

# Relations entre paysage hydrologique et peuplements biologiques. Rôle des zones humides.

## 1. Relation entre la structure spatiale du paysage aquatique et le peuplement piscicole

Céline Le Pichon<sup>1</sup>, Guillaume Gorges<sup>1</sup>, Évelyne Tales<sup>1</sup>, Thierry Faure<sup>2</sup>, François Goreaud<sup>2</sup>, Stéphan Gaillard<sup>3</sup>, David Richard<sup>3</sup>, Philippe Bonté<sup>4</sup>, Irène Lefèvre<sup>4</sup>, Bruno Bombled<sup>4</sup>

<sup>2</sup> Cemagref UR QHAN, Parc de Tourvoie 92163 Antony cedex. [celine.lepichon@cemagref.fr](mailto:celine.lepichon@cemagref.fr)

<sup>3</sup> Cemagref LISC, BP 50085, 63172 Aubière cedex 1, [thierry.faure@cemagref.fr](mailto:thierry.faure@cemagref.fr)

<sup>4</sup> IGARUN - LETG UMR 6554, Univ. Nantes, BP 81227, 44312 Nantes cedex 3, [sg.sg@wanadoo.fr](mailto:sg.sg@wanadoo.fr)

<sup>5</sup> LSCE UMR 1572 CEA, domaine du CNRS, 91198 Gif/Yvette cedex, [philippe.bonte@lsce.cnrs-gif.fr](mailto:philippe.bonte@lsce.cnrs-gif.fr)

### 1.1. Étude des comportements et capacités migratoires des espèces de poissons

Dans des milieux hétérogènes où l'habitat des espèces est fragmenté, la répartition des individus n'est pas uniforme et génère une structure spatiale de la population. Cette population, répartie dans diverses zones d'habitats, est appelée population subdivisée. Cette population subdivisée échangeant des individus par migrations correspond à la définition d'une métapopulation. Ces migrations sont cruciales pour la survie de la métapopulation car elles permettent la recolonisation de zones d'habitats présentant une extinction locale. **Pour mettre en place des stratégies de conservation d'espèces en danger, il est donc important de considérer leurs possibilités de migration dans les milieux hétérogènes.** Parmi les différentes approches existant pour estimer la connectivité entre les habitats favorables (modèles basés sur la distance, modèles de marche aléatoire, modèles de diffusion et modèles individus centrés) nous avons choisi en première approche **un modèle d'accessibilité** (ou de perméabilité) qui tient compte des **capacités migratoires des espèces et des différences de qualité des milieux traversés.** Ce type de modèle est compatible (en temps de calcul) avec de larges secteurs d'études et des résolutions fines comme c'est notre cas sur les deux biefs de La Bassée (25 km à la résolution de 1 m), il est flexible et capable de tester des scénarios de gestion.

Une étude des comportements et des capacités migratoires des espèces composant les groupes écologiques définis sur le secteur est préalable à la définition de deux paramètres du modèle d'accessibilité: 1) le paramètre  $\square$  qui rend compte de la distance moyenne que peut parcourir un individu lors de la période de reproduction et 2) la résistance cumulée minimale (RCM) dont le calcul intègre les différences de qualité des milieux traversés. Le modèle d'accessibilité est ensuite défini comme suit :

$$\text{Équation a : } Acc(B) = \prod_{zones A_i} den(A_i) * Proba(A_i, B) = \prod_{zones A_i} den(A_i) * e^{-\frac{RCM(A_i, B)}{\square}}$$

Avec  $den(A_i)$  : densité d'adulte présents en  $A_i$

et  $Proba(A_i, B)$  : probabilité qu'un adulte situé en  $A_i$  atteigne la frayère B

## 1.2. Comportements migratoires des espèces de poissons d'eau douce

### 1.2.1 Généralités

Les déplacements des poissons d'eau douce ont été particulièrement bien étudiés pour les espèces amphihalines, qui effectuent des migrations de longue distance, notamment lors de la phase de reproduction, entre les eaux douces et les eaux salées. Jusqu'à récemment, les autres espèces, strictement dulçaquicoles, étaient considérées comme non-migrantes (Lucas & Baras 2001b). Ainsi, leur comportement migratoire n'a fait l'objet d'études spécifiques, concernant notamment l'amplitude de leurs déplacements, que depuis les années 1990. Cette thématique n'est apparue pertinente qu'avec la mise en évidence de la fragmentation des milieux d'eau courante et la rupture du continuum fluvial, générées par l'anthropisation croissante de ces milieux. Leurs effets s'avèrent délétères pour la faune aquatique, et particulièrement pour les poissons, dont les phases du cycle de vie se déroulent dans différents habitats rejoins via des processus migratoires.

Les déplacements des poissons peuvent être de deux natures (Fischer & Kummer 2000):

- la migration: déplacement adaptatif de longue distance qui se déroule au cours du cycle de vie d'une espèce
- le mouvement: déplacement entre des habitats dans une zone utilisée couramment (domaine vital de l'individu). Initialement, cette définition correspond au paradigme du mouvement restreint (Gerking 1959), lequel précise que les espèces holobiotiques d'eau douce sont sédentaires et passent la plupart de leur vie dans un secteur de cours d'eau de quelques dizaines de mètres.

Ainsi, on réservera plus volontiers le terme de migration aux déplacements liés à la phase de reproduction par exemple.

Quelle que soit leur origine, les déplacements des poissons sont un compromis entre la nécessité de trouver l'habitat adéquat pour accomplir une fonction vitale (alimentation, repos ou reproduction), tout en limitant les dépenses d'énergie, et l'exposition au risque de prédation qui s'accroît avec les déplacements. C'est pourquoi les déplacements sont sous l'influence à la fois de facteurs abiotiques, comme le débit et la température (Lucas & Baras 2001b), et biotiques, comme la présence de prédateurs (Gilliam & Fraser 2001).

Le débit génère des vitesses de courant auxquelles les espèces réagissent selon leur capacité de nage. Cette dernière varie avec la taille mais aussi la morphologie corporelle des espèces. La dépense énergétique liée à la nage varie avec la vitesse de courant mais aussi avec la température puisque les poissons sont ectothermes. La température joue par ailleurs un rôle sur les déclenchements de migration puisqu'elle est un facteur déterminant de la physiologie de la reproduction des poissons.

L'amplitude des déplacements qu'une espèce peut réaliser, est liée à sa taille corporelle. Généralement, quelle que soit leur écologie, les espèces de grande taille sont capables d'effectuer des déplacements de grande distance. Ainsi, elles ont tendance à avoir de fait un domaine vital plus étendu que celui des espèces de petite taille (Minns 1995). De même, les espèces dont le régime alimentaire est carnivore (piscivore ou invertivore) ont des domaines vitaux plus étendus que ceux des espèces herbivores, en liaison avec la moindre disponibilité de leur ressource alimentaire (Donnelly, Caffrey & Tierney 1998).

### 1.2.2 Domaines vitaux

Le domaine vital d'une espèce est la zone dans laquelle un individu (ou une population) se déplace pour ses activités courantes (Gerking 1959, Minns 1995). Dans le cas des espèces territoriales où, même au sein d'une population, chaque individu occupe une zone bien identifiée, le domaine vital constitue le territoire. Il englobe donc des zones d'activité spécifique (alimentation) ainsi que des zones de repos. Ces différentes zones sont occupées alternativement dans la journée, selon le rythme et les mœurs des espèces (à spectre d'activités diurnes ou nocturnes). Les individus effectuent donc des mouvements pour rejoindre ces différentes zones (Baras & Cherry 1990, Clough & Ladle 1997). En fait il semble qu'il n'y ait pas un domaine vital unique attribué à chaque individu (ou banc ou

population), mais plutôt qu'un individu occupe successivement des domaines vitaux différents selon la période de l'année considérée, et en liaison avec l'activité dominante (figure 1). En effet, plusieurs études de radiopistage montrent que les individus sont stationnaires sur des secteurs restreints pendant de longues périodes et bougent subitement et rapidement vers un nouveau secteur de résidence dans lequel ils s'installent pour une longue durée (Baade & Fredrich 1998; Baras 1997; Fredrich *et al.* 2003; Huber & Kirchhofer 1998). Ces déplacements rapides sont parfois réalisés à la faveur d'une modification de température ou de débit. Il est probable qu'en de telles circonstances, le secteur précédemment occupé s'avère défavorable, suite aux modifications des conditions locales (Lucas 2000).

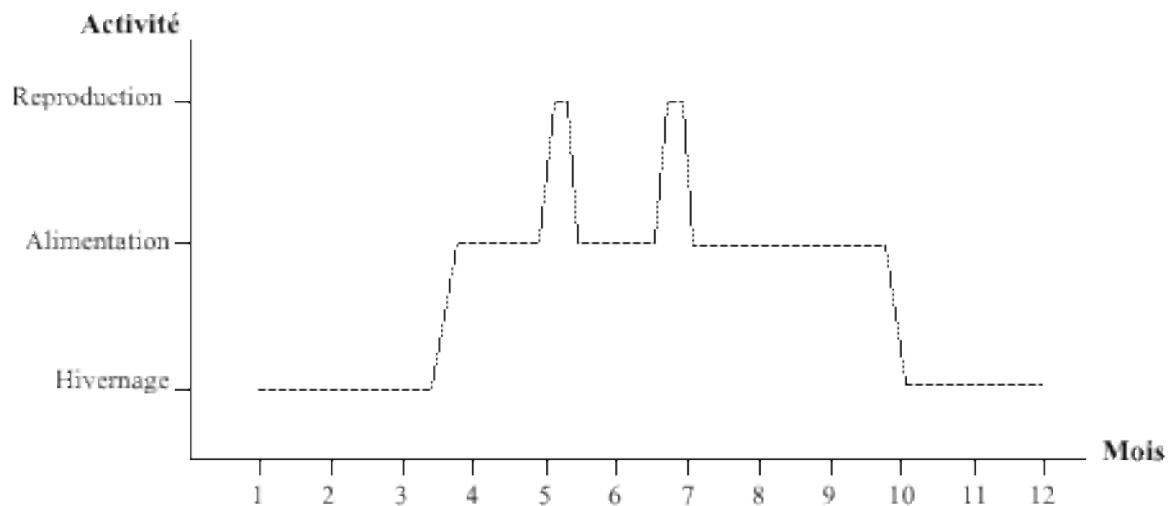


Figure 1. Schéma illustrant la dynamique d'occupation de différents domaines vitaux au cours d'une année (cas type de Cyprinidés comme le chevesne). Bien que non figurés, il peut exister plusieurs sites d'alimentation ou refuges hivernaux.

L'occupation du domaine vital est parfois associée à un comportement de homing ou de fidélité à des sites précis, pas forcément limité aux sites de reproduction (Baras 1997; Clough & Ladle 1997). Ce comportement permet aux espèces d'optimiser les stratégies d'utilisation de l'espace en réduisant par exemple l'importance des trajets au sein du domaine vital. En l'absence de ce type de connaissance (cas d'individus transplantés), un individu peut se fier à la présence de congénères pour sélectionner un site, dans le cas des espèces grégaires (Baras 1997).

### 1.2.3 Amplitude des déplacements

Une revue préliminaire de la littérature relative aux déplacements des espèces de poissons non salmonidés a permis d'établir une quantification de leur amplitude (tab). Cette revue ne tient compte naturellement que des déplacements actifs, les poissons pouvant toujours être entraînés sur de longues distances lors des épisodes de crues vers l'aval des cours d'eau.

L'ensemble de ces études est hétérogène méthodologiquement. Elles reposent majoritairement sur deux techniques de suivi des espèces:

- le radiopistage: les poissons sont équipés d'émetteurs permettant leur suivi "en temps réel", et selon leur degré de spécificité, renseigner sur la physiologie de l'individu marqué
- le marquage-recapture qui entraîne une sous-estimation de l'amplitude des déplacements puisque les données sont forcément limitées aux seuls individus recapturés qui sont ceux qui restent proches du secteur d'étude (Rodriguez 2002)

Ces études sont également hétérogènes du point de vue de leur étendue spatiale (longueur du secteur d'étude) et temporelle (de quelques jours à plusieurs mois). Or, l'effet de l'étendue spatiale et de la durée des études sur l'estimation de l'amplitude des déplacements a été montré pour des espèces salmonidés (Rodriguez 2002): le déplacement moyen est corrélé positivement à ces deux facteurs.

Pour avoir la possibilité d'observer les déplacements de longue distance, qui sont les moins fréquents, il convient en effet d'élargir la fenêtre d'observation dans l'espace et dans le temps.

Indépendamment de ces sources de variation artefactuelle, les amplitudes de déplacements se caractérisent par une grande hétérogénéité inter et intra-spécifique:

- inter-spécifique: selon leur morphologie et leur écologie les espèces peuvent parcourir au maximum de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres (voir le contraste entre le chabot et le barbeau par exemple), en liaison notamment avec l'effet de la taille corporelle précédemment évoqué

- intra-spécifique: l'amplitude des déplacements connaît une forte variabilité inter-individuelle, d'où l'importance des effectifs constituant l'échantillon étudié pour estimer la représentativité potentielle des données. Elle varie également selon le type de déplacement comme précédemment noté (mouvement versus migration de reproduction).

### 1.3. Amplitude des migrations de reproduction

Selon l'écologie des espèces, en cours d'eau de plaine alluviale, les migrations de reproduction peuvent être longitudinales pour les espèces se reproduisant dans le chenal, ou latérales lorsque les zones de frayères sont situées dans les milieux de plaine alluviale. Quand les migrations sont longitudinales, elles sont effectuées majoritairement vers l'amont de manière à compenser les effets de la dérive que subissent les jeunes stades (Fredrich *et al.* 2003). Cependant en fonction de la configuration locale, des migrations aval sont possibles. Par exemple, des migrations aval ont été observées chez le chevesne en présence d'un barrage bloquant l'accès vers l'amont (Fredrich *et al.* 2003).

Les migrations de reproduction sont en général de plus grande amplitude que les mouvements au sein du domaine vital (

Tableau 1) parce que cette phase vitale nécessite des habitats plus spécifiques pour son accomplissement comparé aux autres activités. Là encore, le comportement de homing reproductif a déjà été observé pour plusieurs Cyprinidés. Ces migrations de reproduction sont d'amplitude d'autant plus forte que le domaine vital est éloigné des zones de frayères. C'est le cas des Cyprinidés lithophiles dont l'habitat d'hivernage est très différent de l'habitat de reproduction (zones profondes sans courant pour le premier afin de limiter les dépenses énergétiques ; zones courantes de hauteur d'eau moyenne pour le second). Le bilan des amplitudes de migration de reproduction est présenté dans le Tableau 2.

L'amplitude de la migration est aussi en relation avec la stratégie alimentaire pendant ce déplacement. Les espèces qui doivent parcourir de longues distances peuvent ne pas se nourrir et limitent ainsi le coût de recherche de nourriture et de digestion (cas des Lamproies et des Salmonidés). Elles utilisent ainsi leurs réserves pour arriver au plus vite sur les sites de reproduction, ce qui est un avantage reproductif.

## 3. Résistance des habitats

La notion de résistance cumulée minimale (RCM) suppose la définition d'un jeu de résistance pour chacun des milieux de la mosaïque d'habitats subaquatiques. **La résistance d'un milieu**, appelé aussi « coût de friction » est un paramètre synthétique qui peut traduire à la fois un coût énergétique de déplacement, un évitement comportemental et un risque de mortalité. C'est un paramètre non mesurable et toujours relatif par rapport à la gamme des milieux existants. En pratique, des gammes de résistance peuvent être établies sur la base d'avis d'experts, de littérature sur l'utilisation des habitats, des expériences de radio-tracking ou de capture-marquage-recapture. Des exemples sont donnés dans le Tableau 2, d'autres sont disponibles pour des mammifères, des oiseaux et des papillons (Knaapen, Scheffer & Harms 1992).

Tableau 1. Distances minimales, moyennes et maximales pouvant être parcourues par certaines espèces de poissons appartenant au 7 groupes écologiques définis sur le secteur de la Bassée.

<b>Amplitude des migrations de reproduction</b>			
	Distance minimale	Distance moyenne	Distance maximale
<b>Groupe 1</b>	LPP		
	LPR		
<b>Groupe 2</b>	HOT 625 m (saisonnière)	5 km (saisonnière)	11,25 km (saisonnière)
	VAN	1,3 à 1,6 km (saisonnier)	3 km amont, 9 km aval (saisonnière) 10-21 km amont
	VAI	250 m -1 km	
	BAF	2 à 20km; 1,6 km	
<b>Groupe 3</b>	CHA 330 aval, 250 amont (saisonnier)		
<b>Groupe 4</b>	GRE		
	PER		
	SAN 6,5 km (saisonnière)		36,5 km
	LOT		
<b>Groupe 5</b>	LOF		
	SPI		
	GOU		
	GAR		6,4 km amont; 10 km aval (saisonnière)
	CHE 200 m amont; 6km amont		12,6 km amont
	ABL		
<b>Groupe 6</b>	PCH		
	BOU		
	PES		
	BBG		
<b>Groupe 7</b>	EPT		
	LOR		
	BRO	8km (saisonnière)	9km (saisonnière)
	BRE	3km (saisonnière)	7km (saisonnière)
	CCO		
	BRB		
	ROT		
	TAN	6km (saisonnière)	9km (saisonnière)
	CAS		
	ABH		

Les gammes de résistances des habitats sub-aquatiques seront établies en fonction des groupes écologiques de poissons précédemment définis. Les facteurs qui vont influencer l'attribution relative des valeurs de résistance peuvent varier d'un groupe écologique à l'autre et sont de diverses natures.

Tableau 2. Exemples de gammes de résistance (ou coût de friction) utilisées pour le blaireau (Schippers et al. 1996) et pour un amphibien (Ray, Lehmann & Joly 2002) dans le cadre de l'étude de la connectivité des habitats.

