

Direction des bibliothèques

AVIS

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

**Développement de la végétation saisonnière et
dynamique hydrosédimentaire sur les bancs alluviaux**

par

Olivier Lalonde

Département de géographie

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès Sciences (M. Sc.)

Avril 2009

© Olivier Lalonde, 2009



Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé
**Développement de la végétation saisonnière et
dynamique hydrosédimentaire sur les bancs alluviaux**

présenté par
Olivier Lalonde

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Pierre J.H. Richard

Jeffrey Cardille

André G. Roy

Mémoire accepté le 6 avril 2009

À Anne-Marie, François et Diane

SOMMAIRE

La végétation colonisant les rives des cours d'eau a fait l'objet de plusieurs travaux depuis qu'on a reconnu qu'elle pouvait avoir un impact significatif sur l'écoulement. En milieu fluvial, la végétation est généralement définie selon deux critères : aquatique ou de berge.

Il existe cependant une végétation combinant les caractéristiques des végétations de berge et aquatique. En effet, la végétation colonisant les bancs alluviaux, bien qu'elle soit terrestre, interagit beaucoup plus fréquemment avec l'écoulement que la végétation de berge. En milieu tempéré humide, comme son milieu de vie ne devient accessible que tard au printemps et redevient submergé tôt à l'automne, elle évolue selon un rythme particulier. Cette évolution végétale en milieu fluvial est peu étudiée et, par conséquent, mal connue.

Ce projet de recherche a suivi l'évolution végétale de trois bancs alluviaux de convexité situés dans le delta de la rivière Yamachiche. À partir de relevés bimensuels inventoriant la végétation colonisatrice et couvrant une entière saison de croissance, nous avons constaté qu'un banc alluvial n'est pas un environnement homogène, contrairement à la prémisse largement reconnue dans la littérature. Malgré sa proximité de l'écoulement permanent du cours d'eau dont il est partie intégrante, le banc alluvial affiche des zones où la surface s'assèche rapidement et où la végétation éprouve beaucoup de difficultés à s'implanter.

L'altitude par rapport au niveau de l'eau joue un rôle majeur dans la capacité de la végétation colonisatrice à s'établir et croître sur un banc alluvial. Nous avons évalué que le niveau maximal atteint par les crues estivales les plus fréquentes correspondait à ce niveau de croissance végétale optimale.

De plus, la végétation colonisant les bancs alluviaux est d'une grande diversité. La disponibilité du milieu permet l'installation de nombreuses espèces, même celles n'étant pas préalablement établies à proximité des bancs. Ce projet ajoute une information très pertinente à l'étude de l'écologie des bancs de convexité et offre plusieurs pistes afin d'encourager la poursuite de l'étude de ces milieux de colonisation éphémères.

Mots-clés : Végétation riveraine ; végétation colonisatrice ; banc alluvial ; banc de convexité ; rivière Yamachiche ; biodiversité.

ABSTRACT

Because of the wide agreement that riparian plants can influence flow in fluvial landforms, the vegetation colonizing riverbanks is a subject of great interest. Although riparian vegetation is typically divided into two categories (aquatic and riverbank), there is a third vegetation type existing between the two. Species colonizing alluvial bars share attributes of both aquatic and riverbank vegetation: they are morphologically similar to those on the banks, yet interact more frequently with the river floods. Because alluvial bars often do not emerge before the end of spring, and because they become submerged in early autumn, growth of alluvial bar vegetation is tightly constrained. How this vegetation changes onto these fluvial landforms is not largely studied and, consequently, is not well understood. This project analyzed vegetation growth on three point bars in the Yamachiche River delta.

In contrast to the premise most commonly seen in published studies, we discovered that a point bar is not a homogeneous environment. In vegetation surveys conducted twice a month from June to October 2007, we found that parts of the surface of point bars were dry for long periods during the summer. Despite the point bars' proximity to water, vegetation barely established on many parts of the bars. Elevation above the river's water level played an important role in the capacity of the vegetation to be established and grow on an alluvial bar. We noted that vegetation grew best in a tight range of relative elevations; growth was highest near the maximum level the water reached during the entire growing season.

Additionally, we found that vegetation colonizing alluvial bars is highly diverse, perhaps in part because availability of the ground offers ideal conditions for many species to develop, although these species are not previously established near the point bar. This study adds to our understanding of the ecology of point bars and their important role between riverbank and aquatic environments, and encourages additional research in these frequently disturbed colonization environments.

Keywords : Riverbank vegetation ; colonizing vegetation ; alluvial bar ; point bar ; Yamachiche River ; biodiversity.

TABLE DES MATIÈRES

<i>Liste des figures</i> -----	<i>ix</i>
<i>Liste des tableaux</i> -----	<i>xiii</i>
<i>Liste des abréviations</i> -----	<i>xiv</i>
<i>Remerciements</i> -----	<i>xvi</i>
<i>Introduction</i> -----	<i>1</i>
1. Revue de la littérature -----	2
1.1. Banc alluvial -----	3
1.1.1. Formation d'un banc alluvial-----	5
1.1.2. Types de bancs alluviaux-----	7
1.1.3. Le banc de convexité-----	9
1.2. Colonisation végétale sur un banc alluvial -----	11
1.2.1. Modèle évolutif r/K-----	13
1.2.2. Conditions favorables-----	13
1.3. L'écologie d'un banc alluvial -----	14
1.3.1. La végétation : un acteur majeur-----	15
1.3.2. Types de végétation-----	16
1.3.2.1. Végétation de berge-----	16
1.3.2.2. Végétation aquatique-----	18
1.3.3. Effets de la végétation sur les caractéristiques hydrauliques-----	19
1.3.3.1. Densité-----	19
1.3.3.2. Flexibilité-----	19
1.3.3.3. Canopée feuillue-----	20
1.3.3.4. Effet racinaire-----	20
1.3.3.5. Débris ligneux-----	21
1.4. Méthodes de travail -----	22
1.4.1. Travaux en milieu naturel-----	22
1.4.2. Travaux de laboratoire-----	23
1.4.3. Travaux de modélisation-----	25
1.5. Conclusion -----	26
2. Objectifs et méthodologie -----	28
2.1. Problématique et objectifs -----	28
2.2. Sites d'étude -----	31
2.2.1. Le bassin versant-----	31
2.2.2. Le delta-----	32
2.2.3. Les bancs de convexité-----	33
2.2.4. Environnement végétal-----	36
2.3. Méthodes -----	36
2.3.1. Couverture systématique des bancs-----	37
2.3.2. Dynamique végétale-----	39
2.3.3. Morphologie et dynamique du banc-----	41
2.3.3.1. Topographie générale-----	42
2.3.3.2. Topographie locale-----	42
2.3.3.3. Granulométrie-----	42
2.3.3.4. Humidité-----	43

2.3.4.	Suivi du régime hydrologique	43
2.4.	Traitement et analyse des données	46
2.4.1.	Inventaire végétal	46
2.4.2.	Concept de quadrat-date	46
2.4.3.	Variations topographiques	47
2.4.4.	Variations spatiales : méthode d'interpolation	47
2.4.5.	Variabilité intra-banc	47
2.4.6.	Analyse multivariée	48
2.4.7.	Analyse de groupement	48
2.4.8.	Indice d'équitabilité de Shannon	49
3.	Résultats	50
3.1.	Situation physique	50
3.1.1.	Topographie	50
3.1.2.	Granulométrie du banc	52
3.1.3.	Espaces submergés	55
3.2.	Développement de la végétation	57
3.2.1.	Couverture de la végétation	57
3.2.2.	Évolution du nombre de plants	59
3.2.3.	Évolution du nombre total de plants en excluant le peuplier	62
3.2.4.	Biodiversité des bancs	66
3.2.4.1.	Arrivée des espèces	66
3.2.4.2.	Répartition de la biodiversité	67
3.2.4.3.	Abondance et diversité	70
3.2.5.	Taille maximale de la végétation	72
3.2.6.	Indice de Shannon d'équitabilité des espèces	75
3.2.7.	Conclusion sur les observations	78
3.3.	Facteurs explicatifs	78
3.3.1.	Répartition spatiale de la granulométrie	78
3.3.2.	Zones d'humidité	82
3.3.2.1.	Humidité et végétation	82
3.3.2.2.	Humidité et granulométrie	84
3.3.3.	L'altitude	86
3.3.3.1.	Nombre de plants par quadrat	86
3.3.3.2.	Nombre d'espèces	88
3.3.4.	L'ensoleillement des bancs	90
3.4.	Regroupements par associations	92
3.4.1.	Les secteurs <i>Tête, Cœur, Queue (TCQ)</i>	92
3.4.2.	Utilisation de l'analyse multivariée	93
3.4.2.1.	Analyse en composantes principales	94
3.4.2.2.	Analyse canonique des correspondances	95
3.4.3.	Analyse par nuées dynamiques	96
3.4.3.1.	Classes de quadrats-dates par nuées dynamiques	97
3.4.3.2.	Nuées dynamiques : banc Amt	103
3.4.3.3.	Nuées dynamiques : banc Ctr	103
3.4.3.4.	Nuées dynamiques : banc Avl	103
3.4.4.	Association d'espèces	104
3.5.	Variations sédimentaires	107
3.5.1.	Moments des variations	109
3.5.2.	Position des variations	110
3.5.3.	Relations végétation – sédiments	111
3.6.	Conclusion des résultats	112

4. Discussion	114
4.1. Analyse de la méthodologie	114
4.1.1. Choix des méthodes	114
4.1.2. Ajustement éventuel du protocole expérimental	115
4.2. Dynamique végétale	116
4.2.1. Périodes de croissance	118
4.2.2. Taille des individus	118
4.2.3. Nuées dynamiques	119
4.2.4. Association d'espèces	120
4.2.5. Distinctions entre les bancs	121
4.3. Interprétation des facteurs explicatifs	121
4.3.1. Granulométrie	122
4.3.2. Zones d'humidité	125
4.4. Relation surface sédimentaire – végétation	126
4.4.1. Influence d'une biomasse externe	127
5. Conclusion	129
Références	131
Annexe	139

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1.1. Position d'un banc alluvial à l'intérieur du lit mineur du cours d'eau (chenal). En A, les lignes bleues représentent l'écoulement de l'eau lorsque les bancs sont émergés, alors qu'un des trois bancs est pointé (d'après Bendix et Hupp, 2000). En B, coupe transversale d'un versant illustrant la position altitudinale du banc alluvial (d'après Hupp, 1990).</i>	4
<i>Figure 1.2. En A, représentation schématique en plan de la distribution sédimentaire sur un banc alluvial (d'après Diplas, 1994). En B, distributions granulométriques sur différentes portions d'un banc (d'après Levey, 1978) Les sédiments sont plus fins en aval (queue du banc, distal-bar) qu'au centre (cœur du banc, mid-bar) et qu'en amont (tête du banc, bar-apex).</i>	6
<i>Figure 1.3. Banc alluvial dont l'accrétion latérale a été partiellement tronquée par érosion. L'écoulement se fait de gauche à droite.</i>	7
<i>Figure 1.4. Transformation d'une accumulation sédimentaire au centre du cours d'eau en banc de convexité par déviation du courant et rattachement à la berge. D'après (A) Hooke (1986) et (B) Pyrce et Ashmore (2005).</i>	9
<i>Figure 1.5. A) Schéma d'un banc de convexité à bas (gauche) et haut (droite) niveau d'eau. B) Profil topographique du chenal (suivant la ligne noire en A) présentant le thalweg à proximité de la berge concave ainsi qu'une possible dépression du côté convexe, près du point C. D'après Krigström (1962).</i>	10
<i>Figure 1.6. Graines de peuplier (Populus sp.) déposées par anémochorie sur un banc alluvial. Chaque tache blanche contient une graine. Les divisions du cadre mesurent 10 cm.</i>	12
<i>Figure 1.7. Formation d'un dépôt en aval d'un obstacle végétal et érosion préférentielle par la concentration de l'écoulement de part et d'autre de la plante. D'après Coulthard (2005).</i>	17
<i>Figure 1.8. Changement du profil de vitesse de l'écoulement selon la hauteur qu'atteint la végétation. En A, une végétation émergente crée un profil constant. En B, une végétation submergée engendre une grande différence entre la zone où l'écoulement est ralenti par la végétation et la portion où l'eau est libre. D'après Wu et Wang (2004).</i>	18
<i>Figure 2.1. Bassin versant de la rivière Yamachiche</i>	32
<i>Figure 2.2. Localisation à partir d'une photographie satellitaire de Google des sites à l'étude (noms et flèches) et numérotation des méandres dans le delta de la rivière Yamachiche.</i>	33
<i>Figure 2.3. Sites d'étude au 1^{er} août 2007 : (A) Amt; (B) Ctr; (C) Avl. Les prises de vue sont toutes vers l'aval.</i>	35
<i>Figure 2.4. Couverture systématique des bancs. Le symbole végétal représente un quadrat laissé intact ; le losange un quadrat dénudé. Les nombres sont quelques exemples des numéros attribués aux quadrats. Le premier chiffre (1, 2 ou 3) représente le banc, les deuxièmes (10 à 73) la position longitudinale et les troisièmes (01 à 17), la position latérale. L'écoulement est toujours situé à gauche, du haut vers le bas.</i>	38
<i>Figure 2.5. A) Schéma du quadrat amovible placé autour de chaque tige (point central) lors des visites sur le terrain. Le petit carré (blanc) délimite la zone du relevé végétal, alors que le grand carré (gris) détermine la zone tampon intouchée sur les quadrats végétalisés ou dénudée pour ceux mis à nu.</i>	38
<i>Figure 2.6. Série temporelle de la hauteur et de la température de l'eau durant la saison. La hauteur modale a été décrétée à 1m. Les flèches verticales représentent les journées de relevé sur le terrain selon le banc analysé : Amt (grandes rouges), Ctr (moyennes vertes), Avl (petites bleues).</i>	44
<i>Figure 2.7. Série temporelle de la mesure de la charge en suspension dans la rivière Yamachiche.</i>	45
<i>Figure 3.1. Topographie des trois sites à l'étude les 18 septembre 2007 (bancs Amt (A) et Ctr (B)) et 1^{er} août 2007 (banc Avl (C)). La topographie est interpolée par la méthode des triangles irréguliers (TIN). Les quadrats servant à l'inventaire végétal sont identifiés par un symbole en forme d'arbre alors que ceux dénudés sont un point. La flèche bleue rappelle le sens de l'écoulement.</i>	51

- Figure 3.2. Évolution de la topographie des bancs alluviaux durant la saison. (A) Banc Amt les (i) 29 juin et (ii) 1^{er} août ; (B) Banc Ctr les (i) 29 juin et (ii) 1^{er} août ; (C) Banc Avl le 29 juin. ----52
- Figure 3.3. Profils granulométriques des trois bancs, aux trois mois, selon 10 points d'échantillonnage par site. Les courbes de couleurs chaudes représentent la tête du banc et varient graduellement jusqu'aux couleurs froides désignant la queue du banc. Les lignes pleines représentent les quadrats à proximité de l'eau, alors que les courbes pointillées sont l'image des quadrats à proximité de la berge (voir fig. 2,4). L'axe des abscisses est la valeur du ϕ (phi), l'axe des ordonnées affiche le pourcentage cumulatif. -----53
- Figure 3.4. Évolution temporelle des valeurs médianes (D_{50}) de la courbe granulométrique des dix échantillons de chaque banc alluvial : (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl.-----55
- Figure 3.5. Position altitudinale de tous les quadrats sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl par rapport au niveau d'eau minimal à ces bancs. La ligne horizontale sert de repère afin de situer la hauteur de la seule crue majeure ayant influencé les bancs.-----57
- Figure 3.6. Représentation spatiale interpolée de la superficie couverte par la végétation sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. La légende présente les valeurs en pourcentage (moins de 5 à plus de 75) et l'équivalent selon le système de Braun-Blanquet (1 à 5).-----58
- Figure 3.7. Nombre total d'individus (NbPltsT) sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl durant la saison. (D à F) Nombre total d'individus sur ces mêmes bancs (D, E, F) en excluant le peuplier (NbPltsS). Les données sont affichées par classe et par date de visite sur fond topographique interpolé. La dernière case de chaque sous-figure montre uniquement la topographie.-----61
- Figure 3.8. Nombre de plants sur les bancs, valeurs centrées réduites. Représentation de la colonisation de toutes les espèces (lignes minces, losanges pleins), du peuplier (lignes pointillées, carrés vides) et de toutes les espèces sauf le peuplier (lignes larges, ronds vides) sur les bancs Amt (rouge), Ctr (vert) et Avl (bleu). Les barres verticales divisent les périodes de croissance du nombre de peupliers (NbPltsP, pointillées) et des autres espèces (NbPltsS, pleines larges), telles que décrites dans le texte. -----63
- Figure 3.9. Représentation interpolée du nombre d'individus par quadrat ayant colonisé les bancs alluviaux (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Les peupliers ont été exclus de l'analyse. La dernière case de chaque sous-figure présente la topographie du banc. -----65
- Figure 3.10. Nombre de nouvelles espèces recensées sur chaque banc à chaque relevé. -----67
- Figure 3.11. Représentation spatiale du nombre d'espèces sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Chaque carte présente l'interpolation du nombre d'espèces sur les bancs. Le dernier cadre de chaque sous-figure présente la topographie. -----69
- Figure 3.12. Relation entre le nombre d'individus et le nombre d'espèces (peuplier exclus) dans un même quadrat durant l'année sur les trois bancs. Le coefficient de corrélation r est de 0,749 et est significatif à $\alpha = 0,01$. L'équation de la droite est $y = 2,87x + 2,05$. -----70
- Figure 3.13. Répartition du nombre d'individus par quadrat des taxons présents à chaque date à partir des données des échantillons Tête – Cœur – Queue (TCQ) sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl.-----71
- Figure 3.14. Représentation interpolée des valeurs (A, B, C) maximales et (D, E, F) moyennes de la taille des individus dans chaque quadrat, tous taxons confondus, sur les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl. Le dernier cadre de chaque sous-figure représente la topographie du banc. -74
- Figure 3.15. Occurrences de chaque espèce en tant que la plus haute dans son quadrat-date. Un total de 959 quadrats-dates ont soutenu au moins un individu, alors que 813 quadrats-dates ont soutenu un individu de deux espèces différentes ou plus. -----75
- Figure 3.16. Variation de l'indice de Shannon au cours de la saison sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Les groupes représentés sont précisément définis au tableau 3.4 et en annexe. -----77
- Figure 3.17. Distribution spatiale du pourcentage de sédiments fins dans les 10 premiers centimètres de la surface des bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. La valeur maximale pour chaque site est inscrite sous le code de trois lettres représentant chaque banc alluvial. -----79

- Figure 3.18. Représentation interpolée du D_{50} et D_{95} aux mois de juin, juillet et septembre sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. La largeur de chaque cadre est de 25 mètres. -----81
- Figure 3.19. Zones où les sédiments de surface étaient secs lors des visites sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Les dates de la légende sont sous format MMJJ. Chaque cadre est d'une largeur de 25 m. -----82
- Figure 3.20. Superposition des zones sèches de différentes dates sur les cartes interpolées du pourcentage de couverture végétale des 24 et 25 septembre 2008. (A) Amt (0925), (B) Ctr (0924), (C) Avl (0924). -----83
- Figure 3.21. Superposition des zones sèches au 21 août 2007 sur les cartes interpolées du (A, B, C) nombre d'espèces et du (D, E, F) nombre d'individus (excluant le peuplier) par quadrat sur les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl. -----84
- Figure 3.22. Superposition des zones sèches sur les cartes sédimentaires interpolées de juillet (A-B-C) du pourcentage de sédiments plus petits que $63 \mu\text{m}$ et (D-E-F) du D_{50} , pour les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl. -----85
- Figure 3.23. Relation entre l'altitude des quadrats et le nombre d'individus croissant à l'intérieur de ceux-ci. Seuls les quadrats ayant été présents à tous les relevés sont affichés. La taille des cercles n'a aucune signification et ne sert qu'à bien distinguer les différentes dates. (A) Amt, (B) Ctr, (C) Avl. -----87
- Figure 3.24. Évolution du nombre d'espèces sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl selon l'altitude des quadrats (par rapport au niveau modal de l'écoulement). Seuls les quadrats ayant été inventoriés à tous les relevés sont présentés. La taille des cercles est proportionnelle au nombre d'espèces. -----89
- Figure 3.25. Représentations de l'évolution du (A) nombre d'individus (excluant le peuplier) et du (B) nombre d'espèces sur les bancs (I) Amt, (II) Ctr et (III) Avl selon le secteur. Le terme Corps équivaut au secteur Cœur des bancs. -----93
- Figure 3.26. Exemples tirés des résultats de l'ACP appliquée aux données du nombre d'individus de chaque espèce à l'intérieur des quadrats à l'étude. A) Banc Avl le 24 septembre. B) Exemples de résultats utilisant le nombre d'individus par espèce pour lesquels les espèces se sont divisées en trois groupes. B-i : banc Amt le 10 octobre ; B-ii : banc Ctr le 7 août ; B-iii : banc Avl le 9 octobre. Les pourcentages explicatifs de la variance sont présentés directement sur les axes. -----95
- Figure 3.27. Représentation graphique de l'analyse canonique des correspondances du (A) 21 août et des (B) 9 et 10 octobre 2007 sur les trois sites étudiés regroupés. Les points triangulaires représentent les espèces par leur abréviation, alors que les flèches représentent les valeurs extérieures (voir la liste des abréviations en pages xiv et xv). Les pourcentages de la variance expliquée sont présentés directement sur les graphiques. -----96
- Figure 3.28. Représentation temporelle du partitionnement par nuées dynamiques en (A) considérant toutes les espèces et (B) excluant le peuplier. La taille des cercles correspond au nombre de quadrats-dates présents dans chaque classe, l'axe des ordonnées distingue les trois classes alors que les couleurs différencient les trois bancs. -----99
- Figure 3.29. Représentation cartographique des groupes de quadrats-dates végétalisés sur fond topographique interpolé. L'évaluation des groupes par nuées dynamiques a été effectuée (A, B, C) en considérant et (D, E, F) en ne considérant pas le peuplier. Sont présentés dans l'ordre les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl. Les numéros des groupes sont inscrits dans les cercles (1 : gris foncé, 2 : gris pâle, 3 : blanc). ----- 101
- Figure 3.30. Proportion des quadrats dans lesquels était présent au moins un individu au 21 août 2007 (A) selon leur granulométrie et (B) selon leur classe d'humidité. (C) Étendue altitudinale de ces quadrats. L'ordre a été déterminé principalement d'après l'étendue des espèces sur le banc Ctr. ----- 105
- Figure 3.31. Distribution des variations de hauteur moyenne des tiges à chaque relevé (comparativement à la hauteur au relevé précédent) durant toute la saison sur les trois bancs. La

<i>distribution est présentée (A) sous forme d'histogramme (les limites sont arbitraires) et (B) sous forme de boîte à moustaches (n = 1516 quadrats-dates).</i>	109
<i>Figure 3.32. Variations de la hauteur des tiges selon les niveaux d'eau au courant de la saison 2007.</i>	110
<i>Figure 3.33. Variations de hauteur dépassant l'écart-type de la distribution. Les étoiles représentent les moments d'érosion. Les croix à 45° représentent l'existence d'une accumulation. Une distinction est apportée entre les quadrats où une variation sédimentaire importante a été notée uniquement lors du relevé du 3 juillet 2007 des autres variations durant l'année. Les cercles désignent un quadrat ayant subi à la fois un événement d'accumulation et un événement d'érosion durant la saison.</i>	111
<i>Figure 3.34. Variations de hauteur des tiges des quadrats (A) intacts selon la couverture végétale en valeurs Braun-Blanquet (BB) et (B) dénudés.</i>	112
<i>Figure 4.1. Photographies du banc Amt en regardant vers l'aval. La photo A date du 1^{er} août 2007 ; la photo B du 29 juillet 2008. Les lignes rouges servent de ligne référence afin de faciliter la comparaison des photos.</i>	117
<i>Figure 4.2. Trou de 10 cm de profondeur (banc Amt) où ont été cueillis les sédiments ayant servi à mesurer la répartition granulométrique sur les bancs. On y distingue deux types de sédiments : dépôts fins sur le dessus (sous forme de strates noires), dépôts sableux grossiers en dessous.</i>	124
<i>Figure 4.3. Distributions granulométriques sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl le 29 juillet 2008. L'axe des abscisses représente les valeurs de ϕ (phi), où 2^ϕ égale la dimension des grains en millimètres.</i>	125
<i>Figure 4.4. Photographie du 29 juin 2007 d'un quadrat de la tête du banc Ctr à proximité de l'écoulement, immédiatement après la crue.</i>	128
<i>Figure 4.5. Dépôt de matériel fin sur le banc Amt après la crue du 27 juin 2007. Les cercles rouges entourent les tiges alors que les flèches bleues désignent le sens de l'écoulement. Photographie prise à la tête du banc Amt, le 29 juin 2007.</i>	129

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Étapes de détermination du n de Manning (d'après Cowan, 1956). -----	15
Tableau 2.1. Longueur d'onde, amplitude, longueur du thalweg et rayon de courbure des méandres du delta de la rivière Yamachiche, de l'amont vers l'aval (voir Fig. 2.2). -----	33
Tableau 2.2. Largeur du cours d'eau face au premier transect à l'amont de chaque site (en mètres). -----	34
Tableau 2.3. Nombre maximal de quadrats répertoriés sur chaque banc. Durant la saison, quelques quadrats ont été immergés durant l'inventaire. Dans la majorité des cas, le relevé a quand même pu être noté. Les quelques exceptions étaient négligeables, considérant la faible couverture végétale dans ces quadrats. -----	39
Tableau 2.4. Liste des variables recensées. -----	40
Tableau 2.5. Notation utilisée dans l'évaluation visuelle de la couverture de végétation. -----	40
Tableau 2.6. Pourcentages sédimentaires moyens (%) des échantillons des trois sites. -----	43
Tableau 3.1. Nombre moyen d'individus par quadrat-date durant la saison. Les variances sont homogènes et l'ANOVA montre une différence significative entre les trois moyennes ($p = 0,002$). Les résultats du test de Sidak sont présentés pour chaque banc par rapport au banc suivant. -----	64
Tableau 3.2. Nombre total de taxons inventoriés sur les trois bancs et leur moyenne par quadrat. Les résultats de Tamhane montrent la significativité de la comparaison des bancs deux à deux. ---	66
Tableau 3.3. Nombres moyen et maximal de nouvelles espèces recensées lors d'un relevé durant la période de suivi. -----	67
Tableau 3.4. Groupes de taxons créés afin d'analyser l'homogénéité spécifique des bancs par l'abondance du nombre d'individus. Les noms des groupes représentent l'indice utilisé (Shannon) ainsi que le nombre d'espèces (ou taxons) incluses. -----	76
Tableau 3.5. Orientation des bancs (perpendiculairement à l'écoulement) et proximité des arbres de la plaine inondable à partir du replat de la berge. -----	90
Tableau 3.6. Nombre de comparaisons significativement différentes ($\alpha = 0,05$) entre les sous-échantillons et les quadrats non-sélectionnés, pour chaque banc, à chaque relevé. Le nombre est basé sur neuf comparaisons (une par relevé). * Pour Ctr – PrCt, seulement huit relevés ont pu être comparés. -----	92
Tableau 3.7. Nombre d'espèces classées dans le groupe principal lors d'une analyse par nuées dynamiques visant à distinguer des groupes d'espèces réagissant similairement. -----	97
Tableau 3.8. Nombre de quadrats-dates inclus dans chaque groupe créé par l'analyse par nuées dynamiques. -----	102
Tableau 3.9. Taxons regroupés d'après la figure 3.30 à partir des caractéristiques physiques des quadrats où leurs individus ont crû. Les espèces sont présentées selon l'ordre établi à la figure 3.30. Les groupes NC et ABS signifient Non-Classées (informations insuffisantes) et Absentes (lors du relevé du 21 août).-----	106
Tableau 3.10. Statistiques descriptives des hauteurs (centrées autour de zéro) du sol sur chacun des côtés des tiges. Le côté A est orienté vers la berge, le côté B vers la queue du banc, le côté C vers l'eau et le côté D vers la tête du banc. Les hauteurs maximales et minimales présentent les variations les plus importantes. -----	108
Tableau 3.11. Variation de la hauteur des tiges d'un relevé par rapport au relevé précédent, différenciée selon l'ensemble des quadrats (Tous), les quadrats laissés intacts (Vég) et les quadrats maintenus sans végétation (Nus).-----	108
Tableau 4.1. Présence visuelle du banc sur les photographies aériennes du delta de la Yamachiche. Les photographies ont été observées dans un désordre chronologique aléatoire et les échelles varient de 1 : 40 000 à 1 : 8000. -----	123

LISTE DES ABRÉVIATIONS

TAXONS RECENSÉS DANS CE PROJET

Abrév.	Latin	Français	Famille
AcNe	<i>Acer negundo</i>	Érable négondo	Acéracées
AcRu	<i>Acer rubrum</i>	Érable rouge	Acéracées
ArVu	<i>Artemisia vulgaris</i>	Armoise vulgaire	Composées
Aste	<i>Aster</i>	Aster	Composées
BaVu	<i>Barbarea vulgaris</i>	Barbarée vulgaire	Brassicacées
BiCe	<i>Bidens cernua</i>	Bident penché	Composées
BrSp	<i>Brassica sp.</i>	Chou et Moutarde	Brassicacées
CaSp	<i>Graminées / Carex</i>	Laîche – Carex	Graminées / Cypéracées
CePu	<i>Centaurium pulchellum</i>	Petite centaurée délicate	Gentianacées
ChAl	<i>Chenopodium album</i>	Chénopode blanc	Chénopodiacées
ChGr	<i>Chrysopsis graminifolia</i>	<i>Chrysopsis</i> à feuilles étroites	Astéracées
EpSp	<i>Epilobium sp.</i>	Épilobe	Onagracées
EqSp	<i>Equisetum sp.</i>	Prêle	Équisétacées
ErCa	<i>Erigeron canadensis</i>	Érigeron du Canada	Composées
EuSp	<i>Eupatorium sp.</i>	Eupatoire	Composées
FrCf	<i>cf. Fragaria virginiana</i>	Fraisier de Virginie	Rosacées
GIHe	<i>Glechoma hederacea</i>	Glécome lierre	Labiées
GnSp	<i>Gnaphalium sp.</i>	Gnaphale	Composées
HiSp	<i>Hieracium sp.</i>	Épervière	Composées
HySp	<i>Hypericum sp.</i>	Millepertuis	Hypéricacées
ImCa	<i>Impatiens capensis</i>	Impatiens du Cap	Balsaminacées
LaSc	<i>Lactuca scariola</i>	Laitue serriole	Composées
LeMi	<i>Lechea minor / Galium sp.</i>	Léchéa intermédiaire - Gaillet	Cistacées / Rubiacées
MiRe	<i>Mitchella repens</i>	Mitchella rampant	Rubiacées
OeSp	<i>Oenothera sp. (cf. biennis)</i>	Onagre	Onagracées
OnSe	<i>Onoclea sensibilis</i>	Onoclée sensible	Polypodiacées
OxSt	<i>Oxalis stricta</i>	Oxalide dressée	Oxalidacées
PIMa	<i>Plantago major</i>	Plantain majeur	Plantaginacées
PoBa	<i>Populus sp.</i>	Peuplier (baumier et deltoïde)	Salicacées
PoSp	<i>Polygonum sp.</i>	Renouée	Polygonacées
PySp	<i>Pyrola sp.</i>	Pyrole	Éricacées
RaRa	<i>Raphanus raphanistrum</i>	Radis sauvage	Brassicacées
SaSp	<i>Salix sp.</i>	Saule	Salicacées
ScSp	<i>Scutellaria sp. / Lythrum sp.</i>	Scutellaire - Lythrum	Labiées / Lythracées
SeMa	<i>Sesuvium maritimum</i>	Traduction inconnue	Aizoacées
SoCf	<i>cf. Solidago</i>	Verge d'or	Composées
SoDu	<i>Solanum dulcamara</i>	Morelle douce-amère	Solanacées
TaOf	<i>Taraxacum officinale</i>	Pissenlit officinal	Composées
TrHy	<i>Trifolium hybridum</i>	Trèfle hybride	Légumineuses
TrPr	<i>Trifolium pratense</i>	Trèfle des prés	Légumineuses
TuFa	<i>Tussilago farfara</i>	Tussilage	Composées
UIAm	<i>Ulmus americana</i>	Orme d'Amérique	Ulmacées
VIAM	<i>Vicia americana</i>	Vesce d'Amérique	Légumineuses
ViSp	<i>Viola sp.</i>	Violette	Violacées
ZiAu	<i>Zizia aurea</i>	Zizia doré	Apiacées

LISTE DES ABRÉVIATIONS (SUITE)

ABRÉVIATIONS FRÉQUEMMENT UTILISÉES

Abréviation	Définition
Amt	Banc alluvial situé le plus en amont du secteur
Avl	Banc alluvial situé le plus en aval du secteur
Banc.	Variable dans laquelle chacun des bancs a une valeur différente
Ctr	Banc alluvial situé au centre du secteur
D ₅₀	Taille médiane des sédiments
D ₉₅	95 ^e centile de la taille des sédiments
HautPiq	Variation de la hauteur du piquet central d'un quadrat par rapport au relevé précédent
Juil	Juillet
NbPlts	Nombre d'individus
NbPltsP	Nombre d'individus uniquement de peuplier
NbPltsS	Nombre d'individus excluant le peuplier
NbPltsT	Nombre d'individus total
NbSp	Nombre d'espèces
PrCt	Pourcentage de couverture par la végétation
Sept	Septembre
T (T1, T2, T3)	Période de temps
TCQ	Tête – Cœur – Queue, représentant le sous-échantillonnage divisant le banc en trois sections de l'amont vers l'aval
Topo	Relief
X2	Position géographique de gauche à droite (de l'eau vers la berge) sur les cartes des bancs
Y2	Position géographique de haut en bas (de l'amont vers l'aval) sur les cartes des bancs
Z5	Hauteur d'un point sur chaque banc au-delà de la valeur modale du niveau de l'eau durant la saison

REMERCIEMENTS

Tant de personnes ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce projet ! L'aide obtenue a été très précieuse et j'exprime toute ma reconnaissance à ces collègues, famille et amis qui m'ont permis d'accoucher de cet ambitieux projet.

