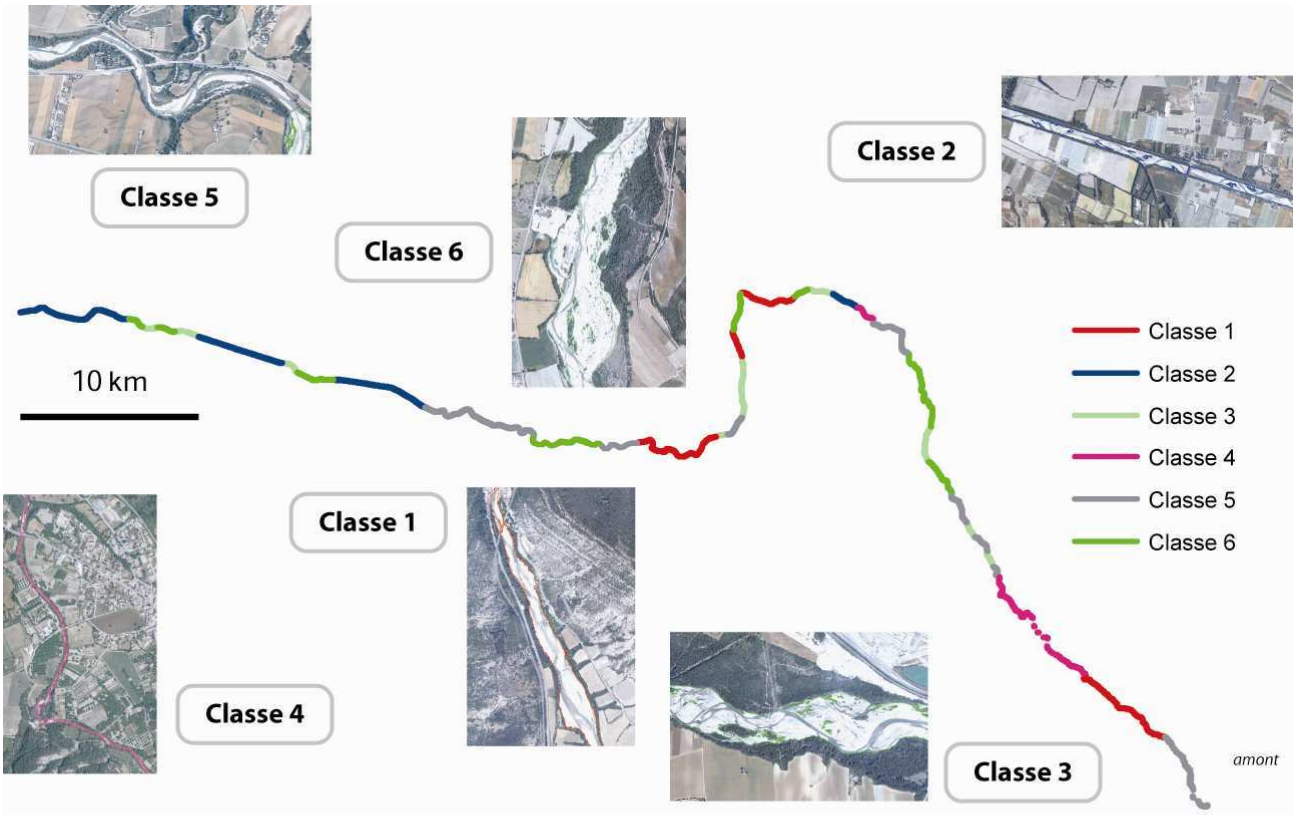


Figure 45: illustration des 6 styles fluviaux présents sur le linéaire de la Drôme

D . RECAPITULATIF DE LA DEMARCHE (FIGURE 46)