Bufo bufo	
	Coût de friction
Forêts et bosquets denses	5
Buissons et végétation pionnière	25
Champs, jardins	45
Vignes	80
Terres cultivées	45
Zones construites, routes	80
Barrières: autoroutes, rivières...	infini

Blaireau	
	Qualité
Pâtures humides	5
Pâtures humides avec haies	15
Pâtures sèches	15
Pâtures sèches avec haies	25
Pâtures avec des bois	100
Bois	100
Terres arables	25
Eau, zones construites	0

### 1.3.1 Coût énergétique des mouvements et des migrations de reproduction

Les types et les performances de nages des poissons d'eau courante sont liés à la diversité des formes et des longueurs de corps, aux stratégies du métabolisme énergétique et du transport de l'oxygène. Ainsi les capacités de nage sont liées à l'efficacité de la transformation de la puissance musculaire en mouvement. Plusieurs niveaux d'activité de nage se distinguent: l'activité permettant de tenir des positions stables dans le courant, l'activité de croisière susceptible d'être maintenue pendant des heures et l'activité de pointe correspondant à un effort intense. La vitesse maximale de croisière est de l'ordre de 2 à 3 L/s pour la plupart des espèces et peut atteindre 3 à 4L/s chez les Salmonidés (L: longueur du corps).. Lors d'une activité de pointe, la vitesse est de l'ordre de 8 à 10L/s (bassin RMC, guide technique n°4, février 2001). La baisse de température diminue les performances de vitesse maximale de nage mais semble moins influente sur les vitesses de croisière. Les poissons benthiques qui restent stables dans le courant ont tendance à avoir une taille corporelle moindre. La migration de reproduction est une migration active vers l'amont contre le courant ; elle requière une vitesse de nage supérieure à celle du courant. Ainsi, selon les capacités de nage des différentes espèces, des vitesses critiques de courant peuvent être établies comme des limites à partir desquels les poissons sont entraînés par le courant (Figure 2). Les espèces benthiques ont ainsi des vitesses critiques 2 à 3 fois plus faibles que les espèces de la colonne d'eau ou de surface.

Pour les poissons, peu de données existent sur les coûts énergétiques de migration mais des approches récentes de télémétrie physiologique comme celle qui enregistre la consommation d'oxygène pourrait donner des éléments de mesure des dépenses énergétiques lors de la traversée de différents habitats en période de migration de reproduction (Lucas & Baras 2001a). Cette technique est actuellement utilisée chez les Salmonidés pour évaluer les coûts énergétiques des migrations de reproduction (Geist *et al.* 2000; Hinch *et al.* 2002).

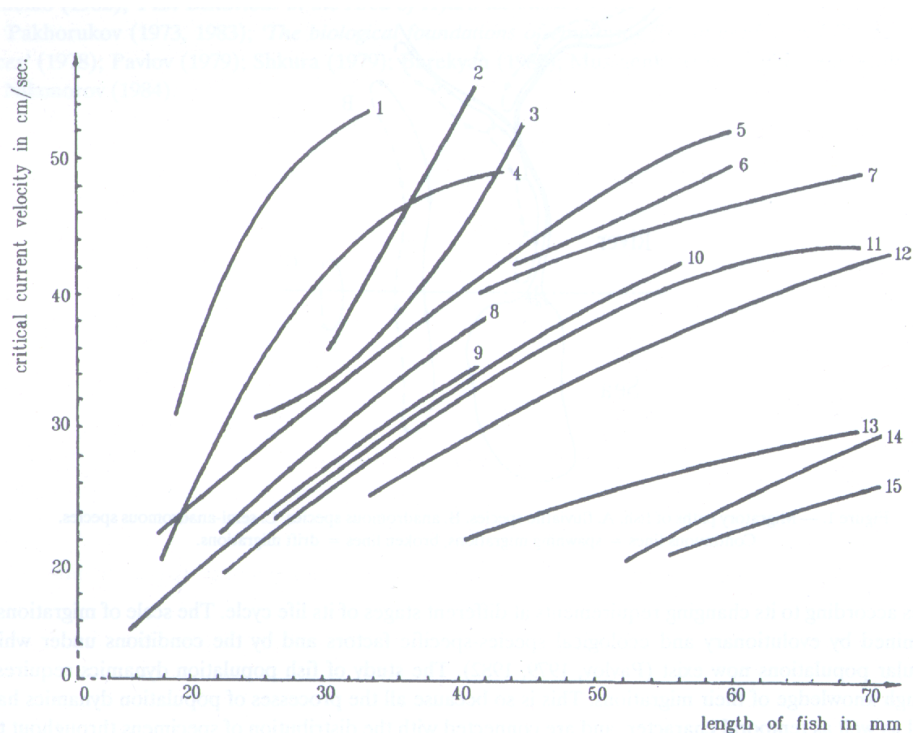


Figure 2. Vitesse de courant critique pour différentes espèces et tailles de poissons : 1- *Alburnus alburnus* (Ablette) ; 2-*Leucaspisus delineatus* (Able de Heckel) ; 3- *Rutilus rutilus caspius* (Gardon...) ; 4-*Carassius carassius* ; 5- *Abramis ballerus* (Brème ...) ; 6- *Perca fluviatilis* (Perche) ; 7- *Vimba vimba* (Vimbe) ; 8-*Nemacheilus barbatulus* (Loche franche) ; 9- *Cottus gobio* (Chabot) ; 10- *Rhodeus sericeus* (Bouvière) ; 11- *Tinca tinca* (Tanche) ; 12- *Cobitis taenia* (Loche de rivière) ; 13- *Acipenser guldenstädti* ; 14- *Huso huso* ; 15- *Acipenser stellatus*. D'après (Pavlov 1989).

### 3.2. Evitement comportemental

Les interactions biotiques semblent peu influentes sur les taux et les amplitudes des migrations de reproductions, qui sont souvent des déplacement de masse (Gilliam & Fraser 2001). Les poissons semblent éviter les habitats de faibles hauteurs d'eau en liaison avec les pêcheurs et la prédation par les oiseaux piscivores (Héron et Cormoran). Chez le hotu cela signifie une préférence pour des hauteurs d'eau de 1 à 2 mètre qui minimise le risque d'être vu mais limite aussi la quantité de nourriture. À l'inverse pour la fraie, le hotu prend des risques pour se reproduire dans des zones de radiers moins profondes (Huber & Kirchhofer 1998).

De l'orientation des poissons face au courant et leur déplacement contre le courant, appelée rhéoréaction, découle leurs capacités et comportements lors des migrations. Chez les espèces pélagiques, ce sont les organes optiques qui dominent le contrôle de l'orientation face au courant, elles ont des vitesses de courant critiques fortes. Ces espèces se déplacent près de la surface ou à travers les zones peu profondes le long des berges (par exemple les Brèmes et les Gardons). Chez les espèces benthiques ce sont les organes tactiles qui dominent le contrôle de l'orientation face au courant, elles ont des vitesses de courant critiques faibles. Le sandre, dont l'orientation est tactile, se déplace la nuit le long des berges dans les zones de faibles courant.

*Tableau 3. Éléments bibliographiques relatifs à l'amplitude des mouvements journaliers, saisonniers et de reproduction de quelques espèces de poissons*

Espèce (stade)	Effectif	Amplitude du déplacement			Période ou saison	Type d'activité	Environnement/contexte	Observations
		Min	Moy	Max				
VAN adulte	25		1,3km vers l'amont 1,6km vers l'aval	3,3km vers l'amont 9,1km vers l'aval	04/92 à 04/94 toutes saisons	hors repro	Rivière Frome	Clough & Beaumont (1998)
VAN adulte	6	150m vers l'amont		3 à 4,5km vers l'aval	20/03 à 18/04/97	postrepro (pas d'alimentation)	Rivière Frome	Clough et al (1998) les différences de distance entre individus, dues à des sites de relachage différents (amont ou aval de barrage)
VAN adulte	3		de 400m à 700m/j		05 à 06/95	activité journalière d'où dist.=home range	Rivière Frome	Clough & Ladle (1997)
BAF adulte	2	2 à 25m/j	home range=1,6km	128 à 1425m/j	15/04 à 09/07/89	journalière et saisonnière, dont repro	Ourthe	Baras & Cherry (1990)
BAF adulte	6	200m		2,4km	03/09 à 07/10/90	hors repro	Ourthe	Baras (1997) 3 sites de relachage distincts d'où variation de dist importante
TAN adulte	15		70m/h		juil-94	journalière hors repro	étang	Perrow et al (1996)
TAN adulte	1		6km	9km	01 à 06/96	saisonnière	canal (absence de courant)	Donnelly et al (1998) Rque: la dist moy correspond à la taille du home range (dist max parcourue en 4j)
BRE adulte	1		3km	7km				
BRO adulte	1		8km	9km				
HOT adulte	21	625m 25m	5km 120m	11,25km 425m	10/95 à 09/97	saisonnière journalière	Aare (cours d'eau suisse) bief de 25km	Huber & Kirchoffer (1998)
CHA adulte	398 (194)		150m	330m vers l'aval 250m vers l'amont	10/97 à 09/98	saisonnière hors repro	cours d'eau alpin avec secteurs temporaires	Fischer & Kummer (2000) Rque: méthode par capture-recapture, sur 398 ind. Marqués, 194 ont été recapturés au moins 1 fois
CHE adulte	49	6km	home range=2km		mai-92	hors repro	Rhône	Nicolas et al (1994) méthode par radioémetteurs gama
CHE adulte	50 (répartis en 5 gpes)	200m vers l'amont		12,6km vers l'amont	12/04 au 28/06/95 et aussi en 1996	repro	River Spree (GER)secteur de 32km entre 1 écluse et 1lac	Fredrich et al (2003) les distances varient notamment en fonction de la proximité des ind (5 groupes différents) aux sites de repro
GAR adulte	39	1km		4,5km 10km vers l'aval 6,4km vers l'amont	03/94 à 06/95	saisonnière hors repro saisonnière	River Spree (GER)secteur de 32km entre 1 écluse et 1lac	d'après fig2, comportement "typique" Baade & Fredrich (1998)
SAN adulte	10	296m 6,5km		1006m 36,5km (1,4km/j vers l'amont ou vers l'aval)	15/09/98 à 07/09/99	journalière saisonnière	River Gudena (DK) secteur fermé (à l'aval =estuaire et à l'amont=barrage) de 36,5km	Koed et al (2000);donne des dist cumulées sur l'année. Ici, dist min et max d'après fig.3.



## 1.4. Outil logiciel: Implémentation du calcul des distances physiques et écologiques

L'objectif de ce logiciel est de permettre d'intégrer les différents outils et concepts développés dans le cadre du projet paysage aquatique sous la forme d'une interface utilisateur conviviale.

Au cours de l'année précédente nous avons axé nos travaux sur le développement de méthodes pour le calcul d'indice pour le paysage aquatique.

- définition de l'architecture UML ;
- implémentation de la partie métier de l'architecture (calcul des indices, gestion spatiale, ...)

Cette année, le travail a porté en particulier sur :

- le développement d'une interface graphique générique et modulaire ;
- l'implémentation générique des calculs de distance et d'accessibilités.

Il reste maintenant à réaliser un test de sensibilité et une optimisation.

L'interface graphique n'est décrite ci-après que succinctement, car elle fait l'objet d'un document détaillé, présenté sous la forme d'un tutoriel en annexe.

### 1.4.1 Interface graphique du logiciel

Pour le développement de l'interface graphique, nous nous sommes attaché à être le plus générique possible :

- Découplage entre la partie d'interface graphique et la partie métier (gestion des données) ;
- Utilisation de XML pour les fichiers d'entrées sorties.

**Le panneau des données** (Figure 3) permet d'accéder à toutes les données nécessaires pour calculer les paramètres du paysage aquatique. Il permet : Créer, d'éditer, de charger ou de sauver un fichier XML décrivant la mosaïque physique de la rivière (codes décrivant le type d'éléments, les îles, les annexes, les plages et leur substrat etc...).

- De charger une mosaïque physique raster soit sous format de matrice creuse ou pleine ;
- De charger les positions des données de pêches et leurs contenus ;
- De charger les caractéristiques liées aux groupes écologiques considérés (Résistances, densité, etc.).

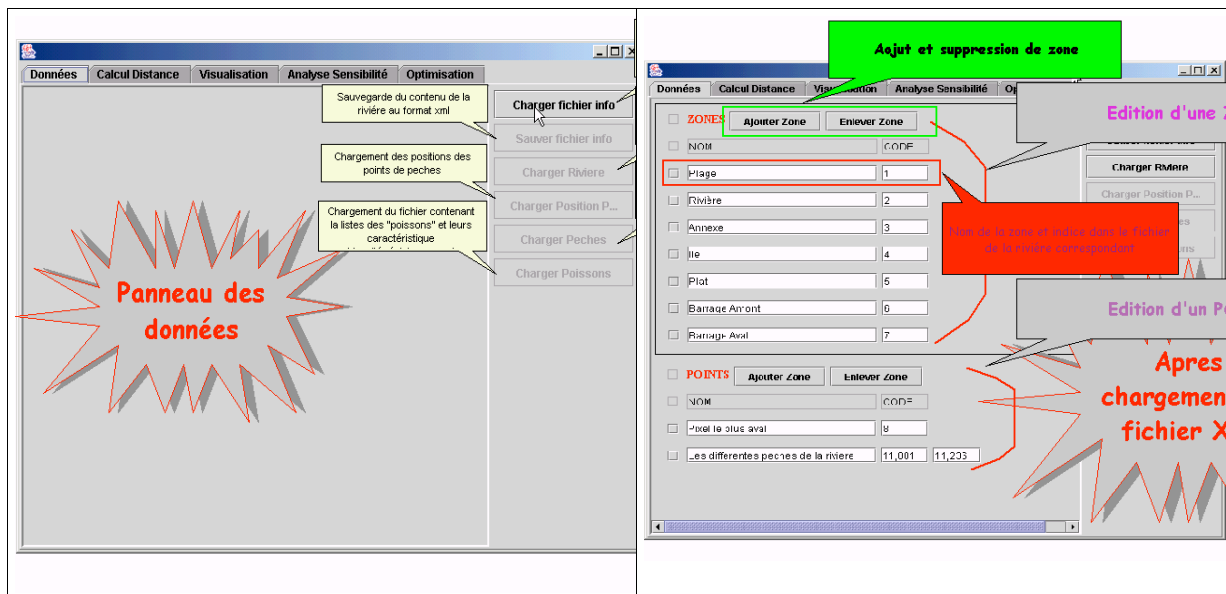


Figure 3. Panneau des données avant et après chargement du fichier xml.

Le panneau **Calcul de distance** se présente comme sur la Figure 4. Avec la possibilité de calculer, de sauvegarder des distances et de calculer des semi-variogrammes.

- Il a été nécessaire au cours du développement d'abstraire et de ré-écrire une partie importante de la partie métier de l'application pour rendre plus générique le calcul des distances. Il a notamment été nécessaire de créer des objets spatiaux génériques pour gérer la distinction entre les zones (ensemble de pixels constituant une annexe par exemple) et les points (par exemple les points de pêches).
- Ce panneau se charge dynamiquement à partir de la description des objets contenus dans le fichier de description XML (définition des zones et des points).
- Il permet de calculer des distances et/ou semi-variogramme entre ces différents objets (qui sont détectés automatiquement à partir des codes contenus dans le fichier rivière).
- Le calcul de distance entre 2 objets utilise les algorithmes des RCM en calculant la distance physique ou physiologique la plus courte.
- Le calcul de distance peut être effectué entre toutes les zones sources et les zones cibles ou en calculant la distance de chaque zone source à la zone cible la plus proche. Il peut être effectués dans différents sens : de l'aval vers l'amont, de l'amont vers l'aval ou dans les 2 sens.

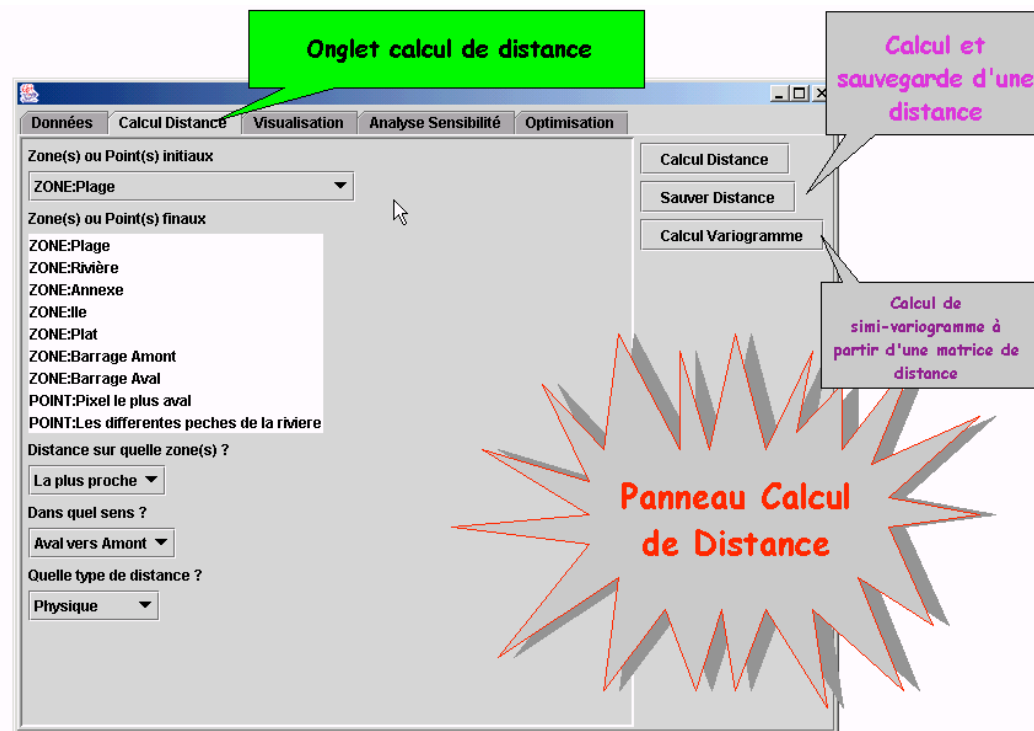


Figure 4. Panneau pour le calcul des distances.

**Le panneau visualisation** (Figure 5) permet la visualisation de la rivière mais aussi des distance et des indicateurs spatiaux (RCM, accessibilités, ...). Elle est réalisée en convertissant les données en format image (« jpeg » par exemple).