Je veux remercier tout particulièrement Isabelle Charron, qui a été ma mentore du début à la fin. Merci énormément à André Roy pour ses conseils judicieux, ses pistes éclairantes et son optimisme à toute épreuve.

Je souhaite aussi remercier tous mes collègues qui m'ont accompagné, de la cueillette des données (Claudine Boyer, Katherine Sicotte, Rachel Thériault, Claude Gibeault et Julie Thérien) à l'analyse et l'interprétation des résultats (Alayn Larouche, Geneviève Marquis, Marc Girard et Marie-Claude Turmel). Merci à mes colocataires de la Chaire du Canada en dynamique fluviale (Patrick Verhaar, Hélène Lamarre, Geneviève Ali et Mathieu Roy) pour leurs nombreux conseils.

Je remercie le CRSNG, le GEC3 ainsi que le Département de géographie pour leur soutien financier qui a permis l'aboutissement de ces deux années et demie de recherche libres de complications financières. Je souhaite qu'un maximum de mes successeurs puissent profiter de cette chance à leur tour.

Je remercie chaleureusement ma famille immédiate, François, Diane, Roxanne et Mado, pour leur soutien indéfectible et leur appui sans cesse renouvelé. Merci aussi à ma belle-famille, Francine, François et Carolanne, pour leur accueil et leur grande gentillesse.

Finalement, merci ma chère Anne-Marie, pour sa présence, ses conseils, ses encouragements et toutes ces ondes positives qu'elle n'a jamais cessé de m'envoyer. Une telle dose d'optimisme et de confiance, jumelée à celle obtenue d'André et d'Isabelle, ne pouvait que me permettre de me rendre jusqu'au bout sans ne jamais hésiter. Merci, pour conclure, pour le bonheur que tu m'offriras grâce à notre enfant que tu portes, au moment d'écrire ces lignes. Ton exemple ne peut qu'en faire un être extraordinaire.

INTRODUCTION

La végétation riveraine est de plus en plus utilisée en bordure des lacs et cours d'eau pour de nombreuses raisons : limiter l'érosion, bloquer les contaminants provenant de la berge, favoriser la biodiversité végétale et animale, rendre la rive esthétiquement plus agréable, agir de coupe-vent, etc. En milieu fluvial, cette végétation interagit avec l'écoulement et joue un rôle dans la dynamique hydrosédimentaire des berges (Hickin, 1984; Corenblit et coll., 2007).

Dans un contexte de changements climatiques, les ajustements anticipés des précipitations entraîneront une baisse généralisée des niveaux d'eau dans la vallée du Saint-Laurent. Une baisse du niveau de l'eau accentue l'érosion des lits des tributaires, ce qui engendre une plus grande quantité de sédiments en suspension se déposant sur les rives des cours d'eau. Les zones d'accumulation qui en résultent sont diverses selon les milieux. Une méso-forme fréquemment créée est le banc alluvial. Celui-ci est formé sur le lit du cours d'eau et émerge lors de l'atteinte du niveau d'étiage du cours d'eau à l'été.

Il est intéressant et pertinent de comprendre comment la végétation colonise ces environnements riverains situés entre la berge et l'écoulement permanent de la rivière. Ces milieux, bien que colonisés par une végétation terrestre, sont perturbés par les inondations estivales et automnales, ce qui pourrait affecter la végétation pionnière.

Ce projet de recherche vise principalement à documenter l'évolution de la végétation sur les bancs alluviaux. Nous examinons aussi les interactions possibles entre la végétation, le banc et les processus fluviaux. Ce mémoire est divisé en quatre sections. Nous présentons d'abord une revue de la littérature qui examine les travaux antérieurement effectués sur la géomorphologie des bancs alluviaux ainsi que les études analysant l'influence de la végétation riveraine et aquatique et leur rôle dans le système fluvial. Ensuite, la problématique soutenue, les objectifs poursuivis et le protocole utilisé sont décrits. Nous présenterons ensuite les résultats obtenus lors de la saison de croissance 2007. Nous compléterons par une discussion évaluant les possibilités pour les prochains travaux dans ce champ de recherche peu étudié.

1. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Les projets de recherche s'intéressant à la végétation riveraine divisent celle-ci en deux grands groupes. Le premier réunit les études qui s'intéressent aux environnements riverains situés sur les berges (p. ex. Trimble, 1997; Hession et coll., 2003). Ceux-ci sont occasionnellement inondés ou indirectement influencés par l'écoulement permanent de la rivière, principalement au niveau de leur réseau racinaire. À l'opposé, le second groupe de travaux décrit les milieux de végétation aquatique (submergée et émergente) (p. ex. Hudon, 1997; Jones et Mulholland, 2000), soit une végétation caractérisée par une inondation permanente en tout ou en partie de son segment aérien, créant une interaction continue avec l'écoulement.

Il existe cependant une position de végétation à cheval entre ces deux groupes qui n'a fait l'objet que de peu d'études. Lors des baisses des niveaux d'eau durant la saison estivale, les bancs alluviaux émergent dans le lit mineur. De tels milieux d'accumulation sédimentaire à l'intérieur du chenal offrent alors un environnement propice à la colonisation végétale. Par leur position, ces bancs alluviaux possèdent des caractéristiques appartenant aux deux groupes susmentionnés. D'une part, la végétation qui y croît est terrestre plutôt qu'aquatique. D'autre part, le milieu est sujet à de plus nombreuses inondations que la berge, car il est influencé par les crues de moyen niveau survenant en période estivale (Knighton, 1998).

Dans les milieux tempérés humides, tels que le Québec méridional, la présence de la végétation riveraine sur les bancs n'est que saisonnière. L'addition des crues automnales submergeant l'écosystème, des couvertures de neige et de glace de l'hiver ainsi que des très froides températures de la saison blanche empêche toute forme de vie à l'échelle d'une végétation colonisatrice sur un banc alluvial. De ce fait, le biotope meurt durant l'hiver. Au printemps, les hauts niveaux d'eau balayent la surface des bancs alors inondés. À la fin du printemps, au retour des bas niveaux d'eau et de la saison de croissance, le banc émerge de nouveau souvent à la même position. Sa morphologie peut avoir changé de manière significative, mais son sol remis à nu est de nouveau disponible pour une colonisation végétale pionnière.

La végétation s'établissant sur les bancs alluviaux se distingue des deux autres groupes de végétation riveraine largement étudiés. Elle est libre d'eau durant la majorité de la saison de croissance, mais elle subit aussi les crues ne débordant pas du lit mineur. Mais la principale particularité est que, comme il s'agit surtout d'une végétation colonisatrice, elle affichera une diversité et une dispersion distincte des environnements connexes. C'est pourquoi il est pertinent d'étudier, d'un point de vue géographique, comment cette végétation se développe sur un banc alluvial. Ensuite, nous tenterons d'établir de quelle façon elle peut influencer la dynamique sédimentaire d'un banc.

1.1. Banc alluvial

La morphologie en coupe d'un cours d'eau possède généralement trois sections majeures séparées entre elles par une pente plus ou moins abrupte : les terrasses, le lit majeur (ou plaine inondable), et le lit mineur (Fig. 1.1). Ce dernier est défini par les limites du niveau pleins-bords, soit tout juste avant un débordement sur la plaine inondable. La coupe transversale du chenal principal (lit mineur) est très variable et souvent asymétrique. Le banc alluvial est une accumulation sédimentaire majeure à l'intérieur de ce chenal. Cette accumulation contribue, par sa position, à former l'asymétrie du lit de la rivière (Darby, 1999). Pendant sa constitution, un banc alluvial dévie l'écoulement, accélérant ainsi son propre développement en favorisant la sédimentation (Nanson, 1980). Lorsqu'il atteint une certaine hauteur, le banc n'est plus submergé lors des plus bas niveaux d'eau (Fig. 1.1-B). Il devient alors un méso-habitat où la végétation peut s'installer et où la compétition est forte pour chaque nouvelle parcelle de sol (Steiger et coll., 2005).

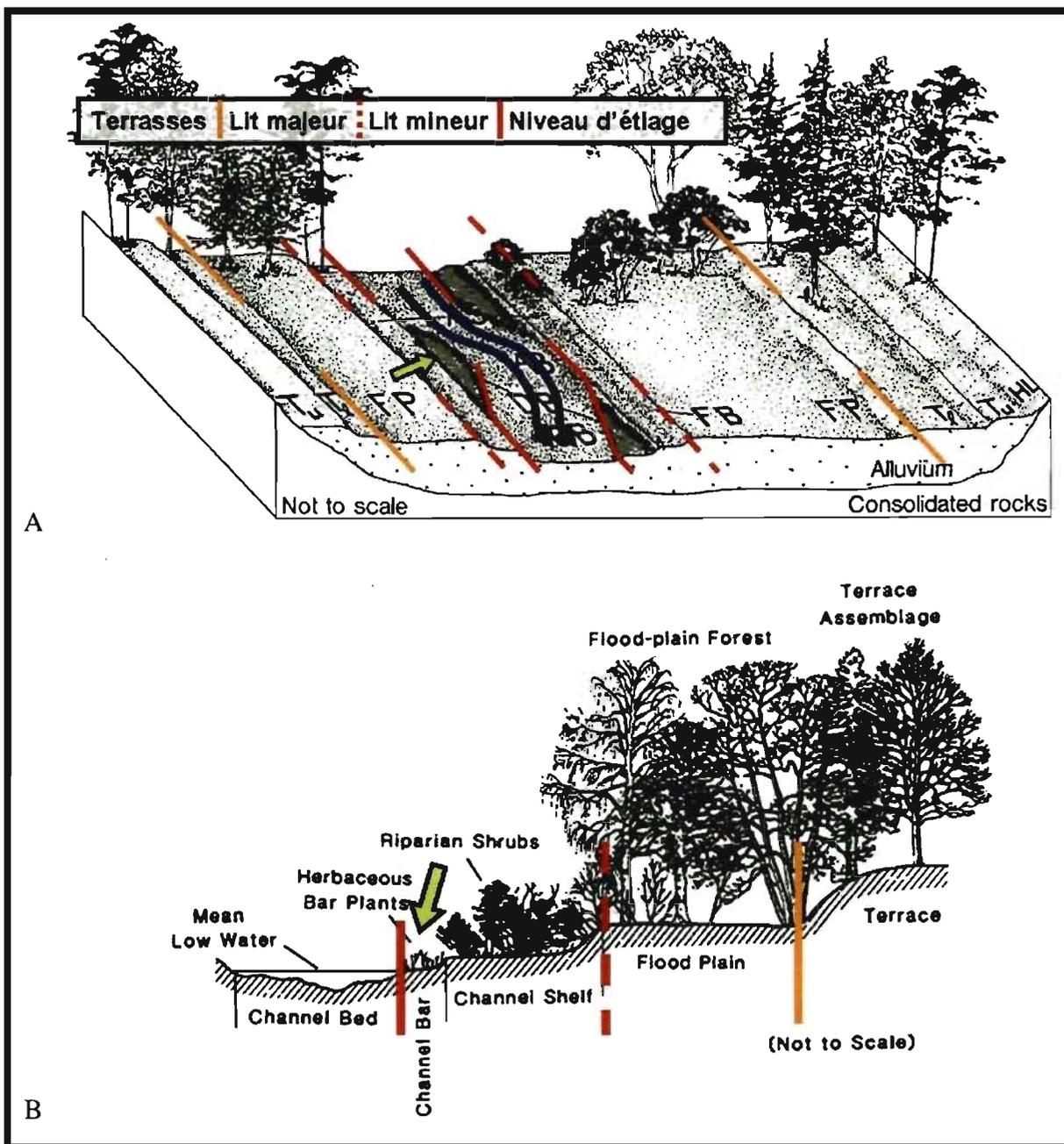


Figure 1.1. Position d'un banc alluvial à l'intérieur du lit mineur du cours d'eau (chenal). En A, les lignes bleues représentent l'écoulement de l'eau lorsque les bancs sont émergés, alors qu'un des trois bancs est pointé (d'après Bendix et Hupp, 2000). En B, coupe transversale d'un versant illustrant la position altitudinale du banc alluvial (d'après Hupp, 1990).

Le banc alluvial (aussi nommé « banc »), équivalent francophone du terme anglais *bar*, est situé dans « cette zone du chenal entre le thalweg et la plus basse limite de la plaine inondable » (Levey, 1978, p. 105). Il représente donc une accumulation de sédiments à l'intérieur des limites du niveau pleins-bords d'une rivière. Cette mésoforme peut ainsi être définie en tant que milieu humide, car elle constitue une «zone de transition entre [un]

écosystème franchement aquatique et [un] écosystème purement terrestre» (Buteau et coll., 1994, p. 2).

Le banc alluvial se développe généralement dans un milieu à pente faible, surtout lorsqu'il s'agit d'un banc sablonneux. Les bancs graveleux, considérés plus stables et plus résistants aux crues (Church et Jones, 1982), se forment dans un milieu à pente plus abrupte, habituellement lorsqu'il s'agit d'un environnement où le cours d'eau est sinueux et subit des changements importants, tels qu'un bris de pente, un obstacle, un élargissement du chenal ou une jonction avec un tributaire (Hooke, 1986). Ces différents milieux favorisent une agglomération sédimentaire principalement par le ralentissement du courant, entraînant une perte de compétence. En effet, un banc est formé de matériel transporté ou déplacé par le cours d'eau et déposé aux endroits où l'écoulement n'est plus assez compétent pour le maintenir en transport. La taille des sédiments déposés varie donc selon la compétence longitudinale et latérale du cours d'eau.

1.1.1. Formation d'un banc alluvial

Un banc alluvial peut se développer dans différents milieux fluviaux (Church et Jones, 1982). Une particularité fréquemment rencontrée dans ces milieux est la sinuosité du thalweg qui permet le dépôt de particules du côté où la vitesse est moins grande (Fig. 1.2-A). Les sédiments s'agglomérant pour former le banc s'installent de manière graduelle dans les trois dimensions : longitudinale, latérale et verticale. Dans le sens de l'écoulement (dimension longitudinale), la couche sédimentaire superficielle suit souvent un agencement ordonné de l'amont vers l'aval (Fig. 1.2-B), où les particules les plus grossières s'accumulent en amont alors que les plus fines se déposent en aval près d'une zone de recirculation de l'écoulement à l'extrémité du banc (Smith, 1974; Levey, 1978; Church et Jones, 1982; Hooke, 1986; Diplas, 1994).

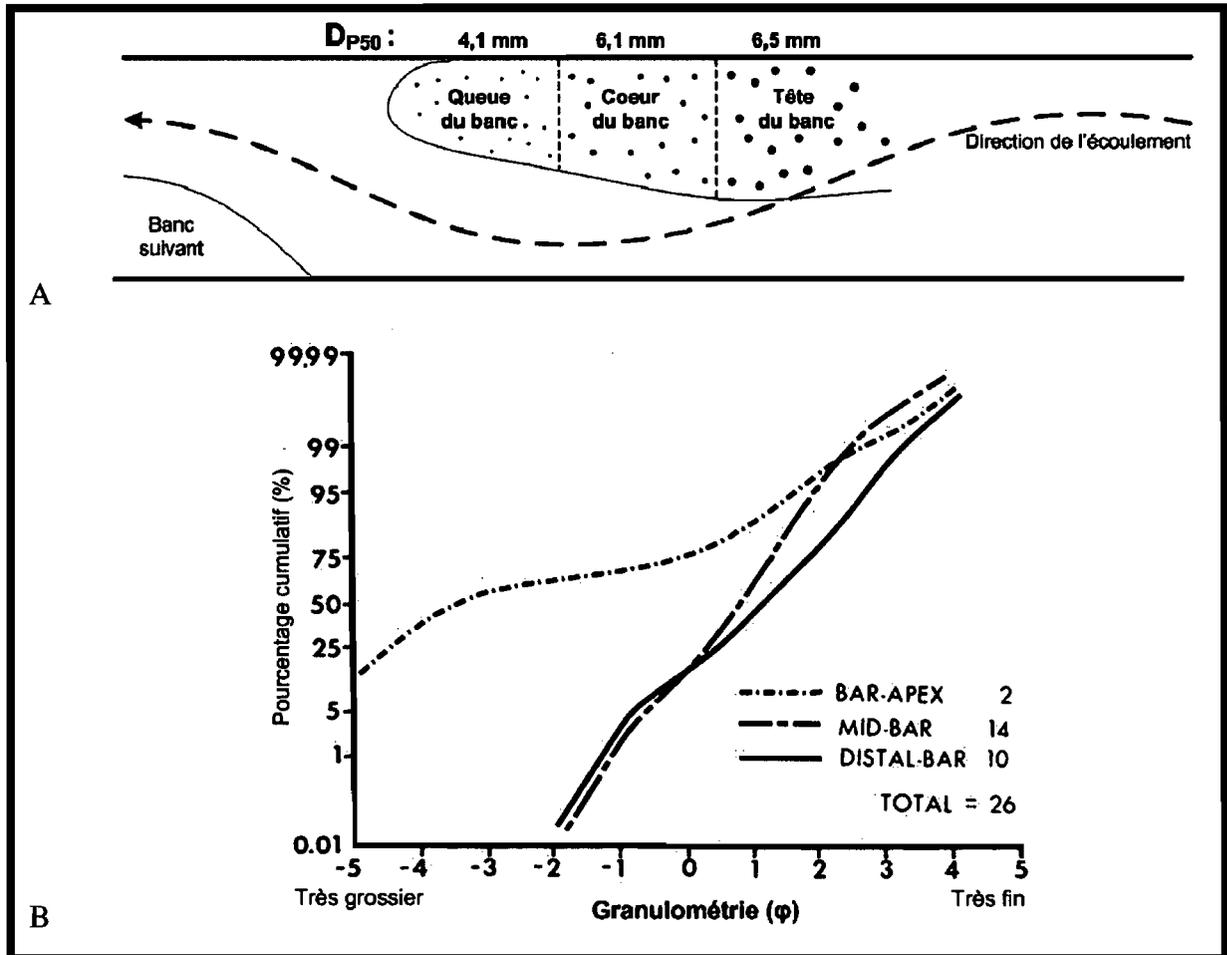


Figure 1.2. En A, représentation schématique en plan de la distribution sédimentaire sur un banc alluvial (d'après Diplas, 1994). En B, distributions granulométriques sur différentes portions d'un banc (d'après Levey, 1978) Les sédiments sont plus fins en aval (queue du banc, *distal-bar*) qu'au centre (cœur du banc, *mid-bar*) et qu'en amont (tête du banc, *bar-apex*).

Au niveau latéral, le banc se met en place habituellement en deux temps. D'abord, les sédiments déposés par les eaux calmes, parfois stagnantes, qui longent le banc, forment une topographie graduelle en pente douce. Ensuite, un événement à débit plus élevé érode de manière tranchante une partie du banc. Cette érosion, que Krigström (1962) nomme *downcutting*, crée une discontinuité dans la pente (Fig. 1.3). Cet événement engendre un abaissement relatif du niveau d'eau, et inversement un relèvement du banc par rapport à ce niveau, ce qui stabilise la section du banc toujours en place (Krigström, 1962).



Figure 1.3. Banc alluvial dont l'accrétion latérale a été partiellement tronquée par érosion. L'écoulement se fait de gauche à droite.

Verticalement, les éléments les plus grossiers forment la première couche granulométrique sur le lit, car ces sédiments, plus lourds, sont déposés en premier, généralement lors d'une forte crue (Hooke, 1986). Ensuite, plus la hauteur du banc augmente, plus les sédiments qui s'y déposent ont tendance à être fins (Church et Jones, 1982). Cet agencement a cours à cause de la plus petite quantité d'eau qui recouvre le banc au fur et à mesure que celui-ci s'élève par rapport à la hauteur du débit moyen (Malanson, 1993). De plus, la présence de végétation colonisatrice hausse la résistance à l'écoulement et piège les particules fines (Bravard et Petit, 1997). De ce fait, le matériel en transport déposé sur le banc est graduellement plus petit, créant l'assemblage vertical jusqu'à ce que la hauteur du banc atteigne celle de la berge. Par exemple, après avoir creusé les sédiments d'une plaine inondable, Pizzuto (1987) associe la couche la plus basse, plus grossière, à un ancien banc alluvial qui a été subséquemment couvert par des particules fines.

1.1.2. Types de bancs alluviaux

Il existe différents types de bancs, définis selon leur position dans le chenal, leur forme et leur influence sur l'écoulement. La majorité des travaux ont été menés sur des cours d'eau à lit de graviers, mais les termes peuvent être utilisés dans tout environnement fluvial de transport sédimentaire. Krigström (1962), Smith (1974) et Church et Jones (1982) sont parmi les nombreux auteurs à avoir décrit ces formes particulières à l'intérieur des cours d'eau. Toutefois, la variabilité des bancs rend leur classification très complexe (Krigström,

1962). Smith (1978) présente la confusion qui existe dans le domaine en dressant une liste de 32 mots anglophones différents utilisés comme préfixe à *bar* par les sédimentologues, dont plusieurs sont synonymes ou se recoupent dans leur définition. Que ce soit en réaction à l'article de Smith (1978) ou de manière naturelle, les travaux subséquents ont décrit les bancs à partir de catégories plus générales, mais souvent sans concordance d'un projet à l'autre. Dans son manuel *Fluvial forms and processes – A new perspective*, Knighton (1998) résume la situation en présentant de manière générale les cinq principaux types de bancs qui sont les plus souvent rencontrés dans la littérature scientifique : central, transversal, de jonction, latéral et de convexité¹. Les définitions de chacun d'entre eux sont générales et non exhaustives, tout comme les milieux décrits peuvent soutenir d'autres formes de banc.

Le banc central est défini par une accumulation sédimentaire formée au centre du chenal et contournée des deux côtés par l'écoulement lors des bas niveaux d'eau. Le banc transversal (ou diagonal) est normalement attaché à une berge et forme un front à l'écoulement en rejoignant l'autre rive, ce qui force l'eau à passer par-dessus (Bravard et Petit, 1997). Un banc de jonction survient à un confluent. La perte de vitesse qui est habituellement associée à l'entrée du tributaire, ainsi que l'instabilité du milieu, engendrent un dépôt sédimentaire sur les côtés des chenaux (Leclair et Roy, 1997). Les bancs latéraux sont observés dans les sections rectilignes d'un cours d'eau et engendrent une déviation de l'écoulement (Church et Jones, 1982). Plusieurs bancs latéraux consécutifs auront une disposition alterne, laquelle crée un écoulement sinueux à l'intérieur d'un chenal rectiligne, lorsque les niveaux d'eau sont bas et les bancs sont émergés (Gordon et coll., 2004). Finalement, le banc de convexité tient son nom de sa position dans le côté convexe d'un méandre. Il s'établit à l'intérieur d'une courbe parce que le thalweg, et du même coup l'écoulement plus rapide, est dirigé vers la berge concave (Knighton, 1998), entraînant son érosion (Smith, 1974). Certains des sédiments issus de l'érosion des berges seront transportés et formeront d'autres bancs alluviaux en aval (Nanson, 1980; Malanson, 1993).

¹ En anglais, respectivement : *midchannel bar*, *transverse bar*, *channel junction bar*, *alternate bar*, *point bar*.

1.1.3. Le banc de convexité

Le banc de convexité est le milieu étudié dans ce projet. Formé par un ralentissement de l'écoulement dû à la courbure du cours d'eau à l'intérieur d'une boucle de méandre (Church et Jones, 1982), ce type de banc s'accroît latéralement en suivant le déplacement du thalweg. Ce déplacement favorise l'accumulation des sédiments au bas de la berge convexe. Un banc de convexité peut aussi être le résultat d'un ajustement d'un autre type de banc alluvial par déplacement ou rattachement à la berge de ce dernier (Hooke, 1986; fig. 1.4-A). Ce rattachement ne se produit pas de manière uniforme. Selon Pyrcce et Ashmore (2005), la construction du banc suit quatre étapes principales, de la consolidation du centre à l'accumulation superficielle sur les marges (Fig. 1.4-B). Durant le processus, les particules grossières s'accumulent principalement à la tête du banc (c'est-à-dire dans sa partie amont), alors que les particules fines profitent d'une zone de recirculation de l'écoulement à la queue du banc (partie aval) pour s'y déposer.

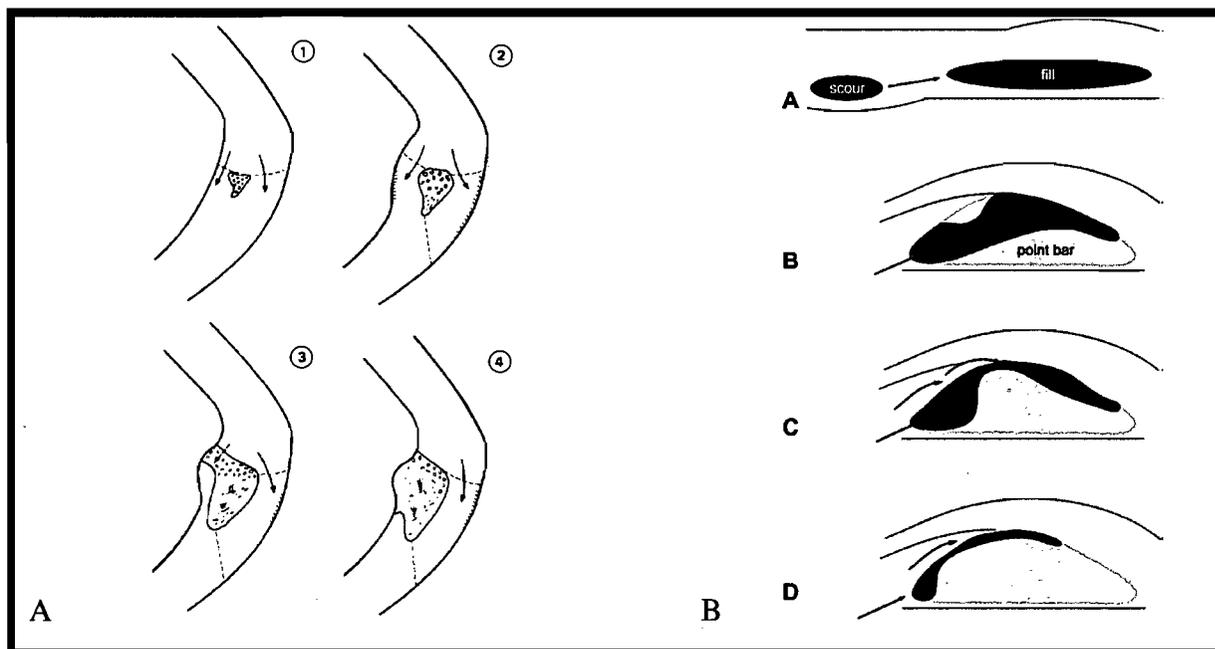


Figure 1.4. Transformation d'une accumulation sédimentaire au centre du cours d'eau en banc de convexité par déviation du courant et rattachement à la berge. D'après (A) Hooke (1986) et (B) Pyrcce et Ashmore (2005).

Le banc de convexité influence lui-même son développement. Par sa présence, il favorise un déplacement de l'écoulement vers la berge du côté concave du méandre, augmentant ainsi l'érosion de cette berge (Leopold et Wolman, 1960; Krigström, 1962; Smith, 1974).

De ce fait, le débit est plus rapide du côté concave et plus lent du côté convexe, accentuant l'accumulation sédimentaire et la croissance spatiale du banc de convexité.

Leopold et Wolman (1960) ont noté que la quantité de sédiments accumulés du côté intérieur du méandre équivaut souvent, approximativement, à celle érodée sur la rive concave. Par conséquent, un banc de convexité peut grandir en largeur alors que le cours d'eau conserve les mêmes dimensions, mais se déplace. Graduellement, la partie haute (à proximité de la berge) du banc subit de moins en moins d'inondations et finit par être intégrée à la berge. Toutefois, le banc ne possède pas nécessairement un relief graduel en pente régulière de la berge à l'eau. Comme l'expliquent Krigström (1962) et Church et Jones (1982), respectivement dans les cours d'eau à lit sableux et graveleux, les bancs de convexité peuvent parfois présenter une dépression entre le banc et la berge convexe (Fig. 1.5). Celle-ci favorise alors le passage d'un écoulement lors des hauts niveaux d'eau et est sujette à un taux d'humidité plus élevé que le cœur du banc.

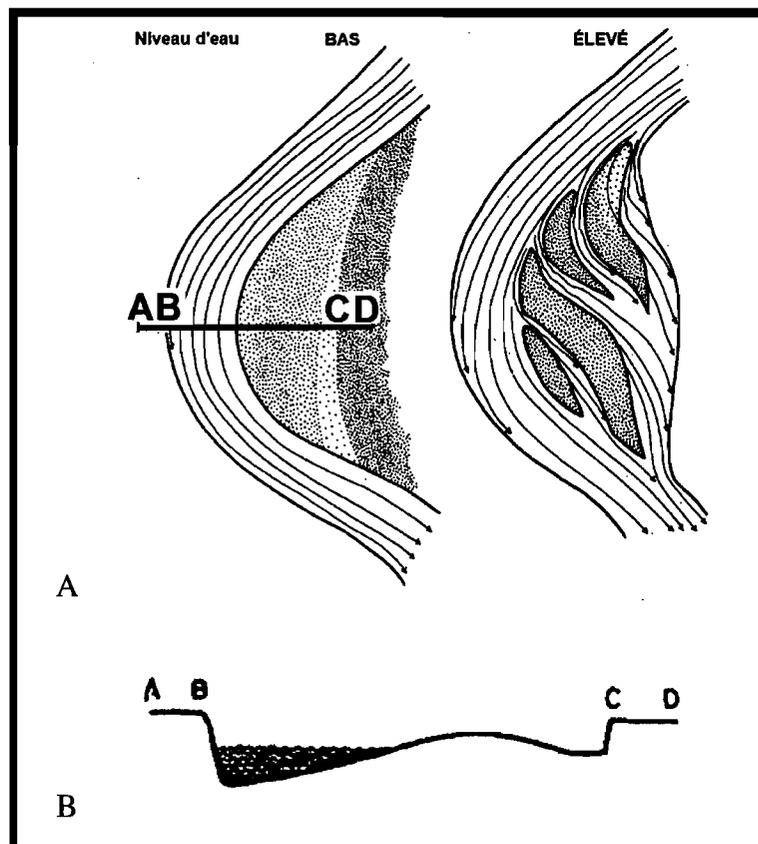


Figure 1.5. A) Schéma d'un banc de convexité à bas (gauche) et haut (droite) niveau d'eau. B) Profil topographique du chenal (suivant la ligne noire en A) présentant le thalweg à proximité de la berge concave ainsi qu'une possible dépression du côté convexe, près du point C. D'après Krigström (1962).

Enfin, dans certains milieux, le déplacement du méandre peut se heurter à une berge concave difficile à éroder, comme la roche en place. C'est sensément le seul contexte dans lequel le banc de convexité subirait une érosion plus importante que la berge opposée (Erskine et Warner, 1999).