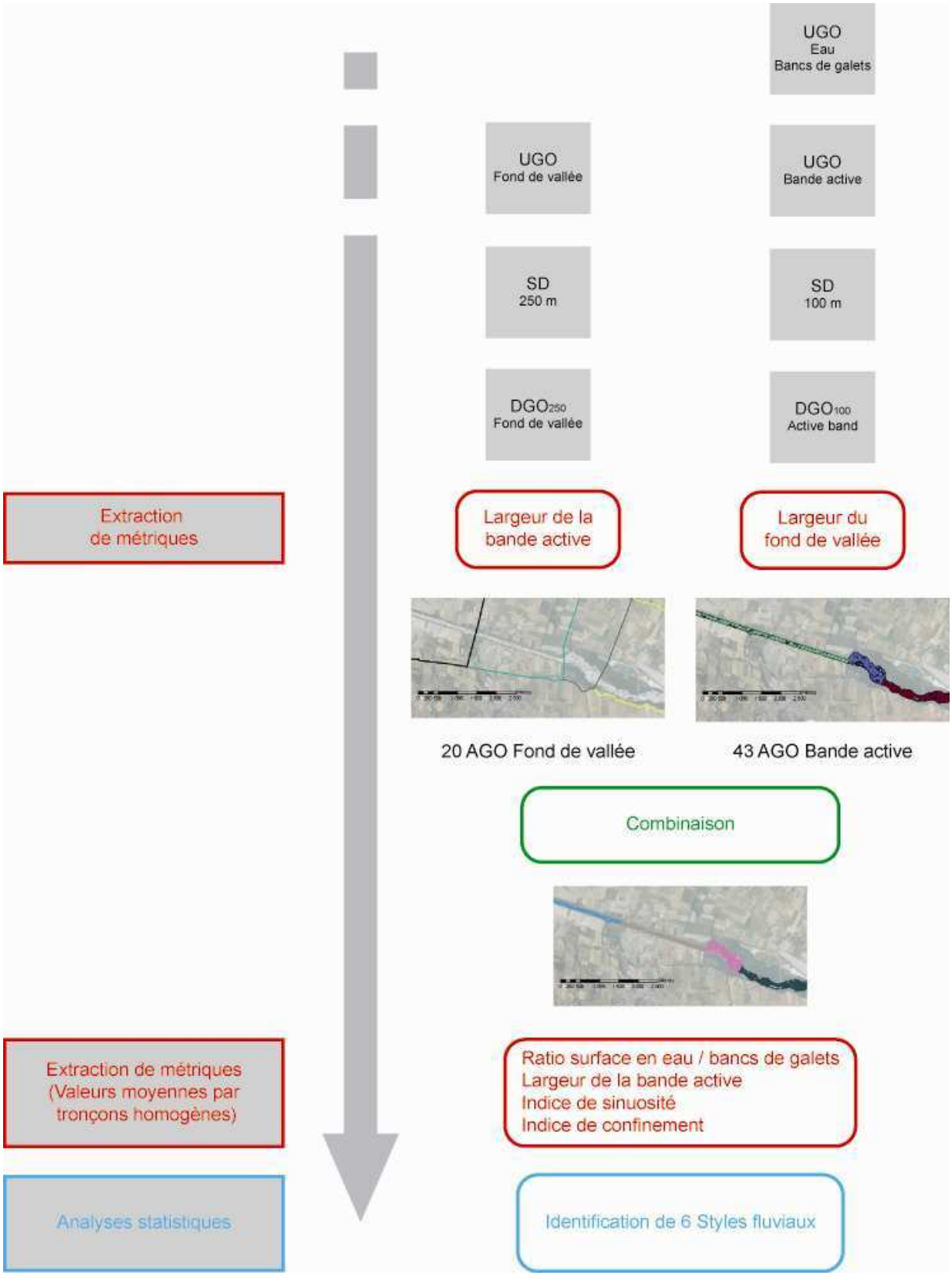


Figure 46: Illustration de la démarche d'extraction de métriques pour la détermination des styles fluviaux