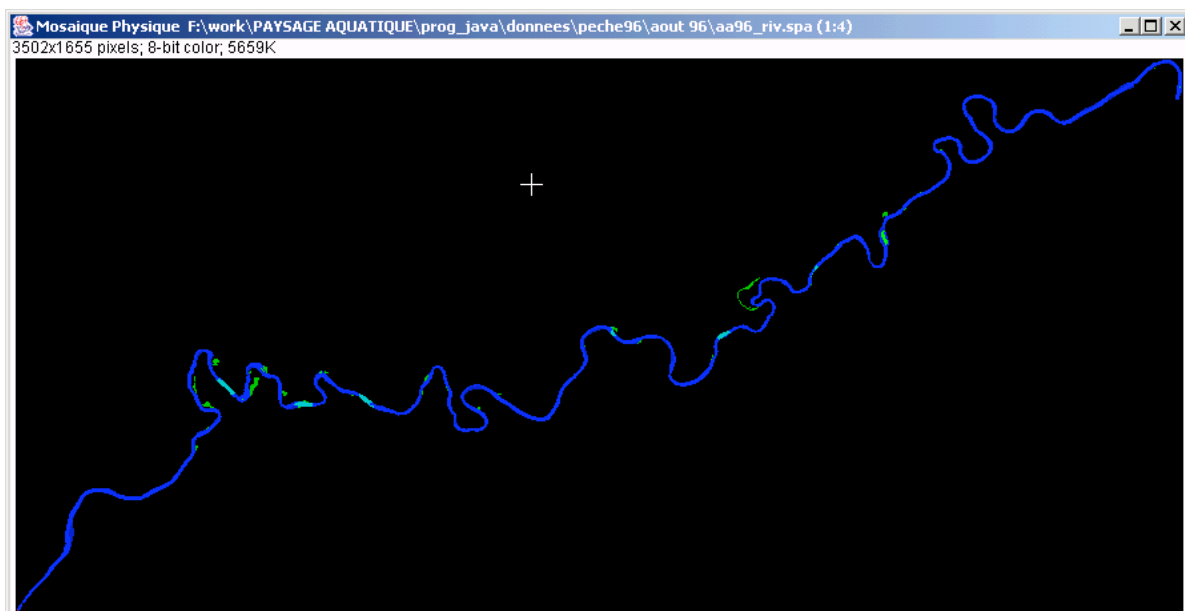


Figure 5. Visualisation de la zone amont de la rivière.

### **1.4.2 Travail restant à réaliser**

Pour évaluer l'importance des paramètres utilisés dans le calcul des accessibilités et des probabilités d'accéder à certaines zones de la rivière, notamment l'impact des résistances et du paramètre alpha, nous allons réaliser une étude de sensibilité sur ces paramètres. Cette étude est en cours en utilisant les données bibliographiques pour différents groupes/espèces de poissons.

### **1.4.3 Conclusion**

Le logiciel est maintenant pleinement opérationnel. Il permet de travailler sur des objets génériques de la rivière qui sont définis par le fichier de paramètres « xml ».

Cette approche a l'avantage de permettre de changer les données sans avoir à modifier le logiciel. Par exemple :

- il est ainsi possible de modifier ou de rajouter des couches ou des objets dans le SIG de la rivière ;
- pour une analyse de sensibilité, il est possible d'enlever certaines couches SIG, ceci par exemple, afin de tester l'impact sur un groupe ou un type de poisson donné, de tel ou tel type d'habitat par rapport à la connectivité de la rivière.

## **2. Fonctionnement du lit fluvial de la Seine de Conflans-sur-Seine à Montereau et typologie des annexes hydrauliques**

### **2.1. Objectifs et contexte de l'étude.**

Les zones en eau situées dans le lit majeur et/ou en connexion directe avec le chenal principal d'écoulement (annexes hydrauliques) sont le support du cycle de vie des poissons (Schimmer, 1991 ; Berrebi dit Thomas, 1999).

Une étude de la biodiversité piscicole en relation avec la distribution spatiale des milieux en contact direct avec le lit mineur a été entreprise (thème 3.2.1 : « relation entre la structure du paysage aquatique et le peuplement piscicole »). Ce travail met en évidence l'existence des relations fortes entre la mosaïque paysagère de ces annexes et le peuplement piscicole. Il est donc apparu intéressant de proposer une typologie de ces milieux afin d'examiner notamment comment la dynamique de formation et d'évolution de ces écosystèmes peut influencer, expliquer le peuplement en place.

L'étude proposée est centrée sur la plaine fluviale de la Bassée. Deux secteurs sont analysés : (1) un secteur « naturel » de Conflans – sur – Seine à Nogent – sur – Seine et (2) un secteur « artificiel » de l'écluse de la Grande Bosse à l'écluse de Marolles.

Ce rapport s'articule de la façon suivante. Dans un premier temps, nous précisons les caractéristiques morphométriques et le fonctionnement géomorphologique du tracé en plan à l'échelle historique. Après avoir examiné les conditions d'évolution du tracé en plan sur le moyen terme, nous proposerons, dans un second temps, une typologie des annexes hydrauliques bordant le lit fluvial.

### **2.2. Evolution du lit fluvial et des méandres mobiles de la Seine entre 1828 à 1990.**

#### **2.2.1 Méthodologie.**

##### *Les données source.*

La mobilité et le fonctionnement géomorphologique du tracé en plan à l'échelle historique sont appréhendés à partir de cartes et de photographies aériennes datées des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles. Les données plus anciennes comme la carte de Cassini ne sont pas intégrées en raison d'importantes erreurs planimétriques.

Dans ce contexte, après un examen critique des données, trois documents ont été retenus pour reconstituer la position du lit à différentes dates dans les deux secteurs étudiés. Ces documents proviennent de la Cartothèque et de la Photothèque de l'IGN (Dzana, 1997). Il s'agit :

- de la minute de la carte d'Etat Major datée de 1828 à 1/40 000<sup>e</sup> ;
- de la carte topographique IGN de 1945 à 1/20 000<sup>e</sup> ;
- des photographies aériennes de 1990 à 1/17 000<sup>e</sup>.

#### *Caractérisation morphométrique du lit.*

L'analyse de documents cartographiques anciens dans le but d'établir un suivi de l'évolution des lits fluviaux sur le moyen terme est une démarche couramment employée en géomorphologie (Bravard et Bethemont, 1989; Hooke et Redmond, 1989). Elle s'appuie sur la procédure suivante : (1) l'extraction – à partir des supports cartographiques – des axes médians qui décrivent le cours à chaque date, (2) la digitalisation de ces axes et leur segmentation selon un pas équivalent à 2 fois la largeur du cours d'eau et (3) la définition de descripteurs morphométriques permettant un suivi quantitatif de l'évolution du tracé dans le temps et l'espace.

Les descripteurs morphométriques retenus pour cette étude sont les suivants (fig. 1) :

- les longueurs d'axes, la distance euclidienne  $d_{ij}$  entre deux points de coordonnées cartésiennes  $(x_i, y_i)$  et  $(x_j, y_j)$  est:  $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$  ; les distances sont exprimées dans les mêmes unités que les coordonnées. Cette définition est utilisable avec les coordonnées des cartes IGN, si la distance n'est pas trop grande. En effet, le système Lambert, constitué de méridiens convergents et de parallèles formant des arcs de cercle, n'est pas cartésien. A l'échelle d'une feuille IGN à 1/25 000, l'approximation euclidienne est largement suffisante ;
- l'indice de sinuosité (IS) est défini comme le quotient de la longueur de l'axe fluvial entre 2 points et de la distance à vol d'oiseau entre ces 2 points ; plus l'indice s'éloigne de 1 plus le chenal est sinueux ; d'une manière générale, on qualifie le lit de méandrique si  $IS \geq 1,5$  (Schumm, 1977) ; pour cette étude, nous avons défini deux indices de sinuosité ; le premier indice donne la sinuosité pour l'ensemble de la section à chaque date ; le second donne la sinuosité pour 2 kilomètres linéaire ; ce dernier présente l'avantage de s'affranchir de la « sinuosité en grand » liée à la vallée, il permet également un suivi plus fin des caractéristiques morphométriques du lit dans le gradient longitudinal (Figure 6a) ;
- les surfaces balayées permettent une quantification – sous la forme d'un bilan – des processus érosion – dépôt ; la procédure retenue pour cette quantification s'appuie (1) sur la reconnaissance des points d'intersection entre deux axes successifs et (2) sur la mesure de l'aire comprise entre ces points d'intersection pour les axes considérés (Figure 6b) ; la mesure des aires balayées donne une information spatialisée sur l'intensité des processus érosion – dépôt.

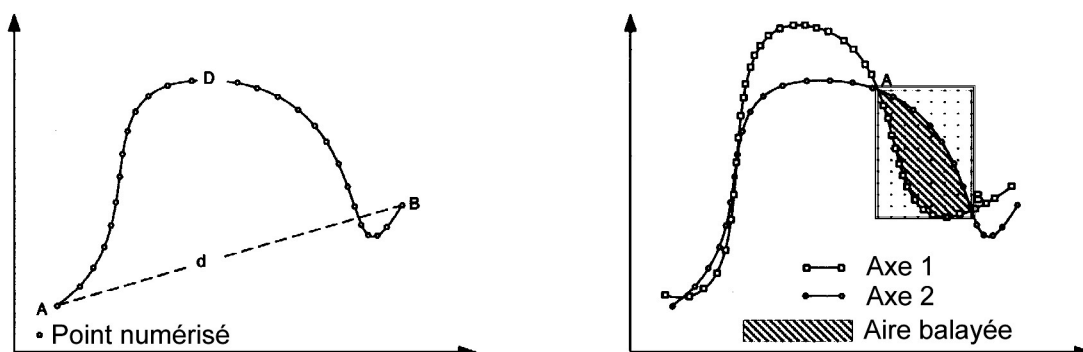


Figure 6. Caractérisation morphométrique des axes médians.

Pour ces différents traitements, nous avons utilisé le logiciel MapInfo (version 6.5). Les applications, qui permettent de caractériser le lit fluvial, ont été développées en langage VB sous Mapbasic (version 6.5).

### 2.2.2 Principaux résultats.

Dans les secteurs d'étude, la Seine présente un lit à chenal unique et à méandres mobiles. La largeur du lit est d'environ 50 m. La puissance spécifique de la rivière est modérée à faible. Elle atteint 11 W.m<sup>-2</sup> environ à Pont – sur – Seine. La puissance exprime la capacité de travail d'un cours d'eau ou sa perte d'énergie. La puissance brute (W.m<sup>-1</sup>) est définie par :  $\Omega = m g Q_{pb} S$

où  $m$  est la masse volumique de l'eau,  $g$  l'accélération de la gravité,  $Q_{pb}$  le débit à pleins bords et  $S$  la pente moyenne du cours d'eau. La puissance spécifique est le quotient de la puissance brute et de la largeur du cours d'eau. Exprimée en W.m<sup>-2</sup>, elle permet de comparer les tronçons entre eux (Bravard et Petit, 1997).

#### *Evolution du tracé en plan entre 1840 et 1990.*

La Figure 7 montre la position du tracé en plan aux différentes dates (1828, 1945 et 1990) dans le secteur « naturel ». La Figure 8 montre, pour les mêmes dates, la position du tracé dans le secteur « artificiel ». Ces figures mettent en évidence la mobilité du lit fluvial dans le plan horizontal. Dans les 2 cas, on constate des évolutions importantes dans la position de la rivière. Ces évolutions traduisent une mobilité transversale importante du lit. Cette mobilité est due à un glissement latéral progressif des méandres (Gaillard, 1999). Dans le § 2.2.2, nous précisons ces évolutions.

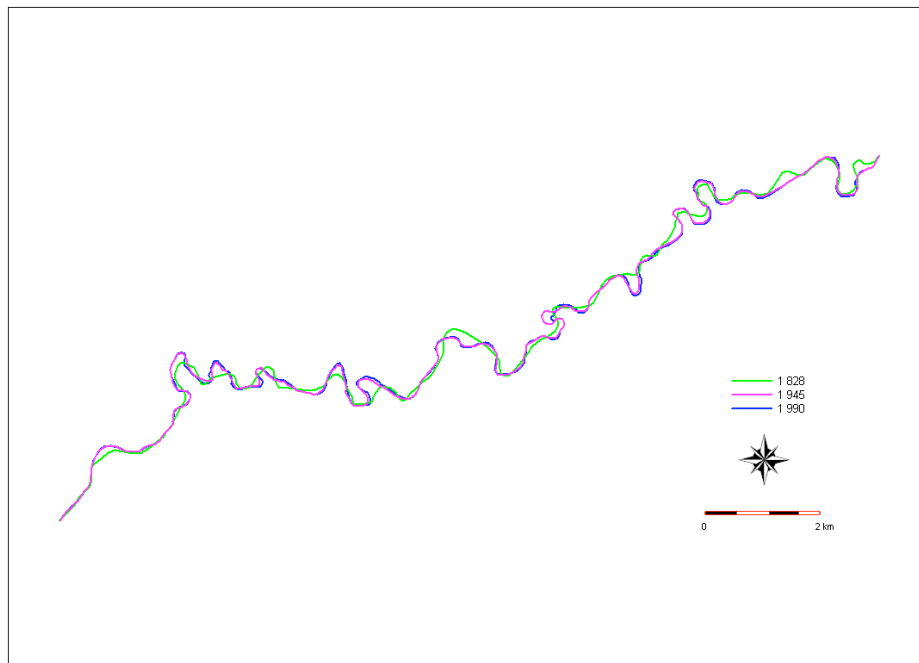


Figure 7. Secteur « naturel » : évolution du tracé en plan de 1828 à 1990.

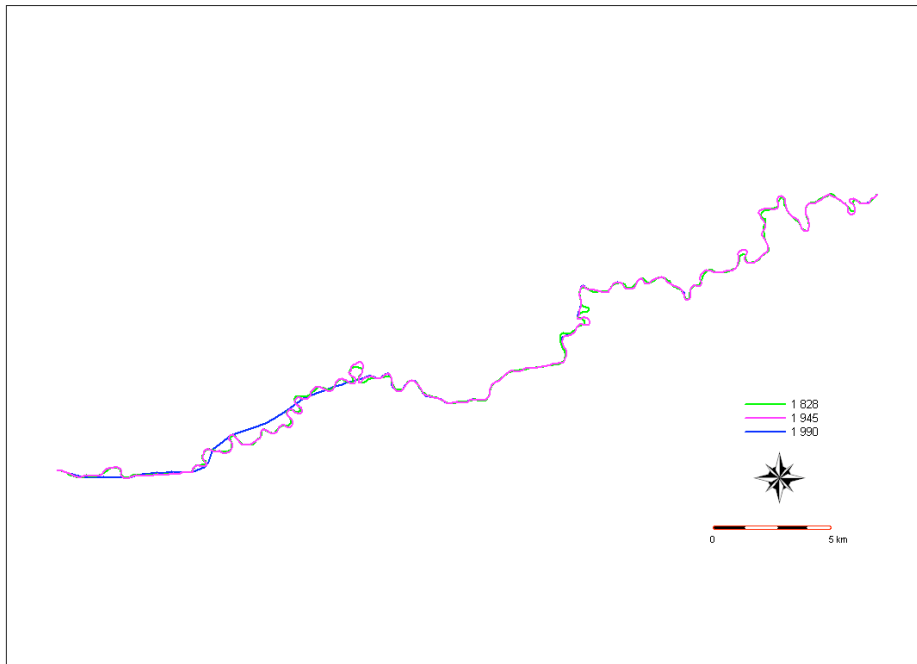


Figure 8. Secteur « artificiel » : évolution du tracé en plan de 1828 à 1990.

*Évolution spatio – temporelle des descripteurs morphométriques du lit.*

*Évolution des longueurs d’axes et de la sinuosité*

Les résultats présentés ci-dessous montrent l’évolution des différents paramètres morphométriques du lit. Ils permettent une approche semi-quantitative de l’évolution morphométrique du tracé en plan dans le temps et dans l’espace entre 1828 et 1990.

Le Tableau 4 et la Figure 9 se rapportent à l’évolution des longueurs d’axes et de la sinuosité pour les deux secteurs d’étude. Les tableaux 2 et 3 ainsi que la figure 4 se rapportent à l’évolution des mêmes paramètres pour chaque secteur (*i.e.* secteur « naturel » [tab. 2], secteur « artificiel » [tab. 3]).

Le Tableau 4 montre une évolution très significative des longueurs d’axes et de l’indice de sinuosité. On note, dans un premier temps, un accroissement des 2 paramètres entre 1828 et 1945 (+ 10%) puis, dans un second temps, une réduction de ces mêmes paramètres entre 1945 et 1990 (-6%). Cette évolution est due à la mise au grand gabarit du chenal de la Seine de Montereau à la Grande Bosse à partir de 1973.

Tableau 4. Secteurs « naturel » et « artificiel » : évolution des longueurs d’axes et de la sinuosité (1828 – 1990).

Date	Longueur d’axes (km)	Indice de Sinuosité (IS)	Evolution des longueurs et de la sinuosité(%)
1828	79,69	1,48	
1945	87,68	1,63	+ 10,02
1990	81,67	1,52	- 6,85

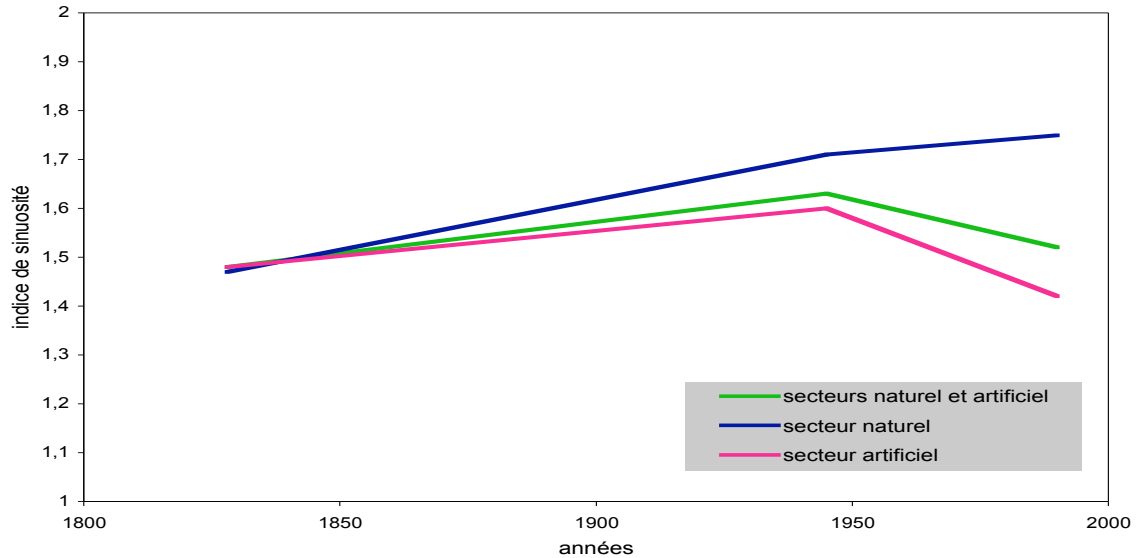


Figure 9. Évolution de la sinuosité pour l'ensemble des secteurs d'étude et par secteur (1828 – 1990).