1.2. Colonisation végétale sur un banc alluvial

Un banc alluvial composé de sédiments fins (limons, sables) est facilement colonisé par la végétation environnante dès sa libération des crues printanières. En début de saison, cet environnement nouveau est libre de compétition et fournit un emplacement idéal pour les espèces pionnières. Toutefois, à cause de la disponibilité soudaine du milieu, le synchronisme entre l'émersion du banc et la dispersion des graines est primordial (Naiman et Décamps, 1997), car il influence la nature de la première espèce pionnière dominante. Plusieurs méthodes de transport facilitent la dispersion des graines et autres propagules. L'hydrochorie, l'anémochorie, la zoochorie et la barochorie jouent toutes un rôle dans la colonisation du banc, mais pas toutes selon une même importance. Selon Gurnell et coll. (2004), l'hydrochorie est la méthode de transport la plus importante pour la colonisation des environnements riverains. Cependant, une fois que le banc est libéré des eaux, les propagules transportées par un écoulement abaissé ne parviennent pas à s'y déposer. De ce fait, les apports par hydrochorie ne se produisent qu'au moment où le niveau d'eau quitte à peine la surface sédimentaire. Le synchronisme de libération des graines doit alors être très précis. Si les graines sont relâchées trop tôt, elles sont emportées par le courant et ne se déposent pas sur les rives ; si elles sont libérées trop tard, elles ne peuvent pas s'installer sur les milieux émergents car le niveau de l'eau est trop bas. L'hydrochorie est donc plus efficace lorsqu'une végétation est déjà en place, car cette dernière peut intercepter les graines transportées par l'écoulement.

Naiman et Décamps (1997) précisent que l'anémochorie est possiblement plus importante encore. En effet, la colonisation d'un banc par transport aérien commence aussitôt que ce dernier est suffisamment dégagé et se poursuit par la suite. Ce mode de transport est effectif pendant tout l'été, à l'instar de la zoochorie et de la proximité de la plante parente (barochorie), selon le système de chaque plante. Mais l'anémochorie est assurément prépondérante car elle permet un apport plus important de particules et couvre une plus

grande distance (Fig. 1.6). De plus, l'environnement libre d'obstacles d'un cours d'eau et son effet de corridor favorisent le déplacement par le vent. Néanmoins, le synchronisme entre l'émersion du banc et la libération des graines par la végétation régionale reste le facteur le plus important, car il détermine l'espèce qui occupera le plus tôt la surface nouvellement libérée (Walker et coll., 1986). Dans certains cas, le délai depuis la libération du banc des eaux est important par l'humidité qu'il laisse à certains endroits, permettant aux graines déposées de mieux se développer. Devant ces critères, l'espèce pionnière qui s'impose en début de saison est celle qui répond le mieux aux conditions de colonisation : ses graines doivent être très légères ou aérodynamiques, dispersées par le vent, et libérées en synchronisme avec la période d'émersion des bancs.



Figure 1.6. Graines de peuplier (*Populus sp.*) déposées par anémochorie sur un banc alluvial. Chaque tache blanche contient une graine. Les divisions du cadre mesurent 10 cm.

Les conditions particulières d'un banc alluvial, souvent marquées par des perturbations fréquentes (p. ex. fortes crues, raclage par des débris flottants ou par la glace hivernale), en font un environnement diversifié permettant la coexistence et la succession de plusieurs espèces (Malanson, 1993; Naiman et Décamps, 1997). Certaines, telles que le plantain majeur (PIMa), s'installent en bordure du cours d'eau et risquent des inondations plus fréquentes, alors que d'autres, dont la prêle, colonisent la portion haute, tout juste au bas de la berge, et survivent à un milieu relativement plus sec. Peu importe leur position, toutes ces plantes croissent dans un environnement majoritairement émergé et sont décrites comme étant des « plantes terrestres », soit des arbres, arbustes ou herbacées vivant hors de

l'eau. Cette caractéristique distingue cette végétation de celle qui s'installe dans le cours d'eau.

1.2.1. Modèle évolutif r/K

Le banc alluvial, par la remise à nu qu'il subit durant l'hiver et le printemps, devient un environnement propice à l'observation, sur une courte échelle temporelle, du modèle évolutif r/K (MacArthur et Wilson, 1967). Comme dans la plupart des milieux remis à nu (clairière, trouée, champ abandonné, glissement de terrain), les premières espèces qui colonisent un banc alluvial suivent la « stratégie r ». De ce fait, ces espèces s'imposent vite et en très grand nombre. Elles profitent au maximum des ressources facilement disponibles, principalement la lumière solaire. La dispersion de très nombreuses graines (Fig. 1.6) a pour objectif que le plus grand nombre survive, mais le taux de mortalité est très élevé.

L'établissement de ces espèces modifie les conditions environnementales sur le banc : elles maintiennent un niveau d'humidité au sol et créent des zones d'ombre. Ces conditions favorisent l'établissement des espèces de « stratégie K », lesquelles produisent un nombre restreint de graines. Celles-ci sont plus robustes, plus imposantes et maximisent leur efficacité d'utilisation des ressources (MacArthur et Wilson, 1967). Elles profitent ainsi des conditions engendrées par les espèces pionnières de stratégie r pour émerger et s'imposer sur le milieu. De cette façon, un seul érable (stratégie K) réussit à s'implanter dans un micro-environnement où croissent une dizaine de peupliers (stratégie r).

1.2.2. Conditions favorables

Un milieu dégagé en début de saison de croissance est un environnement favorable à plusieurs espèces grâce à l'espace et à la lumière disponibles. Selon Walker et coll. (1986), la présence de litière en milieu inondable nuit à la germination des graines de plusieurs espèces environnantes au profit de certaines autres. Sur un banc alluvial, aucune litière n'a l'occasion de persister car le cycle annuel inondation / émergence entraîne une mise à nu du banc au printemps, durant sa submersion (Hughes, 1997). La surface est donc presque toujours un sol minéral nu, disponible pour les premières graines à atterrir sur le banc.

La dormance est une des stratégies qu'adoptent les plantes pour assurer leur survie et leur reproduction. Les graines dotées de cette stratégie peuvent rester enfouies dans le sol

pendant plusieurs années avant de finalement éclore lorsque les conditions leur sont optimales (Benvenuti, 2007). Pour certaines, une couche de protection enveloppe la graine et la maintient en statut dormant. Seul un retrait de cette protection permet à la graine d'éclore et de germer, lequel survient, par exemple, lors de l'ingestion de la graine par un oiseau. L'animal ne digère pas la graine entière et celle-ci se retrouve dans ses fèces. Elle profite ainsi d'un excellent engrais au moment où sa dormance se termine (Benvenuti, 2007). Par contre, les échantillons prélevés par Walker et coll. (1986) ne dénombrent aucune graine en dormance dans les sédiments les plus près du cours d'eau, zone sensiblement équivalente au banc alluvial. Plusieurs de ces graines ont cependant été trouvées sur les berges, où une végétation pérenne est en place. Le banc alluvial semble donc principalement colonisé par une végétation qui n'est pas déjà sur place en début de saison. Les perturbations automnales, hivernales et printanières en sont sûrement une importante cause. Ainsi, moins une plante a de stratégies différentes, plus elle dépend des conditions externes pour sa régénération (Hughes, 1997). Par exemple, le synchronisme entre la libération des graines et les fortes crues est une stratégie directement liée aux conditions externes (Gurnell et coll., 2004).

1.3. L'écologie d'un banc alluvial

En milieu tempéré humide, le banc alluvial, par sa position à l'intérieur du chenal principal de la rivière (lit mineur), est submergé durant les crues printanières, suite à la fonte des neiges. Il est alors une mésoforme inondée, quelquefois estompée (Bravard et Petit, 1997; Darby, 1999; Steiger et coll., 2005). Exondé vers la fin du printemps, le banc n'est ensuite submergé qu'épisodiquement en été et à l'automne. Cet environnement humide, généralement ensoleillé, situé en milieu ouvert et disponible dès le début de la saison de croissance, accueille facilement les graines y trouvant refuge et subit une colonisation rapide. Ce milieu joue ainsi un rôle important pour l'écologie de la région dans laquelle il se trouve. En effet, selon Steiger et Gurnell (2002), si une accumulation trop importante encourage le rattachement d'un banc alluvial à la berge qui le côtoie, une déconnexion hydrologique a lieu entre le sol et l'écoulement, ce qui nuit énormément aux espèces hydrophiles colonisant majoritairement les bancs alluviaux. La présence distincte de ces bancs est ainsi un élément favorisant la biodiversité.

1.3.1. La végétation : un acteur majeur

Le rôle de la végétation dans la dynamique de l'écoulement est considéré depuis plus d'un siècle, alors que Robert Manning eut modifié l'équation d'Antoine Chézy (XVIII^e siècle) et introduit son désormais célèbre coefficient de résistance à l'écoulement n , lequel représente l'ensemble des obstructions à l'intérieur et en bordure d'un cours d'eau (Chow et coll., 1988; Gordon et coll., 2004). Cowan (1956) a ensuite décrit une méthode plus détaillée permettant de définir de manière plus précise la valeur du n de Manning, qu'il considère comme « l'expression quantitative de la résistance à l'écoulement » (Cowan, 1956, p. 473). Sa démarche estime la valeur de n comme la somme de cinq valeurs d'obstruction distinctes, l'ensemble étant multiplié par la sinuosité du chenal (Éq. 1.1; Tabl. 1).

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) \cdot m_6 \quad \text{Équation 1.1}$$

Tableau 1.1. Étapes de détermination du n de Manning (d'après Cowan, 1956).

Composante du n	Caractéristique décrite	Valeur accordée
n_1	Coupe transversale du chenal et matériel du lit et des berges	0,02 à 0,028
n_2	Irrégularités dans la forme du chenal	0,00 à 0,020
n_3	Fréquence des changements de la forme de la coupe transversale	0,00 à 0,015
n_4	Présence d' obstacles divers (troncs, racines, blocs, ...)	0,00 à 0,060
n_5	Effet retardateur de la végétation	0,00 à 0,100
m_6	Sinuosité du chenal	0,00 à 0,300

La cinquième variable (n_5) représente l'influence de la végétation sur l'écoulement et varie selon la quantité d'herbes, d'arbustes, de troncs d'arbres ou de racines imposantes en bordure ou à l'intérieur du cours d'eau (Cowan, 1956; Bravard et Petit, 1997). Bien que subjective, cette méthode introduit une idée claire de l'importance de la végétation dans l'évaluation des mécanismes influençant la dynamique hydraulique. Cependant, de nouvelles approches ont été nécessaires afin de mieux quantifier l'influence végétale dans un cours d'eau, car la valeur du n de Manning varie régulièrement en fonction du débit, principalement à cause de la flexibilité des plantes (Fathi-Maghadam et Kouwen, 1997; Anderson, 2005) ou de la hauteur de l'eau par rapport à celles-ci (Turner et Chanmeesri, 1984). Lorsque la hauteur de l'eau est faible, ses variations ont un impact relativement plus important sur la valeur du n de Manning. En termes pratiques, la relation entre la hauteur de l'eau et la végétation doit nécessairement être considérée dans l'évaluation de l'impact de cette dernière sur le cours d'eau. La présence de végétation basse peut donc avoir une

influence considérable sur la valeur du n de Manning, particulièrement sur les bancs alluviaux, car ceux-ci sont plus souvent submergés.

1.3.2. Types de végétation

Les différences morphologiques entre les herbes, les arbustes et les arbres sont marquantes. Les arbres s'imposent par l'absence de flexibilité de leur tronc unique et par leur résistance à de forts écoulements. Les herbes sont généralement nombreuses dans un petit espace et leurs feuilles sont flexibles et interagissent avec l'écoulement. Leur réseau racinaire est fin, mais dense. Les arbustes sont un entre-deux, présentant chacun plusieurs troncs ligneux mais relativement flexibles (Carollo, 2005). Les interactions qu'ont ces trois types de végétation avec l'écoulement sont intéressantes à analyser car une dynamique similaire a lieu sur les bancs, dans une dimension plus petite. En effet, un semis d'érable a un tronc unique relativement stable surmonté d'une canopée feuillue, tandis qu'une jeune herbacée (p. ex. *Carex*) présente plusieurs longues feuilles très flexibles. Cette végétation dite « de berge » est terrestre et interagit généralement avec un écoulement peu élevé qui ne la submerge pas.

Si les inondations estivales sont suffisamment importantes et submergent le banc à un niveau plus élevé que celui de la végétation, l'interaction entre cette dernière et l'écoulement s'apparente alors plutôt à celle d'une végétation aquatique (émergente ou submergée). Comme l'association à une végétation aquatique (submergée ou émergente) est plus appropriée dans certains cas afin d'évaluer la dynamique eau – sol – végétation, les deux catégories sont ici traitées.

1.3.2.1. Végétation de berge

La végétation riveraine installée sur les berges occupe souvent la plaine inondable, soit l'environnement terrestre subissant des inondations une fois par un à trois ans. Dans les environnements tempérés humides, cette zone est habituellement dominée par les arbustes et les arbres. L'interaction entre cette végétation peu ou pas du tout flexible et l'écoulement est peu représentative de ce qui a cours sur un banc alluvial à cause de la différence d'échelle. Toutefois, les dynamiques observées par les chercheurs sur les berges peuvent servir de point de comparaison lorsqu'un semis à tronc unique subit une faible inondation

sur le banc alluvial. De ce fait, cette plante de quelques centimètres de hauteur, dont la maturité limite son fléchissement dans l'écoulement, est alors inondée de manière proportionnelle à un petit arbre lors d'une crue couvrant la plaine inondable. Ceci confirme l'intérêt de la dynamique ayant cours sur la plaine inondable.

Un arbre peut ralentir l'écoulement jusqu'à de très hauts débits par simple résistance. Par contre, l'écoulement ainsi dévié poursuit sa route et peut influencer de manière importante l'environnement immédiat de l'obstacle (Thorne, 1990; Naden et coll., 2006). L'absence de flexion d'un tronc d'arbre force l'écoulement à le contourner et entraîne une érosion préférentielle ainsi que la formation d'un dépôt en aval du tronc, dans la zone de traînée (Coulthard, 2005; fig. 1.7). Advenant qu'une espèce plus fragile, dont les racines sont moins bien ancrées dans le sol, se soit installée à proximité, elle risque d'être facilement déplacée lorsque la taille de la plante faisant obstacle et la force de l'écoulement seront suffisamment importantes pour créer et agrandir les zones d'érosion. À l'inverse, l'accumulation sédimentaire à l'aval de l'obstacle peut favoriser la colonisation végétale. Comme le présente Coulthard (2005) avec une végétation basse, cette dynamique pourrait aussi être observée sur un banc alluvial, où la vitesse d'écoulement est relativement plus élevée que sur une plaine inondable. En effet, pour obtenir ce genre de patron, une vitesse d'écoulement minimale est nécessaire. Le niveau du seuil dépend principalement du type de substrat dont est constituée la surface du sol, plus particulièrement de sa cohésion.

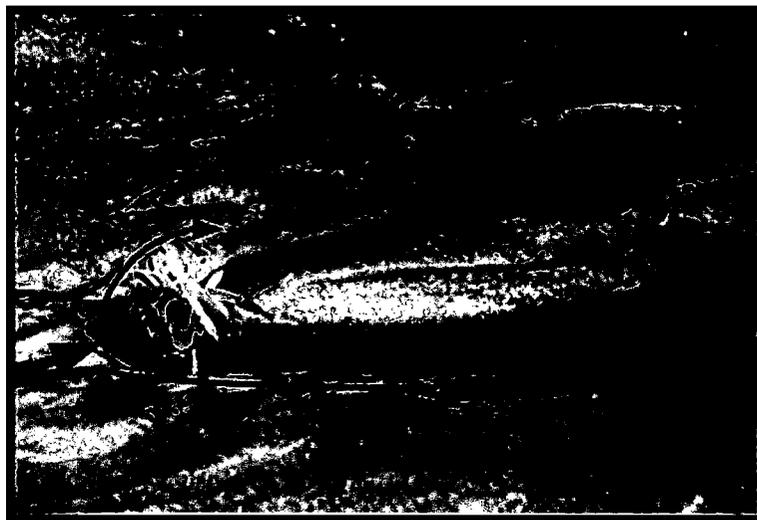


Figure 1.7. Formation d'un dépôt en aval d'un obstacle végétal et érosion préférentielle par la concentration de l'écoulement de part et d'autre de la plante. D'après Coulthard (2005).

1.3.2.2. Végétation aquatique

Huang et Nanson (1997) ont montré l'importance de distinguer la végétation de berge de celle croissant sur le lit du chenal. Les espèces végétales vivant entièrement ou partiellement sous l'eau sont en interaction constante avec l'écoulement. Elles jouent un rôle dans la dynamique hydrologique qui est très différent de celui des arbres ou arbustes sur les berges, principalement à cause de leur petite taille et grande flexibilité.

La végétation aquatique regroupe deux sous-catégories : végétation submergée et végétation émergente. Bien que semblables, elles n'ont pas toujours un comportement similaire. En fait, un changement de dynamique s'installe lorsque le niveau d'eau dépasse la hauteur de la végétation en place (Stone et Shen, 2002; Wu et Wang, 2004; Fig. 1.8). La limite supérieure de la végétation est une véritable ligne de séparation sous laquelle la vitesse est relativement lente et la turbulence est faible. Immédiatement au-dessus, l'eau s'écoule plus rapidement et crée une plus forte perturbation, laquelle s'amenuise proche de la surface de l'eau (Wilson et coll., 2003; García et coll., 2004; Järvelä, 2005; Neumeier et Amos, 2006). Une fois submergée, la végétation influence l'accumulation sédimentaire et la vitesse de l'écoulement, mais beaucoup moins la direction de ce dernier (Temmermann et coll., 2005).

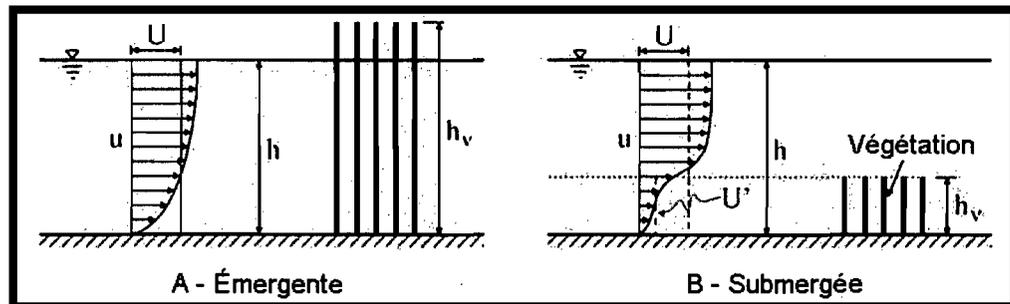


Figure 1.8. Changement du profil de vitesse de l'écoulement selon la hauteur qu'atteint la végétation. En A, une végétation émergente crée un profil constant. En B, une végétation submergée engendre une grande différence entre la zone où l'écoulement est ralenti par la végétation et la portion où l'eau est libre. D'après Wu et Wang (2004).

De ce fait, la dynamique que crée la végétation croissant sur les bancs alluviaux dépend énormément de l'altitude qu'atteint l'écoulement de la rivière durant la période de croissance. Si les inondations du banc sont hautes, la végétation colonisatrice herbacée réagira sensiblement comme une végétation aquatique submergée. Si les inondations sont plus faibles, la comparaison avec une végétation émergente ou de berge est alors plus juste,

car la hauteur et la vitesse de l'écoulement de l'eau sont plus faibles. La végétation colonisant un banc alluvial peut ainsi afficher durant une même journée les caractéristiques des deux sous-catégories de la végétation aquatique et celles de la végétation de berge.

1.3.3. Effets de la végétation sur les caractéristiques hydrauliques

1.3.3.1. *Densité*

Plusieurs travaux ont montré que la densité de la végétation augmente de façon significative la résistance à l'écoulement (p. ex. Pasche et Rouvé, 1985; Fathi-Maghadam et Kouwen, 1997; Huang et Nanson, 1997; Gran et Paola, 2001; Bennett et coll., 2002; Thompson et Wilson, 2003). Lorsqu'il atteint une zone de végétation très dense, l'écoulement est en grande partie dévié et concentré dans un tronçon sans végétation où sa vitesse est plus rapide (Bennett et coll., 2002; Cotton et coll., 2006; Naden et coll., 2006).

La présence de végétation favorise une accumulation de sédiments et de propagules, soit par le ralentissement du courant, soit par captage (Hooke, 1986). La quantité maximale d'accumulation dans un espace donné survient lorsque la densité végétale est à son apogée (Hooke, 1986; Cotton et coll., 2006). À l'inverse, moins la végétation est dense, plus l'écoulement qui la traverse est rapide et turbulent et moins l'accumulation de sédiments est favorisée (Nepf, 1999). Dans certains cas, une trop grande turbulence peut entraîner une érosion du lit, par exemple entre deux parcelles de végétation où l'écoulement est dévié et concentré (Rogers et Schumm, 1991). En somme, la variabilité des environnements étudiés et des techniques utilisées (laboratoire, milieu naturel, modélisation ; végétation aquatique ou riveraine) ne permet pas de déterminer un seuil fixe qui diviserait les catégories «dense» et «non-dense». Ces résultats sont alors une indication des conséquences des variations de densité, et non pas des valeurs de densité.

1.3.3.2. *Flexibilité*

La flexibilité de la végétation en place a une influence directe sur la force de résistance des plantes face à l'écoulement (Cowan, 1956). Bien que la densité végétale soit toujours une variable majeure, la flexibilité joue un rôle significatif dans l'interaction avec l'écoulement (García et coll., 2004). Les travaux de laboratoire utilisent de plus en plus des objets flexibles, plutôt que des goujons, afin de représenter la dynamique d'un îlot végétal

(Wilson et coll., 2003; García et coll., 2004; Yang et coll., 2007). Plusieurs utilisent des pailles ou autres objets plastifiés, mais certains misent directement sur une végétation vivante (Gran et Paola, 2001; Järvelä, 2005). Ces diverses méthodes ont montré que plus la végétation est flexible, plus elle retarde l'écoulement par absorption d'énergie. L'écoulement se condense alors dans le chenal principal où il n'y a pas de végétation, accélérant le fluide à cet endroit (Yang et coll., 2007).

1.3.3.3. Canopée feuillue

La présence de feuilles a une influence non-négligeable sur les interactions entre la végétation et l'écoulement. Les feuilles submergées augmentent la superficie de résistance des plantes, ce qui réduit la vitesse et la turbulence de l'écoulement et, par conséquent, favorise l'accumulation sédimentaire (Wilson et coll., 2003; Naden et coll., 2006). Plusieurs espèces, dont le peuplier, l'érable et la pyrole, croissent sur un banc alluvial et portent très tôt une canopée feuillue qui interagit avec l'écoulement lors d'une inondation. Cette interaction, souvent traduite par la force de traînée, nuit à ce type d'espèces lors de leur établissement sur un milieu sujet à de nombreuses crues, car leurs racines doivent résister à une force plus grande (Riis et Biggs, 2003). La force de traînée est d'ailleurs la seule force considérée non-négligeable dans ces circonstances (Wu et Wang, 2004).

1.3.3.4. Effet racinaire

Le système racinaire est un acteur important dans la dynamique des berges (Graf, 1978; Bergeron et Roy, 1985; Dunaway et coll., 1994; Boothroyd et coll., 2004). Son rôle est majeur dans le contrôle de l'érosion des milieux riverains (Pizzuto, 1984; Thorne, 1990; Hupp et Osterkamp, 1996) et l'absorption des polluants avant leur contact avec le cours d'eau (Narumalani et coll., 1997; Boutin et coll., 2003). Si elles atteignent 50 centimètres sous la surface, les racines peuvent créer un resserrement du sol allant jusqu'à doubler sa résistance (Rey et coll., 2004). Selon Thorne (1990), les individus de toutes espèces risquant d'être emportés par les crues doivent ancrer leurs racines plus profondément que le niveau de la nappe phréatique afin de rester en place. Une végétation bien implantée peut en contrepartie maintenir le substrat jusqu'à forcer un méandre à développer une forme angulaire (Graf, 1978). Une telle situation dépend évidemment de nombreux autres

facteurs, tels que la nature du substrat, la densité végétale ou encore les conditions climatiques.

Dans un système racinaire très développé, la cohésion du sol peut dépendre plus fortement des racines en place que de la nature du sol (Pizzuto, 1984; Dunaway et coll., 1994). Par exemple, un sol argileux, bien que plus cohésif qu'un sol sablonneux, n'est pas nécessairement plus résistant à l'érosion, car sa compacité empêche souvent le développement d'un réseau racinaire important. Dans cette situation, une berge sableuse, colonisée par une végétation dont les racines s'ancreraient profondément dans le sol, résisterait mieux à l'érosion (Dunaway, 1994). Aussi, l'épaisseur du sol soumis à l'érosion détermine à quel point le système racinaire a une influence dans le maintien de la berge : plus le sol est mince, plus les racines occupent l'espace, plus le milieu est stable (Pizzuto, 1984).

Les travaux portant sur la végétation de berge mettent aussi en relief l'importance du réseau racinaire dans le contrôle de l'érosion. Par exemple, une végétation de berge herbacée, qui possède un réseau racinaire plus dense et plus ramifié que celui d'espèces arborescentes, augmente la résistance de la berge face à l'érosion (Bergeron et Roy, 1985; Trimble, 1997). Sur un banc alluvial en milieu naturel, il est complexe d'évaluer le réseau racinaire des individus. Cependant, la présence dominante d'espèces herbacées permettrait de mieux maintenir les sédiments en place lors de crues, alors que les semis d'arbres n'auraient probablement pas un réseau racinaire suffisamment développé.

1.3.3.5. Débris ligneux

À l'instar de la végétation vivante, les débris ligneux ont aussi une influence sur l'écoulement et sur la dynamique végétale d'un banc. La présence d'un tronc ou d'une branche entraîne le blocage de la majorité des feuilles et morceaux de bois flottants, créant un obstacle considérable à l'écoulement (Naiman et Décamps, 1997). Lorsque de tels débris ligneux sont interceptés par une végétation en place, ils augmentent significativement la résistance de celle-ci à l'écoulement, et du même coup l'interception sédimentaire, ce qui engendre de plus grandes zones de dépôt (Dabney et coll., 1995). Dès 1984, Hickin reconnaissait que les bancs centraux les plus imposants comprenaient tous des débris végétaux incrustés dans leur partie en aval. Sans nécessairement être la cause de la présence

d'un banc à cet endroit, ces obstacles accélèreraient sa croissance en agissant comme bouclier derrière lequel une zone de ralentissement favorise la sédimentation, et plus particulièrement le dépôt de sédiments fins (Nanson, 1981; Hickin, 1984; Gurnell et Petts, 2002). Les travaux prospectifs de Daniels (2006) corroborent ce lien, car un retrait volontaire des débris ligneux dans un méandre a engendré une hausse de la taille moyenne des sédiments dans celui-ci. De plus, la présence de débris ligneux à l'aval du méandre crée une division des sédiments fins et grossiers, ces derniers étant déplacés vers l'extérieur de la courbe (Daniels, 2006). L'inverse, soit la présence d'un tronc à l'amont d'un banc, laisse penser qu'un tel débris végétal, par ses nombreuses ramifications, capte facilement les sédiments en suspension et amorce ainsi la création d'un nouveau banc alluvial formé de sédiments fins (Nanson, 1981). D'une façon ou d'une autre, la protection contre l'écoulement qu'offre une agglomération de bois mort ou un gros tronc couché, ainsi que la granulométrie favorable qu'ils engendrent, aident indirectement la croissance des graines et semis. Cette aide se présente d'abord grâce à la protection contre l'érosion, ensuite par une meilleure rétention de l'humidité du sol (Gurnell et Petts, 2002).

1.4. Méthodes de travail

1.4.1. Travaux en milieu naturel

Les travaux menés en milieu naturel se divisent en deux types d'études : passives et prospectives. Alors que les premières émettent des hypothèses rétroactives à partir de l'état actuel du milieu (Bergeron et Roy, 1985; Huang et Nanson, 1997; Trimble, 1997), les secondes suivent l'évolution des berges ou provoquent volontairement un changement et en observent les conséquences (p. ex. Dixon et coll., 2002; Riis et Biggs, 2003; Rey, 2004; Daniels, 2006). Ces deux types de travaux ont pour avantage d'observer un phénomène répondant aux conditions réelles du milieu, autant celles connues qu'inconnues. De plus, la végétation naturelle présente un indice d'hétérogénéité impossible à reproduire artificiellement (Carollo et coll., 2005). La présence simultanée et aléatoire de plantes et de feuilles de différentes formes est une caractéristique difficilement reproductible en laboratoire (Thompson et Wilson, 2003; Carollo et coll., 2005). Les données obtenues résultent des multiples interactions dans l'environnement étudié. Cette complexité devient une contrainte lors de l'analyse des données et de l'identification des facteurs et des causes

de ce qui est observé. Les interactions sont nombreuses et il devient ardu d'isoler une variable parmi les autres.

Par ailleurs, les travaux de terrain impliquent inévitablement des coûts en temps et en argent pour le déplacement vers les sites d'étude. Les prises de mesures dépendent aussi fortement des conditions météorologiques, lesquelles peuvent parfois retarder ou modifier l'organisation d'une ou plusieurs journées de terrain, empêchant parfois un suivi selon un cycle régulier. Ces situations complexifient l'isolement de variables, car certaines, telles que le niveau d'eau, la température, le vent ou l'ensoleillement, peuvent changer significativement en quelques heures et être totalement différentes d'une prise de mesure à l'autre. La méthodologie appliquée à la cueillette des résultats doit donc être préparée en conséquence. Ce problème se pose aussi lors de la réplication d'une expérience de terrain, car les conditions initiales ne sont jamais exactement les mêmes, rendant la généralisation plus difficile. Afin d'éviter ces situations hasardeuses, plusieurs chercheurs se sont tournés vers des expérimentations contrôlées en laboratoire.

1.4.2. Travaux de laboratoire

Au niveau méthodologique, l'utilisation d'un canal expérimental présente un avantage majeur : le contrôle des variables et des conditions expérimentales. La maîtrise du débit, de la charge en suspension et de la pente, entre autres, facilite l'analyse des liens entre les variables physiques qui constituent le chenal. Elle permet aussi d'ajuster les conditions selon les objectifs de la recherche et d'ainsi mettre l'accent sur une composante particulière en modifiant les autres, créant ainsi une mosaïque de combinaisons (Dunaway et coll., 1994; Yang et coll., 2007). La possibilité d'effectuer plusieurs répliques d'une même expérience en un court laps de temps est un autre atout majeur des travaux de laboratoire, car elle permet de préciser les marges d'erreur.

Le laboratoire présente tout de même une contrainte : la représentativité par rapport au milieu naturel. Il est impossible de simplifier une dynamique aussi complexe sans risquer de laisser de côté une relation essentielle. L'utilisation d'un canal expérimental est à la fois un atout et un handicap. Les résultats de ces travaux doivent être souvent vus comme des hypothèses d'appui, non pas comme des faits directement applicables aux situations naturelles. Cependant, la précision de ces recherches s'améliore et leurs résultats sont de

plus en plus représentatifs du milieu naturel. Les conditions suivantes doivent tout de même être continuellement considérées.

Comme les dimensions physiques ne sont pas les mêmes entre un cours d'eau et un canal expérimental, il est nécessaire de considérer le transfert d'échelle lors de la conception de l'expérience. La taille des sédiments, la hauteur et la largeur de la végétation, ainsi que la vitesse de l'écoulement doivent être ajustés, sans quoi les relations que les chercheurs tentent d'établir n'ont plus aucun lien avec la réalité (Gran et Paola, 2001; Wilson et coll., 2003). Ces ajustements peuvent être évalués précisément, par exemple dans une situation où du sable est utilisé afin de représenter du gravier (Pyrce et Ashmore, 2005). Cette substitution proportionnelle exige une modification de toutes les variables selon le même transfert d'échelle, d'où l'utilisation d'une petite plante pour simuler un grand arbre (Gran et Paola, 2001; Coulthard, 2005) ou la construction d'individus artificiels dont la taille est proportionnelle à la végétation trouvée en milieu naturel (Wilson et coll., 2003). Dans un projet principalement sédimentologique, la forme des grains doit aussi être évaluée afin d'assurer que la dynamique interne d'agencement des particules (imbrication, amas de galets, barres transversales) puisse aussi avoir lieu à cette échelle (Pyrce et Ashmore, 2005). Cette association invite à présumer que les processus physiques ayant cours dans un milieu graveleux peuvent aussi survenir selon des conditions semblables dans un environnement sablonneux.