PARTIE 4. IDENTIFICATION D'ECOTONES

A . PRÉSENTATION

L'écotone est considéré comme une zone de transition entre deux écosystèmes. Autrement dit c'est une zone de contact séparant deux milieux. Auprès des espèces, le rôle de l'écotone est divers. D'une part, il s'agit d'une limite qui empêche le passage d'une espèce d'un milieu à l'autre : le poisson ne pourra pas aller sur la terre ferme. Mais d'autre part, ce sont des unités où les interactions entre les écosystèmes génèrent une spécificité écologique forte (influence sur les flux d'azote, conditions écologiques spécifiques, …). Les écotones jouent notamment un rôle important pour le maintien de la biodiversité (Naiman & Décamps, 1997 ; Ward & al., 1999).

Au sein du corridor naturel alluvial, nous recensons trois types d'écotones :

- L'écotone eau / bancs de galets.
- L'écotone bancs de galets / végétation.
- L'écotone végétation / eau.

On souhaite définir des indicateurs permettant de rendre compte de la qualité écologique d'un corridor fluvial.

B . EXTRACTION DES METRIQUES NECESSAIRES A LA DETERMINATION DES ECOTONES

Nous allons présenter la démarche à suivre pour l'extraction de la longueur d'écotone par tronçon homogène pour l'écotone eau / végétation. Il suffit de procéder de manière identique pour les autres écotones.

Les données initiales sont l'UGO eau et l'UGO végétation. Ensuite :

- On crée un buffer (zone tampon) de 50 cm pour chacun des UGO.
- On intersecte alors les deux zones tampons, on obtient un polygone que l'on convertit immédiatement en polyligne. Cette polyligne correspond à la ligne d'intersection entre les deux écosystèmes.
- On a donc une ligne d'écotone eau / végétation pour tout le linéaire de la Drôme. Pour connaître la longueur de cet écotone par tronçons homogènes. Il suffit d'intersecter cette ligne avec les tronçons homogènes. Ce qui nous permet d'avoir une ligne par tronçons.
- Il ne nous reste plus qu'à utiliser l'outil de mesure d'Arcgis pour mesurer la longueur de contact entre deux milieux pour chaque tronçon.