Les Tableau 5 et Tableau 6 ainsi que la Figure 10 permettent de préciser l'évolution des paramètres morphométriques pour chaque secteur. Dans le secteur « naturel », on constate un accroissement des longueurs d'axes et de la sinuosité à chaque date : + 16% entre 1828 et 1945 ; + 2,5% entre 1945 et 1990. Dans le secteur « artificiel », l'évolution est moins forte entre 1828 et 1945 (+ 7%). Entre 1945 et 1990 ; elle est négative (- 11%) du fait du rescindement artificiel des boucles des méandres. La figure 4 illustre ces tendances. La courbe décrivant la sinuosité en 1990 passe sous la courbe décrivant la sinuosité en 1828 à partir du km 15 environ qui correspond au secteur « artificiel ».

Tableau 5. Évolution des longueurs d'axes et de la sinuosité dans le secteur « naturel » (1828 – 1990).

Date	Longueur d'axes (km)	Indice de Sinuosité (IS)	Evolution des longueurs et de la sinuosité(%)
1828	23,62	1,47	
1945	27,45	1,71	16,21
1990	28,14	1,75	2,51

Tableau 6. Évolution des longueurs d'axes et de la sinuosité dans le secteur « artificiel » (1828 – 1990).

Date	Longueur d'axes (km)	Indice de Sinuosité (IS)	Evolution des longueurs et de la sinuosité(%)
1828	56,06	1,48	
1945	60,23	1,60	7,43
1990	53,52	1,42	-11,14



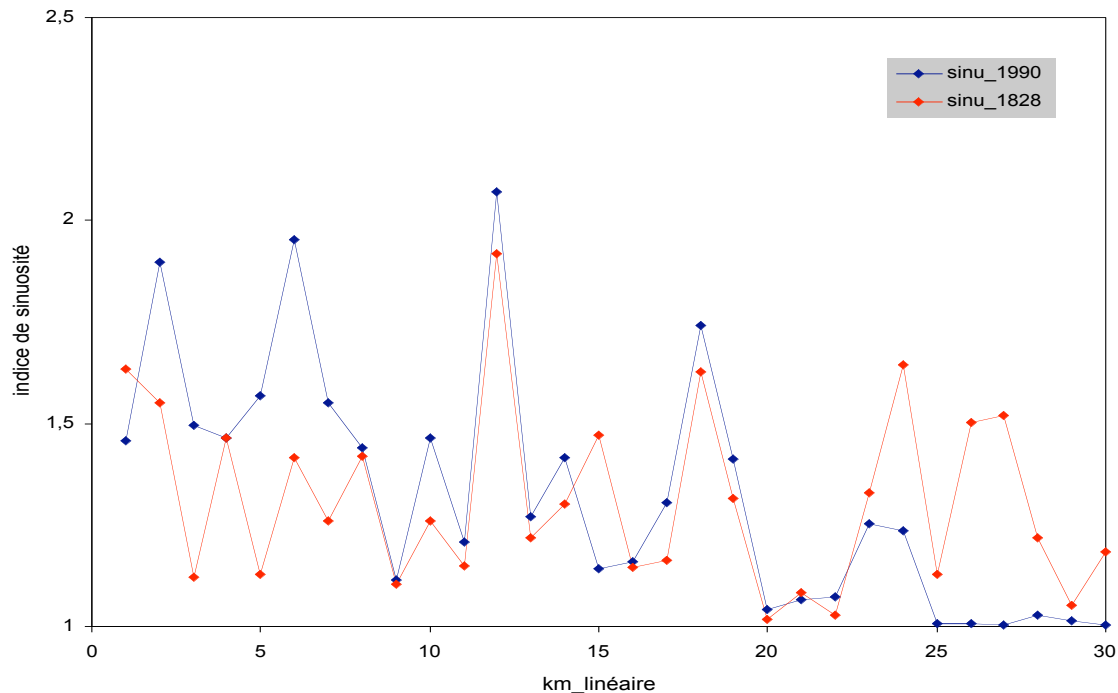


Figure 10. Évolution de la sinuosité pour 2 km linéaire pour les deux secteurs d'étude entre 1828 et 1990.

#### Quantification des processus érosion – dépôt.

Le Tableau 7 se rapporte aux aires balayées exprimées en m<sub>2</sub>.km.an. Dans le secteur « naturel », les aires balayées s'élèvent à 0,5 m<sub>2</sub>.km.an pour la période 1828 – 1990. Dans le secteur « artificiel », nous avons retenu uniquement la période antérieure à la chenalisation (1828 à 1945). Dans ce cas, les valeurs pour les « taux d'érosion » avoisinent 0,11 m<sub>2</sub>.km.an.

Tableau 7. Surfaces balayées : bilan de processus érosion – dépôt en fonction des secteurs d'étude.

Secteur / pas de temps	Aires balayées (m <sub>2</sub> .km.an)
Secteur « naturel » (1828 – 1990)	0,505
Secteur « artificiel » (1828 – 1945)	0,116

#### Processus géomorphologiques à l'origine de la migration du lit fluvial.

Les différents résultats montrent une forte mobilité du lit fluvial, avec dans le secteur « naturel » un allongement du tracé en plan aux différentes dates, un accroissement de la sinuosité et des taux d'érosion de l'ordre de 0,5 m<sub>2</sub>.km.an. Dans le secteur « artificiel », ces évolutions sont contrariées par les aménagements récents ; en particulier, la mise au grand gabarit du lit de la Seine qui induit une simplification du tracé en plan.

Abstraction faite des aménagements, les processus géomorphologiques à l'origine de la migration du lit dans le plan horizontal et donc, de la formation des annexes hydrauliques, sont dus à des sapements dans la berge concave et à des dépôts dans la convexité des méandres. Les travaux de E. J. Hickin (1974 et 1977) ont montré que la migration des boucles de méandres s'opérait principalement lors du débit à pleins bords, considéré comme le débit le plus efficace au plan morphologique. Le sapement en berge concave s'accompagne de la formation en berge convexe de bancs sablo – graveleux (*ridges*) reliés par des dépressions arquées de convexité (*swales*). La figure suivante (fig. 5) illustre ce processus dans le cadre de l'évolution composite d'un demi – méandre sur la *Beaton River*. On notera que, indépendamment de la formation de bancs sablo – graveleux et de dépressions arquées de convexité, le stade final d'évolution des méandres libres est caractérisé par des recoupements à l'origine de la formation de bras morts (*oxbow lakes*).

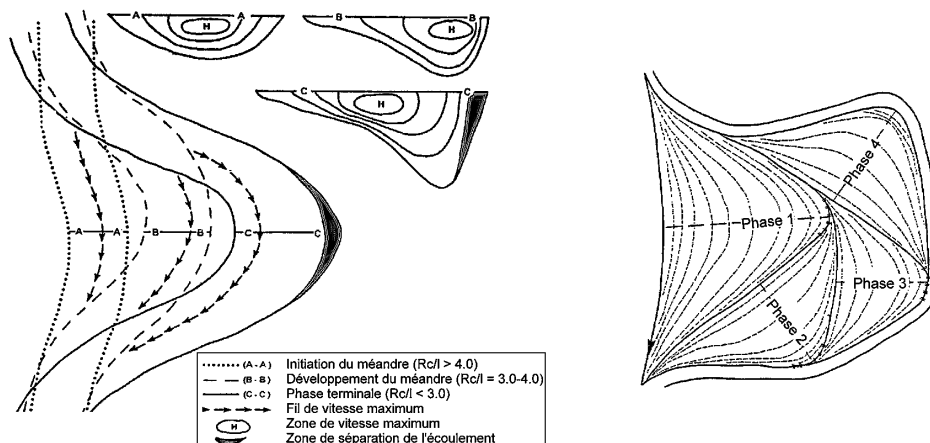


Figure 11. Évolution d'un demi-méandre sur la Beatton River montrant les différents stades d'évolution d'une boucle ; les dépressions arquées de convexité sont matérialisées par des traits continus sur la figure de droite (Hickin, 1974).

### 2.3. Typologie des annexes hydrauliques dans le secteur « naturel ».

Parallèlement aux travaux réalisés ci-dessus dans le but de comprendre les processus géomorphologiques à l'origine de la formation des annexes hydrauliques, nous avons réalisé un inventaire typologique des annexes hydrauliques dans le secteur « naturel » de Conflans – sur – Seine à Nogent-sur-Seine. La typologie proposée s'appuie sur des observations de terrain et les connaissances acquises sur le fonctionnement du lit fluvial à différentes échelles.

La typologie proposée a pour objectifs :

- de caractériser les annexes hydrauliques en fonction des processus géomorphologiques à l'origine de leur formation et de leur évolution ;
- d'établir des relations entre les différents types d'annexes, leur durée de vie et les peuplements piscicoles observés ;
- de permettre, à terme, des extrapolations.

La Figure 12 montre, pour le secteur « naturel », les limites du lit fluvial ainsi que la distribution spatiale des îles et des annexes hydrauliques. Ce document a été établi à partir de relevés GPS faits en 2001 par le Cemagref (UR QHAN) et de traitements effectués sous ArcGis (version 8.2).

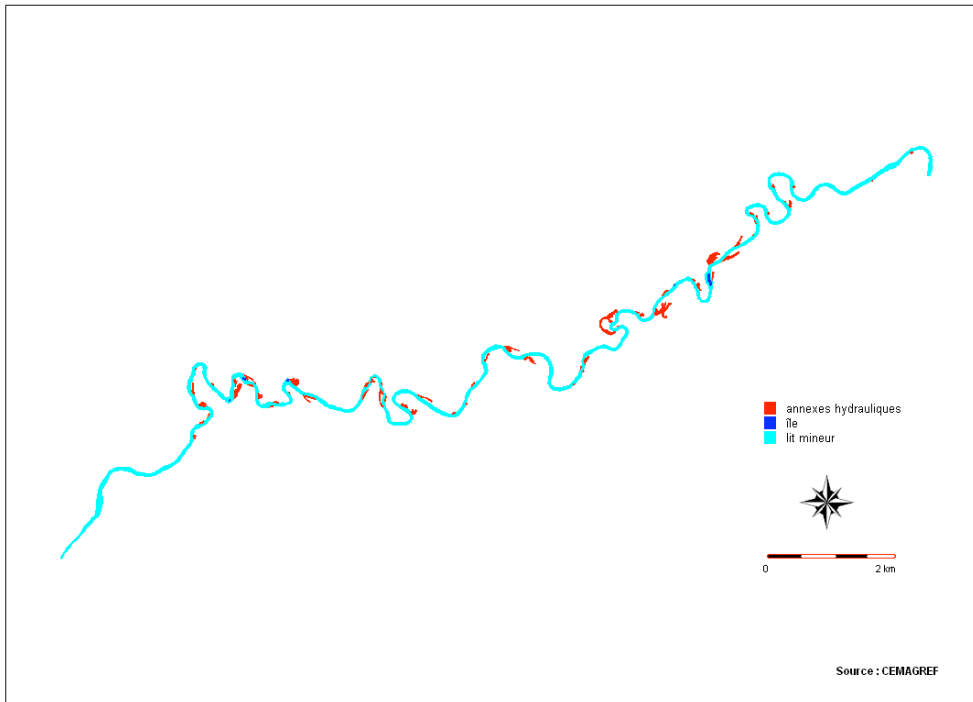


Figure 12. Distribution des îles et des annexes hydrauliques dans le secteur « naturel ».

Sur la base des observations faites sur le terrain et des résultats présentés ci – dessus, nous avons défini les types d’annexes suivants :

- types associés à la migration du lit fluvial dans le plan horizontal (processus d’expansion et/ou de translation, recouvrements) ; ces types regroupent (1) les annexes liées à la formation de dépressions arquées de convexité (*swales*) et (2) les annexes liées à des recouvrements de méandres (*oxbows*) ; pour les annexes liées à la formation de dépressions arquées de convexité, nous avons distingué 2 sous –types selon la courbure de l’axe fluvial ; ainsi, nous avons défini : (1) dans les zones de courbures maximales (*i.e.* à l’apex des méandres) des dépressions arquées de type 1 ; il s’agit de formes récentes liées à la migration actuelle du lit ; (2) dans les zones de faibles courbures (*i.e.* immédiatement en amont des points d’inflexion) des dépressions arquées de type 2 ; ces dernières sont associées à des systèmes dépressionnaires plus anciens ;
- type mixte associant d’anciens tracés (*oxbows*) et des formes assimilables à des dépressions arquées de convexité (*swales*) ;
- types morphodynamiques indépendants de la formation et de l’évolution des méandres tels que les chenaux de crue.

Afin de mieux caractériser les annexes relativement aux potentialités qu’elles offrent pour les communautés piscicoles, nous avons intégré un second critère lié à la forme de ces milieux. Nous avons retenu 3 modalités : annexe de forme longiligne, annexe de forme massive, annexe de forme mixte. Le critère retenu pour l’affectation des différentes modalités s’appuie sur le ratio largeur maximale de l’annexe / largeur de la connexion annexe – lit mineur. Le Tableau 8 récapitule les différentes modalités pour les deux variables retenues.

La Figure 13 se rapporte à la typologie des annexes hydrauliques dans le secteur « naturel ». En croisant les deux critères précédents, nous avons identifié 11 types d’annexes hydrauliques.

Tableau 8. Critères retenus pour l'élaboration de la typologie des annexes hydrauliques.

Critère 1 : géomorphologie	Critère 2 : géométrie
Type 1 = <i>swale</i> « récent »	Type 1 = forme longiligne
Type 2 = <i>swale</i> « ancien »	Type 2 = forme massive
Type 3 = <i>oxbow</i>	Type 3 = forme mixte
Type 4 = chenal de crue	
Type 5 = indéterminé	
Type 6 = mixte ( <i>swale</i> + <i>oxbow</i> )	

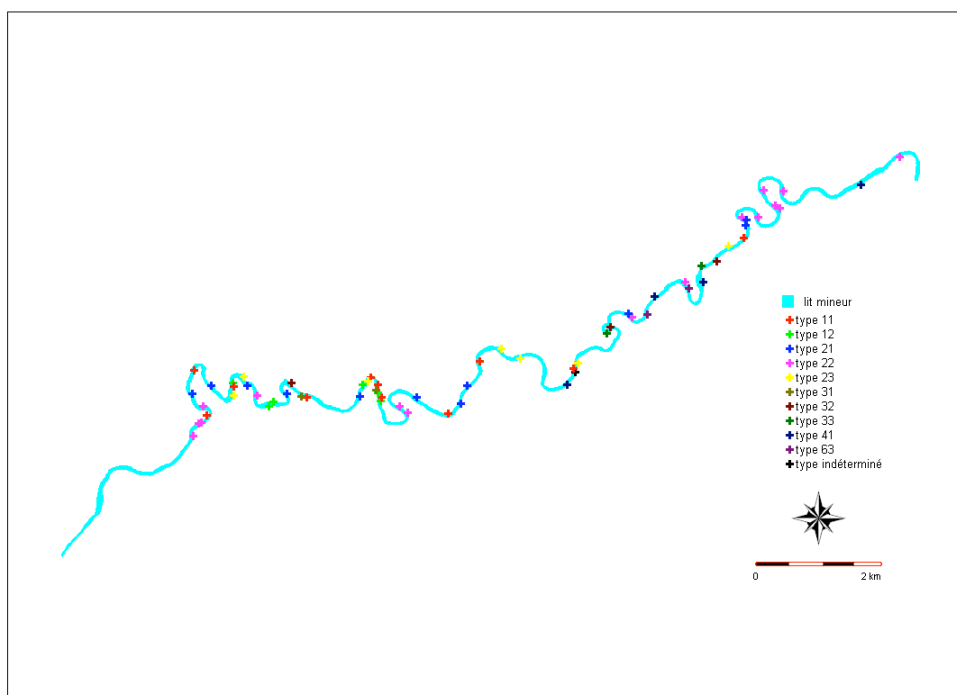


Figure 13. Distribution par types des annexes hydrauliques dans le secteur « naturel ».

## 2.4. Perspectives

Relativement aux travaux conduits cette année, nous souhaitons en 2004 réaliser un suivi plus fin (pas de temps de l'ordre de 5 à 10 ans) de l'évolution du tracé en plan à partir des photographies aériennes de l'IGN. Les objectifs sont les suivants :

- établir un suivi cartographique et morphométrique du lit et des annexes hydrauliques sur la période contemporaine ;
- mettre en relation ce suivi avec les chroniques de débits.

En parallèle, nous réaliserons une étude visant à croiser les différents paramètres morphométriques du lit avec la typologie des annexes hydrauliques afin d'examiner les facteurs qui contrôlent la distribution spatiale de ces milieux. Dans le même temps, nous préciserons le fonctionnement hydro – sédimentaire des annexes ainsi que leur âge et leur durée de vie.

Enfin, une étude visant à simuler l'évolution du lit fluvial dans le secteur « naturel » sera entreprise.

## 3. Âge et durée de vie des annexes hydrauliques

Le chenal actif constitue le « moteur » de construction du paysage fluvial, et en particulier des annexes hydrauliques qui constituent des zones potentielles d'habitat, de refuge et/ou de nurseries pour les communautés piscicoles.

Afin d'étudier la « durée de vie » de ces milieux, des carottages ont été effectués dans plusieurs annexes hydrauliques autour de Nogent-sur-Seine, représentatives des différents types typologiques. Cette étude est basée sur les variations d'activité des marqueurs radioactifs environnementaux  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{210}\text{Pb}$  (cf rapport « Enregistrement sédimentaire de la contamination métallique »).

### **3.1.1 Échantillonnage et protocole de mesure**

Dix carottes ont été prélevées classiquement au carottier, à partir d'un bateau, lors de deux missions, le 23 juillet 2003 dans les annexes 50, 61 et 65 et les bras de Balloy et de la Grande Bosse, le 21 octobre 2003, plus à l'amont, dans les annexes 44, 42, 23 en deux endroits et 22. Les carottes sont découpées en tronçons de 2 cm d'épaisseur, chaque prélèvement est ensuite séché, pesé, tamisé à 2 mm, repesé et conditionné pour un comptage de 24 heures en moyenne par spectrométrie gamma.