Ce lien est aussi fragile devant la rigidité d'un système de laboratoire. Les tronçons rectilignes, enclavés entre deux murs imperméables, sont très rares en milieu naturel. Des méthodes ont été développées, tant en laboratoire qu'en modélisation, afin de limiter cet effet problématique, principalement en appliquant une équation de correction des valeurs de vitesse en bordure des murs (Carollo et coll., 2005; Wu et coll., 2005). Cependant, l'influence de la plaine inondable et de la nappe phréatique, difficilement quantifiable, est ignorée. Bien que l'imperméabilité du plancher du canal expérimental semble négligeable au niveau de l'interception des particules fines (Dabney et coll., 1995), les apports hydrauliques et sédimentaires provenant des versants sont cruciaux dans le fonctionnement du système riverain (Arp et Cooper, 2004). Lorsque ces travaux en laboratoire tentent de reproduire un environnement aussi complexe qu'un banc alluvial, l'abstraction de ces

variables connexes à la dynamique eau – végétation limite la généralisation au milieu naturel.

Enfin, la principale lacune des observations en laboratoire est liée au statut biologique de la végétation. Plusieurs expériences analysant l'influence d'une végétation rigide ou flexible sur l'érosion du sol ont été conçues avec des cylindres – tubes, goujons, pailles – qui n'ont aucune ramification dans le sol (Nepf, 1999; Bennett et coll., 2002; Stone et Shen, 2002; Thompson et Wilson, 2003; García et coll., 2004; Yang et coll., 2007). Une telle prémisse, considérant une plante comme un cylindre, sert aussi dans les modèles d'évaluation mathématique de l'influence végétale sur l'écoulement (Temmerman et coll., 2005). Stone et Shen (2002) rappellent qu'il faut modifier ces équations théoriques afin de les adapter à une végétation flexible. Cependant, les équations étant rigides, l'ajout de composantes connexes pour approximer la réalité rend ces travaux très ardues (Nepf, 1999). L'utilisation de répliques en plastique mou de plantes émergentes (Wilson et coll., 2003) offre un avantage quant au réalisme de la partie aérienne, mais l'absence de racines reste un handicap. Tel que présenté précédemment, le réseau racinaire, par sa force ou sa faiblesse, joue un rôle important dans la dynamique hydrosédimentaire d'un milieu végétalisé, en limitant l'érosion, en résistant ou même en succombant à la force du courant (Coulthard, 2005). Les résultats de ces travaux ne sont pas pour autant invalides, mais, encore une fois, cette raison force une certaine prudence lors d'une éventuelle généralisation de ceux-ci. L'utilisation d'une végétation vivante en milieu contrôlé apporte ainsi un atout de taille à l'expérience (Rogers et Schumm, 1991; Gran et Paola, 2001; Järvelä, 2005; Coulthard, 2005).

1.4.3. Travaux de modélisation

Devant les contraintes techniques et monétaires des travaux de terrain et les difficultés de représentation juste des reproductions en laboratoire, certains chercheurs ont utilisé ces méthodes comme simple point de départ vers une modélisation de l'environnement aquatique et riverain. De ce fait, une fois le modèle virtuel établi, l'ajout de variables ou les variations de celles en place sont plus faciles, et les répliques sont rapides et peu coûteuses. Mais la construction d'un modèle nécessite la cueillette de données en milieu naturel et en laboratoire (Pasche et Rouvé, 1985; Nepf, 1999; Millar, 2000), surtout pour des fins de

calibration et de validation. De plus, la variabilité de la végétation et le nombre de variables distinctes qu'il serait nécessaire d'inter-relier pour réussir à représenter un seul milieu retire à cette approche son idée de simplicité. Certains auteurs parviennent tout de même à définir plus précisément la végétation riveraine par certaines grandes caractéristiques, dont sa flexibilité, sa densité ou son niveau de submersion (Darby, 1999; Nepf, 1999; Anderson et coll., 2005; Temmerman et coll., 2005; Wu et coll., 2005). Mais certains admettent ignorer volontairement, souvent à cause de la complexité de la situation, certains de ces paramètres jugés cruciaux par leurs pairs (Wu et coll., 2005). Malgré cela, ces travaux offrent des résultats pertinents lors de la revitalisation d'un milieu, car ils peuvent diriger les manipulations anthropiques sur le territoire. Par contre, lors de l'étude du comportement d'un milieu naturel, la diversité est si grande, tant au niveau végétal que morphologique, que les modèles n'apportent qu'une simple estimation difficile à quantifier. En fait, la complexité de la démarche visant la modélisation de l'érodabilité d'un tronçon de rivière est telle qu'il vaut parfois mieux concentrer tout ce qui est considéré comme étant « les effets de la végétation riveraine » dans une seule et unique variable (Millar, 2000). Évidemment, une telle démarche est peu intéressante lors de l'étude de la croissance végétale et de la biodiversité dans un environnement peu connu tel que le banc alluvial.

1.5. Conclusion

En résumé, il a déjà été montré qu'une végétation riveraine bien établie, de berge ou aquatique, a une influence non-négligeable sur la dynamique d'un cours d'eau. Les travaux, autant en milieu naturel qu'artificiel, ont conclu qu'une végétation herbacée crée un important ralentissement de l'écoulement qui la traverse et favorise la sédimentation de particules fines. Aussi, le réseau racinaire de cette végétation maintient fermement les berges en place, limitant leur érosion lors des débits réguliers. Tant en laboratoire qu'en milieu naturel, les chercheurs ont montré que la présence d'obstacles végétaux dévie significativement l'écoulement (Bennett, 2004; Temmerman et coll., 2005; Cotton et coll., 2006). La vitesse de l'eau est donc plus faible là où il y a une présence végétale (Huang et Nanson, 1997), entraînant une sédimentation accrue de la matière en suspension (Cotton et coll., 2006). De ces faits, la végétation a un impact majeur sur l'écoulement, qu'elle soit de berge ou dans le chenal. Néanmoins, peu a été fait sur les bancs alluviaux à propos de la

croissance et de la diversité de la végétation basse, dont le statut particulier, c'est-à-dire terrestre en milieu émergent, ne joue nécessairement pas un rôle identique à ce qui a été étudié dans le passé.

2. OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

2.1. Problématique et objectifs

Le banc alluvial, par sa position dans le lit mineur, subit des inondations plus fréquemment que la berge tout en étant émergé durant de longues périodes. Cette dynamique particulière, très dépendante des conditions climatiques annuelles, offre un milieu unique pour la colonisation végétale qui se distingue des environnements connexes que sont le cours d'eau et les berges.

La compréhension de la dynamique d'un banc alluvial doit s'établir de manière *in situ* selon une approche prospective, c'est-à-dire en observant un état initial du système et en notant les changements s'y produisant durant une période donnée. Une telle démarche permet de suivre un milieu à partir d'un seuil initial et d'en associer les variations et ajustements à partir des événements externes connus, constatés et mesurés. Cependant, l'approche sur le terrain est complexe. La principale difficulté consiste en l'instabilité du milieu et l'imprévisibilité des facteurs qui contrôlent l'évolution du banc et de la végétation qui le colonise. Le temps que prend un banc pour se développer dépend beaucoup de la fréquence et de l'ampleur des événements de crue (Hooke, 1986). Dans un contexte d'écoulements naturels, les changements que subissent les bancs alluviaux sont souvent difficiles à observer, car trop rapides ou trop lents (Smith, 1974). Enfin, tout comme pour les autres milieux riverains, l'abondance de paramètres connexes rend difficile la quantification de toutes les composantes ayant une influence sur ce système limitrophe entre les milieux terrestre et aquatique.

Toutefois, cette approche permet surtout d'assurer un suivi de la colonisation végétale du banc alluvial, ce que ne permet pas une méthodologie rétrospective, laquelle s'applique difficilement à un environnement aussi dynamique que les bancs alluviaux (Hooke, 1986). En effet, en plus de connaître une exposition intermittente à des crues d'ampleur variée, les bancs alluviaux présentent une variabilité morphosédimentologique interne. Cette variabilité du milieu risque d'entraîner une diversité dans la colonisation végétale variant tout au long d'une même saison. Les bancs pourraient constituer des milieux riches mais éphémères soumis à de fréquentes perturbations. Cet aspect des bancs alluviaux n'a pas été

étudié en détail. On connaît donc mal le banc comme niche et par conséquent son importance comme milieu écologique. Une méthodologie prospective permettrait alors de définir précisément l'évolution du milieu durant une saison de croissance.

Les projets de recherche ayant cours en milieu naturel ont pour grand avantage d'inclure implicitement l'effet, souvent difficile à mesurer, des composantes environnementales connexes comme, par exemple, la hauteur de la nappe phréatique, la variabilité des précipitations, l'alternance des saisons ou simplement l'ensoleillement. Ces travaux s'inscrivent dans un environnement fluvial global où tous les facteurs participant au façonnement du milieu jouent leur rôle même s'ils ne sont pas directement mesurés par les chercheurs. Ces composantes connexes sont généralement absentes des travaux de laboratoire ou de modélisation.

Les travaux en chenal de laboratoire tentent de profiter de l'absence de ces variables externes et centrent ainsi l'analyse de la dynamique végétale autour de quelques variables précises, dont le débit, la charge sédimentaire, la pente et la densité végétale. Ces travaux s'intéressent surtout au lien entre la végétation et la dynamique sédimentaire selon divers niveaux d'inondation (Fathi-Maghadam et Kouwen, 1997; Gran et Paola, 2001; Bennet et coll., 2002; Wilson et coll., 2003; García et coll., 2004; Coulthard, 2005; Yang et coll., 2007). Cette approche permet de contrôler les variables indépendantes, telles que la pente, le débit et les apports sédimentaires, ainsi que les composantes végétales : densité, taille, type. Elle permet d'isoler certaines variables au profit d'autres afin de bien quantifier l'influence de quelques-unes, sélectionnées selon les objectifs poursuivis. Par exemple, en plus d'observer l'interaction entre une plante et son environnement sédimentaire immédiat lors d'une inondation, on peut aussi évaluer ce même lien selon plusieurs débits ou charges sédimentaires variables. Une telle comparaison peut être faite dans un laps de temps relativement court, ce qui est impossible en milieu naturel.

Par contre, tel que présenté au chapitre 1, le canal expérimental a aussi ses défauts, dont la mauvaise représentativité des milieux naturels simulés. D'abord, les milieux étudiés sont établis à un stade prononcé de croissance végétale. Le laboratoire ne peut pas reproduire une saison complète de croissance. De plus, la présence de murs et d'un plancher imperméables limite l'influence que pourraient avoir une nappe phréatique ou les apports

des berges et des versants, bien que l'importance de cette influence soit difficile à estimer. De plus, l'utilisation d'une fausse végétation, ce qui est majoritairement le cas, rend rarement justice à la dynamique existant entre l'écoulement et l'hétérogénéité de formes et de tailles des plantes. Lorsqu'une végétation naturelle est utilisée, sa répartition homogène contraste avec la biodiversité d'un environnement naturel. De ce fait, les résultats obtenus en laboratoire donnent d'excellentes pistes sur la réaction d'une végétation riveraine à l'écoulement, mais n'offrent pas d'informations pouvant représenter la diversité aléatoire et imprévisible de la végétation saisonnière colonisant un banc alluvial.

Bien que la simulation par modélisation soit une voie intéressante permettant de jumeler le contrôle des variables à des suivis pouvant durer virtuellement une entière saison de croissance, sa mise en œuvre nécessite des données empiriques permettant d'orienter les logiciels à être développés. Ces données sont actuellement très rares concernant la colonisation végétale sur les bancs alluviaux. Aussi, l'interaction particulière de la végétation prenant racine sur les bancs alluviaux avec l'écoulement crée une dynamique biohydrosédimentaire mal connue. Une cueillette de connaissances *in situ* de la dynamique végétale sur un banc alluvial est alors nécessaire. Une approche prospective en milieu naturel permet de présenter la dynamique réelle de cette végétation et de déterminer les facteurs externes influençant son développement.

Dans le cadre de ce projet, nous poursuivons trois objectifs : 1) documenter et quantifier la colonisation végétale des bancs alluviaux durant une saison complète ; 2) observer les facteurs influençant la variabilité spatiale et temporelle de la colonisation végétale ; 3) examiner les interactions entre la végétation et la dynamique sédimentaire des bancs.

2.2. Sites d'étude

Trois bancs ont été analysés selon un suivi régulier durant la saison de croissance 2007. Ces milieux se situent dans le secteur deltaïque de la rivière Yamachiche, à son embouchure dans le lac Saint-Pierre (Fig. 2.1).

2.2.1. Le bassin versant

Le bassin versant de la rivière Yamachiche, d'une superficie de 270 km², est situé sur la rive nord du fleuve Saint-Laurent, au sud-ouest de Trois-Rivières (Fig. 2.1). Son réseau de cours d'eau s'écoule, du nord au sud, sur le socle du bouclier canadien pour ensuite drainer les sols arables des basses-terres du Saint-Laurent. Le chenal principal termine sa course dans le lac Saint-Pierre, où ses dépôts sédimentaires forment un delta. Bondue (2006) rappelle que la colonisation de la région, dès le 18^e siècle, a perturbé l'équilibre du cours d'eau principal. Hoshizaki (2005) note que 11 % des bâtiments dans le bassin versant sont des granges. Cette valeur représente l'importance de la place qu'occupe encore aujourd'hui l'activité agricole dans la région. L'industrie agro-forestière ayant intensivement défriché la région au profit de l'agriculture, l'érosion des berges et des versants a entraîné plus de sédiments dans le cours d'eau principal et, subséquemment, dans le delta (Bondue, 2006). Aucune grande ville ni complexe industriel ne sont érigés dans les limites du bassin versant. La gestion des eaux est donc confiée aux petites municipalités qui jouxtent la rivière (Hoshizaki, 2005). Enfin, la forme allongée du bassin versant entraîne une réponse rapide, suite à un événement de précipitations, de la variation du niveau de l'eau de la rivière Yamachiche (Fig. 2.1).

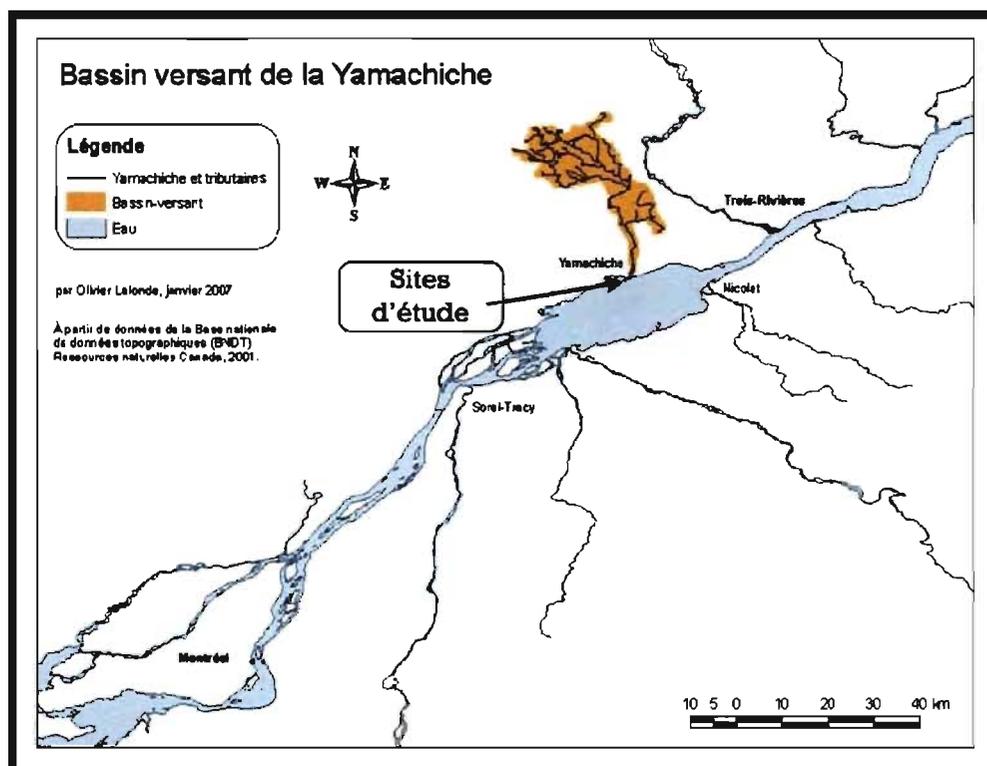


Figure 2.1. Bassin versant de la rivière Yamachiche

2.2.2. Le delta

Parce qu'elle se déverse dans un élargissement du fleuve Saint-Laurent, où le courant de ce dernier est faible, la rivière Yamachiche développe un petit delta (50 hectares) sablo-limoneux qui s'avance graduellement dans le lac (Bondue, 2006). L'extrémité du delta se situe à une latitude de 46°15' Nord et une longitude de 72°49' Ouest. Ce delta a un chenal simple qui forme quatre méandres dans son secteur amont et qui devient rectiligne en aval, dans les dépôts les plus récents (Fig. 2.2). Ces méandres sont très prononcés à l'amont et moins à l'aval (Tabl. 2.1), représentant visuellement le développement progressif du delta. Advenant une diminution continue du niveau d'eau du lac Saint-Pierre, le delta poursuivra son avancée, car il recevra plus de sédiments provenant de l'érosion du lit de la rivière, laquelle s'incise afin de rejoindre le niveau du lac. D'ailleurs, les périodes de croissance accélérée du delta semblent correspondre aux périodes de bas niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent (Bondue, 2006). La progression du delta dans la lac Saint-Pierre a eu lieu de manière importante depuis 150 ans, alors qu'ont coïncidé la création du delta et l'arrivée des colons dans le bassin versant (Bondue, 2006). L'implantation de l'agriculture, souvent

sans bande riveraine significative le long du cours d'eau (Hoshizaki, 2005), semble avoir fortement favorisé le développement du delta. Comme la pente est très faible à cet endroit, le niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent influence le niveau de la rivière Yamachiche. Au printemps, il cause aussi l'inondation du delta sur une large proportion de son étendue. Les variations de la hauteur d'eau dans le delta de la rivière Yamachiche sont donc à la fois dépendantes des précipitations dans le sud-ouest de la province et de la hauteur d'eau du fleuve.

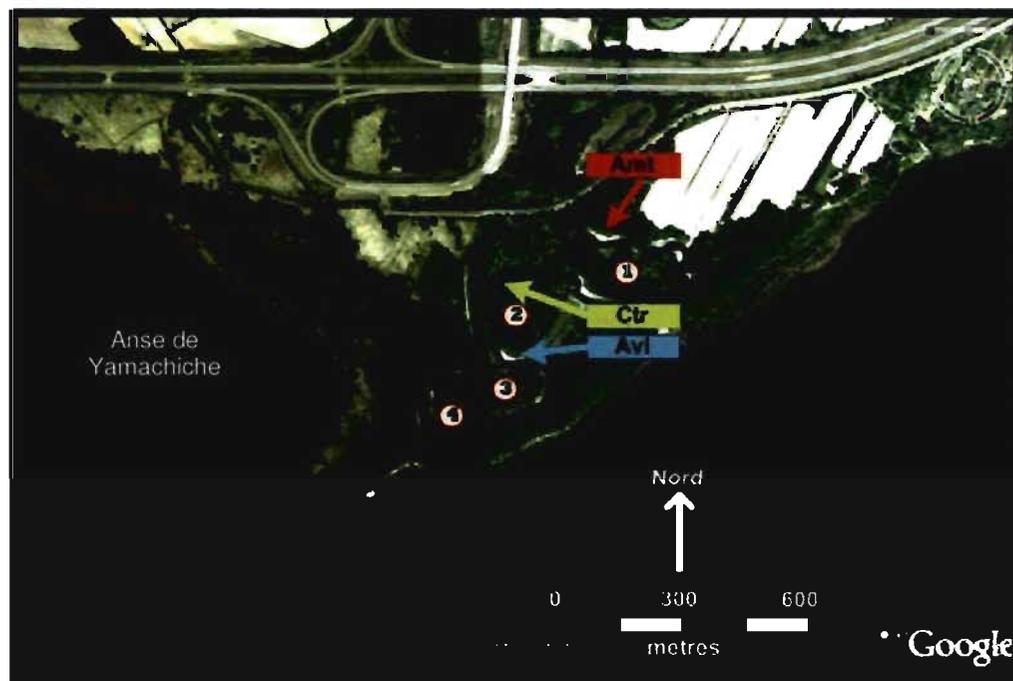


Figure 2.2. Localisation à partir d'une photographie satellitaire de Google des sites à l'étude (noms et flèches) et numérotation des méandres dans le delta de la rivière Yamachiche.

Tableau 2.1. Longueur d'onde, amplitude, longueur du thalweg et rayon de courbure des méandres du delta de la rivière Yamachiche, de l'amont vers l'aval (voir Fig. 2.2).

Méandre	Longueur d'onde (m)	Amplitude (m)	Longueur du thalweg (m)	Rayon de courbure (m)
1	305	350	930	105
2	1280	300	850	140
3	880	225	615	75
4	315	135	480	40

2.2.3. Les bancs de convexité

Le secteur où se situent les trois sites à l'étude est plat et majoritairement composé de sédiments fins (sable et limon). La rivière Yamachiche y coule en méandres et crée un

milieu propice à la formation de bancs de convexité. Suite à l'observation de photographies aériennes et à des visites d'observation, les trois bancs de convexité ont été choisis selon les critères suivants :

- leur grande taille (entre 50 et 100 mètres de longueur) ;
- leur hauteur relativement basse par rapport au niveau d'eau (à la fin du mois de mai) ;
- leur pente douce (de la berge à l'eau) ;
- leur relative uniformité, principalement au niveau des sources sédimentaires ;
- leur accessibilité ;
- l'absence de fréquentation humaine (Fig. 2.3).

Les trois bancs se situent du côté est du cours d'eau et se trouvent dans un tronçon fluvial d'une longueur de 1,3 kilomètre. À vol d'oiseau, les premier et troisième bancs ne sont séparés que de 0,5 km. Les trois bancs à l'étude sont définis selon les abréviations « Amt », « Ctr » et « Avl » (pour *Amont*, *Centre* et *Aval*)² (Fig. 2.2). Ils ont des dimensions similaires et aucun tributaire ne se joint à la rivière entre deux bancs. La largeur du chenal principal est constante à plus ou moins 25 mètres (Tabl. 2.2). La seule distinction se situe au niveau de l'exposition. Les bancs Amt et Avl sont orientés au sud-ouest, tandis que le banc Ctr est orienté au nord-ouest (Fig. 2.2). Outre l'orientation, la forme et la proximité de la végétation riveraine arborescente peuvent influencer la présence d'ombre sur chaque banc. Cependant, comme les bancs sont des milieux ouverts, très ensoleillés et morphologiquement comparables, il est possible de les considérer comme des répliques (Riis et Biggs, 2003; Fig. 2.3).

Tableau 2.2. Largeur du cours d'eau face au premier transect à l'amont de chaque site (en mètres).

Position de mesure	Largeur (m)		
	Amt	Ctr	Avl
Haut de berge	23,5	26,4	26,5
Bas de berge	19,5	19,2	22,9

² Les abréviations servent à limiter la confusion entre les termes lorsqu'il s'agit du nom du banc ou de la position sur le banc. Par exemple : « Un changement survient à l'aval du banc Amt et au centre du banc Ctr ».

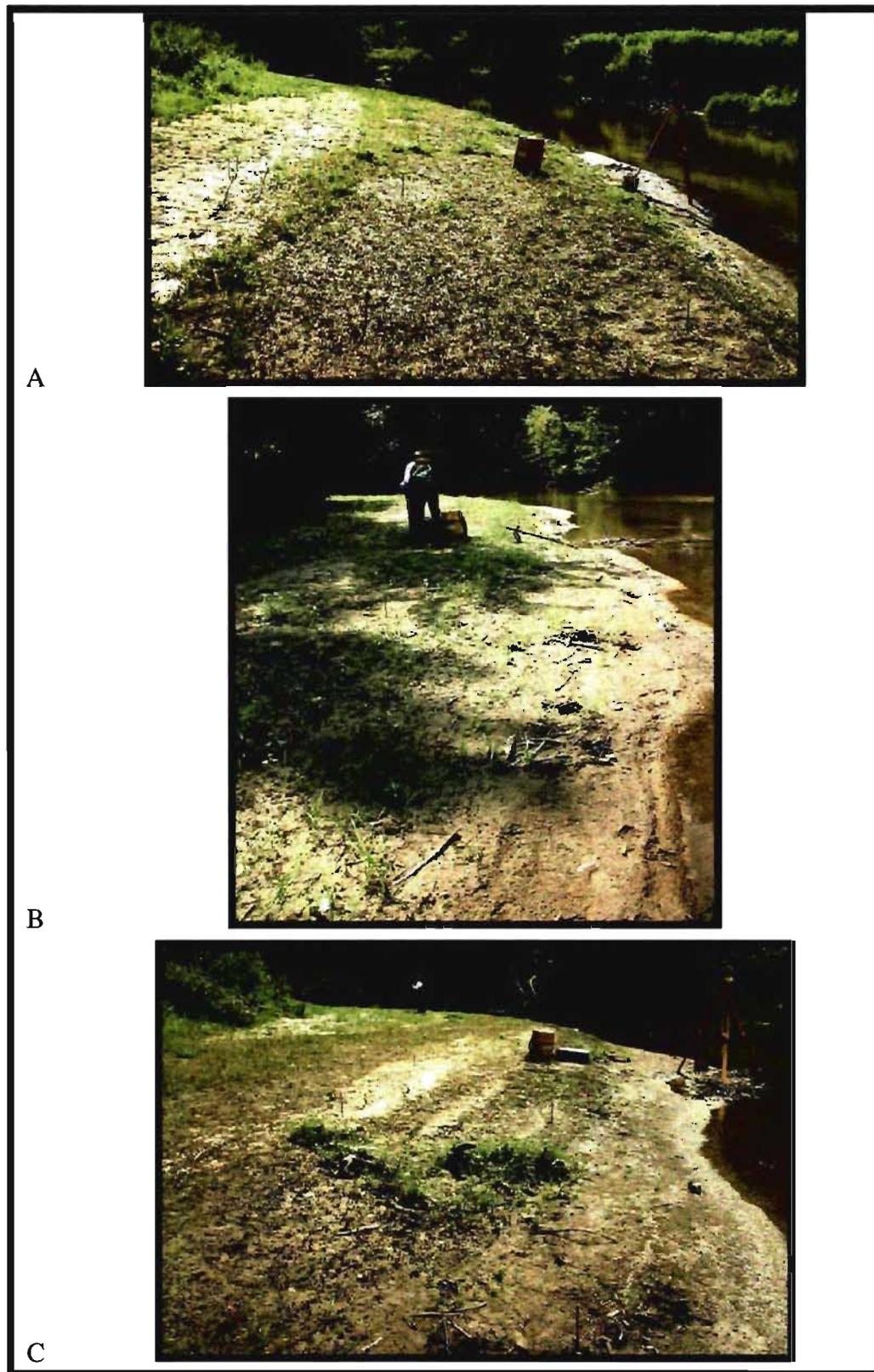


Figure 2.3. Sites d'étude au 1^{er} août 2007 : (A) Amt; (B) Ctr; (C) Avl. Les prises de vue sont toutes vers l'aval.

2.2.4. Environnement végétal

Le delta soutient un peuplement forestier dominé par les peupliers (*Populus balsamifera* et *P. deltoides*) au niveau de la canopée, et par la fougère en sous-bois. D'autres espèces arborescentes sont aussi présentes, mais minoritaires : le saule (*Salix sp.*), l'érable rouge (*Acer rubrum*) et l'orme (*Ulmus sp.*). Ces arbres résistent à une inondation annuelle souvent prolongée causée à la fois par la fonte de la neige dans le bassin versant et par la hausse du niveau d'eau du Saint-Laurent.

L'élargissement printanier du lac Saint-Pierre peut couvrir l'ensemble du delta selon une occurrence de 0 à 2 ans (Longchamps et coll., 2006). Par conséquent, les bancs de convexité se retrouvent durant plusieurs semaines sous quelques mètres d'eau au même titre que les berges. Plus tard au printemps et durant l'été, le niveau d'eau s'abaisse et libère les berges qui demeurent généralement exondées pour toute la saison de croissance, bien qu'il n'y ait que rarement des inondations surpassant la hauteur des berges à l'été et à l'automne. Par contre, les bancs alluviaux subiront les inondations estivales et automnales suivant les événements de précipitations. Cependant, parce que les bancs sont à proximité du lac Saint-Pierre, leurs moments de submersion peuvent être influencés par le niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent.

La région de l'anse de Yamachiche, limitée à l'est par la rivière Yamachiche et à l'ouest par le delta de la Petite rivière Yamachiche, a été désignée « site de conservation et de mise en valeur de la faune » par le gouvernement du Québec qui y a aménagé un stationnement en 2006 et a entamé la construction d'une passerelle sur pilotis en 2008. En coopération avec ce projet de valorisation, le comité ZIP³ du lac Saint-Pierre a procédé à un inventaire floristique de la rive nord du lac Saint-Pierre. Cet inventaire n'a désigné aucune espèce dont le statut est considéré précaire (Longchamps et coll., 2006).

2.3. Méthodes

De la mi-juin à la fin octobre, soit durant la période de colonisation végétale des bancs alluviaux, nous avons effectué un suivi bimensuel des bancs afin de documenter et

³ Les comités ZIP (zone d'intervention prioritaire) sont des organismes non gouvernementaux visant la mise en valeur de diverses zones riveraines du fleuve Saint-Laurent, au Québec.

quantifier les changements qui y surviennent. Nous avons noté les dimensions et caractéristiques des bancs et inventorié la végétation. Par ailleurs, un suivi permanent des débits et charges de sédiments en suspension a permis de connaître les événements hydrologiques survenus durant la période d'observation.

2.3.1. Couverture systématique des bancs

Afin de caractériser la dynamique des bancs, nous avons effectué un suivi de plusieurs quadrats carrés d'une longueur de 30 centimètres, disposés systématiquement sur la surface sédimentaire émergée (Fig. 2.4). Un espace d'un mètre par un mètre superposé à chaque quadrat faisait état de zone tampon (Fig. 2.5). Le nombre de quadrats variait selon les dimensions du banc et fluctuait en fonction du niveau de l'eau. La disposition des quadrats identifiés respectait un espacement de trois mètres dans le sens de la longueur du banc et de deux mètres dans le sens de la largeur, ce qui a permis d'inventorier, lors des plus bas niveaux d'eau, quelque 80 quadrats par banc (Tabl. 2.3). Des techniques similaires ont été utilisées précédemment et rapportées dans la littérature, notamment par Dixon et coll. (2002), Riis et Biggs (2003), Gurnell et coll. (2006) et Hooke (2007). Suivant un concept d'échiquier, nous distinguons deux types de quadrats (Fig. 2.4; Fig. 2.5). Une première moitié était laissée intacte. Nous y inventorions la croissance végétale. Ces emplacements pouvaient aussi servir à distinguer s'il y a eu influence de la végétation sur l'écoulement après une période de submersion du banc en cours de saison. Pour la seconde moitié des quadrats, nous arrachions la végétation dans l'ensemble de la zone tampon afin de garder la surface du quadrat à nu. En cas d'une submersion temporaire, ces quadrats deviennent un point de comparaison de changements sédimentaires éventuels.

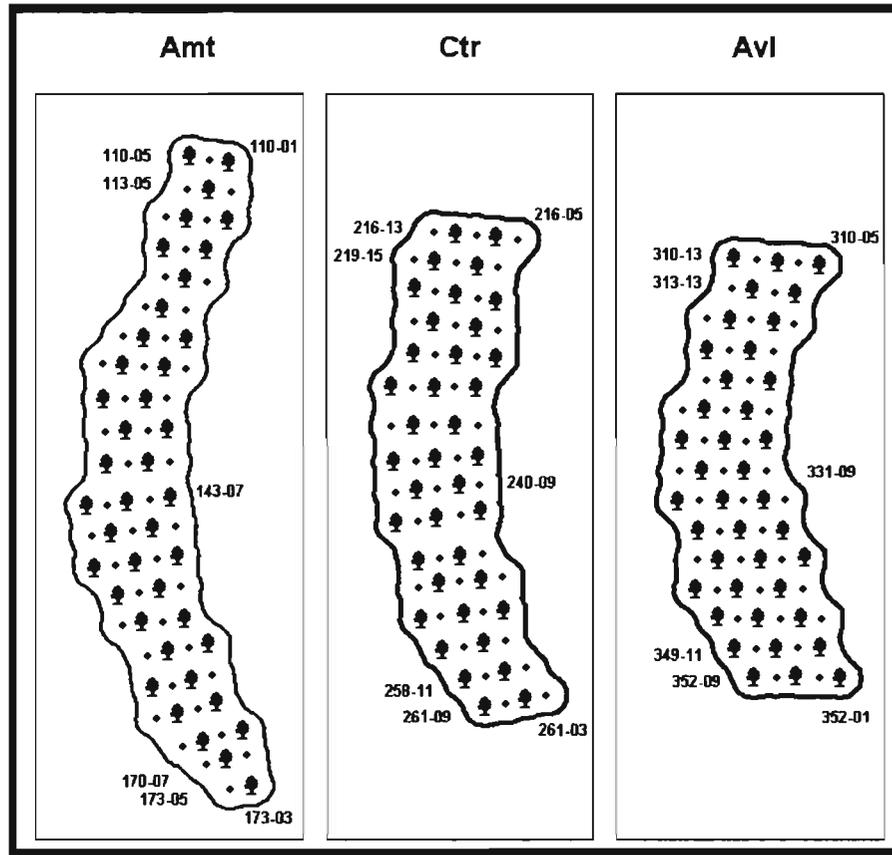


Figure 2.4. Couverture systématique des bancs. Le symbole végétal représente un quadrat laissé intact ; le losange un quadrat dénudé. Les nombres sont quelques exemples des numéros attribués aux quadrats. Le premier chiffre (1, 2 ou 3) représente le banc, les deuxièmes (10 à 73) la position longitudinale et les troisièmes (01 à 17), la position latérale. L'écoulement est toujours situé à gauche, du haut vers le bas.