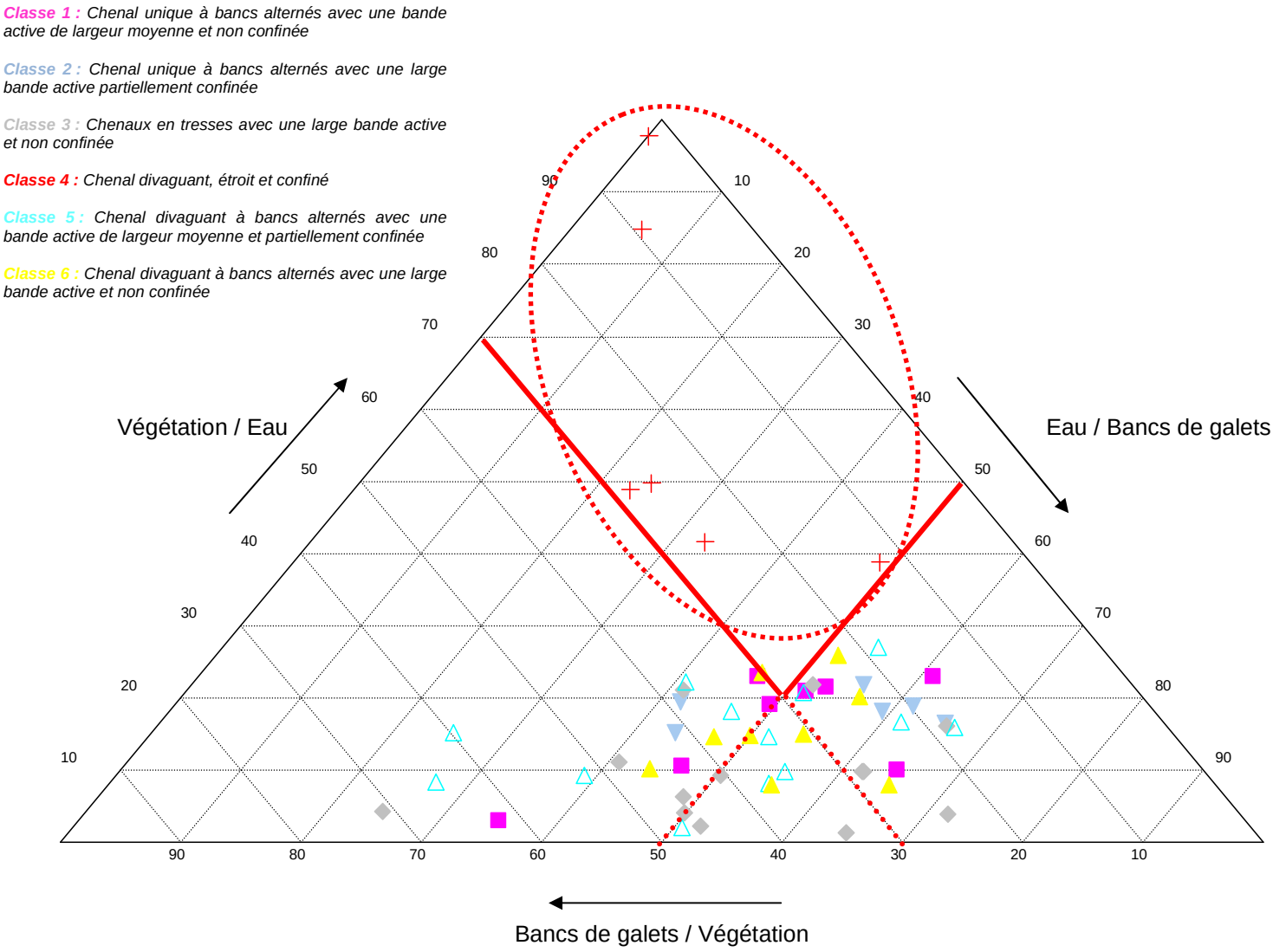


Figure 47: Graphique ternaire représentant les différents écotones présents dans le corridor alluvial en fonction du style fluvial

Construction du graphique ternaire

Pour chaque tronçon homogène, on dispose de quatre longueurs, une pour chaque écotone et une longueur totale (addition des trois longueurs d'écotone). On calcule pour chaque tronçon le rapport : longueur de chaque écotone sur la longueur totale. Ce qui nous donne trois valeurs en pourcentage.

Au final, on place sur le graphique chaque tronçon en fonction des valeurs relatives calculées précédemment (% d'écotone bancs de galets / végétation, % d'écotone végétation / eau ; % d'écotone eau / bancs de galets) sur chaque axe.

La classe 4 (chenal divaguant, étroit et confiné) est la seule à se distinguer des autres. La lecture de ce graphique (Figure 47) montre que tous les tronçons homogènes du style fluvial de la classe 4 sont

regroupés dans une zone dont l'écotone végétation / eau est supérieure à 70% et l'écotone eau / bancs de galets est présent à moins de 50%.

Les cartes suivantes (Figure 48) présentent pour chaque écotone sa densité (de très faible à très forte). Nous avons donc un indicateur de complexité écologique du corridor riverain. On observe des fortes valeurs en certains points spécifiques comme le site des Ramières à l'aval ou bien à la confluence avec le Bez.