### **3.1.2 Premiers résultats et commentaires**

Actuellement, 74 niveaux ont été analysés, les résultats sont donnés dans le Tableau 9 et le Tableau 10.

Ces résultats montrent une très grande variabilité des activités de tous les radioéléments détectés. Dans ce milieu complexe des annexes hydrauliques, excavations des berges de la rivière, la nature même du sédiment est très hétérogène. Pour essayer de corriger l'effet granulométrique (l'adsorption de  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{210}\text{Pb}$  est d'autant plus importante que la surface spécifique est grande), les activités spécifiques (Bq/kg) de  $^{137}\text{Cs}$  et  $^{210}\text{Pb}$  des sédiments ont été normalisées à la teneur en potassium (nettement plus abondant dans les argiles que dans les limons grossiers et les sables. Les profils obtenus sont alors nettement plus réguliers (Figure 14 et Figure 15).

Les carottes prélevées dans les annexes, A22, A23, A23b, A42, A44, A50 montrent toutes des sédiments postérieurs aux années 1950, identifiables par des activités de  $^{137}\text{Cs}$  normalisées au potassium supérieures à 5 Bq/kg, valeurs très comparables à ce qu'on mesure dans les MES circulant dans le bassin. La base de la carotte A42 (20-24 cm) montre une activité nettement plus forte. En ce qui concerne l'excès de  $^{210}\text{Pb}$ , tous les niveaux de ces carottes pauvres en potassium (moins de 0.3 %) donnent des valeurs trop entachées d'erreur pour être exploitables. Ceci est normal car la détermination de l'excès de  $^{210}\text{Pb}$ , toujours délicate, est pratiquement impossible dans des sédiments aussi grossiers.

Dans les carottes A61, Aba et Agb, en revanche, on atteint le sédiment ancien (avant 1950) en dessous de 15 cm de profondeur. Les deux carottes Aba et Agb, prélevées dans des bras plutôt que dans des petites annexes, montrent des activités de  $^{137}\text{Cs}$  augmentant avec la profondeur, comme ce qu'on a vu dans la carottes A42, pour laquelle nous n'avons pas atteint l'horizon sans  $^{137}\text{Cs}$ . Une étude d'autres carottes dans ces bras pourrait peut être permettre d'attribuer ces profils au calendrier des retombées atmosphériques.

Dans la carotte A61, on distingue aussi à 4 cm de profondeur un épisode de rejet de  $^{60}\text{Co}$  provenant très probablement de la centrale de Nogent-sur-Seine, la carotte ayant été prélevée juste en face de l'exutoire.

Tableau 9. Résultats des analyses par spectrométrie gamma (exprimés en Bq/kg, excepté pour le potassium)

prof. cm	<sup>210</sup> Pb <sub>xs</sub>	<sup>210</sup> Pb	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Th	K (%)	<sup>137</sup> Cs	<sup>7</sup> Be	<sup>60</sup> Co
<b>A22</b>								
0	3 ± 2	10 ± 1	7,4 ± 0,2	3,4 ± 0,1	0,08 ± 0,01	0,8 ± 0,1	< 4	< 0,1
2	4 ± 2	11 ± 1	7,8 ± 0,2	3,7 ± 0,1	0,10 ± 0,01	0,4 ± 0,1	< 4	< 0,1
8	< 3	13 ± 1	10,4 ± 0,2	5,4 ± 0,2	0,16 ± 0,01	1,1 ± 0,1	< 5	< 0,2
16	6 ± 3	16 ± 1	10,0 ± 0,2	7,0 ± 0,2	0,24 ± 0,01	2,0 ± 0,1	< 5	< 0,2
18	4 ± 3	14 ± 1	9,9 ± 0,2	7,1 ± 0,2	0,22 ± 0,01	2,6 ± 0,2	< 5	< 0,2
26	5 ± 3	16 ± 1	11,2 ± 0,2	8,2 ± 0,2	0,27 ± 0,01	2,5 ± 0,2	< 5	< 0,2
28	6 ± 3	19 ± 2	12,8 ± 0,3	9,1 ± 0,2	0,29 ± 0,01	2,8 ± 0,2	< 6	< 0,2
32	6 ± 2	18 ± 1	12,2 ± 0,2	10,3 ± 0,1	0,33 ± 0,01	2,7 ± 0,1	< 4	< 0,1
36	< 3	12 ± 1	9,4 ± 0,2	6,2 ± 0,2	0,18 ± 0,01	1,9 ± 0,1	< 4	< 0,1
<b>A23</b>								
0	14 ± 4	32 ± 2	17,5 ± 0,4	13,2 ± 0,3	0,44 ± 0,02	3,8 ± 0,3	< 6	< 0,4
6	< 3	10 ± 1	12,1 ± 0,3	3,9 ± 0,2	0,14 ± 0,01	1,7 ± 0,2	< 4	< 0,3
12	< 2	8 ± 1	8,3 ± 0,2	2,2 ± 0,1	0,05 ± 0,01	0,5 ± 0,1	< 4	< 0,2
18	< 2	5 ± 1	11,5 ± 0,3	3,0 ± 0,2	0,09 ± 0,01	0,6 ± 0,1	< 4	< 0,3
24	< 1	8 ± 1	7,4 ± 0,1	2,4 ± 0,1	0,07 ± 0,00	0,4 ± 0,1	< 2	< 0,2
<b>A23B</b>								
0	24 ± 5	40 ± 2	16,8 ± 0,4	16,2 ± 0,4	0,55 ± 0,02	4,9 ± 0,3	10 ± 2	< 0,4
4	23 ± 5	42 ± 2	19,4 ± 0,4	17,8 ± 0,4	0,67 ± 0,02	5,6 ± 0,3	< 7	< 0,4
8	11 ± 5	33 ± 2	22,4 ± 0,4	14,3 ± 0,3	0,48 ± 0,02	6,1 ± 0,3	< 7	< 0,4
12	13 ± 3	26 ± 1	13,0 ± 0,2	10,8 ± 0,2	0,31 ± 0,01	5,0 ± 0,2	< 3	< 0,2
20	7 ± 5	27 ± 2	20,4 ± 0,4	13,8 ± 0,4	0,44 ± 0,02	3,9 ± 0,3	< 6	< 0,5
26	13 ± 4	30 ± 2	16,6 ± 0,3	17,2 ± 0,3	0,61 ± 0,02	5,4 ± 0,3	< 5	< 0,3
34	< 2	8 ± 1	7,9 ± 0,2	2,9 ± 0,1	0,08 ± 0,01	0,6 ± 0,1	< 3	< 0,2
<b>A42</b>								
0	< 2	9 ± 1	8,3 ± 0,2	3,5 ± 0,1	0,09 ± 0,00	0,4 ± 0,1	< 3	< 0,2
8	< 2	7 ± 1	8,6 ± 0,2	3,0 ± 0,1	0,08 ± 0,00	0,5 ± 0,1	< 3	< 0,2
12	< 2	7 ± 1	8,3 ± 0,2	3,2 ± 0,1	0,08 ± 0,00	0,5 ± 0,1	< 4	< 0,1
16	< 2	8 ± 1	7,5 ± 0,2	3,0 ± 0,1	0,08 ± 0,00	0,9 ± 0,1	< 3	< 0,1
20	< 2	13 ± 1	10,7 ± 0,2	6,9 ± 0,2	0,21 ± 0,01	7,9 ± 0,2	< 5	< 0,2
22	< 2	11 ± 1	9,2 ± 0,2	4,9 ± 0,1	0,15 ± 0,01	4,6 ± 0,1	< 3	< 0,1
<b>A44</b>								
0	8 ± 3	17 ± 1	8,7 ± 0,2	6,4 ± 0,2	0,18 ± 0,01	1,3 ± 0,1	6 ± 2	< 0,2
10	15 ± 4	30 ± 2	14,9 ± 0,3	13,8 ± 0,3	0,47 ± 0,01	3,9 ± 0,2	< 7	< 0,2
14	11 ± 4	24 ± 2	13,1 ± 0,3	12,3 ± 0,3	0,41 ± 0,01	3,3 ± 0,2	< 5	< 0,2
22	9 ± 3	21 ± 1	11,8 ± 0,2	10,6 ± 0,2	0,36 ± 0,01	3,1 ± 0,1	< 4	< 0,1
<b>A50</b>								
0	16 ± 7	28 ± 3	12,0 ± 0,3	11,6 ± 0,3	0,37 ± 0,01	3,1 ± 0,2	10 ± 2	< 0,3
4	18 ± 7	31 ± 3	12,3 ± 0,3	14,3 ± 0,3	0,47 ± 0,01	3,7 ± 0,2	< 11	< 0,3
6	< 4	17 ± 2	14,8 ± 0,4	9,3 ± 0,3	0,33 ± 0,02	3,1 ± 0,3	< 39	< 0,5
8	6 ± 5	15 ± 3	8,8 ± 0,2	6,6 ± 0,2	0,19 ± 0,01	1,7 ± 0,2	< 10	< 0,2
12	< 3	11 ± 1	8,9 ± 0,2	5,5 ± 0,2	0,15 ± 0,01	1,2 ± 0,1	< 5	< 0,1
16	< 5	17 ± 3	12,2 ± 0,3	9,2 ± 0,3	0,28 ± 0,01	2,9 ± 0,2	< 4	< 0,2

Tableau 10. Résultats des analyses par spectrométrie gamma (exprimés en Bq/kg, excepté pour le potassium)

prof. cm	<sup>210</sup> Pb <sub>xs</sub>	<sup>210</sup> Pb	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Th	K (%)	<sup>137</sup> Cs	<sup>7</sup> Be	<sup>60</sup> Co
<b>A61</b>								
0	22 ± 7	32 ± 3	10,3 ± 0,3	9,0 ± 0,3	0,31 ± 0,01	3,7 ± 0,3	14 ± 2	0,7 ± 0,2
2	9 ± 6	19 ± 3	9,4 ± 0,3	8,7 ± 0,3	0,29 ± 0,01	3,6 ± 0,2	12 ± 2	0,5 ± 0,2
4	14 ± 7	24 ± 4	10,7 ± 0,3	9,8 ± 0,3	0,31 ± 0,01	3,8 ± 0,3	< 7	2,8 ± 0,3
6	22 ± #	32 ± 7	9,8 ± 0,6	11,8 ± 0,6	0,36 ± 0,03	5,7 ± 0,5	< 14	1,2 ± 0,4
8	14 ± 6	24 ± 3	10,4 ± 0,3	7,6 ± 0,3	0,20 ± 0,01	2,9 ± 0,2	< 11	0,5 ± 0,2
10	11 ± 5	21 ± 3	9,8 ± 0,2	6,4 ± 0,2	0,18 ± 0,01	2,4 ± 0,2	< 9	< 0,2
12	12 ± 6	21 ± 3	9,0 ± 0,3	7,9 ± 0,3	0,20 ± 0,01	3,3 ± 0,2	< 5	< 0,2
14	6 ± 6	19 ± 3	12,7 ± 0,3	10,4 ± 0,3	0,30 ± 0,01	1,1 ± 0,2	< 5	< 0,3
16	9 ± 7	22 ± 4	12,9 ± 0,3	13,8 ± 0,4	0,42 ± 0,02	< 0,3	< 7	< 0,3
18	7 ± 6	19 ± 3	11,8 ± 0,3	8,5 ± 0,3	0,22 ± 0,01	< 0,3	< 6	< 0,2
20	9 ± 5	17 ± 3	8,5 ± 0,3	7,4 ± 0,3	0,19 ± 0,01	< 0,2	< 5	< 0,2
22	< 6	11 ± 3	8,9 ± 0,3	7,5 ± 0,3	0,17 ± 0,01	< 0,3	< 7	< 0,3
24	9 ± 4	19 ± 2	9,5 ± 0,2	8,6 ± 0,2	0,25 ± 0,01	< 0,2	< 4	< 0,2
26	16 ± 7	28 ± 3	11,9 ± 0,3	12,3 ± 0,4	0,36 ± 0,01	< 0,3	< 6	< 0,3
28	7 ± 7	20 ± 3	12,2 ± 0,3	12,7 ± 0,4	0,42 ± 0,02	< 0,3	< 1	< 0,3
<b>A65</b>								
0	< 6	19 ± 3	26,9 ± 0,7	17,5 ± 0,5	0,56 ± 0,03	1,0 ± 0,4	< 10	< 0,7
4	< 6	13 ± 3	19,9 ± 0,6	17,5 ± 0,5	0,62 ± 0,03	< 0,7	< 8	< 0,7
10	< 6	19 ± 3	18,2 ± 0,6	15,2 ± 0,5	0,56 ± 0,03	< 0,6	< 9	< 0,7
14	< 6	22 ± 3	32,6 ± 0,6	17,5 ± 0,5	0,57 ± 0,03	< 0,6	< 9	< 0,6
20	< 6	12 ± 3	25,6 ± 0,6	16,1 ± 0,5	0,55 ± 0,03	< 0,5	< 8	< 0,6
24	< 5	12 ± 2	24,4 ± 0,6	11,7 ± 0,4	0,38 ± 0,02	< 0,5	< 7	< 0,5
30	< 7	16 ± 3	15,2 ± 0,6	11,1 ± 0,5	0,22 ± 0,02	< 0,7	< 10	< 0,6
<b>Aba</b>								
0	8 ± 3	17 ± 2	8,3 ± 0,2	4,0 ± 0,2	0,11 ± 0,01	1,4 ± 0,1	8 ± 2	< 0,2
4	< 3	11 ± 2	9,4 ± 0,2	6,4 ± 0,2	0,18 ± 0,01	3,8 ± 0,2	< 7	< 0,2
8	< 4	21 ± 2	18,3 ± 0,4	12,9 ± 0,3	0,47 ± 0,02	12,1 ± 0,4	< 7	< 0,4
14	6 ± 6	23 ± 3	17,5 ± 0,5	12,5 ± 0,5	0,46 ± 0,03	< 0,6	< 9	< 0,7
18	6 ± 4	20 ± 2	14,6 ± 0,3	14,1 ± 0,3	0,49 ± 0,01	0,3 ± 0,1	< 6	< 0,2
24	< 5	9 ± 2	28,6 ± 0,5	11,4 ± 0,4	0,42 ± 0,02	< 0,5	< 8	< 0,5
26	< 3	8 ± 1	12,0 ± 0,2	7,2 ± 0,2	0,24 ± 0,01	0,2 ± 0,1	< 6	< 0,2
<b>Agb</b>								
0	31 ± 8	52 ± 4	21,2 ± 0,6	10,7 ± 0,5	0,40 ± 0,03	5,1 ± 0,5	< 27	< 0,7
2	18 ± 5	32 ± 2	14,5 ± 0,4	8,1 ± 0,3	0,37 ± 0,02	4,2 ± 0,3	< 50	< 0,6
6	18 ± 5	29 ± 2	11,0 ± 0,4	8,7 ± 0,3	0,29 ± 0,02	6,5 ± 0,4	< 14	< 0,4
8	< 4	17 ± 2	14,7 ± 0,4	9,2 ± 0,3	0,33 ± 0,02	6,4 ± 0,4	< 40	< 0,4
10	< 3	15 ± 2	13,2 ± 0,3	10,1 ± 0,3	0,34 ± 0,02	2,1 ± 0,2	< 32	< 0,4
12	< 3	15 ± 1	21,7 ± 0,3	10,6 ± 0,2	0,33 ± 0,01	1,3 ± 0,2	< 28	< 0,4
16	< 3	15 ± 1	15,9 ± 0,3	14,2 ± 0,3	0,45 ± 0,01	0,5 ± 0,2	< 28	0,39 ± 0,2
22	< 4	13 ± 2	16,3 ± 0,3	10,5 ± 0,3	0,32 ± 0,02	< 0,4	< 12	< 0,3

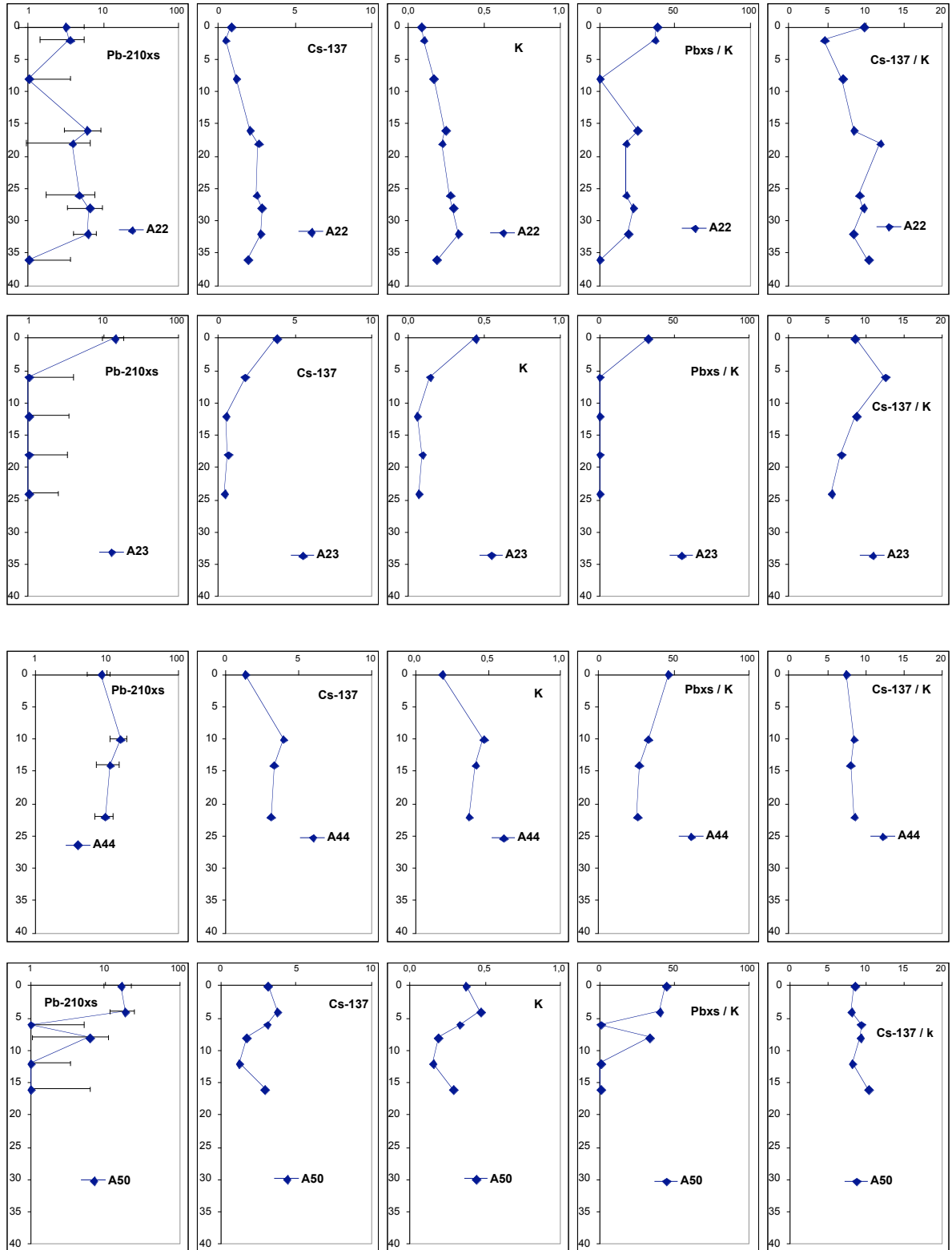


Figure 14. Profils de variations des activités en  $^{210}\text{Pb}$  en excès et en  $^{137}\text{Cs}$  (en Bq/kg), des teneurs en potassium (en %) et des activités en  $^{210}\text{Pb}$  en excès et  $^{137}\text{Cs}$  normalisées à la teneur en potassium pour chacune des carottes prélevées dans les annexes.