Figure 2.5. A) Schéma du quadrat amovible placé autour de chaque tige (point central) lors des visites sur le terrain. Le petit carré (blanc) délimite la zone du relevé végétal, alors que le grand carré (gris) détermine la zone tampon intouchée sur les quadrats végétalisés ou dénudée pour ceux mis à nu. B) Exemple d'un quadrat de 1 m² dénudé (6 septembre 2007, banc Amt). C) Superficie centrale à l'intérieur de laquelle étaient comptabilisés les individus végétaux.

Tableau 2.3. Nombre maximal de quadrats répertoriés sur chaque banc. Durant la saison, quelques quadrats ont été immergés durant l'inventaire. Dans la majorité des cas, le relevé a quand même pu être noté. Les quelques exceptions étaient négligeables, considérant la faible couverture végétale dans ces quadrats.

Banc	Amt	Ctr	Avl	Total
Quadrats intacts	41	38	39	118
Quadrats dénudés	43	38	37	118
Total	84	76	76	236

L'emplacement exact d'un quadrat a été fixé par l'insertion d'une tige filetée en acier, plaquée de zinc, de 1 centimètre de diamètre et d'environ 1,5 mètre de longueur. La tige a été enfoncée à la verticale dans le banc jusqu'à ce que seuls 20 centimètres dépassent du sol. Les tiges sont restées fixes durant la période d'étude. À chaque visite, un ruban à mesurer a été déployé sur le banc, reliant les tiges. Un carré mobile formé de quatre tubes en CPVC (polychlorure de vinyle surchloré) d'une longueur de 30 centimètres correspondait aux dimensions des quadrats (Fig. 2.5). Ce quadrat mobile a été déposé autour de chaque tige lors des prises de données, afin de délimiter la zone étudiée. Les tubes formant le quadrat ont été marqués aux dix centimètres. Par ces marques et les rubans à mesurer disposés sur le banc, il a été possible de replacer le quadrat aux mêmes endroits à chaque visite. La distance verticale maximale entre le quadrat le plus élevé et celui le plus bas est approximativement de 1,2 mètre sur chaque banc.

2.3.2. Dynamique végétale

L'inventaire végétal des quadrats s'effectuait à l'intérieur des limites des quadrats de 30 cm de côté, pour une superficie de 900 cm². La zone restante, présentée en gris sur la figure 2.5, était une zone tampon que nous évitions de perturber.

Lors des visites bimensuelles, quatre variables ont été échantillonnées de manière systématique sur le banc afin de caractériser la croissance de la végétation (Tabl. 2.4). Tout d'abord, la couverture végétale a été évaluée à partir de la méthode de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1932; Tablé 2.5). Cette technique évalue visuellement, en regardant à la verticale à partir du dessus, la surface au sol couverte par la végétation se situant dans le quadrat. Elle regroupe les estimations en six classes de couverture de végétation et permet d'obtenir des données semi-quantitatives. Cette méthode a pour avantage principal l'économie de temps lorsqu'une très grande précision n'est pas requise pour le suivi désiré. Dans la situation présente, comme les zones d'étude sont petites (moins de deux mètres

carrés), il n'est pas nécessaire d'évaluer le grégarisme de la végétation observée (Braun-Blanquet, 1932).

De plus, chaque espèce sise à l'intérieur du quadrat a été identifiée, comptée et mesurée. La liste obtenue présente, pour chaque espèce recensée : son nom, le nombre de plants et la longueur du plus haut de ceux-ci. Ces variables, échantillonnées à plusieurs moments durant la saison de croissance, offrent un portrait temporel de la dynamique végétale des bancs de convexité.

Tableau 2.4. Liste des variables recensées.

Variables observées	Méthode d'échantillonnage
Couverture de la végétation	• Estimation d'abondance de Braun-Blanquet
Espèces présentes	• Identification visuelle • Prise de photographies • Échantillons pris à l'extérieur de la zone tampon
Nombre de plants par espèce	• Décompte manuel
Taille du plus haut plant de chaque espèce	• Mesure manuelle à l'aide d'une règle

Tableau 2.5. Notation utilisée dans l'évaluation visuelle de la couverture de végétation.

Surface couverte par la végétation	Cote donnée
Aucune végétation	0
Négligeable	0,5
Non-négligeable mais < 5 %	1
5 % à 25 %	2
25 % à 50 %	3
50 % à 75 %	4
75 % à 100 %	5

Afin de limiter le plus possible notre impact sur le banc, une cueillette de certains échantillons des espèces inconnues lors de la prise des données n'a été effectuée qu'en cas de nécessité et ce, à l'extérieur de l'aire du plus grand quadrat (zone tampon) autour de chaque piquet (1 m²). Dans les autres situations, les espèces inconnues ont plutôt été photographiées puis observées et comparées sur ordinateur. De ce fait, une association ultérieure a pu être effectuée à partir des banques de données et d'images. Par exemple, dans le cas de certaines plantes, il était simplement impossible de les identifier avant qu'elles n'aient atteint une certaine taille. Lorsque l'identification devenait possible, les photographies des semaines précédentes permettaient de retracer la germination de la plante.

La période de croissance des espèces analysées a causé problème pour leur identification. Les manuels taxonomiques et botaniques décrivent principalement les plantes par les caractéristiques de leurs fleurs. Dans le cas de l'environnement étudié ici, la cueillette de données n'a permis d'observer que très peu de fleurs, la plupart de celles-ci n'étant pas écloses si tôt dans leur croissance (arbres, arbustes), d'autres s'étant probablement déployées puis refermées entre deux visites sur le terrain. Dans pareilles circonstances, Spackman et Hughes (1995) ont écarté les graminées et autres herbes basses, pour cause de complexité de l'identification. Nous avons plutôt choisi d'utiliser la forme et l'agencement des feuilles comme principaux indices d'identification des espèces. Ces ajustements nous ont obligés à définir certaines plantes au niveau du genre, ainsi qu'à regrouper certains genres dont les feuilles sont très similaires. Au total, 45 taxons (espèces, genres ou regroupements de taxons) ont été identifiés et suivis durant la saison (voir la liste des abréviations des espèces en page xiv). Nous estimons aussi que 15 espèces n'ont pas pu être identifiées, faute d'information suffisante. Ces dernières étaient majoritairement des individus uniques rencontrés très peu souvent sur les bancs. Aussi, certaines s'intégreraient possiblement parmi les 45 taxons connus, mais des formes exceptionnellement particulières nous ont empêchés de les y associer.

Pour ces diverses raisons, dans ce mémoire, les termes « espèces » et « taxons » seront tous deux utilisés afin de désigner les mêmes éléments, soit les espèces précisément identifiées, les genres et les groupes d'espèces semblables, tels qu'ils ont été définis à la liste des abréviations (p. xiv).

2.3.3. Morphologie et dynamique du banc

Les bancs sont principalement décrits d'après leur relief. Celui-ci est comparable sur les trois bancs étudiés et présente des patrons intéressants influençant la dynamique des milieux. Ensuite, la granulométrie des bancs a été analysée à partir d'échantillons cueillis en plusieurs points à trois reprises durant la saison. Enfin, une mesure géographique des zones des bancs dont la surface était humide ou sèche lors des visites a été prise.

2.3.3.1. Topographie générale

Durant la période d'étude, trois relevés à haute précision de la topographie du banc ont été effectués à partir d'une station totale robotisée (*Trimble 5600 Direct Reflex DR300+* : Trimble, 2002) : 29 juin, 1^{er} août et 19 septembre. Cet instrument permet un relevé du terrain en trois dimensions (X, Y, Z) dont la précision est de l'ordre millimétrique (Trimble, 2002). Sur chaque banc, trois tiges plantées dans la berge parmi la végétation permanente, où la stabilité du milieu était plus sûre, ont servi de bornes de référence. À l'instar des tiges des quadrats, elles ont été profondément ancrées dans le sol à l'amont, au centre et à l'aval de la zone d'étude, du même côté du cours d'eau que le banc. Comme la base de la station totale n'était pas nécessairement placée au même endroit à chaque visite, les bornes de référence ont permis de superposer les résultats en X et Y d'un même banc pour les trois visites (sauf le banc AvI dont le troisième relevé a subi une défektivité). Comme les tiges observées ne bougeaient pas durant la saison, cette méthode d'ajustement est fiable. Sur chaque banc, les points de mesure ont été pris à chaque tige, entre celles-ci et à l'extérieur (en aval et en amont) de la zone étudiée. Les levés topographiques ont permis de mesurer la variabilité morphologique du banc et de caractériser sa dynamique sédimentaire plus globale, principalement ses changements dimensionnels en longueur et en largeur.

2.3.3.2. Topographie locale

La hauteur de la partie exposée à l'air libre d'une tige était l'indicateur principal de la dynamique sédimentaire sur le banc. Nous estimons que la petite dimension (rayon = 0,5 cm) de la tige métallique était suffisamment grande pour rester stable et assez petite pour ne pas interférer significativement avec l'écoulement. Nous avons mesuré la hauteur du segment aérien de la tige à chaque visite afin d'évaluer s'il y a eu accumulation ou érosion sédimentaire. Les mesures ont été prises manuellement avec une règle en plastique de 30 centimètres. La hauteur était mesurée au 0,5 centimètre près.

2.3.3.3. Granulométrie

À trois moments durant la saison de croissance – en début, milieu et fin de saison – les 10 premiers centimètres de sols ont été échantillonnés à 10 emplacements sur chaque banc. L'analyse granulométrique de ces échantillons permet de quantifier des changements dans la taille des sédiments superficiels du banc durant la période d'observation. L'analyse

granulométrique de ces sédiments a été effectuée grâce à une colonne de tamis de laiton divisant les particules en 12 classes lors d'un brassage mécanique d'une durée de 12 minutes. Les sédiments ont été préalablement traités manuellement à l'aide d'un mortier afin de briser les amas de particules. Les limites des classes correspondent aux critères du système de Udden-Wentworth (Leeder, 1982 ; Pettijohn et coll., 1987). Les trois sites choisis étant fortement sablonneux (Tabl. 2.6), l'analyse de la fraction fine des sédiments (moins de 63 μm) n'a pas été jugée utile.

Tableau 2.6. Pourcentages sédimentaires moyens (%) des échantillons des trois sites.

Taille	Amt	Ctr	Avl	Moyenne
Graviers	0,92	1,09	0,89	0,96
Sable	95,12	94,09	92,04	93,75
Limon / argile	3,96	4,82	7,07	5,28
Total	100	100	100	

2.3.3.4. Humidité

Lorsque les visites sur le terrain n'avaient pas cours immédiatement après un événement de précipitation, certaines zones des bancs étaient asséchées en surface. Les limites entre ces zones dites « sèches » et le reste du banc (dit « humide ») étaient nettes et ont été cartographiées. Intégrées dans un système d'information géographique, elles ont ainsi pu être comparées aux autres variables évaluées.

2.3.4. Suivi du régime hydrologique

Deux instruments assurant un suivi du comportement du cours d'eau ont été installés au printemps afin de couvrir l'entière saison de croissance, du 17 juin au 2 novembre 2007. D'abord, une jauge à pression *Solinst Levelogger* a mesuré le niveau d'eau de la rivière. Elle a été placée à quelque 50 mètres à l'amont du banc Amt et a permis d'obtenir les variations de la hauteur du niveau d'eau à proximité des bancs étudiés (Fig. 2.6). Cette jauge mesure la pression exercée par l'air et l'eau ainsi que la température de l'eau. À partir des données de pression de l'air obtenues par une autre jauge laissée hors de l'eau, nous avons pu obtenir la pression de l'eau sur la jauge, et du même coup la hauteur de la colonne d'eau. La prise de points GPS a ensuite permis d'obtenir la hauteur de la surface par rapport au niveau de la mer à la jauge et à chaque banc. Par ailleurs, un turbidimètre OBS-3 (D & A Instrument Company), installé environ un kilomètre en amont du banc Amt, évaluait la charge sédimentaire de la rivière (Fig. 2.7). Au niveau technique, l'OBS (*Optical*

BackScattering Sensor) émet un rayonnement infrarouge dans le cours d'eau. Les ondes créées frappent les particules en suspension et sont réfléchies vers l'appareil. La force de retour du signal est utilisée afin de déterminer la quantité de matière en suspension. L'OBS-3 utilise une mesure d'énergie (le millivolt) pour évaluer la charge sédimentaire du cours d'eau. Des échantillons d'eau ont été cueillis directement dans la zone de prise de mesures, à différents niveaux d'eau, lors des visites sur le terrain. Ces échantillons ont ensuite été analysés en laboratoire par gravimétrie, sur des filtres *Fisherbrand* en fibres de verre de 1,2 micromètre (μm). Par association statistique, les données en millivolts ont été transférées en concentration (g.l^{-1}).

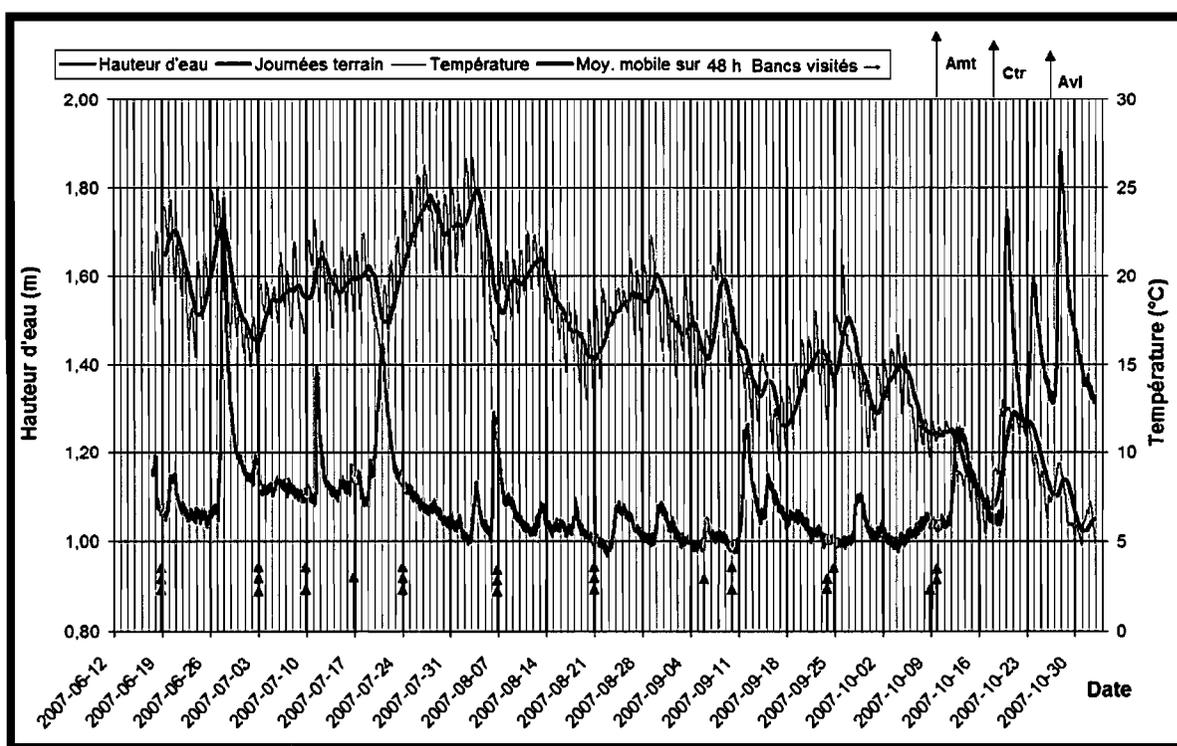


Figure 2.6. Série temporelle de la hauteur et de la température de l'eau durant la saison. La hauteur modale a été décrétée à 1m. Les flèches verticales représentent les journées de relevé sur le terrain selon le banc analysé : Amt (grandes rouges), Ctr (moyennes vertes), Avl (petites bleues).

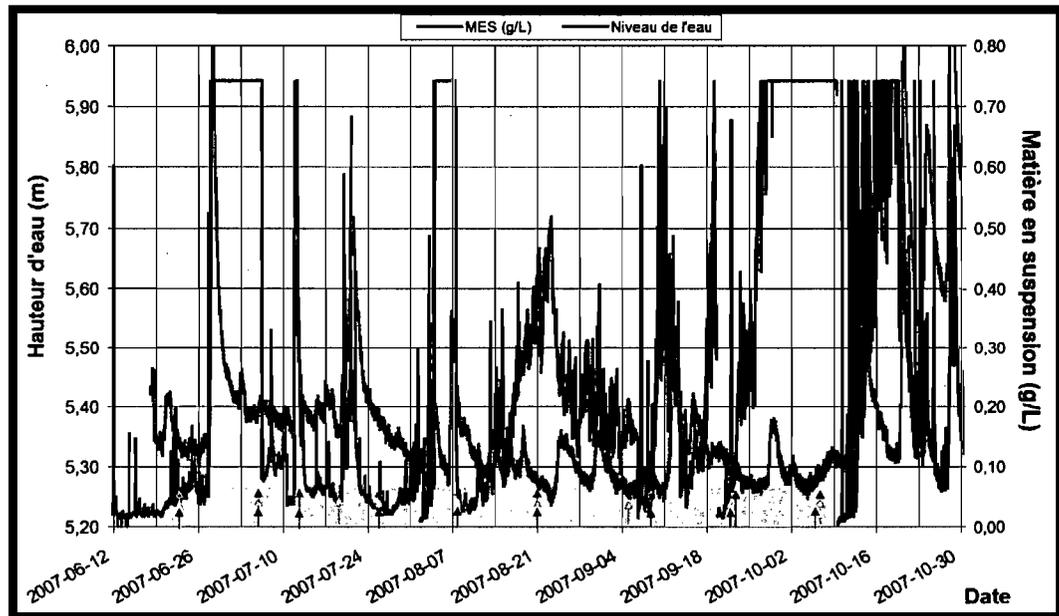


Figure 2.7. Série temporelle de la mesure de la charge en suspension dans la rivière Yamachiche.

Ces deux instruments enregistraient une donnée une fois toutes les quinze minutes. La jauge à niveau d'eau mesurait une donnée momentanée, alors que l'OBS-3 évaluait la concentration en continu mais n'enregistrait qu'une valeur moyenne toutes les quinze minutes. Les niveaux d'eau présentent clairement les événements hydrologiques ayant eu cours durant la saison de croissance. Cependant, le turbidimètre a subi les inconvénients d'un substrat sablo-limoneux, lequel s'est souvent fixé sur l'émetteur-récepteur, créant un effet de charge en suspension anormalement maximale. Les hausses soudaines ne correspondant pas à des événements hydrologiques laissent supposer une agglomération de particules sur la surface émettrice-réceptrice du turbidimètre. Il est d'ailleurs possible de remarquer que les chutes tout aussi soudaines correspondent généralement aux jours de visite sur le terrain (flèches colorées), au cours desquels le capteur était nettoyé (Fig. 2.7). La présence d'un biofilm pourrait avoir joué le même rôle problématique. Aussi, des difficultés liées à l'étalonnage ont faussé les données. D'abord, les hausses soudaines de la concentration à des niveaux maximaux de $0,742 \text{ g.L}^{-1}$ (soit le maximum permis par la programmation de l'instrument) reflètent l'accumulation de sédiments et débris végétaux sur la surface de lecture du turbidimètre (Roberge, 2006). Considérant que les corrections proposées par Roberge (2006) élimineraient plus de 50 % des données mesurées, les informations provenant du turbidimètre n'ont pas été considérées dans l'analyse.

2.4. Traitement et analyse des données

Les données récoltées durant une saison de croissance se divisent en trois grands groupes. Le premier comprend les caractéristiques de la végétation : couverture, espèces, nombre d'individus et taille de ceux-ci. Le deuxième englobe les variations topographiques : hauteur des piquets, topographie générale mesurée par la station totale, limite de l'écoulement, limite entre les zones humide et sèche. Le troisième groupe comprend l'analyse granulométrique.

Ces variables offrent une multitude de relations spatio-temporelles possibles. Ces relations ont été d'abord évaluées schématiquement à partir de séquences de cartes sur lesquelles la présentation des différentes caractéristiques a été associée à leur position sur le banc. Certaines analyses statistiques ont été appliquées selon chaque situation. Dans la majorité des cas, un niveau de signification $\alpha = 0,05$ a été utilisé.

2.4.1. Inventaire végétal

L'inventaire de la végétation offre des possibilités de relations multiples. L'abondance d'individus et les variations de dispersion spatiale de chaque espèce et de biodiversité sont décrites spatialement et temporellement sur chacun des trois bancs. Comme ceux-ci sont morphologiquement comparables, des liens pourront être faits entre les bancs afin d'examiner l'effet de certains facteurs tels que le relief ou la proximité de la berge. L'évolution de la végétation sur les bancs est principalement observée à partir des modifications que subit cette dernière tout au long de la saison. Les neuf journées de cueillette des données sont considérées comme des moments fixes dans le temps dont le code est la journée du passage sur le terrain.

2.4.2. Concept de quadrat-date

Le quadrat-date est défini dans ce projet comme étant un quadrat donné à une date donnée. Ainsi, un même quadrat inventorié lors de deux relevés différents est compté comme étant deux quadrats-dates. Lors de l'analyse des données, les quadrats-dates étaient identifiés à la fois par leur date et leur position. Ils jumellent ainsi les composantes spatiale et temporelle de cette étude.

2.4.3. Variations topographiques

À partir des hauteurs des tiges, les variations de hauteur du sol à chaque quadrat ont été évaluées. Ces mesures mènent à des relations spatio-temporelles, développées afin de comparer l'accumulation ou l'érosion sédimentaire ayant eu cours sur le banc et à quel niveau ces changements sont liés à la position sur le banc, à la présence ou absence de végétation et aux événements de précipitations.

Les tiges peu ou pas affectées par les événements estivaux et situées à proximité des repères ont parfois été utilisées comme point supplémentaire de vérification afin d'augmenter la précision des comparaisons. Le mois d'août a servi de référence pour la justesse et le nombre de bornes de référence. De ce fait, les relevés de juin et de septembre ont été ajustés par rapport à août, afin de les superposer et d'en évaluer les différences. Ces ajustements ont été effectués dans le logiciel Trimble Geomatics Office (Trimble, 2002), au moment du téléchargement des données.

2.4.4. Variations spatiales : méthode d'interpolation

L'interpolation des données topographiques et végétales a été effectuée à partir de la méthode du réseau de triangles irréguliers (TIN). Cette méthode unit les points les plus près entre eux par des arêtes jusqu'à ce que l'ensemble du territoire soit couvert de triangles. Les valeurs sont alors moyennées à l'intérieur de ces triangles et le logiciel cartographique interpole ces résultats sur une matrice plus fine. Une telle méthode est utilisée surtout pour représenter la topographie, car elle n'exige pas une grille régulière de points, ce qui permet de concentrer un plus grand nombre de mesures dans les endroits accidentés, et moins sur les surfaces planes (Heywood et coll., 2006).

2.4.5. Variabilité intra-banc

Lors de l'analyse de données, un sous-échantillonnage a été effectué afin de visualiser et comparer les zones à l'amont, au centre et à l'aval de chaque banc. Les bancs ont d'abord été divisés en trois sections contenant un nombre équivalent de transects. Lors d'inégalités, la disposition des quadrats a été utilisée pour mieux regrouper les secteurs. Par la suite, à l'intérieur de chacune de ces zones, six quadrats ont été sélectionnés arbitrairement parmi ceux ayant été en place du premier au dernier relevé. La sélection visait à représenter le

plus fidèlement possible chacune des sections. De cette façon, une distribution de 18 quadrats intacts par banc, divisée en trois groupes (tête, cœur et queue, aussi définis par *TCQ*), permettait d'observer les différences intragroupes et rendait plus précises les comparaisons intergroupes.

2.4.6. Analyse multivariée

L'analyse multivariée a servi afin de comparer l'abondance de chacun des taxons étudiés. À cause du nombre important de taxons différents, nous avons décidé d'utiliser une analyse en composantes principales ayant pour but d'associer les espèces colonisant leur milieu selon un rythme similaire. Comme les valeurs utilisées étaient le nombre d'individus de chaque espèce dans chaque quadrat-date, la multiplicité du nombre de valeurs nulles dans une telle matrice a nécessité l'application de la correction de Hellinger. Celle-ci permet de corriger le paradoxe de l'abondance des espèces (Legendre et Legendre, 1998). Ce paradoxe exprime l'incohérence menant à ce que deux aires d'étude ayant un nombre similaire d'individus mais dont les espèces ne correspondent pas du tout soient considérées plus semblables que deux aires d'étude partageant les mêmes espèces mais avec un nombre d'individus très différent. La transformation des données proposée par Hellinger (Éq. 2.1) permet principalement d'amoindrir les écarts entre les valeurs élevées et les valeurs faibles, afin que ces dernières ne soient pas directement associées aux valeurs nulles. Cette équation relativise les valeurs selon la proportion d'individus de chaque espèce dans chaque quadrat-date. Elle fournit, pour chaque taxon (j) dans chaque quadrat-date (i), une valeur transformée de Hellinger (y'_{ij}) à partir du nombre d'individus de ce taxon (y_{ij}) et du nombre total d'individus (y_{i+}) présents dans le quadrat.

$$y'_{ij} = \sqrt{\frac{y_{ij}}{y_{i+}}} \quad \text{Équation 2.1}$$

2.4.7. Analyse de groupement

L'ensemble des quadrats a été utilisé afin d'effectuer des analyses de groupement. En utilisant simultanément le nombre d'individus de chaque espèce dans chaque quadrat, l'analyse par nuées dynamiques⁴, effectuée à l'aide du logiciel SPSS (SPSS inc., 2008), a permis de diviser les quadrats en groupes pour chaque date et de décrire l'évolution spatio-

⁴ Traduction utilisée dans SPSS inc. (2008) pour *K-means clusters*.

temporelle de la végétation. Ces groupes réunissent les taxons agissant selon une dynamique similaire. Ainsi, en limitant le nombre de groupes, il est possible de mettre en évidence les taxons réagissant très différemment.

2.4.8. Indice d'équitabilité de Shannon

L'indice d'équitabilité de Shannon (J , sans dimension) exprime le niveau d'homogénéité du nombre d'individus de toutes les espèces recensées dans un milieu donné. Il est défini par le rapport entre la diversité mesurée sur le site (H) et la valeur maximale possible de cette diversité (H_{\max}) (Begon et coll., 1990). L'indice de Shannon se calcule par l'équation 2.2, dans laquelle P_i est la proportion du nombre d'individus de l'espèce i sur le nombre total d'individus, et S est le nombre d'espèces présentes lors de chaque relevé.

$$J = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln S}$$

Équation 2.2

Cet indice varie entre 0 et 1, la valeur maximale désignant un milieu où toutes les espèces sont présentes avec un nombre identique d'individus. Cet indice a donc permis de quantifier l'homogénéité de la colonisation du banc de manière plus précise, car il considère l'abondance de chacune des espèces et ignore les espèces absentes.

3. RÉSULTATS

Les résultats sont présentés sous différentes formes. Au niveau cartographique, nous aurons recours à deux types de cartes pour illustrer les données. La majorité d'entre elles sont une interpolation des données sur la surface étudiée de chaque banc, ce qui permet de dégager des patrons et d'évaluer l'homogénéité du milieu. Dans d'autres cas, il s'agit d'une superposition des données sous forme de symboles ponctuels à un fond interpolé représentant une seconde variable. Les cartes exprimant des comptes rendus concernant uniquement la végétation n'affichent des symboles que pour les quadrats végétalisés. Les peupliers ont parfois été exclus de la représentation des données, car leur trop grand nombre d'individus de très petite taille ne permettait pas de discerner la dynamique du reste de la végétation. Le cadre de chaque carte équivaut à une longueur réelle de 25 mètres, peu importe la variable représentée. Enfin, sur toutes ces cartes, les limites indiquées sont celles de la zone à l'étude en fin de saison, soit à son extension maximale. Ces limites désignent généralement, mais pas exhaustivement, les limites des bancs alluviaux. Aussi, l'écoulement de la rivière est toujours du côté gauche, de haut en bas (Fig. 3.1). Dans les graphiques chronologiques, les dates seront représentées sous le format AAAA-MM-JJ (par exemple, 2007-06-19). Lorsque les données présentent les résultats ponctuels à chacun des relevés, seuls le mois et le jour sont indiqués, sous format MMJJ. Par exemple, le premier relevé (19 juin 2007) est défini par 0619. Dans les graphiques, lorsque la distinction est présente, le banc Amt est distingué par des teintes rouges ou gris foncé ; le banc Ctr par des teintes jaunes, vertes ou gris moyen ; le banc Avl par des teintes bleues ou gris clair.

3.1. Situation physique

3.1.1. Topographie

La topographie des trois bancs suit un patron similaire (Fig. 3.1). Bien que le banc Amt soit d'une forme plus allongée, il présente deux particularités que partagent les bancs Ctr et Avl. Tout d'abord, le secteur à l'amont de chaque banc (ou la *tête*) est moins élevé et la pente entre l'eau et le bas de la berge y est très douce. À l'inverse, l'aval des trois bancs (ou la *queue*) est plus élevé par rapport au niveau de l'eau. La surface du banc est donc relativement plane.

Dans les trois cas, la pente du niveau de l'eau de la tête à la queue est inférieure à 0,001. La topographie des bancs n'a pas changé au cours de la saison estivale (Fig. 3.2). Les différences d'altitude sont restées sensiblement les mêmes entre les secteurs à la tête et à la queue des bancs, et près de la berge ou de l'eau. Les quelques changements sont dus à l'ajout de quadrats en bordure du cours d'eau, là où le secteur était immergé en début de saison.

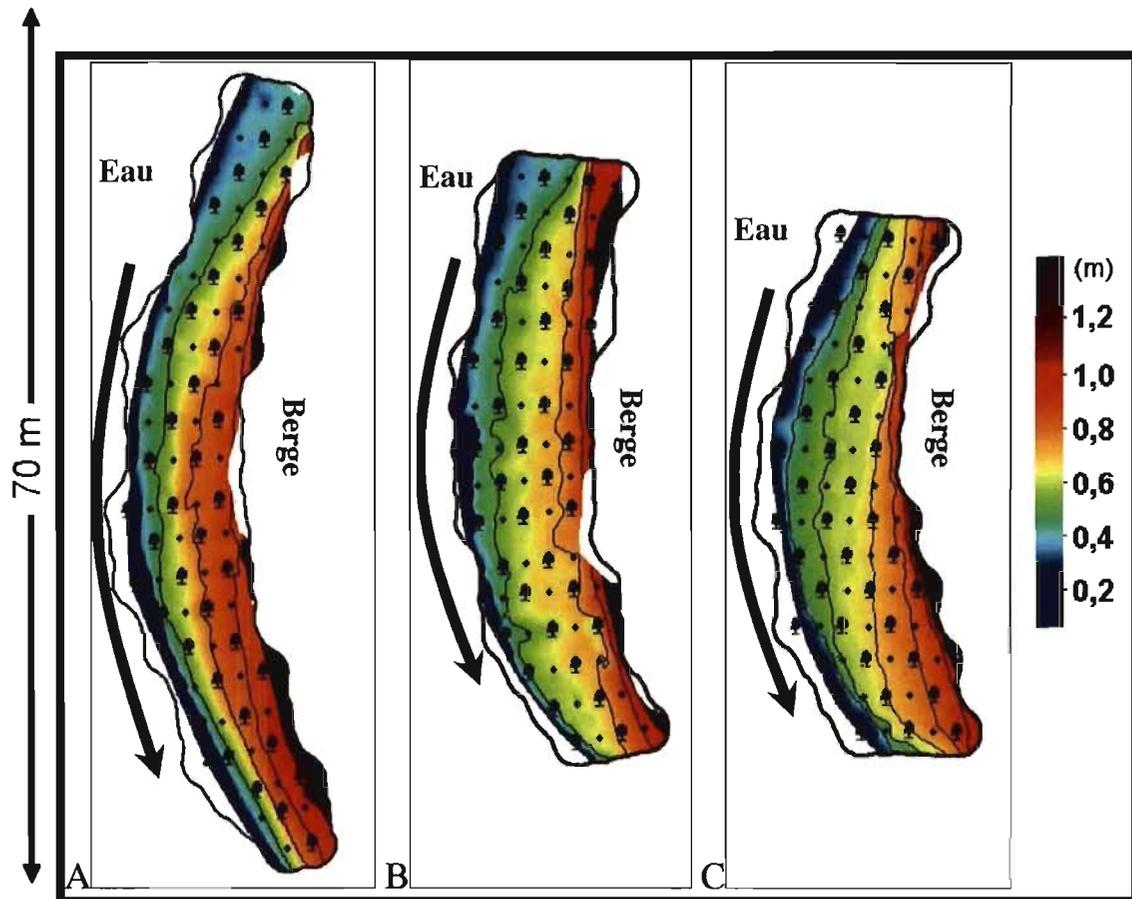


Figure 3.1. Topographie des trois sites à l'étude les 18 septembre 2007 (bancs Amt (A) et Ctr (B)) et 1^{er} août 2007 (banc Avl (C)). La topographie est interpolée par la méthode des triangles irréguliers (TIN). Les quadrats servant à l'inventaire végétal sont identifiés par un symbole en forme d'arbre alors que ceux dénudés sont un point. La flèche bleue rappelle le sens de l'écoulement.