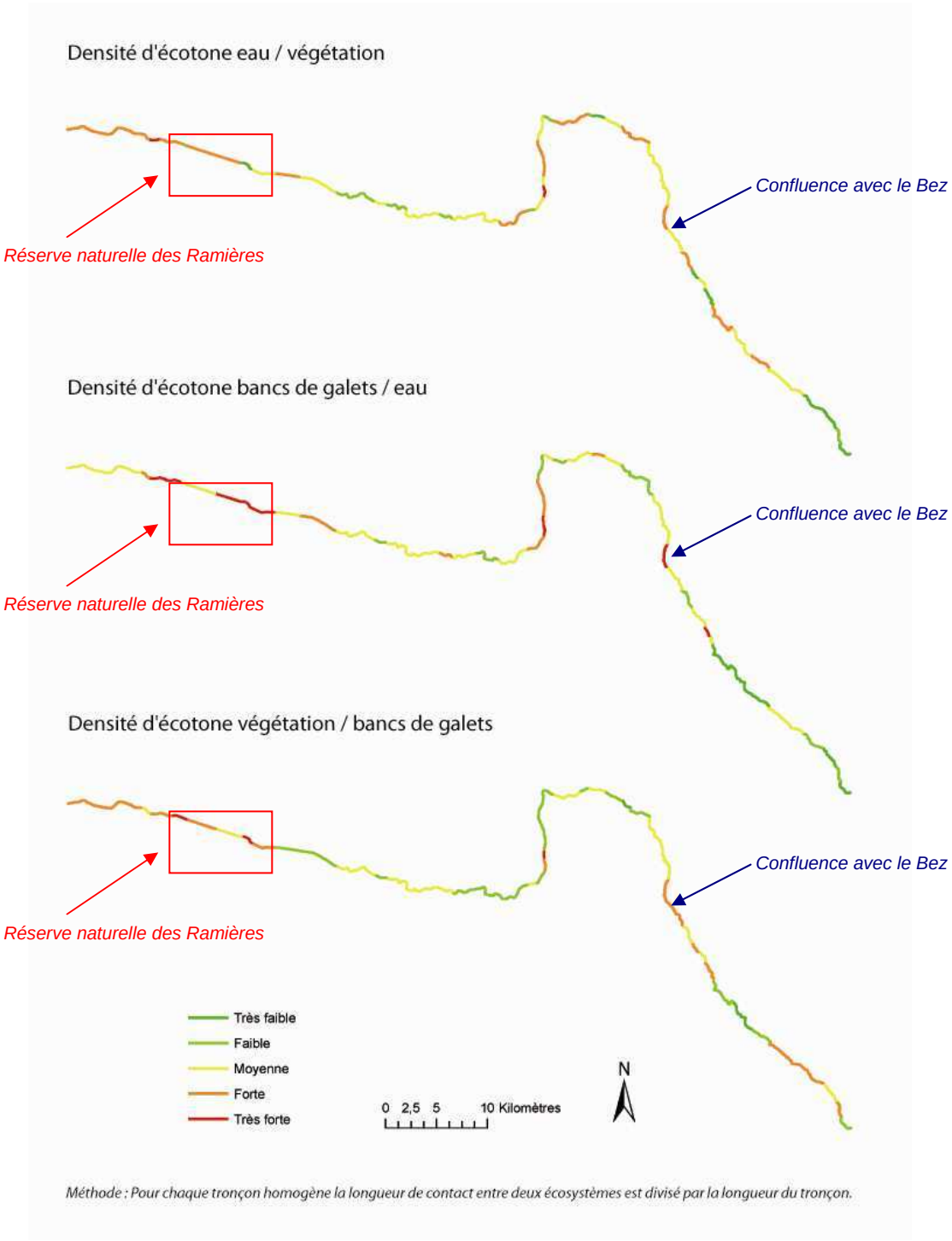


Figure 48 : Illustration de la densité d'écotone le long du linéaire de la Drôme.

CONCLUSION

Les travaux présentés dans ce rapport soulignent la potentialité des images dans le cadre de la caractérisation physique des masses d'eaux à l'échelle du réseau hydrographique. La diversité des indicateurs produits montrent qu'à partir des orthophotographies de l'IGN de nombreux champs thématiques peuvent être renseignés : allant de l'étude des styles fluviaux à la caractérisation de la complexité de la mosaïque paysagère en passant par l'analyse des habitats piscicoles.