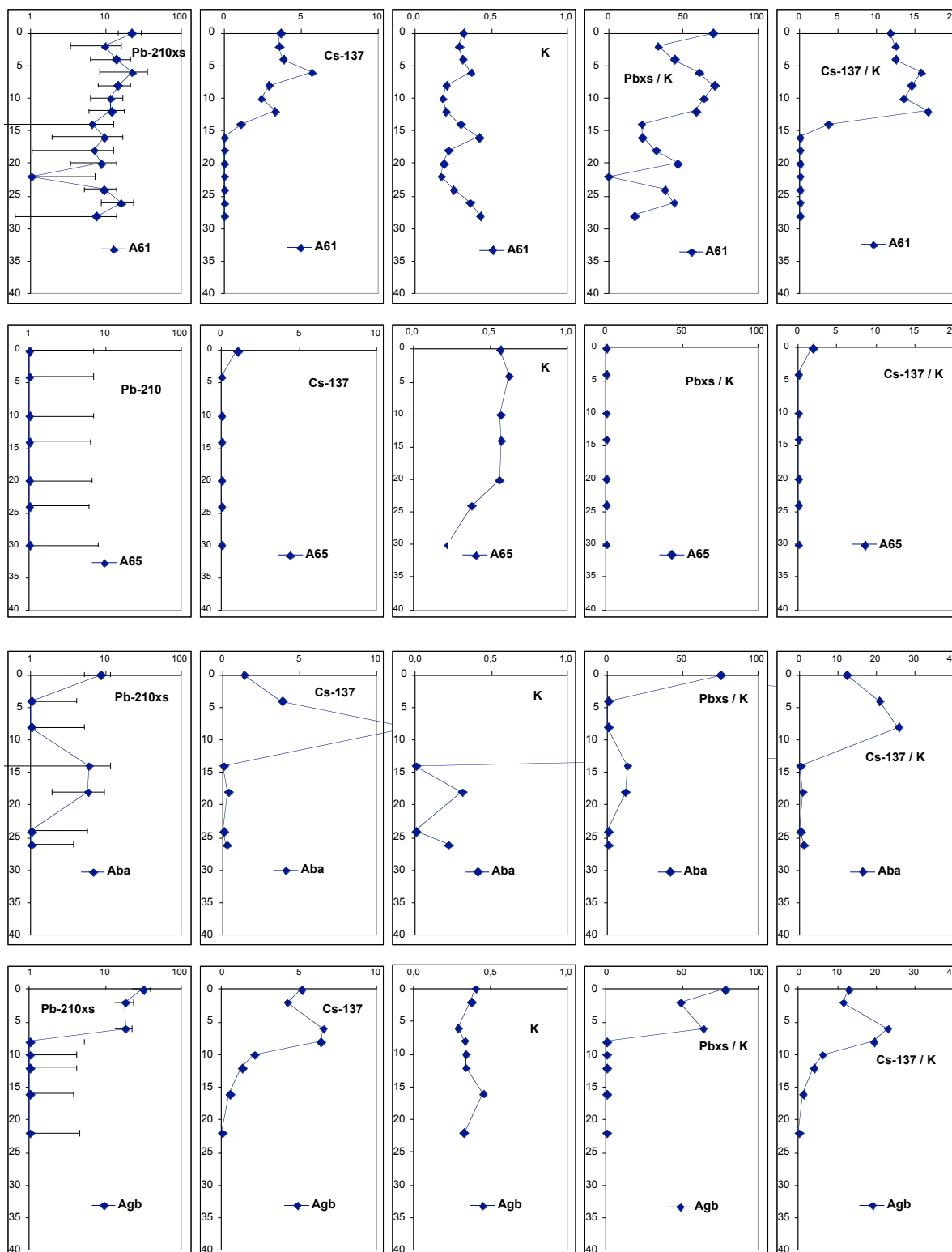


Figure 15. Profils de variations des activités en  $^{210}\text{Pb}$  en excès et en  $^{137}\text{Cs}$  (en Bq/kg), des teneurs en potassium (en %) et des activités en  $^{210}\text{Pb}$  en excès et  $^{137}\text{Cs}$  normalisées à la teneur en potassium pour chacune des carottes prélevées dans les annexes.

#### 4. Conclusion et perspectives

L'objectif général de ces travaux est de mieux comprendre, l'influence de la structure spatiale de la mosaïque du paysage aquatique sur la structure du peuplement piscicoles. Un outil logiciel et

son interface graphique sont maintenant construits et opérationnels. Le calage des courbes de probabilité avec les données d'abondance, fournies par des pêches *in situ*, et l'étude de sensibilité des paramètres, démarrés en 2003, sont en cours de finalisation.

Ainsi qu'annoncé en début de programme, il est maintenant proposé de coupler les descriptions d'habitat à un modèle dynamique de comportement et d'évolution des poissons. Au terme du programme, en effet, il s'agit bien d'aboutir à l'élaboration d'un simulateur, sorte de « laboratoire virtuel », permettant d'explorer qualitativement les évolutions possibles du système, et de tester sa réaction à des scénarios théoriques d'action sur les zones de reproduction (destruction, réhabilitation), en particulier en termes de diffusion des alevins, en faisant des hypothèses fortes sur les comportements.

Parallèlement, il est aussi proposé de poursuivre les travaux visant à préciser les différents facteurs qui gouvernent la genèse, la dynamique hydro-géomorphologique et l'évolution des milieux composant le paysage fluvial, dont le chenal actif constitue de « moteur » de construction.

*In fine*, pourront ainsi être couplées les dynamiques biologique, de comportement des poissons, et physique, de structuration de l'espace au sein du paysage aquatique fluvial, ainsi que leur évolution, s'exprimant à différentes temporalités emboîtées.

### Références bibliographiques

- Baade U. & Fredrich F. ( 1998 ) Movement and pattern of activity of the roach in the River Spree, Germany. *J Fish Biol*, 52, 1165-1174.
- Baras E. & Cherry B. ( 1990 ) Seasonal activities of female barbel *Barbus barbus* (L.) in the River Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources*, 283-294.
- Baras E. ( 1997 ) Environmental determinants of residence area selection by *Barbus barbus* in the River Ourthe. *Aquat Living Resour*, 10, 195-206.
- Berrebi-dit-Thomas R. (1999) - Le recrutement des communautés piscicoles dans les annexes hydrauliques de la plaine de La Bassée (Seine). *Thèse Doct. Univ. Paris VI, spécialité Ecologie*, 271 p.
- Bravard J. P., Petit F., 1997. *Les cours d'eau; dynamique du système fluvial*, Paris: Masson, 221 p..
- Bravard J.-P., Bethemont J., 1989. "Cartography of rivers in France", In Petts G. E. ed., Historical change of large alluvial rivers: western Europe, Chichester: Wiley, 95-111.
- Clough S. & Ladle M. ( 1997 ) Diel migration and site fidelity in a stream-dwelling cyprinid, *Leuciscus leuciscus*. *J Fish Biol*, 50, 1117-1119.
- Donnelly R. E., Caffrey J. M. & Tierney D. M. ( 1998 ) Movements of a bream (*Abramis brama* (L.)), rudd x bream hybrid, tench (*Tinca tinca* (L.)) and pike (*Esox lucius* (L.)) in an Irish canal habitat. *Hydrobiologia*, 372, 305-308.
- Dzana J. G., 1997. Le lit de la Seine de Bar à Montereau: Etude morphodynamique, rôle des aménagements, *Thèse de Géographie: Université de Paris I*, 411 p..
- Faure T (2003) *Tutoriel pour le programme Paysage Aquatique*. Document interne Cemagref.
- Fischer S. & Kummer H. ( 2000 ) Effects of residual flow and habitat fragmentation on distribution and movement of bullhead (*Cottus gobio* L.) in an alpine stream. *Hydrobiologia*, 422, 305-317.
- Fredrich F., Ohmann S., Curio B. & Kirschbaum F. ( 2003 ) Spawning migrations of the chub in the River Spree, Germany. *Journal of Fish Biology*, 63, 710-723.
- Gaillard S., 1999. L'Aube : dynamique morphosédimentaire holocène et fonctionnement actuel d'un hydrosystème à faible énergie, *Thèse de Géographie: Université de Paris IV*, 238 p..

- Geist D. R., Abernethy C. S., Blanton S. L. & Cullinan V. I. ( 2000 ) The use of electromyogram telemetry to estimate energy expenditure of adult fall chinook salmon. *Trans Amer Fish Soc*, 129, 126-135.
- Gerking S. D. ( 1959 ) The restricted movement of fish populations. *Biological Review*, 34, 221-242.
- Gilliam J. F. & Fraser D. F. ( 2001 ) Movement in corridors: Enhancement by predation threat, disturbance, and habitat structure. *Ecology*, 82, 258-273.
- Hickin E. J., 1974. "The development of river meanders in natural channels", *Am. J. of Science*, 274, 414 - 442.
- Hickin E. J., 1977. "Hydraulic factors controlling channel migration", In Davidson A. R., Nickling W., ed., Proceedings of the 5<sup>th</sup> Guelph Geomorphology Symposium, Norwich: Geobooks, 59-72.
- Hinch S. G., Standen E. M., Healey M. C. & Farrell A. P. ( 2002 ) Swimming patterns and behaviour of upriver-migrating adult pink (*Oncorhynchus gorbuscha*) and sockeye (*O. nerka*) salmon as assessed by EMG telemetry in the Fraser River, British Columbia, Canada. *Hydrobiologia*, 483, 147-160.
- Hooke J. M., Redmond C. E., 1989. "Use of cartographic sources for analysing river channel change with examples from Britain", In Petts G. E. ed., Historical change of large alluvial rivers: western Europe, Chichester: Wiley, 79-93.
- Huber M. & Kirchhofer A. ( 1998 ) Radio telemetry as a tool to study habitat use of nase (*Chondrostoma nasus* L.) in medium-sized rivers. *Hydrobiologia*, 372, 309-319.
- Knaapen J. P., Scheffer M. & Harms B. ( 1992 ) Estimating habitat isolation in landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 23, 1-16.
- Lucas M. C. & Baras E. ( 2001b ) Migration of freshwater fishes: Blackwell Science.
- Lucas M. C. ( 2000 ) The influence of environmental factors on movements of lowland river fish in the Yorkshire Ouse system. *The Science of the Total Environment*, 251/252, 223-232.
- Minns C. K. ( 1995 ) Allometry of home range size in lake and river fishes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52, 1499-1508.
- Pavlov D. S. ( 1989 ) *Structures assisting the migrations of non-salmonid fish* : USSR, pp. 97: FAO, Rome.
- Ray N., Lehmann A. & Joly P. ( 2002 ) Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation*, 11, 2143-2165.
- Rodriguez M. A. ( 2002 ) Restricted movement in stream fish: The paradigm is incomplete, not lost. *Ecology*, 83, 1-13.
- Schiemer F., Spindler T., Wintersberger H., Schneider A. & Chovanec A. (1991) - Fish fry associations : important indicators for the ecological status of large rivers. *Ver. Internat. Verein. Limnol.*, 24, 2497-2500.
- Schippers P., Verboom J., Knaapen J. P. & vanApeldoorn R. C. ( 1996 ) Dispersal and habitat connectivity in complex heterogeneous landscapes: An analysis with a GIS-based random walk model. *Ecography*, 19, 97-106.
- Schumm S. A., 1977. *The fluvial system*, New York: Wiley, 338 p..

# **Annexe**

## **Tutoriel Programme Paysage Aquatique**

Version 1

25/04/2003

<b>1.DESCRPTION DE L'APPLICATION.....</b>	<b>3</b>
A.LES DIFFÉRENTS FORMATS DE FICHIERS ET EXTENSIONS DES FICHIERS.....	3
B.DESCRPTION DES CODES.....	4
C.LANCEMENT DE L'APPLICATION.....	4
D.CHARGER LES DONNÉES.....	4
E.CALCUL DE DISTANCE.....	8
<i>i.Les différentes étapes.....</i>	<i>8</i>
<i>ii.Description du fichier de distance.....</i>	<i>12</i>
<i>iii.Calcul du semi-variogramme.....</i>	<i>13</i>
<i>iv.Calcul du Cij.....</i>	<i>14</i>
<i>v.Probabilité d'atteindre la frayère la plus proche.....</i>	<i>14</i>
F.VISUALISATION.....	14
<i>i.Visualisation de la rivière.....</i>	<i>15</i>
<i>Visualisation des distances.....</i>	<i>16</i>

# 1. Description de l'application

## a. Les différents formats de fichiers et extensions des fichiers

- xxx : début commun (par exemple aa96)
- [1] xxx\_info.xml : fichier d'information qui contient les différents indices
- [1] xxx\_peche.txt" : fichier de pêches (contient dans un tableau 2d le nombre de poissons pour chacune des pêches.
- [1] xxx\_riv.asc" : fichier de la rivière sous forme de matrice pleine (Format ARCVIEW ASCII data)
- [0] xxx\_riv.spa" : fichier de la rivière sous forme de matrice creuse. Seul les éléments non nuls sont stockés avec la référence des lignes et des colonnes).
- Le « .spa » est généré automatiquement s'il n'est pas présent à partir des données contenu dans le « .asc ». (si les « .spa » existe le « .asc » peut être effacé.
- [0] xxx\_pospeche.asc" : fichier des positions des pêches sous forme de matrice pleine.
- [0] xxx\_pospeche.txt" : fichier des positions des pêches sous forme de liste (numéro pêche, pixel i, pixel j). Nb : Si ce fichier n'existe pas il est créé soit à partir du fichier de la matrice pleine (xxx\_pospeche.asc), soit à partir des données de la rivière (xxx\_riv.asc) et des codes de pêches en extrayant ceux-ci. La matrice de la rivière est réécrite sans les codes de pêches (les codes étant remplacés par l'indice des voisins le plus fréquent)
- [0] xxx\_poissons.txt" : fichiers des différents poissons avec leurs données associées (résistance, densité). **Partie de code non encore testé car ce fichier n'était pas disponible.**

## b. Description des codes

[0] : fichier facultatif créé lors du premier passage

[1] : fichier nécessaire : sinon une erreur, un warning, ou une fenêtre demandant de charger le fichier apparaît

[2] : partie nécessaire : mais non encore implémentée

## c. Lancement de l'application

Double cliquer sur « lance\_visu.bat » dans le dossier run.

## d. Charger les données

Lors du lancement de l'application le panneau de la figure 1.

➔ L'onglet des données est activée. Il faut charger le fichier xml décrivant le fichier de la mosaïque physique utilisée.

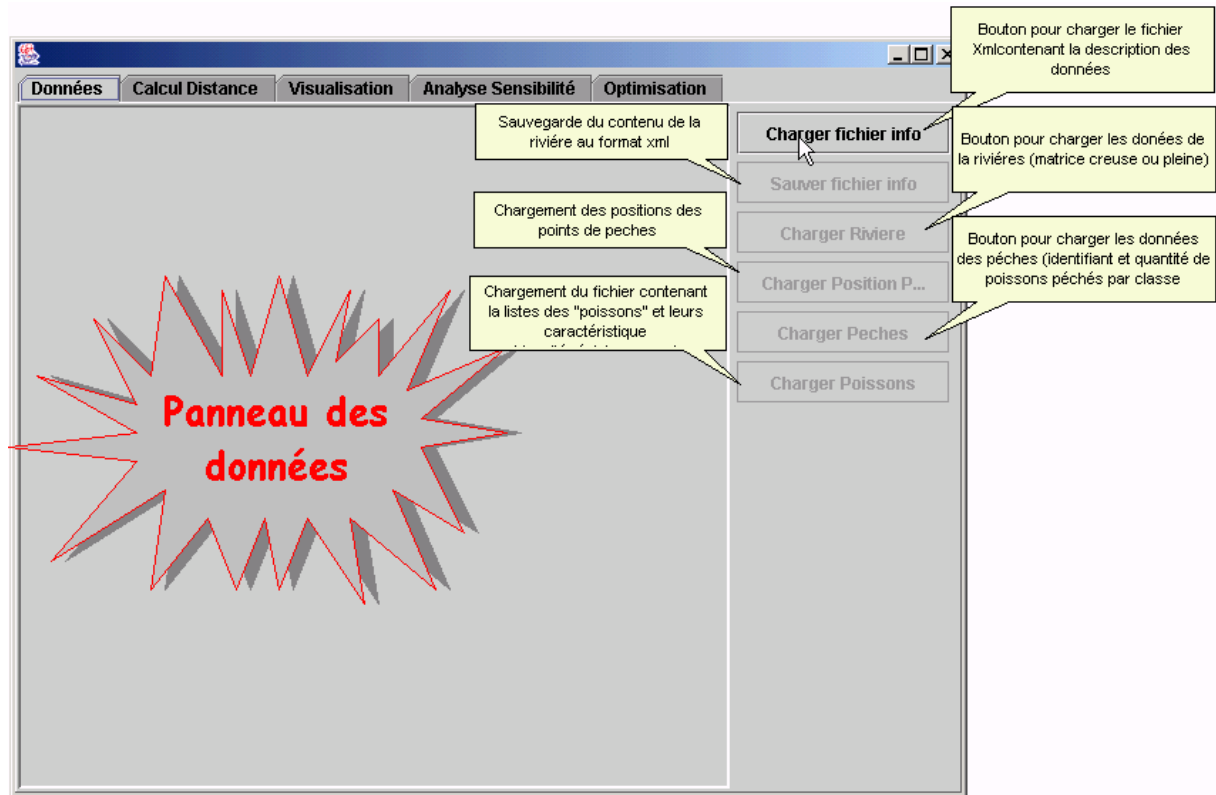


figure 1 : Panneau des données avant chargement du fichier xml



Après le chargement du fichier xml, le panneau de données apparaît sous la forme d'un éditeur (cf. figure 2) qui permet de modifier le fichier xml.