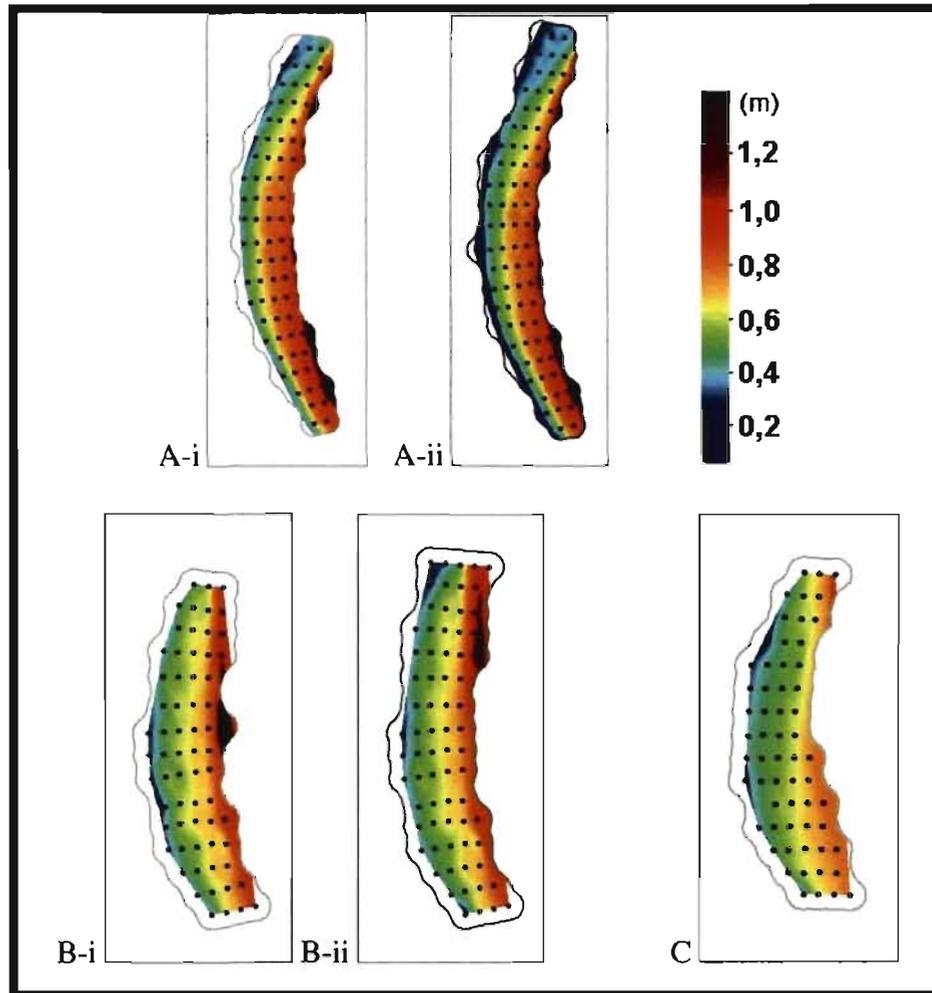


Figure 3.2. Évolution de la topographie des bancs alluviaux durant la saison. (A) Banc Amt les (i) 29 juin et (ii) 1^{er} août ; (B) Banc Ctr les (i) 29 juin et (ii) 1^{er} août ; (C) Banc Avl le 29 juin.

3.1.2. Granulométrie du banc

Les courbes granulométriques donnent un aperçu de la variabilité granulométrique sur les bancs (Fig. 3.3). Ces courbes montrent surtout la nette distinction entre le banc Amt et les deux autres milieux. En fait, le banc Amt a une proportion de sédiments fins beaucoup plus importante à sa queue (couleurs froides), alors que les profils de ses secteurs cœur et tête se chevauchent.

Le banc Ctr se distingue, quant à lui, par la nette différence entre sa granulométrie à proximité de la berge et celle à proximité de l'eau (Fig. 3.3 : lignes pleines comparativement aux lignes pointillées). Les sédiments sont beaucoup plus fins sur le bord du cours d'eau, alors qu'ils sont plus grossiers en bordure de la berge.

Sur le banc Avl, les courbes granulométriques présentent une différence relativement importante entre les trois quadrats où les sédiments sont les plus fins (313-06, 313-10 et 322-10), tous situés à la tête du banc, et les sept autres, qui forment un ensemble assez homogène (Fig. 3.3). Le banc Avl possède aussi la particularité d'un point de cueillette (349-10) où les sédiments les plus grossiers ($\phi < -1$, soit un diamètre plus grand que 1,41 mm) ont représenté autour de 10 % de la masse en juillet et septembre.

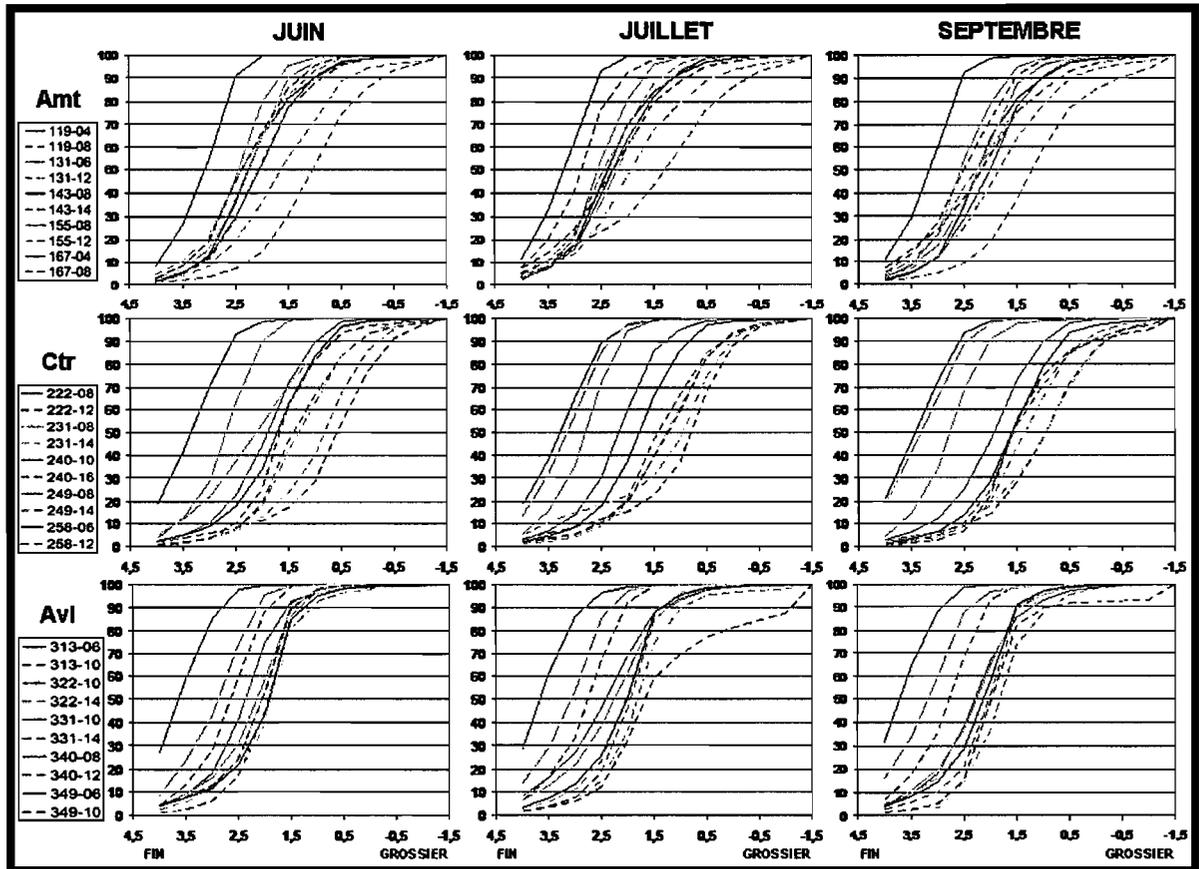


Figure 3.3. Profils granulométriques des trois bancs, aux trois mois, selon 10 points d'échantillonnage par site. Les courbes de couleurs chaudes représentent la tête du banc et varient graduellement jusqu'aux couleurs froides désignant la queue du banc. Les lignes pleines représentent les quadrats à proximité de l'eau, alors que les courbes pointillées sont l'image des quadrats à proximité de la berge (voir fig. 2,4). L'axe des abscisses est la valeur du ϕ (phi), l'axe des ordonnées affiche le pourcentage cumulé.

D'un point de vue temporel, la majorité des profils sont constants durant la saison. Comme il n'y a pas eu de crue recouvrant entièrement les bancs, la dynamique hydrosédimentaire n'a que très peu modifié la granulométrie des sites. Quelques quadrats ont tout de même subi de légères modifications durant la saison. Les distinctions les plus fortes s'affichent

sur les graphiques de juillet, car il s'agit du premier relevé granulométrique après la principale crue de la saison.

Sur le banc Amt, les quadrats 143-14 et 167-08 ont subi une augmentation du pourcentage de particules fines, alors que la quantité de particules grossières est restée relativement stable. Cependant, dans les deux cas, le profil est redevenu semblable à juin lors du relevé de septembre.

Sur le banc Ctr, la granulométrie du quadrat 231-08 change radicalement, alors que les particules de moins de 250 μm ($\phi > 2$), qui occupaient 54 % de l'échantillon en juin, occupent 98 % de l'échantillon de septembre. Ce pourcentage se maintient par la suite en septembre.

Sur le banc Avl, le quadrat 349-10, situé à la queue du banc et près de l'eau, a subi la modification la plus importante où la quantité de sédiments plus grossiers que 250 μm ($\phi < 2$) est passée de 90 % en juin à 59 % en juillet, avant de remonter à 82 % en septembre.

À l'exception des quelques quadrats susmentionnés, la granulométrie des bancs est restée relativement constante durant la saison, comme en témoignent les courbes du D_{50} (Fig. 3.4). Malgré l'effet de moyenne que contient cette variable, les distinctions de tailles majoritaires sur les trois bancs sont bien visibles. Le banc Ctr se démarque par la diversité de sa granulométrie et par les changements non uniformes des divers quadrats, alors que l'évolution du D_{50} des bancs Amt et Avl a soit été stable, soit été influencée légèrement et uniformément sur tous les quadrats concernés.

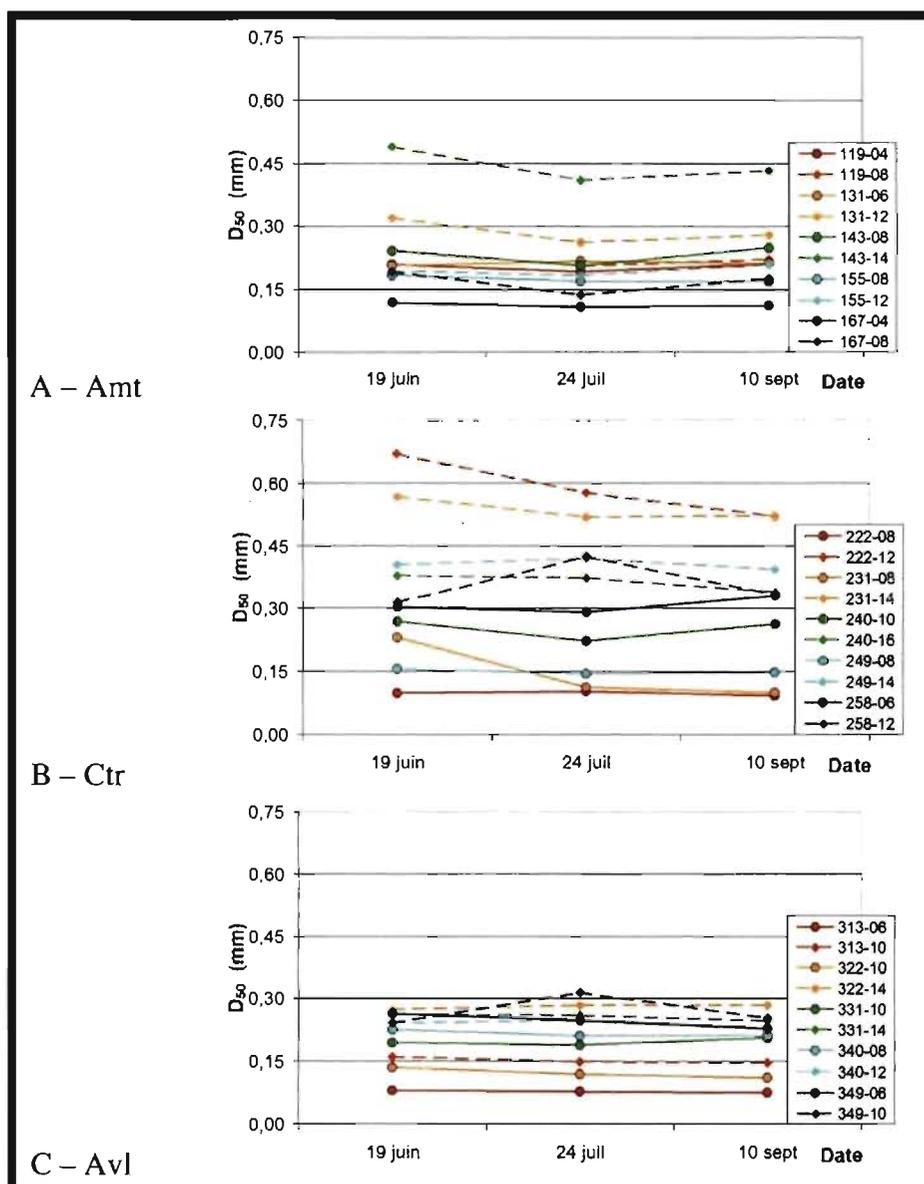


Figure 3.4. Évolution temporelle des valeurs médianes (D_{50}) de la courbe granulométrique des dix échantillons de chaque banc alluvial : (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl.

3.1.3. Espaces submergés

Les niveaux d'eau à chaque banc ont été estimés à partir de la différence, mesurée par le GPS différentiel, entre la jauge de mesure des hauteurs d'eau et l'altitude moyenne de l'eau à chacun des bancs. À partir de ces valeurs et du niveau d'eau mesuré par la station totale, une association permet de définir les moments de submersion des quadrats au fil de la saison (Fig. 3.5). On constate la présence d'une seule perturbation hydrologique majeure durant la saison, laquelle est survenue au début de l'étude (27 juin 2007), après un seul relevé. Les autres crues (12 et 21 juillet, 7 août et 12 septembre) n'ont inondé qu'un petit

nombre de quadrats, dont plusieurs avaient été ajoutés en cours de saison. Le faible nombre d'événements hydrologiques qui ont submergé le banc en tout ou en partie a permis la croissance presque ininterrompue de la végétation durant la saison estivale et le début de l'automne. L'amplitude des crues automnales augmente suite aux pluies du 20 octobre. En conclusion, les bancs ont été généralement très peu perturbés par les crues pendant la saison de croissance.

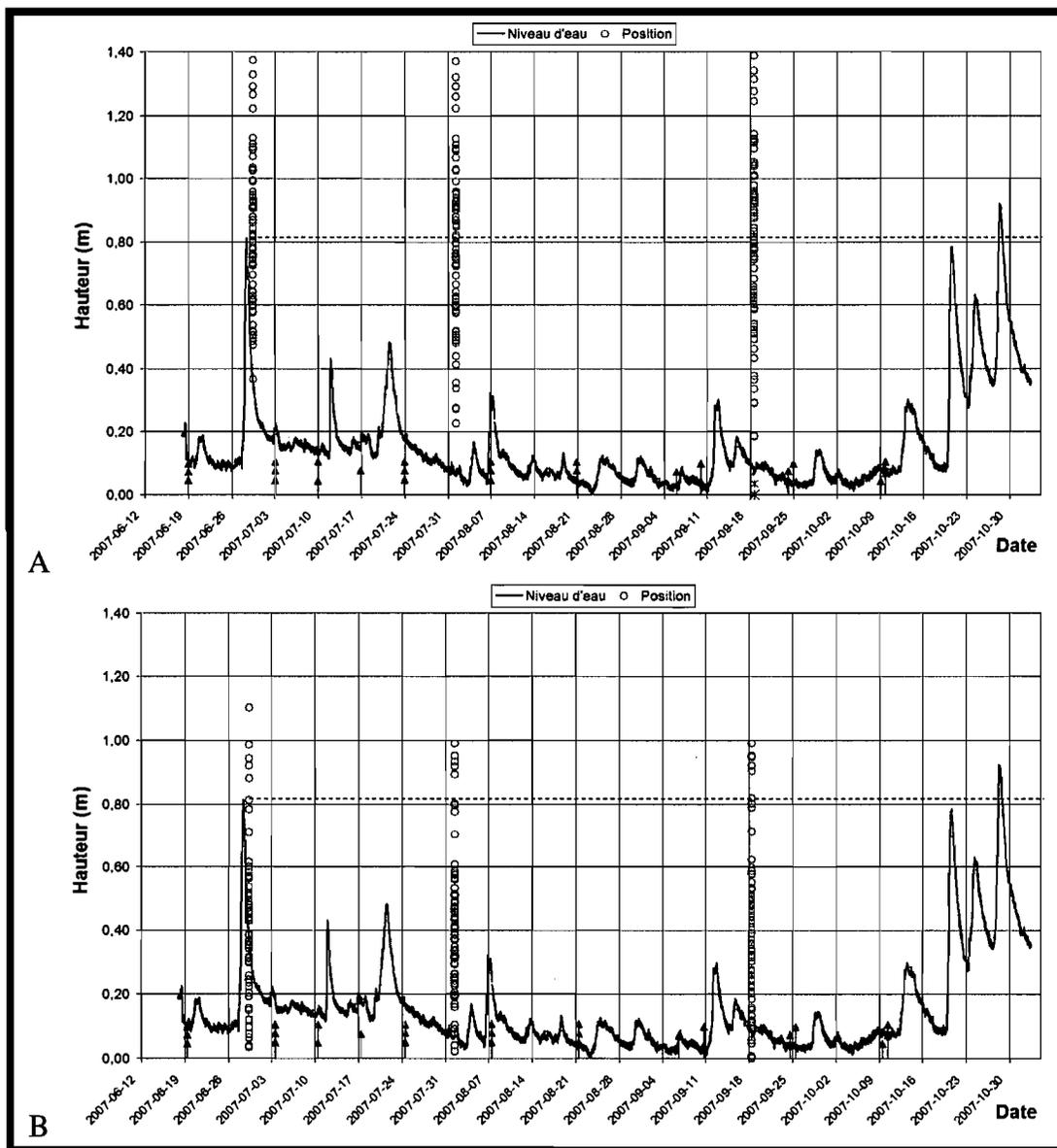


Fig. 3.5. Voir la légende à la page suivante.

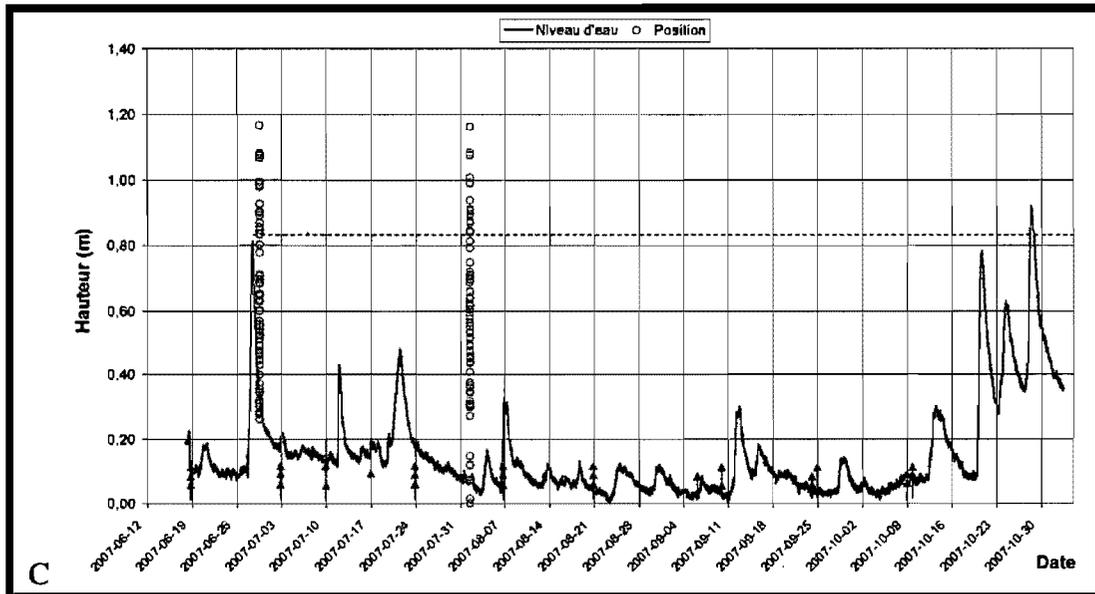


Figure 3.5. Position altitudinale de tous les quadrats sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl par rapport au niveau d'eau minimal à ces bancs. La ligne horizontale sert de repère afin de situer la hauteur de la seule crue majeure ayant influencé les bancs.

3.2. Développement de la végétation

3.2.1. Couverture de la végétation

La superficie que couvrent les plants sur chaque quadrat a été évaluée par la méthode de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet, 1932). La figure 3.6 montre l'évolution de la surface recouverte par la végétation sur les bancs. Les bancs Amt et Avl partagent la particularité de présenter une croissance de la couverture beaucoup plus importante à la queue de banc tout au long de la saison. Vers le milieu de la saison, la végétation recouvre de plus en plus la tête des deux bancs, mais de manière moins prononcée qu'à la queue.

Sur le banc Ctr, la croissance végétale est plus lente et moins importante à la fin de l'année (Fig. 3.6-B) Aussi, aucune zone ne se distingue par une forte couverture de la végétation. L'absence de végétation est plus marquée au cœur du banc, où la très faible couverture de végétation est particulière. Cette zone centrale à couverture moins intense est aussi visible sur les bancs Amt et Avl.

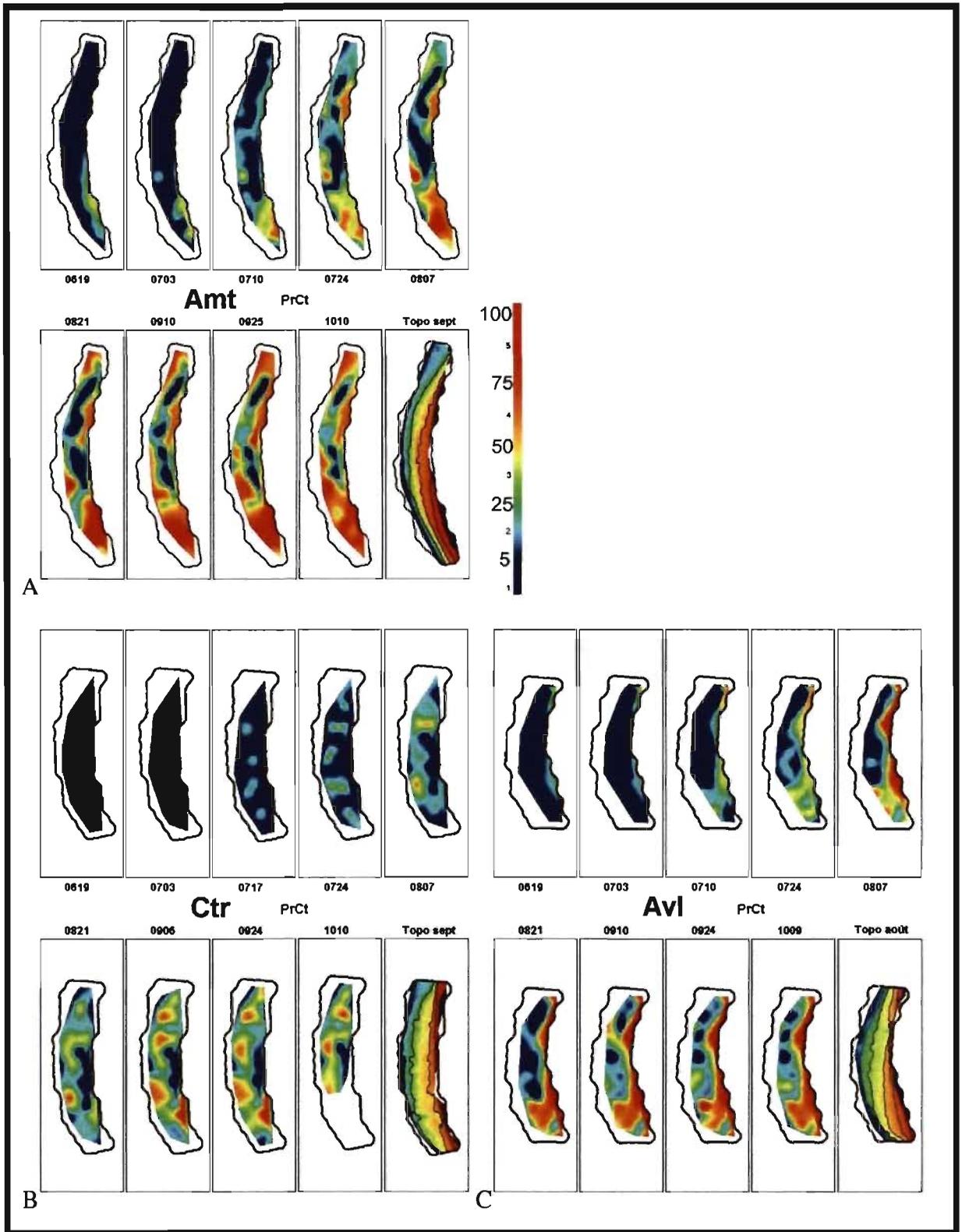


Figure 3.6. Représentation spatiale interpolée de la superficie couverte par la végétation sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. La légende présente les valeurs en pourcentage (moins de 5 à plus de 75) et l'équivalent selon le système de Braun-Blanquet (1 à 5).

3.2.2. Évolution du nombre de plants

La figure 3.7 compare l'évolution temporelle de la croissance végétale en considérant et en ne considérant pas le peuplier. La première moitié de la saison (première rangée de chaque séquence) est très différente sur les deux cartes, alors que la seconde est relativement semblable, le peuplier étant devenu marginal.

Globalement, les trois bancs évoluent au même rythme quant au nombre d'individus s'y établissant. En fait, le nombre brut total d'individus comptabilisés sur les trois bancs durant l'année crée des variances hétérogènes, mais ne présente aucune différence significative (Welch, $p = 0,560$). Très tôt en saison, les bancs ont été intensivement colonisés par le peuplier, duquel ont crû jusqu'à quelque 450 individus à l'intérieur de l'aire de comptage de $0,09 \text{ m}^2$, soit environ 5000 plants de quelques millimètres de hauteur par mètre carré. Cette densité est forte, bien que Walker et coll. (1986) ont évalué une colonisation atteignant 13 800 peupliers viables par mètre carré sur une plaine inondable limoneuse d'Alaska.

Analysé seul, le peuplier a connu trois périodes distinctes durant l'année. En début de saison, une colonisation rapide et imposante a couvert les bancs de très nombreux mais petits semis. Les cartes d'abondance (Fig. 3.7) affichent clairement la forte concentration d'individus en début d'année (dominés par les peupliers), lesquels sont répartis de manière relativement uniforme sur l'ensemble de chaque banc. Les seules exceptions se situent au cœur du banc Amt, près de la berge, là où le sol est plus sec, et en bordure du cours d'eau sur les bancs Ctr et Avl, où sont apparus de nouveaux quadrats lors de visites subséquentes, ces derniers étant initialement submergés. Dès le troisième inventaire (10 juillet 2007 (0710)), la deuxième période s'amorce avec un déclin important du nombre total d'individus jusqu'à la troisième phase, la stabilisation, à partir de la mi-août.

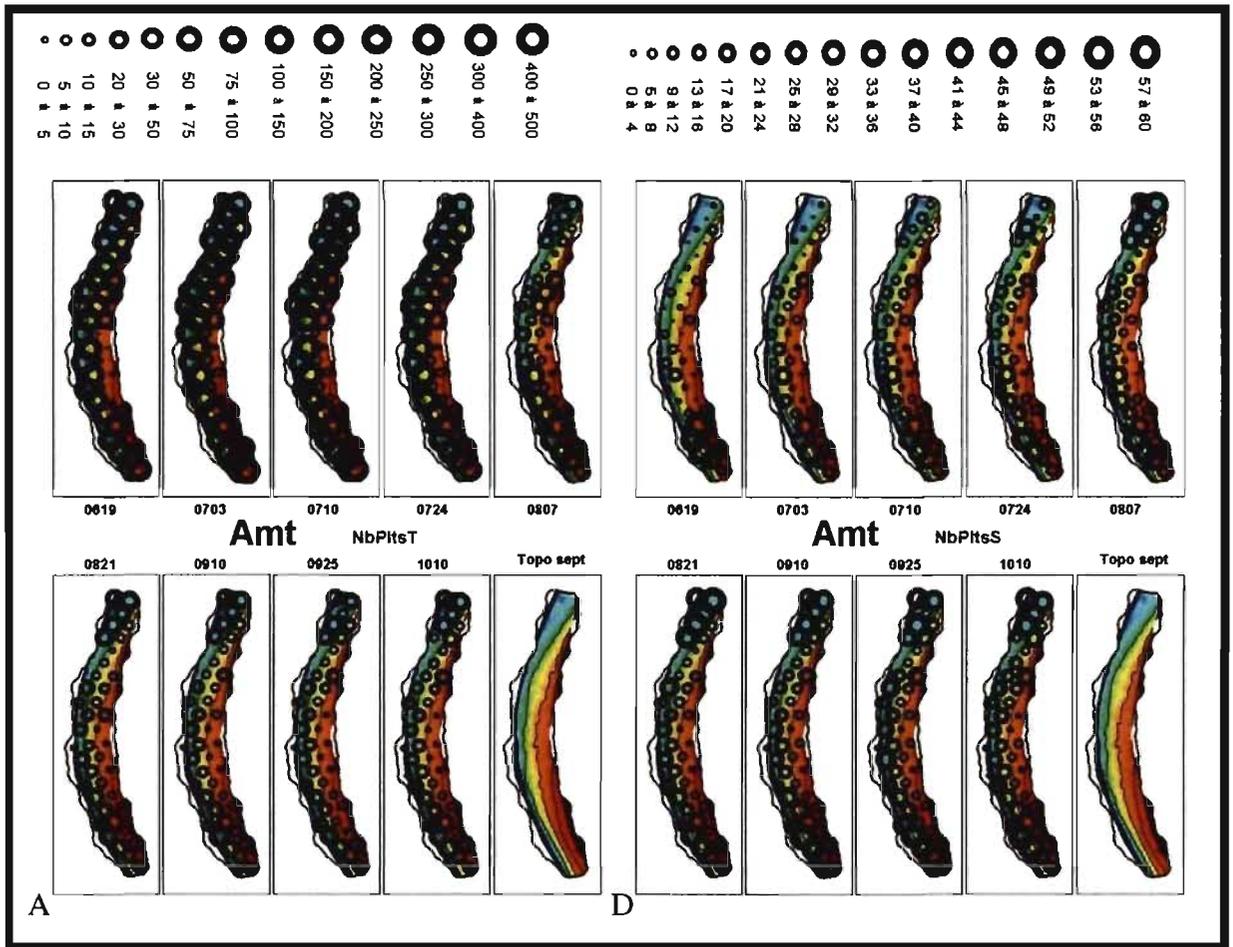


Fig. 3.7. Voir la légende à la page suivante.