L'utilisation de la télédétection permet une nouvelle approche pour la caractérisation des milieux aquatiques. Il s'agit d'un outil performant qui permet, notamment, une approche homogène et continue sur un vaste territoire, comme le réseau hydrographique du bassin du Rhône.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Alaoui & al. (2005). Caractérisation de texture : application sur les images échographiques du rein. Numéro spécial CARI'04. Revue ARIMA, p 1 à 24.

Alber & al, (2008). A GIS methodology to identify geomorphic reaches from DEM and aerial photographies: elements for targeting local-scale restoration and conservation actions. 4th ECRR International Conference on River Restoration, 16-21th june 2008, Venice, Italia.

Barbier A-M. (2006). Elaboration de méthodologies innovantes dans traitements des données satellitales dans un cadre agro-environnemental. Mémoire de Master SIGMA, ENSAT, Toulouse, 73 p.

Bravard & Petit, (2002). Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial., Paris, Armand Colin, 222 p.

Burke Hubbard B. (2000). Ondes et ondelettes. La saga d'un outil mathématique. Pour la science, Belin, France. 236 p.

Caloz & al. (2001). Précis de télédétection ; vol. 3 : Traitements numériques d'images de télédétection. Presses de l'Université de Québec et Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy (Québec), xvi + 386 p

Cohen J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales., Educ. Psychol. Meas., 20, 27-46.

Definiens (2006). User Guide, 249 p

Demayer & al. (2003). Les ondelettes. Affiche Printemps des sciences 2003. Département de physique. Faculté des sciences. 5 p.

Fung T. & LeDrew, E (1988). The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54, 1449-1454.

Grossman & Torrésani, (2001). Les ondelettes. Cours Université de Provence. Marseille.

Karsenty & al, (2007). Classification orientée objet de la perméabilité des sols en zone urbaine à l'aide d'imagerie très haute résolution et de données laser scanner à Curitiba (Brésil). In Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 565-572.

Kellerhals & Church, (1989). The morphology of large rivers: Characterization and management. Canadian Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106, p. 31 – 48.

Lejot J. (2008). L'imagerie à Très Haute Résolution : introduction aux techniques et exemples d'utilisation pour l'étude des cours d'eau. Agence de l'Eau – Basse vallée de l'Ain – ZABR – CNR. 17 p.

Leopold & Wolmann, (1957). River channel patterns-braided, meandering and straight. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 282B, p. 39 – 85.

Minvielle E. & Souiah S., (2003). L'analyse statistique et spatiale : statistiques, cartographie, télédétection, SIG. Nantes, Editions du Temps, 284 p.

Naiman, R. J. and H. Décamps (1997). The ecology of interfaces: Riparian zones. Annual Review of Ecology and Systematics, 28: 621-658.

Perez Correa M. (2004). Développement d'une méthode de cartographie de l'occupation du sol le long des cours d'eau à partir de données de télédétection. Mémoire de Mastère spécialisé de la Conférence des Grandes écoles, 44 p

Pettitt, A. N. (1979). A non-parametric approach to the Change-point Problem. Applied Statistics 28: 126 -135.

Quinquis, (2007). Le traitement du signal sous Matlab®. Pratique et applications 2ème édition revue et augmentée. Lavoisier, Paris, 446 p.

Renard, B. (2006). Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France. Thèse de l'INP Grenoble, 361 p.

Rioul O. (2005). Analyse temps- fréquence et temps-échelle. Cours de formation continue temps-fréquence et temps-échelle. Telecom Paris-Tech.

Robin M. (1995). La télédétection. Paris, Nathan, 318 p.

Schumm, S.A. and Meyers, D.F. (1979). Morphology of alluvial rivers of the Great Plains: Great Plains Agr. Council Pub. 91, p. 9-14.