Dans le fichier xml on considère 2 types d'objets

- Les zones : ensemble de pixels possédant un code unique
- Les points : pixel possédant un code unique. On peut définir un ensemble de points (par exemple les points de pêches).

Ajout / Suppression de zones ou de points

- Pour ajouter une zone à la fin des zones ou des points il suffit de cliquer sur ajout
- Pour intercaler une zone, il faut cocher la case à cocher suivante. Par exemple sur la figure 3 on a coché la plage pour insérer une zone avant.
- Pour supprimer une ou plusieurs zone(s) il faut cocher les zones que l'on veut supprimer.



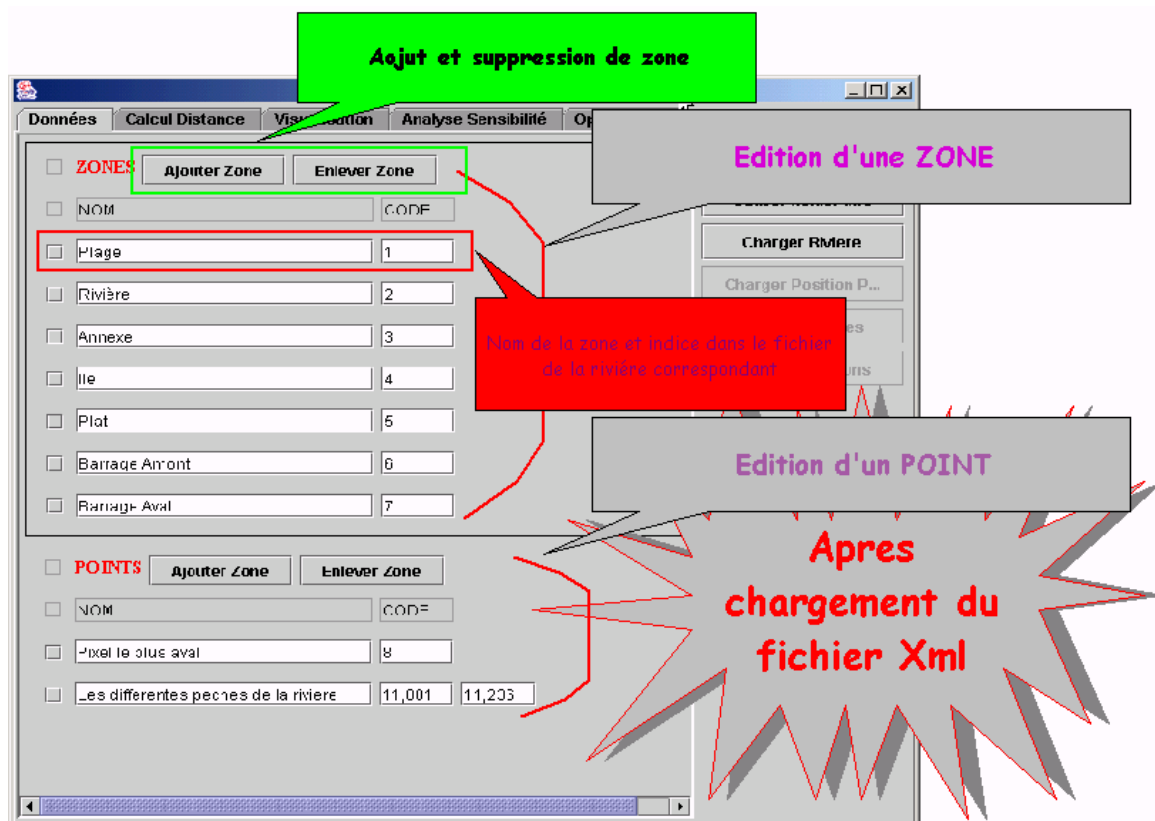


figure 2 : Panneau des données après chargement du fichier xml

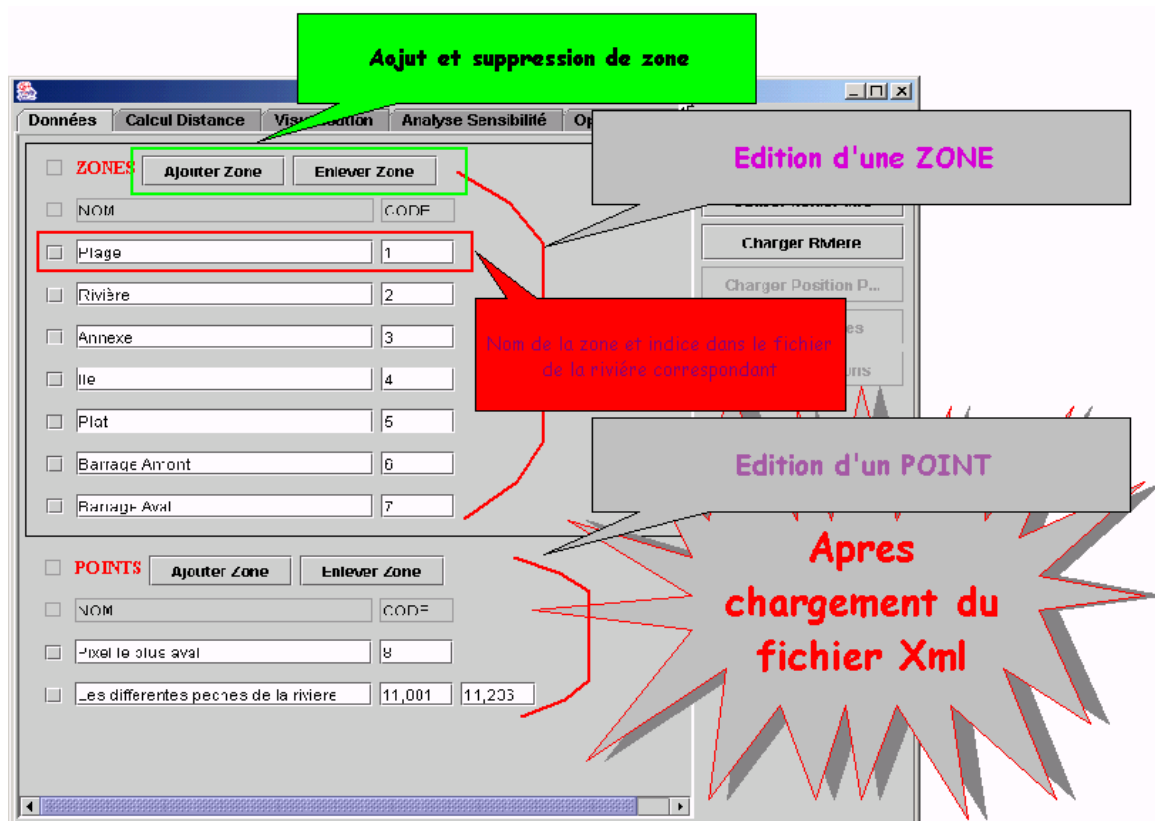


figure 3 : Insertion de zones ou de points.

Cette étape permet de créer un nouveau fichier xml qui correspondrait à une nouvelle mosaïque à partir de l'édition d'un fichier xml décrivant une mosaïque préexistante ou d'en créer un nouveau « from-scratch ».

➡ Lorsque le fichier xml est chargé le bouton de chargement de la rivière est désensablé. Il permet de charger les données de la rivière.

➡ Les points de pêches peuvent être stockés sous deux formats assez différents

- soit être dans un fichier de point de pêches identiques au format de la rivière. Avec des données présentent uniquement sur la position des points de pêches. Le reste étant remplie de données vides. Fichier au format « .asc ». Ce fichier est transformé en pseudo matrice creuse (sous forme de colonne uniquement (avec l'indice de la pêche et le numéro de la ligne et de la colonne correspondante).
- Soit les points de pêches sont incluses dans la rivière sous la forme de codes de pêches. Cela crée la perte des données correspondantes de la rivière. Pour remédier a cela nous avons :
  - Extrait les points de pêches de la rivière et crée le fichier de pseudo matrice creuse.
  - Remplacé les données manquantes des points de pêches par celles la valeur des voisins, du pixel considéré, qui est la plus représentée.

## *e. Calcul de Distance*

### **I. LES DIFFÉRENTES ÉTAPES**

---

Une fois le fichier xml et le fichier des données de la rivière chargés, **il est possible de calculer des distances.**

Le panneau des distances se présente comme sur la figure 4. Avec la possibilité de calculer, de sauver des distances et de calculer des semi-variogrammes.

Pour calculer une distance il est nécessaire de :

- Choisir la zone ou les points initiaux (figure 5) : Une seule possibilité de choix.
- Choisir la ou les zones et points cible (figure 6): possibilité de choix multiple avec les touches « ctr » et/ou « shift ».
- Choisir une distance globale (figure 7) : distance à toutes les zones ou à celle la plus proche.
- Choisir le sens de calcul dans la rivière (figure 8): de l'aval vers l'amont, de l'amont vers l'aval ou dans les 2 sens.
- Choisir le type de distance (figure 9) : Physique : chaque pixel vaut 1 ou physiologique : chaque pixel est égal à sa résistance .

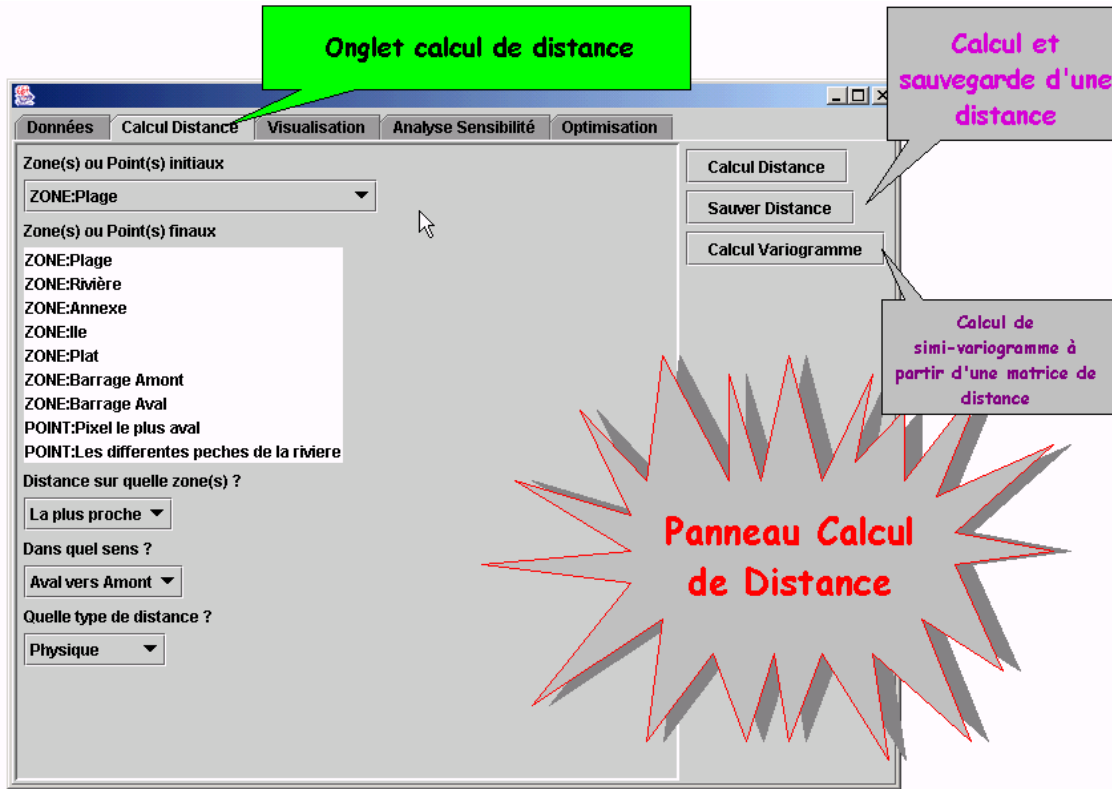


figure 4 : Panneau pour le calcul des distances.

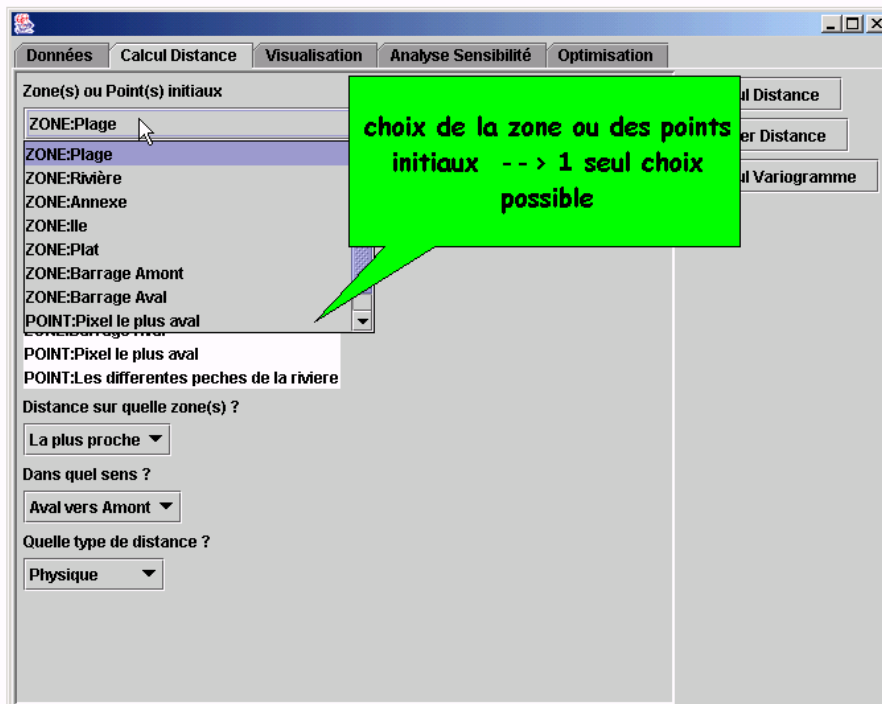


figure 5 : Choix de la zone ou des points initiaux.

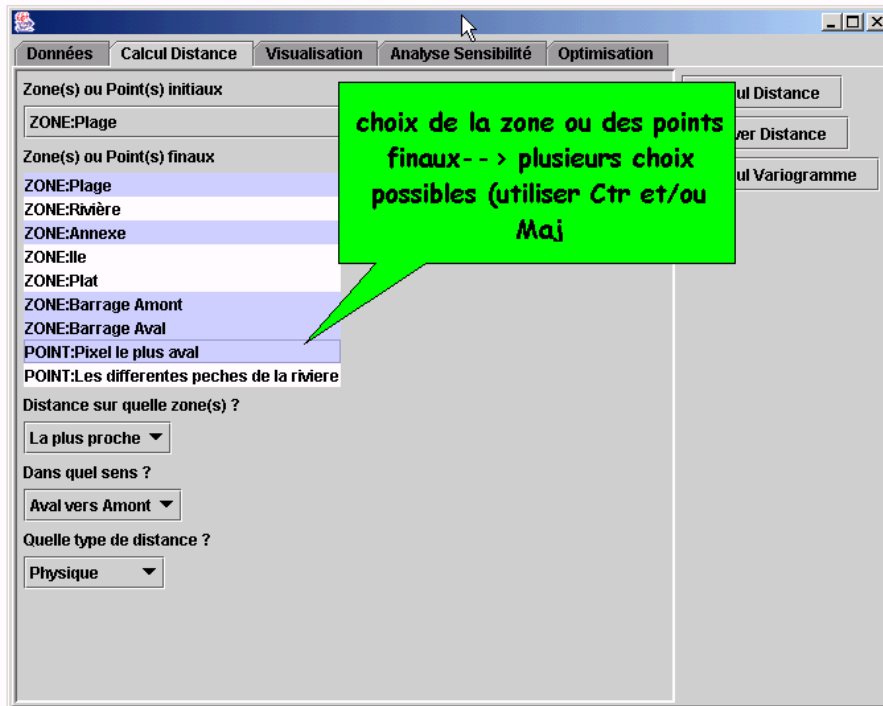


Figure 6 : Choix multiples des zones et points cibles.

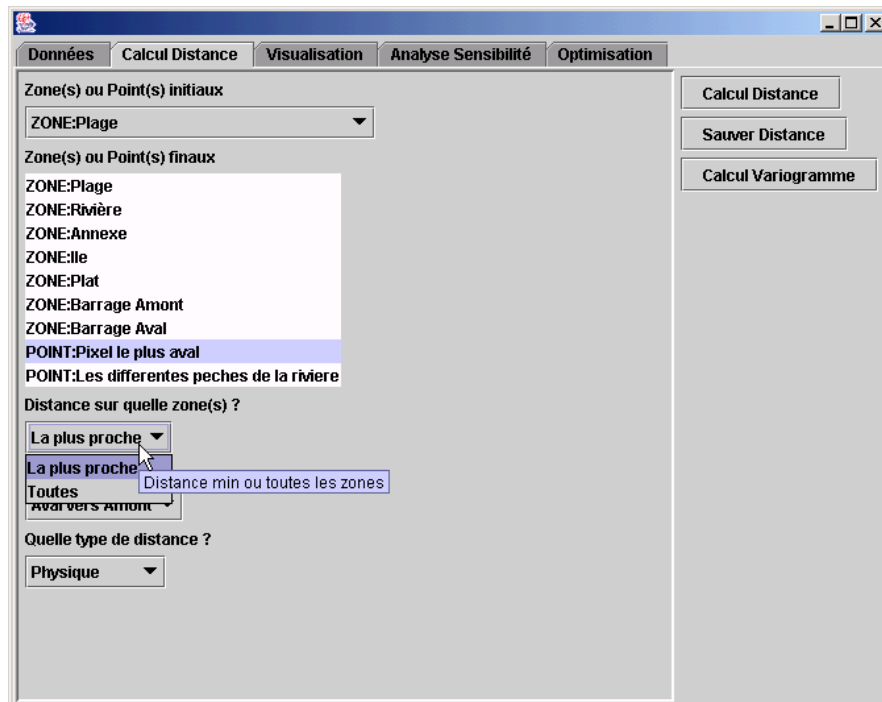


Figure 7 : Choix d'une distance min ou globale.