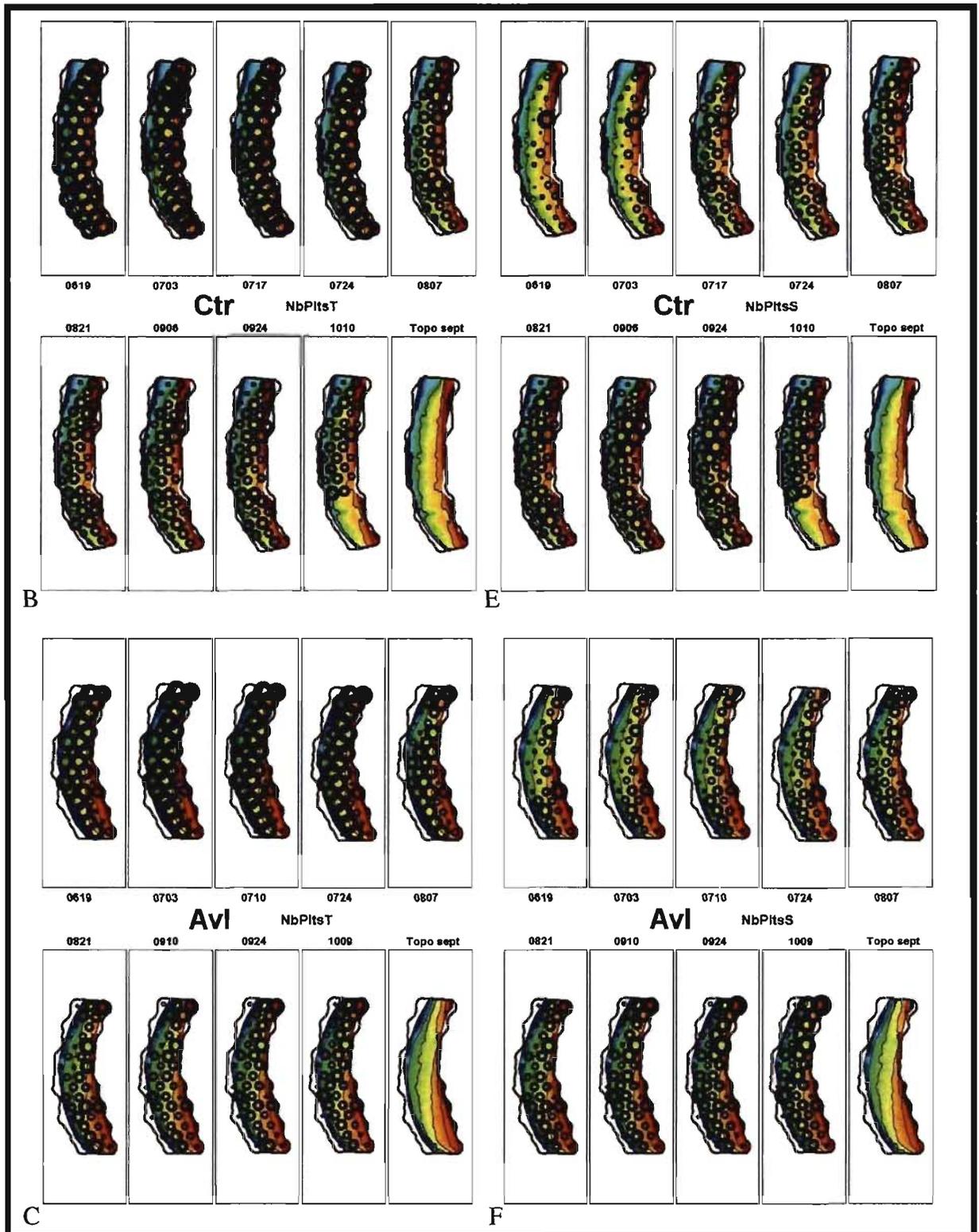


Figure 3.7. Nombre total d'individus (NbPltsT) sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl durant la saison. (D à F) Nombre total d'individus sur ces mêmes bancs (D, E, F) en excluant le peuplier (NbPltsS). Les données sont affichées par classe et par date de visite sur fond topographique interpolé. La dernière case de chaque sous-figure montre uniquement la topographie.

3.2.3. Évolution du nombre total de plants en excluant le peuplier

Comme le présente la figure 3.7, la grande quantité de peupliers oblitère la présence et la croissance des autres espèces. En fait, la courbe de colonisation du peuplier seul est presque identique à la courbe réunissant toutes les espèces (Fig. 3.8). De ce fait, le retrait des peupliers du décompte total change énormément la forme de la courbe d'abondance, laquelle devient presque exclusivement croissante du début à la fin de la saison (Fig. 3.8). Afin de mieux observer la croissance végétale, les sous-figures 3.7-D, 3.7-E et 3.7-F montrent la répartition des abondances d'individus (sauf le peuplier) sur les trois bancs.

Durant la saison, la courbe de l'établissement des plantules de peuplier a connu une période de forte croissance, une de décroissance et une dernière période de stabilité, qui représente sa quasi absence des milieux étudiés (Fig. 3.8). Il affiche ainsi de manière très claire sa stratégie de colonisation selon le modèle r (MacArthur et Wilson, 1967). L'espèce produit une énorme quantité de graines qui germeront très rapidement dans un milieu nu et rarement ombragé (Fig. 3.8, période NbPltsP-T1), dans le but que survive un maximum d'individus. Par contre, dès le début de juillet, le déclin s'est amorcé (Fig. 3.8, période NbPltsP-T2) et a continué jusqu'au début du mois d'août, alors que les quelques rares individus restants ont réussi à subsister parmi les autres espèces (Fig. 3.8, période NbPltsP-T3). Ces individus ont survécu jusqu'en octobre, atteignant de 12 à 18 centimètres de hauteur. La compétition avec d'autres espèces semble avoir joué un rôle clé dans le déclin du peuplier, car sa population s'est effondrée au moment où la colonisation par les autres espèces s'est intensifiée.

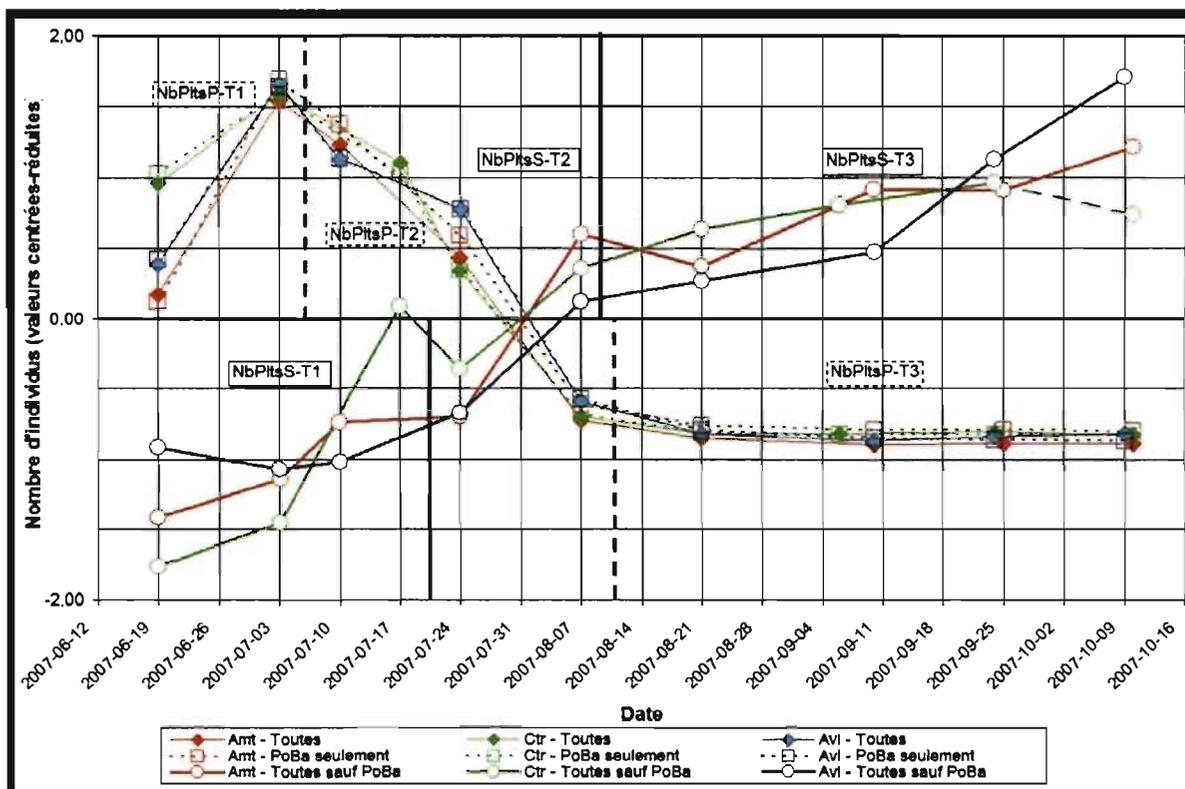


Figure 3.8. Nombre de plants sur les bancs, valeurs centrées réduites. Représentation de la colonisation de toutes les espèces (lignes minces, losanges pleins), du peuplier (lignes pointillées, carrés vides) et de toutes les espèces sauf le peuplier (lignes larges, ronds vides) sur les bancs Amt (rouge), Ctr (vert) et Avl (bleu). Les barres verticales divisent les périodes de croissance du nombre de peupliers (NbPltsP, pointillées) et des autres espèces (NbPltsS, pleines larges), telles que décrites dans le texte.

Les espèces autres que le peuplier semblent avoir profité du déclin de ce dernier pour proliférer sur les bancs. Celles-ci ont aussi globalement connu un établissement divisé en trois périodes (Fig. 3.8). En début d'année, une lente croissance a été observée (NbPltsS-T1), surtout grâce aux graminées qui ont côtoyé les nombreux peupliers. Par la suite, les semaines chevauchant les mois de juillet et août présentent une relativement courte mais forte croissance (NbPltsS-T2). Finalement, suite à l'inventaire du 7 août, une faible croissance est maintenue jusqu'à la fin de la saison.

La distinction entre la présence et l'absence des données du peuplier se traduit aussi par les différences marquées entre les moyennes arithmétiques du nombre d'individus par quadrat incluant ou excluant le peuplier (Tabl. 3.1). Ces différences distinguent surtout les bancs Amt et Avl, ce dernier ayant significativement soutenu moins d'individus par quadrat-date, considérant ou pas le peuplier. Ces résultats doivent cependant tenir compte de la présence

d'une corrélation temporelle (qui n'a pas été traitée) selon laquelle un même individu persistant est comptabilisé de manière récurrente à chaque relevé.

Tableau 3.1. Nombre moyen d'individus par quadrat-date durant la saison. Les variances sont homogènes et l'ANOVA montre une différence significative entre les trois moyennes ($p = 0,002$). Les résultats du test de Sidak sont présentés pour chaque banc par rapport au banc suivant.

Banc	Incluant peupliers	Sidak (p)	Excluant peupliers	Sidak (p)
Amt	71	Ctr (0,284)	12	Ctr (0,351)
Ctr	61	Avl (0,197)	11	Avl (0,122)
Avl	49	Amt (0,001)	10	Amt (0,001)

En retirant la présence du peuplier du traitement des données, les zones de développement de la végétation sont plus clairement définies (Fig. 3.9). Les trois bancs sont très différents à ce niveau. Sur le banc Amt, la végétation s'est établie principalement le long de l'écoulement permanent de la rivière. La zone à la tête du banc, plus basse en altitude (Fig. 3.1), a aussi été colonisée rapidement. Plus les jours avancent, plus le patron général se dessine, jusqu'à montrer en fin de saison une zone creuse au cœur du banc à proximité de la berge. Sur le banc Ctr, la colonisation s'est faite principalement à égale distance entre la berge et l'eau, laissant des zones plus dénudées de chaque côté (Fig. 3.9-B). Du 17 juillet (0717) au 6 septembre (0906), une zone de plus faible densité est visible approximativement au même endroit que sur le banc Amt. Cette zone est aussi représentée sur le banc Avl. Ce dernier banc montre une colonisation générale plus éparse, principalement positionnée à sa tête, là où une végétation était déjà en place dès la mi-juin (Fig. 3.9-C).

En résumé, les trois bancs montrent deux points en commun. D'abord, la tête de chacun a connu une colonisation majeure à partir du mois d'août. Ensuite, le cœur des bancs, à proximité de la berge, est une zone relativement pauvre en individus. Cette zone est très marquée sur le banc Amt et plus subtile sur le banc Ctr.

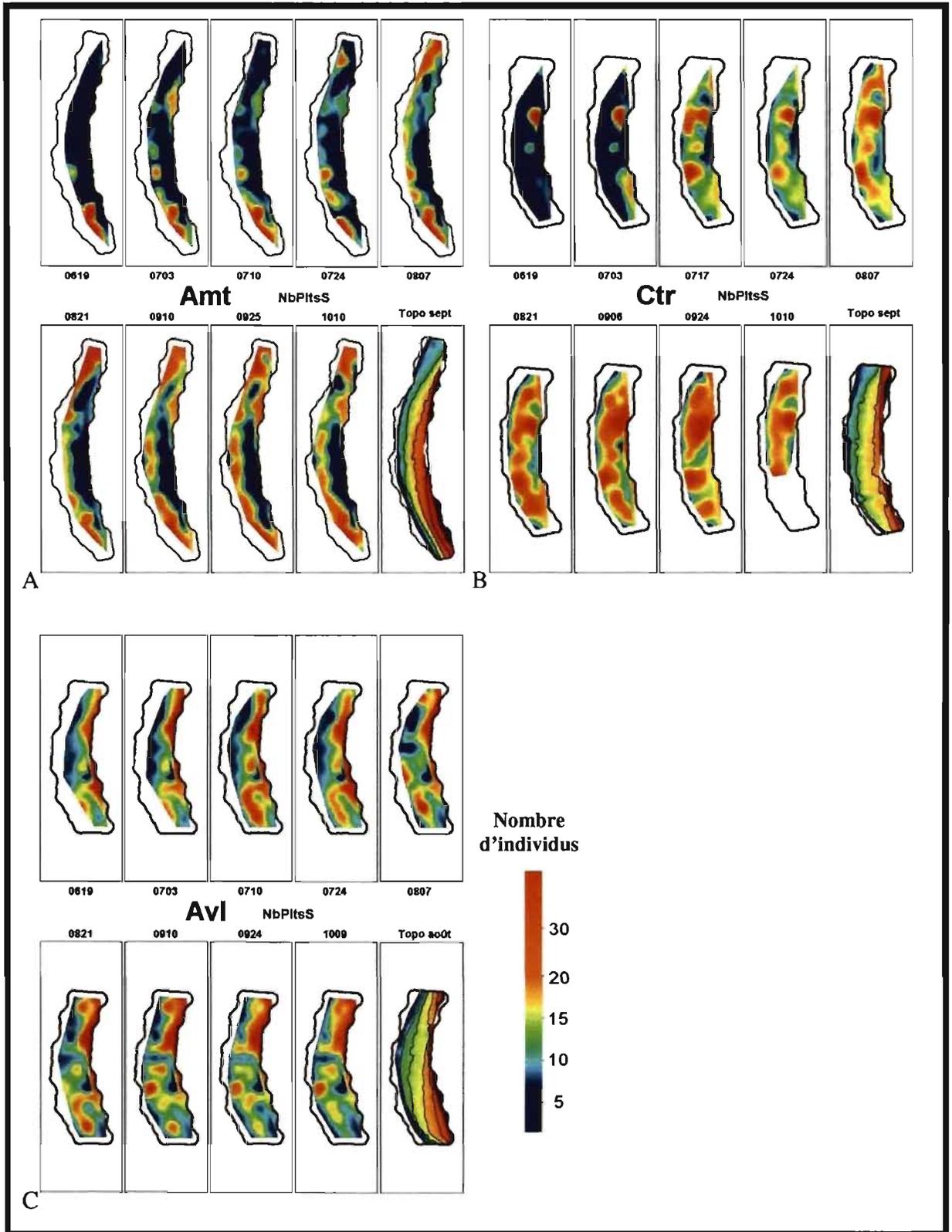


Figure 3.9. Représentation interpolée du nombre d'individus par quadrat ayant colonisé les bancs alluviaux (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Les peupliers ont été exclus de l'analyse. La dernière case de chaque sous-figure présente la topographie du banc.

3.2.4. Biodiversité des bancs

La biodiversité locale des bancs, décrite par le nombre de taxons différents dénombrés dans chaque quadrat, offre un portrait généralement similaire sur les trois sites. Le banc Amt est celui qui a significativement maintenu le nombre d'espèces par quadrat le plus élevé durant la saison (Welch, $p < 0,001$) (Tabl. 3.2). La différence principale, significative selon Tamhane ($p < 0,01$), existe entre les bancs Amt et Avl. Le banc Amt a près d'une espèce de plus, en moyenne dans chacun des quadrats, que le banc Avl.

Tableau 3.2. Nombre total de taxons inventoriés sur les trois bancs et leur moyenne par quadrat. Les résultats de Tamhane montrent la significativité de la comparaison des bancs deux à deux.

Banc	Nombre par quadrat-date	Différence (Tamhane)
Amt	4,08	Ctr (0,097)
Ctr	3,67	Avl (0,016)
Avl	3,16	Amt (0,000)

3.2.4.1. Arrivée des espèces

De nouvelles espèces se sont implantées sur les bancs tout au long de la saison. La figure 3.10 montre le nombre de nouvelles espèces ayant été inventoriées à chaque relevé. Les valeurs maximales des bancs Amt et Ctr surviennent toutes deux au 7 août (0807), avec respectivement 8 et 14 nouvelles entrées. De son côté, le banc Avl n'a pas vu plus de quatre nouvelles espèces s'installer entre deux relevés après le 10 juillet (0710). Il n'existe cependant aucune différence significative entre les moyennes des trois distributions (Tabl. 3.3).

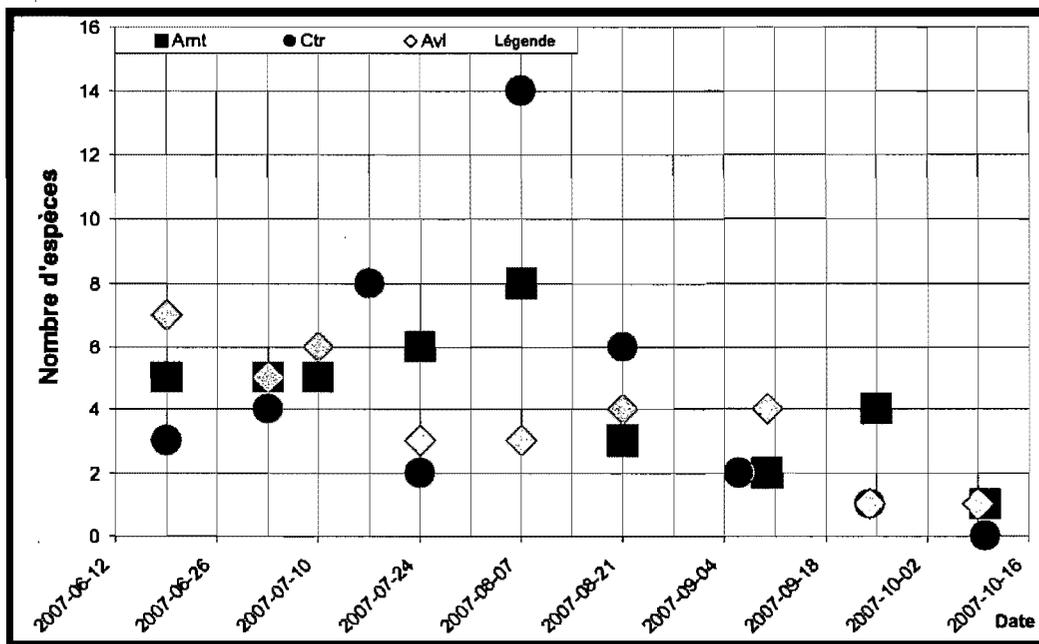


Figure 3.10. Nombre de nouvelles espèces recensées sur chaque banc à chaque relevé.

Tableau 3.3. Nombres moyen et maximal de nouvelles espèces recensées lors d'un relevé durant la période de suivi.

Banc	Nombre moyen de nouvelles espèces par relevé	Nombre maximal lors d'un relevé (MMJJ)
Tous	5,00	14 (0710-17)
Amt	4,33	8 (0807)
Ctr	4,44	14 (0807)
Avl	3,78	7 (0619)
ANOVA	p = 0,884 > 0,05	

3.2.4.2. Répartition de la biodiversité

La biodiversité végétale se répartit géographiquement différemment sur les trois bancs alluviaux, mais quelques similitudes peuvent y être décelées (Fig. 3.11). Le banc Amt présente la plus forte division entre la zone d'absence presque entière d'espèces au centre, alors que la tête, le bord de l'eau et la queue du banc soutiennent une biodiversité atteignant jusqu'à 16 taxons différents dans la zone d'étude de 0,09 m². La figure 3.11-A présente la prépondérance des extrémités du banc Amt quant à la diversité spécifique s'y étant établie. Sur le banc Ctr (Fig. 3.11-B), la diversité végétale s'est développée de manière désordonnée, ne présentant un profil relativement uniforme qu'au début de septembre. Sur le banc Avl, la dispersion spatiale de la diversité ne présente pas de patron particulier, mais elle reste relativement stable dans le temps (Fig. 3.11-C). Sur la figure 3.11-C, les plus

hautes valeurs du plus grand nombre d'espèces dans un même quadrat semblent suivre une altitude précise, dans ce cas-ci représentée en jaune dans le dixième cadre (topo août). Cette corrélation apparente est aussi visible sur les deux autres bancs, mais de façon moins marquée (Fig. 3.11-A et 3.11-B). Nous reviendrons sur cette situation plus loin.

Parallèlement au nombre d'individus, les bancs Amt et Avl affichent une zone en leur cœur où la biodiversité est très faible (Fig. 3.11-D et 3.11-F). Cette zone est très prononcée sur le banc Amt, et plus localisée sur le banc Avl. Le banc Ctr (Fig. 3.11-E) possède aussi une bande de plus faible diversité le long de la berge vers le cœur du banc. Celle-ci, bien que relativement mince, est tout de même présente.

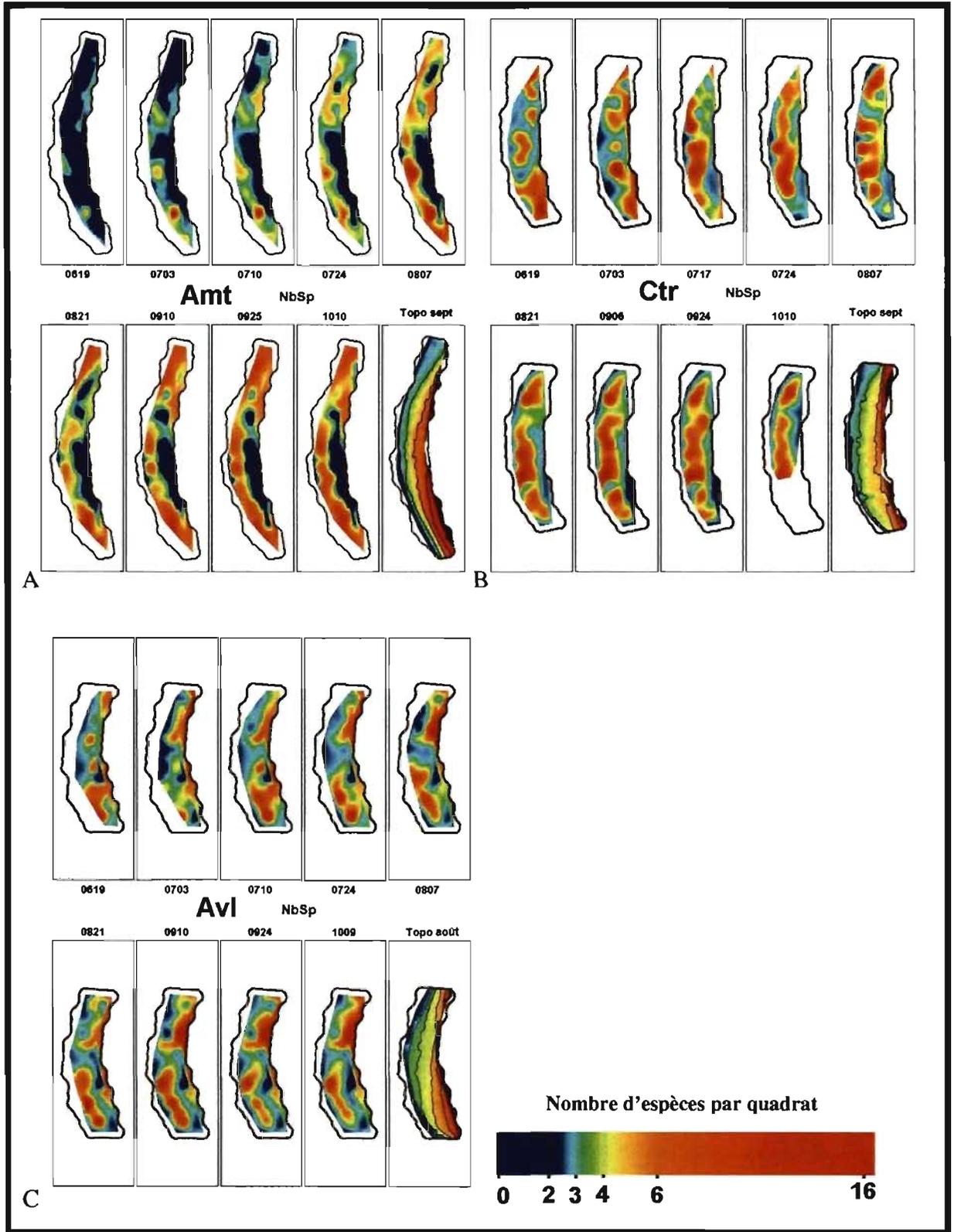


Figure 3.11. Représentation spatiale du nombre d'espèces sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Chaque carte présente l'interpolation du nombre d'espèces sur les bancs. Le dernier cadre de chaque sous-figure présente la topographie.

3.2.4.3. Abondance et diversité

Les patrons des deux variables végétales précédentes (abondance et diversité) sont apparemment similaires, à quelques exceptions près. La figure 3.12 montre que, en ne considérant pas la domination des peupliers en début de saison (à cause de leur évolution particulière (Fig. 3.8)), le nombre d'individus a été corrélé au nombre d'espèces dans chacun des quadrats-dates. Le coefficient de corrélation r est de 0,749 et est significatif ($p < 0,01$). La tendance linéaire désigne que, dans un même quadrat, chaque espèce était représentée en moyenne par environ trois individus.

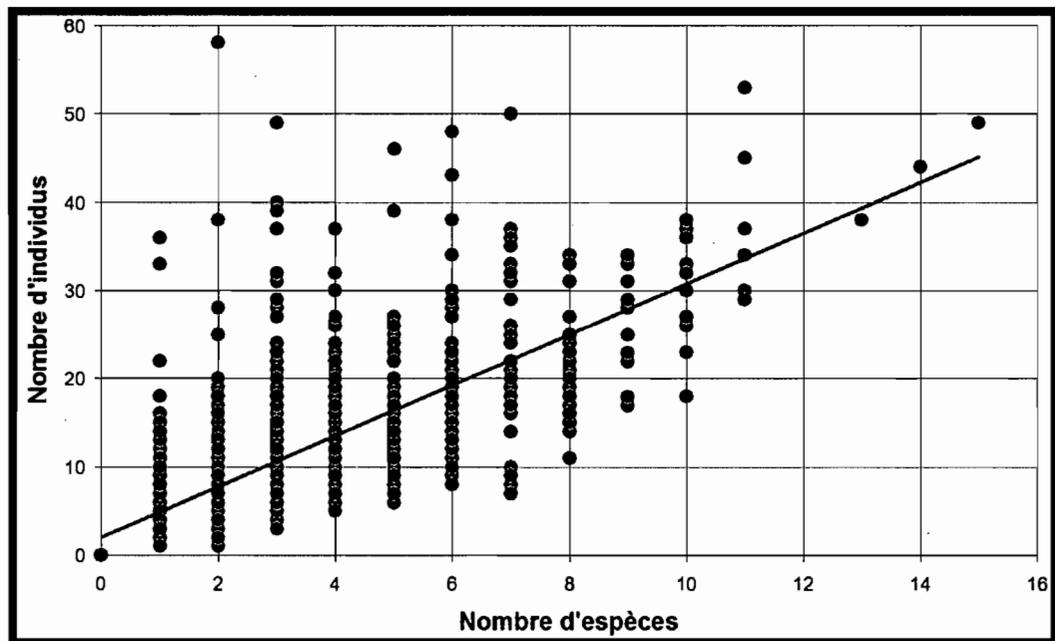


Figure 3.12. Relation entre le nombre d'individus et le nombre d'espèces (peuplier exclus) dans un même quadrat durant l'année sur les trois bancs. Le coefficient de corrélation r est de 0,749 et est significatif à $\alpha = 0,01$. L'équation de la droite est $y = 2,87x + 2,05$.

Cette moyenne est cependant peu représentative, à cause de la très forte hétérogénéité du nombre d'individus des espèces présentes, surtout en début d'année. Sur les trois bancs, il faut attendre le 24 juillet pour voir apparaître un environnement relativement uniforme (Fig. 3.13). Sur le banc Ctr, à partir du 17 juillet, la figure 3.13 montre que la moitié des espèces ne sont représentées que par un seul individu par quadrat.

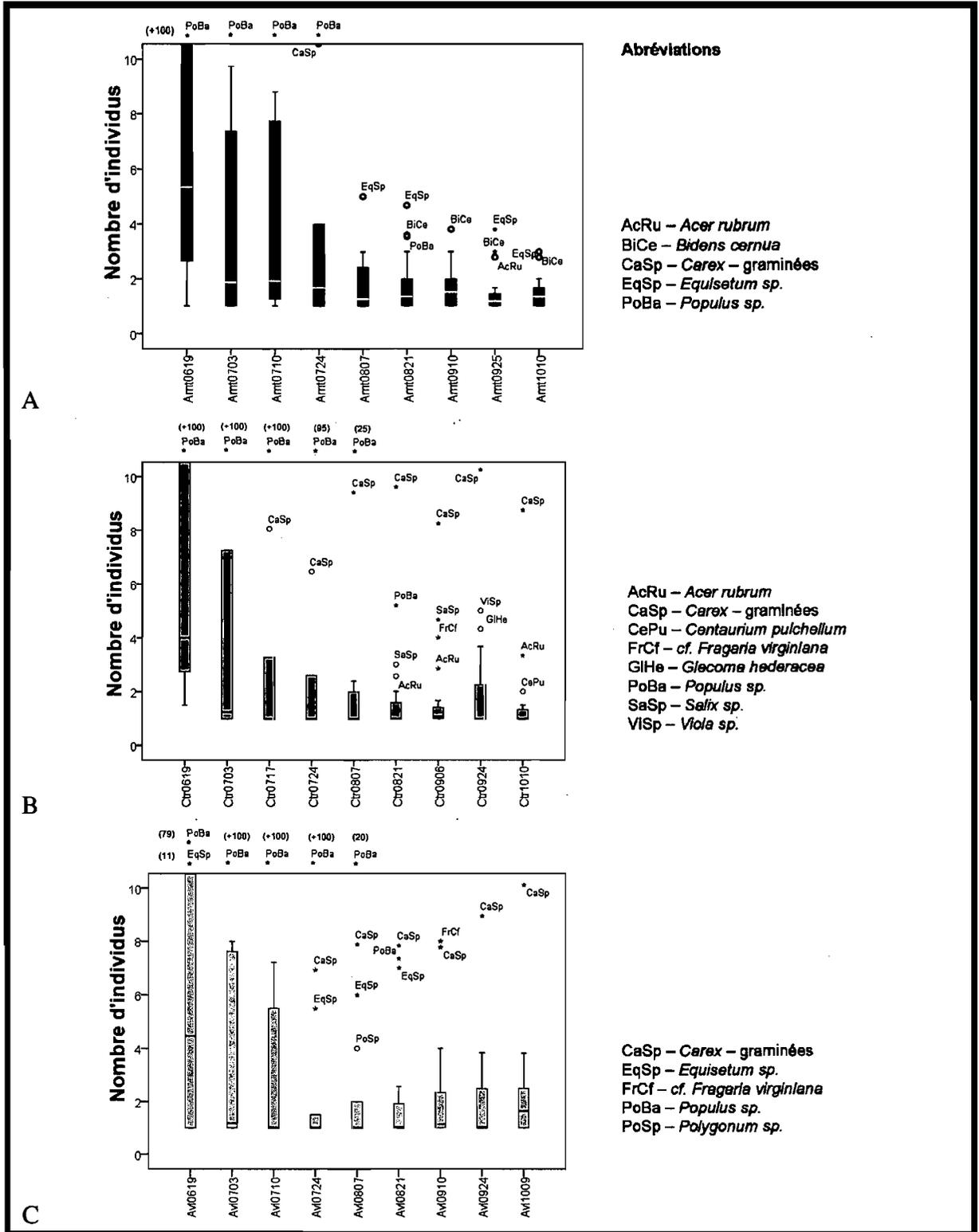


Figure 3.13. Répartition du nombre d'individus par quadrat des taxons présents à chaque date à partir des données des échantillons Tête - Cœur - Queue (TCQ) sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl.