Thomas A., (2005). Application de l'approche orientée-objet à l'extraction de fragments forestiers à partir de scènes Spot. Mémoire de DESS SIGMA, ENSAT, Toulouse, 42 p.

Tricart, (1977). Types de lits fluviaux en Amazonie brésilienne. Annales de Géographie, 473, p. 154.

Ward & al. (1999). Biodiversity of floodplain river ecosystems : ecotones and connectivity, Regulated Rivers : Research and Management, 15, pp. 125-139.

Wiederkehr & al. (2007). Apport des techniques d'imagerie pour l'étude des réseaux hydrographiques. Synthèse des connaissances et évaluation d'indicateurs de caractérisation. Agence de l'eau RMC – ZABR – CEREGE, 43 p.

Wong T. H. & al (2003). Feature extraction based on object oriented analysis. In: Proceedings of ATC 2003 Conference, 20-21 May 2003, Malaysia.

ANNEXES

Annexe 1 : Détail des paramètres et seuils utilisés pour la l'extraction des objets (eau, végétation et sédiments) par classification orientée-objet _____ 61

Annexe 2: Présentation des arbres de classification pour chaque objet extrait sur le logiciel eCognition de Definiens_____ 62

Annexe 1 : Détail des paramètres et seuils utilisés pour la l'extraction des objets (eau, végétation et sédiments) par classification orientée-objet

Classes			Paramètres	Limites Min.	Limites Max.
VÉGÉTATION	or (max)	and (min)	Stddev Curvature (only main line) Rectangular Fit GLCM Ang. 2nd moment (all dir.) Mean Layer 2	0.53390 0. 0. 121.08500	1000000 0.57710 1.0904e-003 137.90600
		and (min)	Rectangular Fit GLCM Ang. 2nd moment (all dir.) Mean Layer 2	0.57710 0. 121.08500	1. 1.0904e-003 137.90600
		and (min)	Mean Layer 2	0.	91.13500
		and (min)	Mean Layer 2 GLCM Homogeneity (all dir.)	91.13500 0.	121.08500 0.21549
EAU	or (max)	and (min)	Mean Layer 1 Stddev Curvature (only main line) Rectangular Fit GLCM Ang. 2nd moment (all dir.) Mean Layer 2	0. 0. 0. 0. 121.08500	127.0133 0.53390 0.55710 1.0904e-003 137.90600
		and (min)	Mean Layer 2 GLCM Ang. 2nd moment (all dir.) Mean Layer 1	153.91500 1.0904e-003 0.	172.27200 1000000. 164.953
		and (min)	GLCM Homogeneity (all dir.) Mean Layer 2	0.156136 137.90600	1. 153.91500
		and (min)	GLCM Homogeneity (all dir.) Mean Layer 2	0.21549 91.13500	1. 121.08500
		and (min)	GLCM Ang. 2nd moment (all dir.) Mean Layer 2	1.0904e-003 121.08500	1000000. 137.90600
SÉDIMENTS	or (max)	and (min)	Mean Layer 2 Mean Layer 1 GLCM Ang. 2nd moment (all dir.)	153.91500 164.953 1.0904e-003	172.27200 255. 1000000.
		and (min)	Mean Layer 1 Stddev Curvature (only main line) Rectangular Fit GLCM Ang. 2nd moment (all dir.) Mean Layer 2	127.0133 0. 0. 0. 121.08500	255. 0.53390 0.57710 1.0904e-003 137.90600
		and (min)	Mean Layer 2 GLCM Homogeneity (all dir.)	137.90600 0.	153.91500 0.156136
		and (min)	Mean Layer 2 GLCM Ang. 2nd moment (all dir.)	153.91500 0.	172.27200 1.0904e-003
		and (min)	Mean Layer 2	172.27200	255.

Annexe 2: Présentation des arbres de classification pour chaque objet extrait sur le logiciel eCognition de Definiens