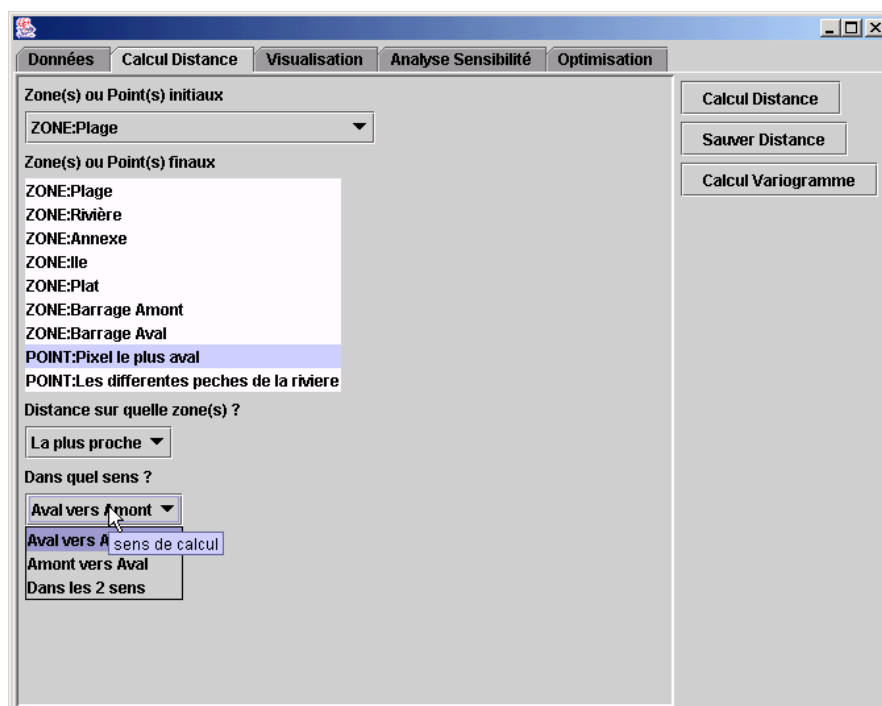


Figure 8 : Choix du sens de calcul.

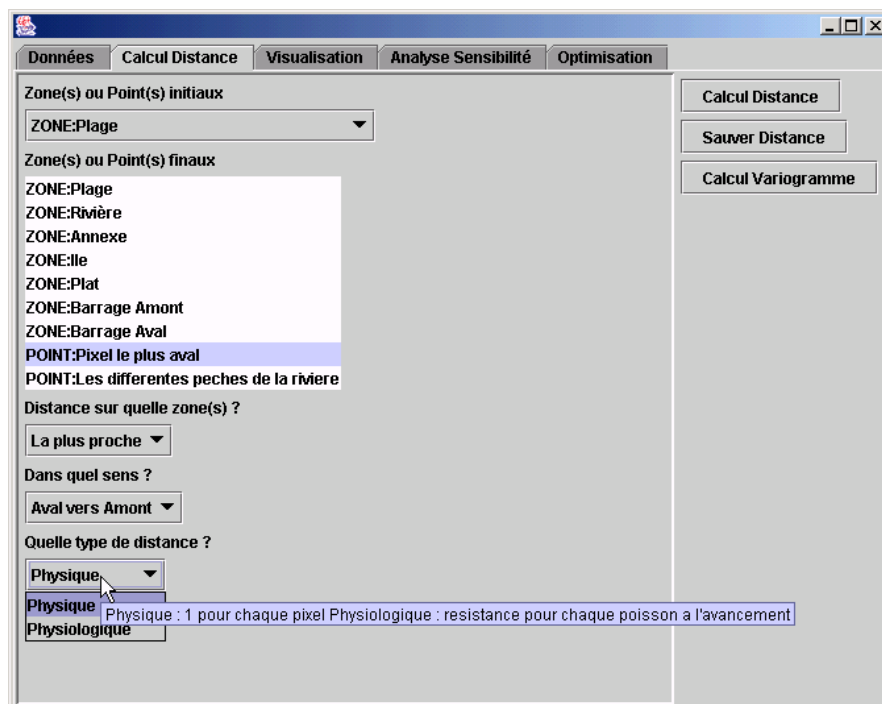


Figure 9 : Choix du type de distance.

## II. DESCRIPTION DU FICHIER DE DISTANCE

---

Le fichier de distance dont le nom est « xxx\_distance.txt », un exemple de ce fichier est donné sur la figure 10. Ce fichier est un fichier incrémental : s'il existe déjà les nouvelles distances calculées viennent s'ajouter en fin, sans écraser le fichier.

Un élément du fichier distance se compose :

- D'une partie listant les paramètres de distance utilisés.
- De la matrice de distance :
  - Suivant les lignes les points (ou zone) initiaux et suivant les colonnes les cibles
  - La première ligne représente les identifiant des cibles et la première colonne les identifiant des initiaux.
  - Les valeurs à -1 correspondent à des distances non calculées. Par exemple dans le cas de le cas des calculs vers l'amont toutes les zones en aval à la zone considérée ne sont pas calculées.

**NB : le bouton de sauvegarde ne sert à rien (car la sauvegarde des distances calculées est automatique.**



Zone(s) ou Point(s) initiaux : ZONE:Plage  
 Zone(s) ou Point(s) finaux : ZONE:Plage  
 Distance sur quelle zone(s) ? : Toutes  
 Dans quel sens ? : Aval vers Amont  
 Quelle type de distance ? : Physique

### Cibles

Initiaux

ID	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	0.0	78.0	268.0	821.0	1351.0		1581.0		1717.0		1890.0		2160.0		2499.0		2777.0	
1	-1.0	0.0	40.0	585.0	1115.0		1345.0		1481.0		1654.0		1924.0		2263.0		2541.0	
2	-1.0	-1.0	0.0	421.0	951.0	1181.0		1317.0		1490.0		1760.0		2099.0		2377.0		2821.0
3	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	493.0	723.0	859.0	1032.0		1302.0		1641.0		1919.0		2363.0		2573.0
4	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	80.0	216.0	389.0	659.0	998.0	1276.0		1720.0		1930.0		1994.0	
5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	90.0	263.0	533.0	872.0	1150.0		1594.0		1804.0		1868.0	
6	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	78.0	348.0	687.0	965.0	1409.0		1619.0		1683.0		1921.0
7	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	169.0	508.0	786.0	1230.0		1440.0		1504.0		1742.0
8	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	212.0	490.0	934.0	1144.0		1208.0		1446.0	
9	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	89.0	533.0	743.0	807.0	1045.0		1110.0	
10	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	330.0	540.0	604.0	842.0	907.0	1250.0	
11	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	123.0	187.0	425.0	490.0	833.0	961.0
12	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	30.0	233.0	298.0	641.0	769.0
13	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	75.0	140.0	483.0	611.0
14	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	45.0	319.0	447.0
15	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	149.0	277.0
16	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	40.0
17	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0
18	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
19	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

Figure 10 : Exemple de fichier de distance.

### III. CALCUL DU SEMI-VARIOGRAMME

Pour le calcul du semi variogramme il est nécessaire d'avoir 2 fichiers :

- Un fichier de distance : ATTENTION ce fichier ne doit contenir que la matrice de distance, avec la ligne et la colonne des identifiants mais sans les descripteurs de début.
- Un fichier de densité (ou d'un autre paramètre) à associer avec la matrice de distance (même format que la matrice des distance).

Le résultat du semi-variogramme se trouve dans un fichier « xxx\_semivar.txt » (cf figure 11) . La première colonne contient les distances et les autres colonnes contiennent les valeurs du semi-variogramme pour les différentes espèces considérées.



## Espèce de poissons

Distance  
(mètres)

DISTANCE	ABL	BAF	BOU	BRB	BRE	CHE	GAR	GOU	HOT	PER	ROT	VAN	groupe2	groupe4	groupe
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.036036037	0.0	0.0	0.0	0.0	0.036036037	0.0
4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.6666666	0.0	0.0	0.0	16.6666666	0.0	0.0	0.0
6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.125	0.125	2.0	0.0	0.125	0.0	0.0	0.125	0.0	3.125	0.0
7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0
8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.17391305	1.0869565	0.0	0.04347826	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.04347826	0.0
9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.045454547	0.045454547	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.045454547	0.0
10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8064516	0.12903225	0.032258064	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.032258064	0.0
11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	0.45	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	2.45	0.0
12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1363636	0.18181819	0.045454547	0.0	0.0	0.0	0.045454547	0.0	0.045454547	0.0
13.0	0.0	0.16666667	0.0	0.0	0.0	0.16666667	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	8.166667	0.0	0.166667
14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.18181819	0.045454547	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.045454547	0.0
15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13333334	0.8333333	0.0	0.033333335	0.0	0.0	0.0	0.0	0.033333335	0.0
16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02631579	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02631579	0.0
17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9411765	0.05882353	0.0	0.0	0.05882353	0.0	0.0	0.0	0.05882353	0.0
18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05555556	1.3888888	0.0	0.05555556	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05555556	0.0
19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.125	0.78125	0.125	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.78125	0.0
20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.114285715	0.71428573	0.0	0.028571429	0.0	0.0	0.0	0.0	0.028571429	0.0
21.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.071428575	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.071428575	0.0
22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.16	0.0	0.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.36	0.0	0.0
23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.30769232	1.9230769	0.0	0.07692308	0.0	0.0	0.0	0.0	0.07692308	0.0
24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.035714287	0.035714287	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.035714287	0.0
26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.25	0.5625	0.25	1.5625	0.0	0.25	0.0	0.0	0.0	0.25	2.25
27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.22222222	0.8888889	0.5	0.0	0.0	0.22222222	0.0	0.0	0.0	0.22222222	0.0
28.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.263158	1.3157895	0.47368422	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.57895
29.0	0.4848485	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.121212125	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0909091

Figure 11 : Exemple de fichier de semi-variogramme.

#### IV. CALCUL DU $C_{ij}$

La partie de l'interface graphique pour le calcul des  $C_{ij}$  n'est pas encore réalisée (mais la partie métier est terminée)

#### V. PROBABILITÉ D'ATTEINDRE LA FRAYÈRE LA PLUS PROCHE

Idem que pour le calcul des  $C_{ij}$ .

*f. Visualisation*

## I. VISUALISATION DE LA RIVIÈRE

Cette visualisation se fait grâce au format image de java et du logiciel « imageJ » écrit en java.

La figure 12 montre un exemple de visualisation de la rivière à partir des données contenus dans la matrice creuse.

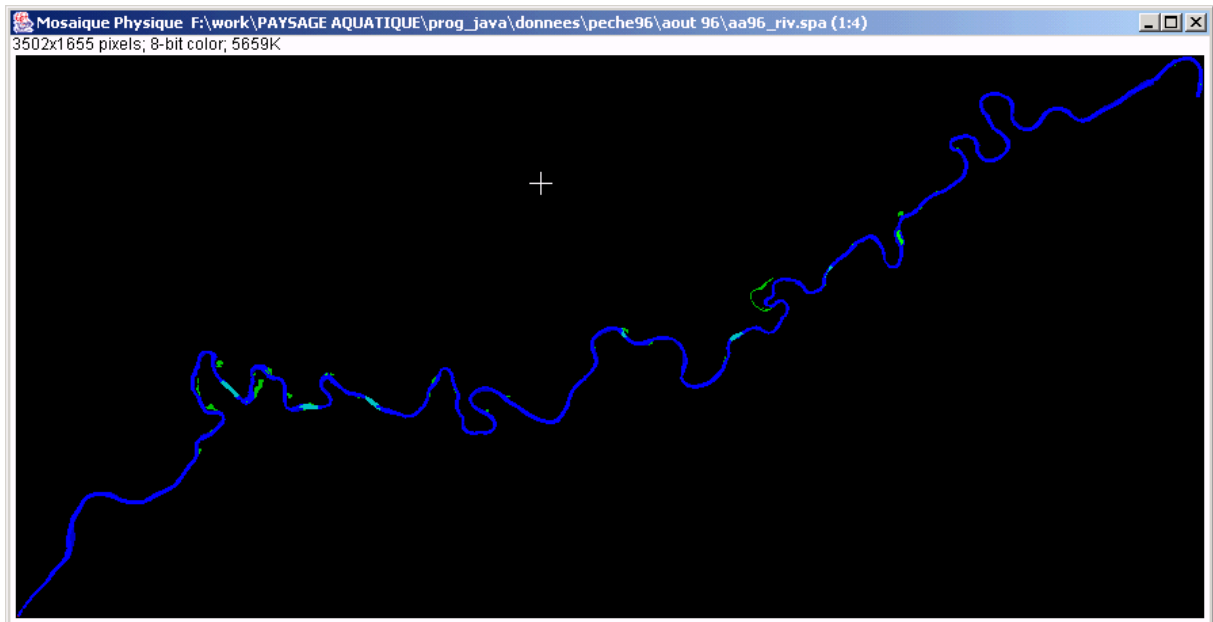


figure 12 : Visualisation de la rivière.

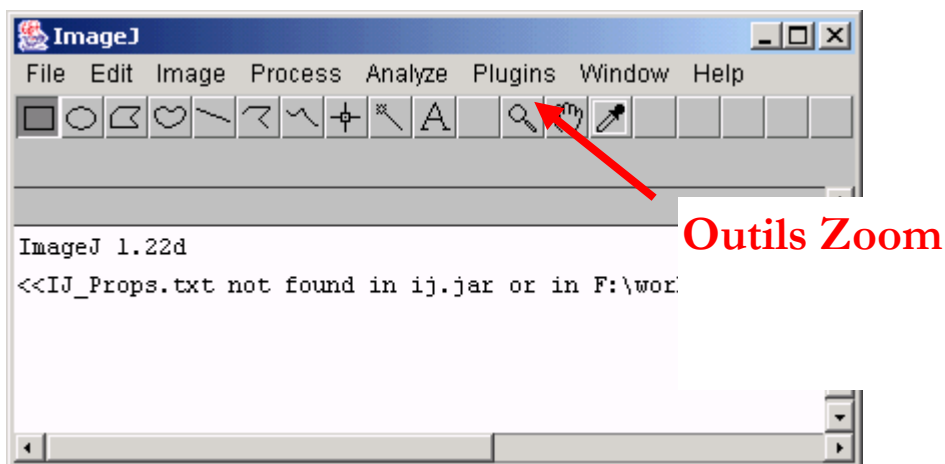


Figure 13 : Interface du logiciel imageJ.

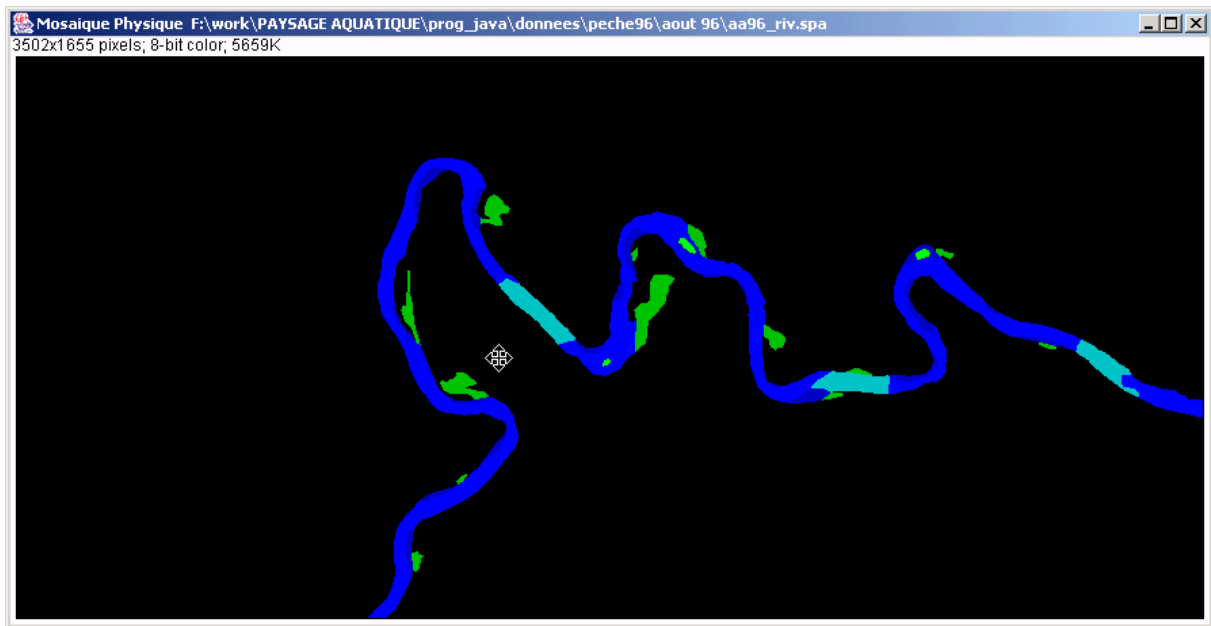


Figure 14 : Zoom sur une partie de la rivière.

Le logiciel ImageJ est un petit éditeur d'image il permet diverses opérations sur les images.

- ajout de texte, traits, ....
- Zoom (figure 13 et 14) (pour zoomer cliquer sur l'outil zoom puis cliquer sur le centre de la zone à zoomer (facteur 2 à chaque clic de souris) et Ctr click pour dézoomer.

- **VISUALISATION DES DISTANCES**

---

La visualisation des distances et des Cij fonctionne de la même façon avec création d'image au format « Jpeg » et visualisation sur l'interface graphique.