La figure 3.13 présente aussi la disparité qui existe entre la majorité des taxons et le groupe *Carex*-graminées (CaSp), ce dernier étant souvent identifié comme valeur extrême. En effet, dans 58 % des quadrats-dates, plus de la moitié des individus font partie de ce groupe. Cependant, en retirant l'influence du groupe *Carex*-graminées dans l'analyse centrée-réduite du développement de la végétation, les courbes suivent la même tendance que l'ensemble des taxons moins le peuplier (Fig. 3.8). Ceci signifie que le groupe *Carex*-graminées a évolué dans la même direction que la majorité des espèces, mais à un rythme plus grand.

3.2.5. Taille maximale de la végétation

La taille de la végétation est mesurée par la «hauteur» de la plus longue tige ou feuille du plus grand individu de chaque espèce dans chaque quadrat. Elle représente le niveau de croissance maximal de la végétation à l'intérieur de chaque quadrat. Sur les bancs étudiés, la végétation étant dominée par les herbacées, de nombreuses espèces ont atteint une taille maximale en cours de saison. Ces espèces ont toutefois continué à développer un réseau racinaire fin et dense dans le but d'absorber le plus d'eau et de nutriments possible dans la couche superficielle de sédiments. Cependant, comme ce système est situé en surface et que les individus sont petits, ils peuvent facilement être arrachés par les crues (Coulthard, 2005). La saison 2007 n'a pas reçu les précipitations suffisantes afin d'évaluer la résistance à l'écoulement d'une grande quantité de petite végétation. Cependant, la taille des individus a été notée et permet de constater que le rythme de développement des plantes est variable selon l'emplacement sur le banc (Fig. 3.14). D'ailleurs, sur le banc Amt, la portion queue possède un quadrat qui soutenait déjà de relativement grands individus dès le premier relevé. Sauf cette exception, l'ensemble de chacun des bancs était très faiblement pourvu en début d'année, principalement dominé par des semis de peupliers (Fig. 3.7) de moins d'un centimètre de hauteur.

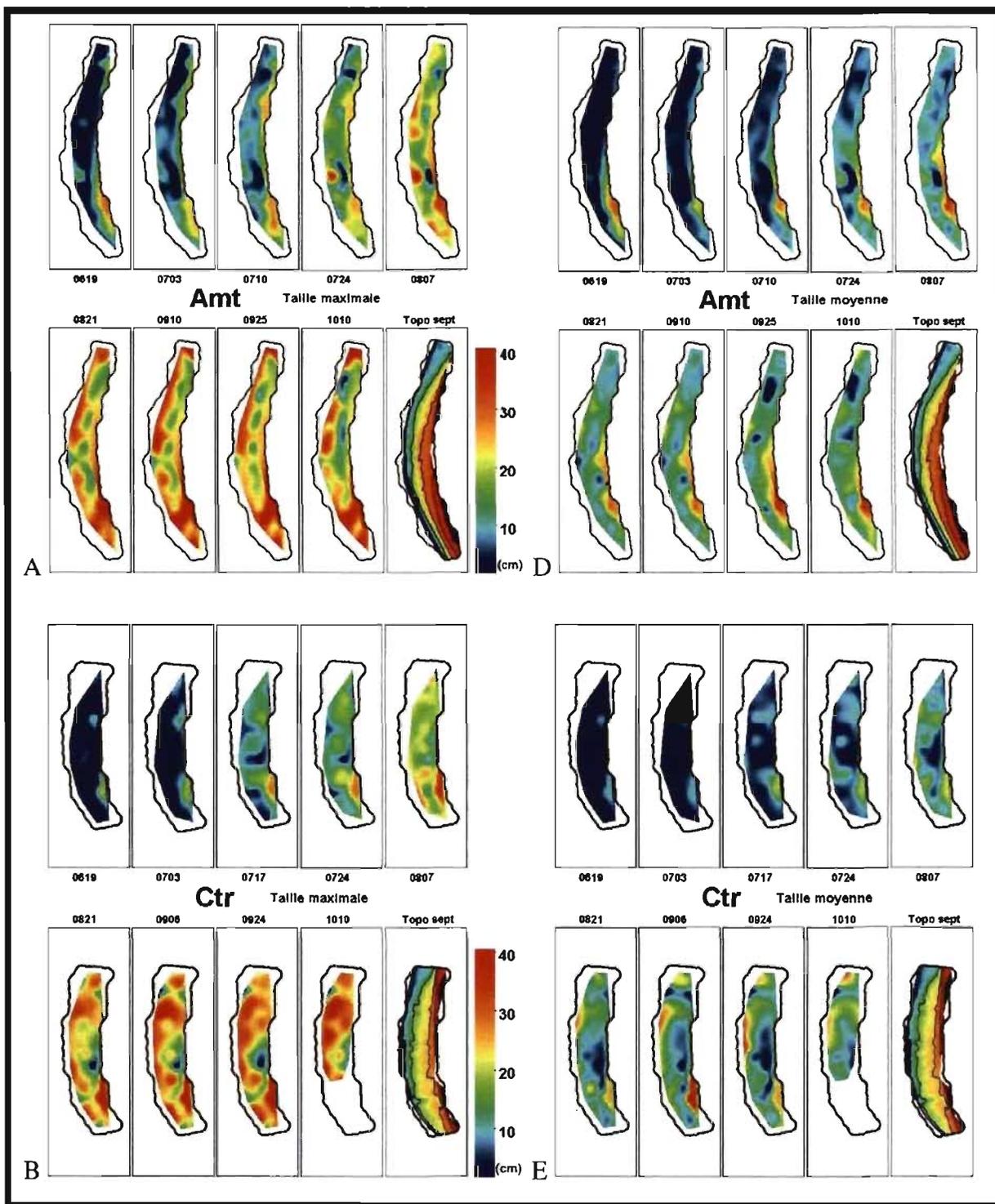


Fig. 3.14. Voir la légende à la page suivante.

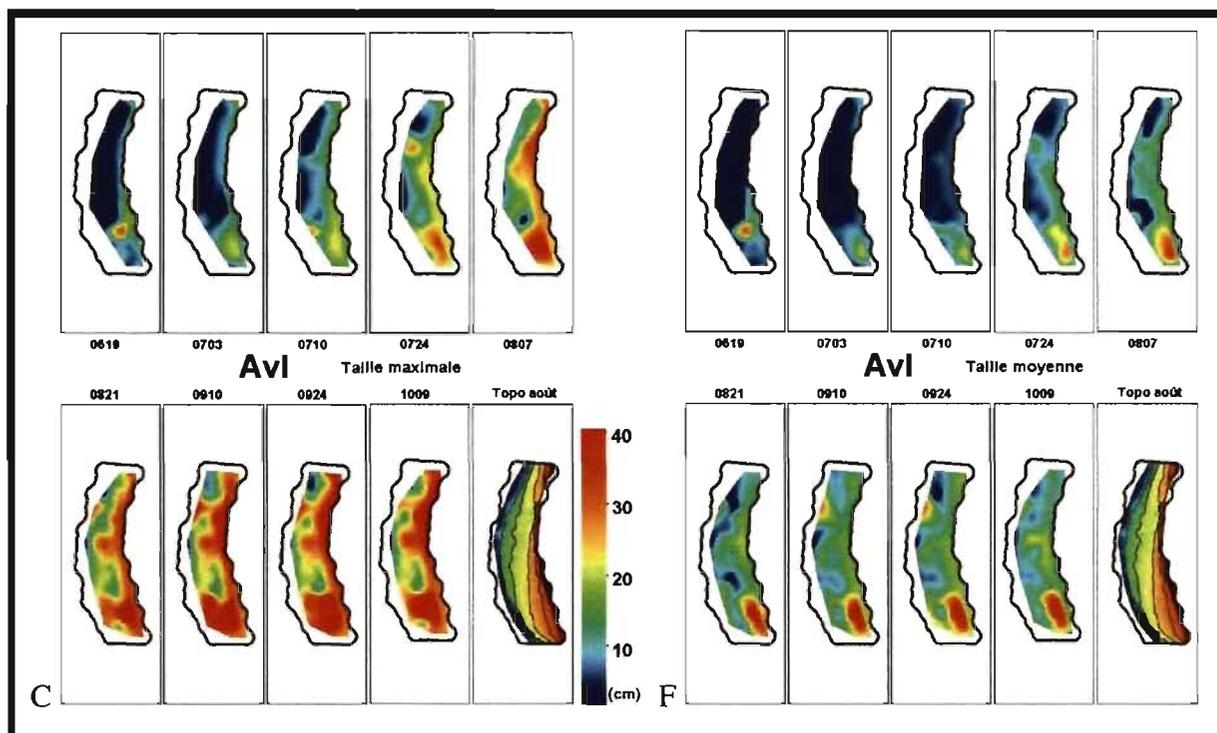


Figure 3.14. Représentation interpolée des valeurs (A, B, C) maximales et (D, E, F) moyennes de la taille des individus dans chaque quadrat, tous taxons confondus, sur les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl. Le dernier cadre de chaque sous-figure représente la topographie du banc.

Par ailleurs, une distinction importante est visible entre l'évolution des valeurs maximales et celle des valeurs moyennes de la taille des individus (Fig. 3.14). Sur les trois bancs, la taille moyenne a crû de manière sensiblement uniforme durant la saison, stagnant partout autour de 15 cm. Cependant, la taille maximale des individus est différemment répartie selon chaque milieu.

Sur le banc Amt, les plus grandes plantes ont été notées près de l'eau et à la queue du banc. Sur le banc Ctr, bien que la queue ait soutenu dès le 7 août des individus dépassant 30 cm, la tête du banc, de la berge à l'eau, a aussi permis la croissance de grands plants. Seule la zone centrale n'a pas été couverte par de hauts individus. Sur le banc Avl, la proximité de la berge semble avoir favorisé la croissance maximale en fin de saison, ce qui influence beaucoup la taille moyenne dans cette région. Le faible nombre d'individus dans ce secteur (Fig. 3.9) favorise aussi une moyenne particulièrement élevée, très distincte du reste du banc.

Le plus grand individu de chaque quadrat a été, dans 62 % des cas, une espèce du genre *Carex* ou une graminée associée à ce groupe (Fig. 3.15). Ces plantes se distinguent surtout

par des tiges longues, très minces, de forme triangulaire allongée, qui se déploient en hauteur plutôt qu'en largeur (Frère Marie-Victorin, 1964).

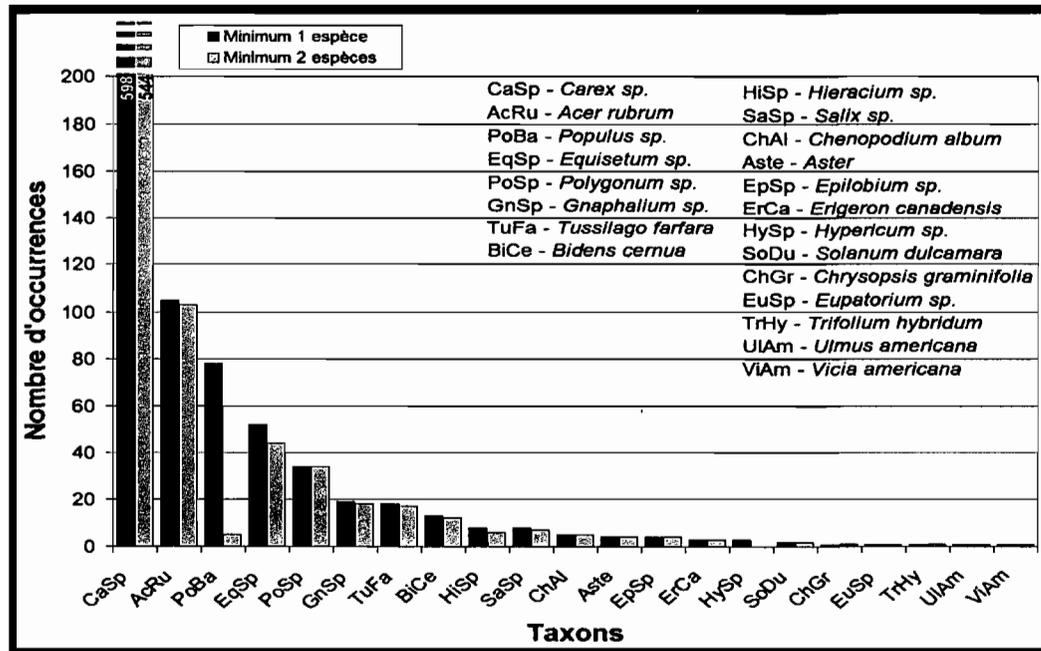


Figure 3.15. Occurrences de chaque espèce en tant que la plus haute dans son quadrat-date. Un total de 959 quadrats-dates ont soutenu au moins un individu, alors que 813 quadrats-dates ont soutenu un individu de deux espèces différentes ou plus.

En ne considérant que les 813 quadrats-dates ayant soutenu plus d'une espèce (Fig. 3.15 : bandes grises), l'ordre reste sensiblement le même, à l'exception du peuplier (PoBa) qui perd sa troisième position et se classe parmi les espèces tertiaires. Cela signifie que le peuplier n'a que très rarement (à cinq reprises) été plus grand qu'un compétiteur d'une autre espèce à proximité, mais qu'il a été souvent la seule espèce en place dans un quadrat (73 fois). La seconde espèce la plus proche de cette situation est le groupe *Carex*-graminées, qui a été dans un quadrat monospécifique à 54 reprises.

3.2.6. Indice de Shannon d'équitabilité des espèces

Par une valeur de proportionnalité variant entre 0 et 1, l'indice de Shannon représente l'homogénéité spécifique de l'abondance des individus établis dans un milieu (chap. 2.4.8). Le calcul de cet indice a été fait sur cinq groupes d'espèces distincts. Les groupes sont identifiés par la lettre *S* et le nombre d'espèces qu'ils incluent (Tabl. 3.4). Cependant, l'indice de Shannon ne considère que le nombre d'espèces présentes au moment de chaque relevé (Éq. 2.2), c'est-à-dire individuellement, sur chaque banc, à chaque date.

Tableau 3.4. Groupes de taxons créés afin d'analyser l'homogénéité spécifique des bancs par l'abondance du nombre d'individus. Les noms des groupes représentent l'indice utilisé (Shannon) ainsi que le nombre d'espèces (ou taxons) incluses.

Groupe	Taxons inclus (maximum 45)	Nombre d'individus par quadrat-date
S-45	Tous	[0,0020, 49,8]
S-44	Tous sauf le peuplier	[0,0020, 6,9]
S-43	Tous sauf le peuplier et les <i>Carex</i> -graminées	[0,0020, 0,66]
S-38	Les 38 moins abondants	[0,0020, 0,25]
S-10	Les 10 plus abondants	[0,17, 49,8]
S-7	Les sept plus abondants	[0,25, 49,8]
S-6	Les sept plus abondants, sauf le peuplier	[0,25, 6,9]

La figure 3.16 montre que, lorsque les deux taxons principaux (peuplier et l'ensemble *Carex*-graminées) sont considérés (groupes S-45, S-10 et S-7), c'est à partir du 7 août que les trois bancs n'affichent plus une importante hétérogénéité et plafonnent près d'un indice de Shannon de 0,5. Comme pour bien d'autres résultats, le retrait de la variable *peuplier* modifie considérablement l'allure de la courbe (groupes S-44 et S-6). Cependant, dans le cas présent, on remarque que le retrait du groupe des *Carex*-graminées crée une nette différence, principalement en fin de saison sur les bancs Amt et Ctr, et durant toute la saison sur le banc Avl. En effet, alors que les groupes incluant peupliers et / ou *Carex*-graminées terminent la saison sensiblement dans les mêmes valeurs, les groupes sans ces deux variables (S-43 et S-38, c'est-à-dire avec ou sans les cinq autres espèces principales) atteignent des niveaux d'homogénéité élevés, soit au-delà de 0,80.

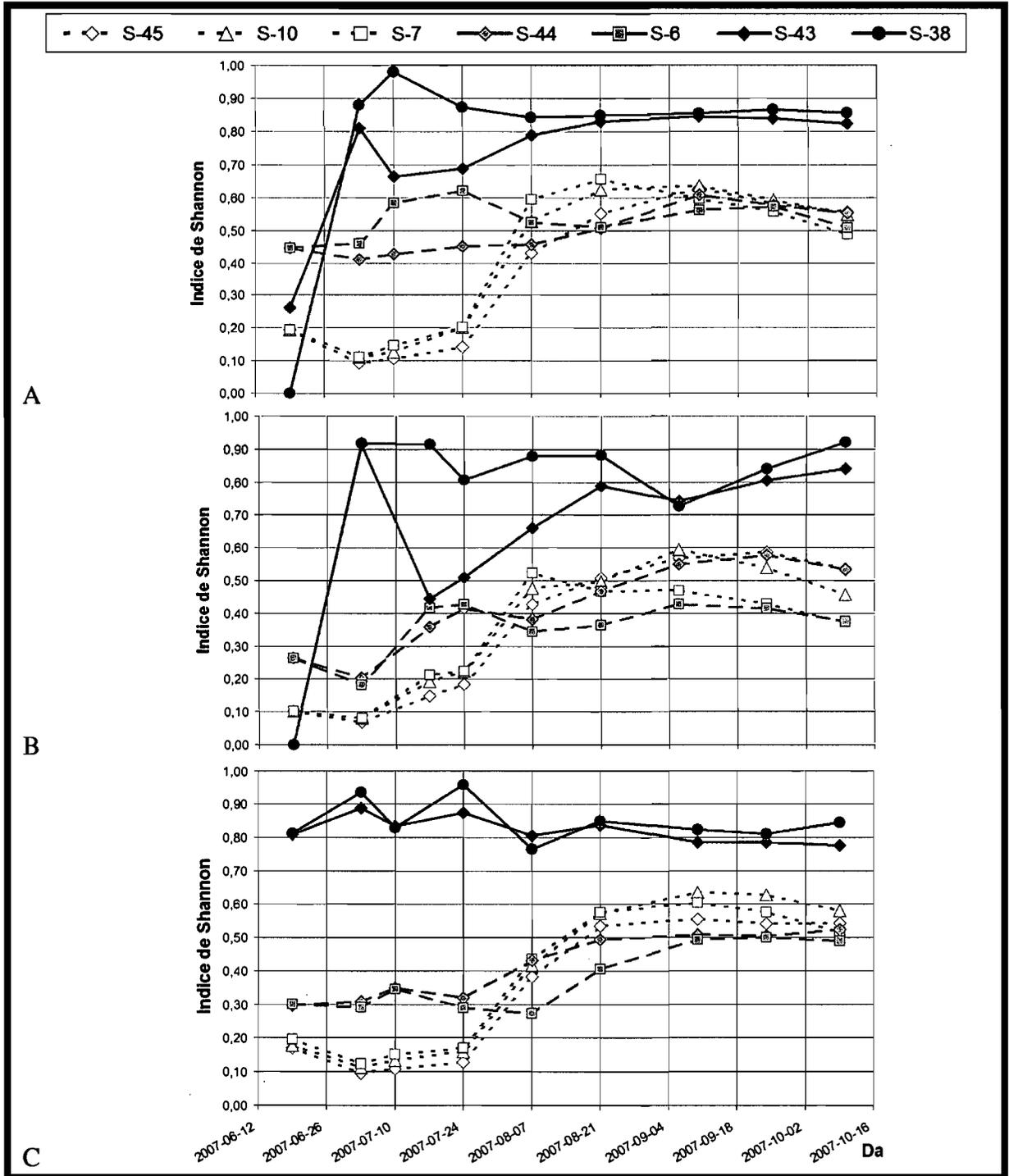


Figure 3.16. Variation de l'indice de Shannon au cours de la saison sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Les groupes représentés sont précisément définis au tableau 3.4 et en annexe.

La comparaison inter-bancs permet de constater que sur le banc Avl, les groupes S-43 et S-38 ont été très similaires toute la saison, alors qu'il faut attendre le 21 août pour voir un rapprochement entre ces deux mêmes groupes sur les bancs Amt et Avl. Les espèces

secondaires (c'est-à-dire les cinq plus abondantes après les deux principales) ont été moins influentes sur le banc Avl.

3.2.7. Conclusion sur les observations

Ces résultats montrent une colonisation tardive de la végétation sur les bancs alluviaux, le seuil maximal de toutes les variables étant atteint vers le 21 août. Ils présentent aussi certaines particularités sur les bancs dont des zones réagissant localement très différemment de l'ensemble de chaque banc. Ces distinctions ainsi que celles visibles en comparant les trois bancs doivent être évaluées sous un autre angle.

3.3. Facteurs explicatifs

3.3.1. Répartition spatiale de la granulométrie

La figure 3.3, présentée précédemment, montre que la granulométrie n'évolue que très peu durant la saison. Sur chaque banc, le pourcentage global de sédiments fins (moins de 63 micromètres (μm)) est stable de juin à septembre.

Cependant, la disposition de la proportion de sédiments fins de la tête à la queue de chaque banc varie d'un banc à l'autre. Sur le banc Amt, les plus hauts pourcentages en sédiments fins (autour de 10 %) se situent dans la portion aval (Fig. 3.3 ; Fig. 3.17). Sur les bancs Ctr et Avl, les valeurs maximales atteignent respectivement 20 % et 30 % en limon et argile et sont situées à la tête de chaque banc, principalement à proximité de la berge (Fig. 3.17). Ces points sont particuliers, car l'ensemble du banc se situe plutôt sous les 10 % de matériel fin.

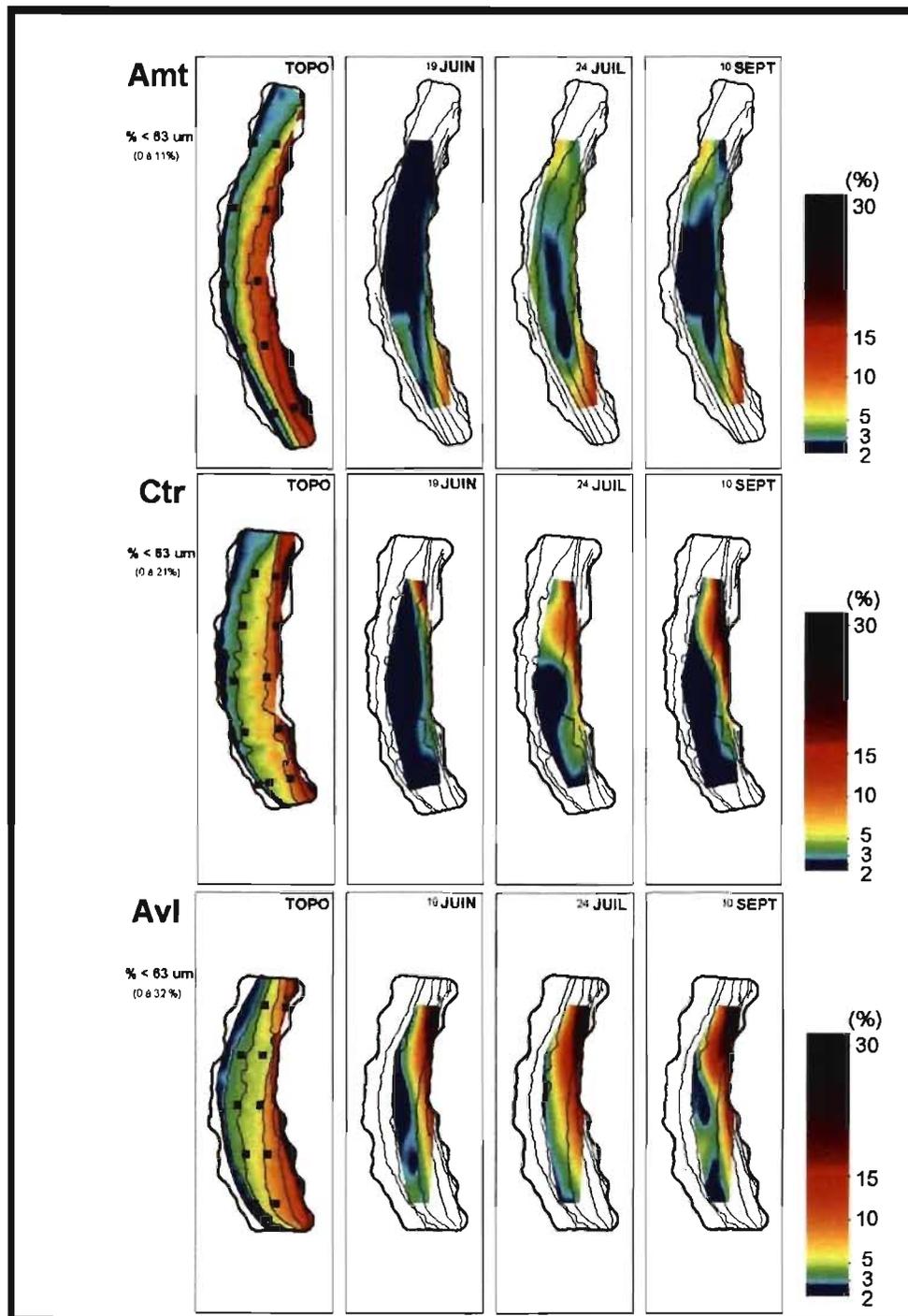


Figure 3.17. Distribution spatiale du pourcentage de sédiments fins dans les 10 premiers centimètres de la surface des bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. La valeur maximale pour chaque site est inscrite sous le code de trois lettres représentant chaque banc alluvial.

Les pourcentages de sédiments fins varient au cours de la saison, mais ces variations sont très faibles. Les changements ont eu lieu à la tête (Amt, Ctr) et sur la marge (Amt, Avl) des bancs, où le pourcentage de sédiments fins a augmenté sensiblement de juin à juillet, avant

de redescendre en septembre (Fig. 3.17). Ces variations sont cependant très faibles, passant d'environ 2 à 5 % sur chacun des milieux.

D'autre part, les représentations cartésiennes des valeurs des D_{50} et D_{95} montrent clairement une plus large répartition de sédiments de taille relativement élevée sur le banc Ctr comparativement aux deux autres (Fig. 3.18). Cependant, les trois bancs présentent une gradation latérale, de la berge à l'eau, de la taille moyenne des sédiments (D_{50} et D_{95}). Plus marquée sur les bancs Amt et Ctr, cette gradation représente une granulométrie plus fine à proximité de la berge et plus grossière en bordure de l'écoulement permanent.

Aussi, les bancs Amt et Avl possèdent en plus une légère gradation longitudinale (de la tête vers la queue) (Figure 3.18). Par contre, cette gradation est inversée dans les deux milieux, alors que les sédiments les plus fins sont situés à la queue du banc Amt mais à la tête du banc Avl.

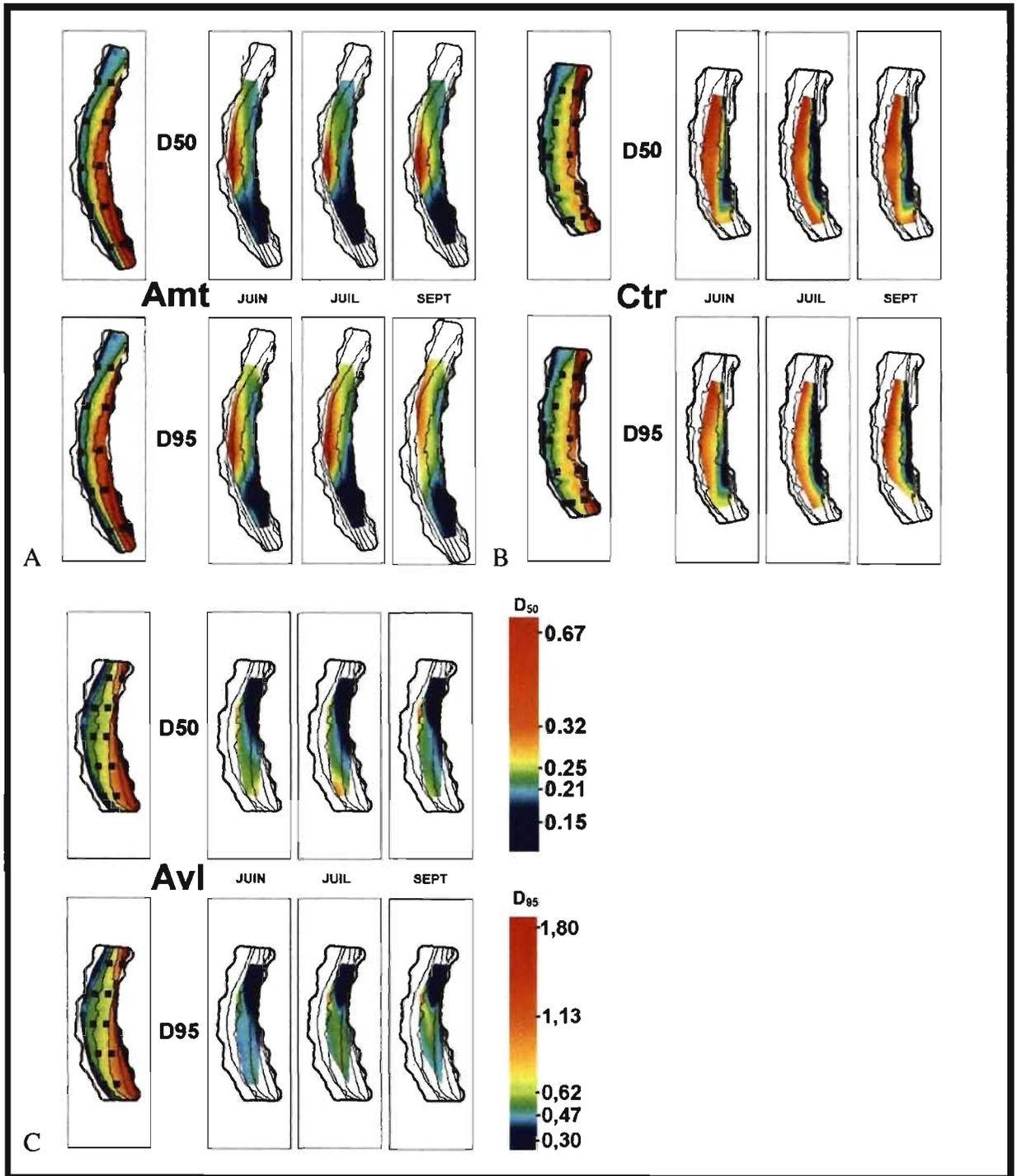


Figure 3.18. Représentation interpolée du D_{50} et D_{95} aux mois de juin, juillet et septembre sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. La largeur de chaque cadre est de 25 mètres.

3.3.2. Zones d'humidité

Lors des visites sur le terrain durant lesquelles une partie du banc était asséchée, la limite des zones sèches en surface a été notée (Fig. 3.19). Peu importe la nature des événements de pluie ou d'ensoleillement antécédents, les limites des zones sèches étaient relativement les mêmes à chaque date auxquelles elles ont été relevées (en juin, août et/ou septembre, selon chaque banc). Pour les bancs Amt et Avl, cette zone suit approximativement la topographie, c'est-à-dire que les milieux les plus élevés par rapport au niveau de l'eau (Fig. 3.1) sont ceux qui ne conservent pas l'humidité en surface. Sur le banc Ctr, c'est plutôt le cœur du site qui s'asséchait le plus rapidement, alors que les sections proches de l'eau et de la berge conservaient leur humidité.

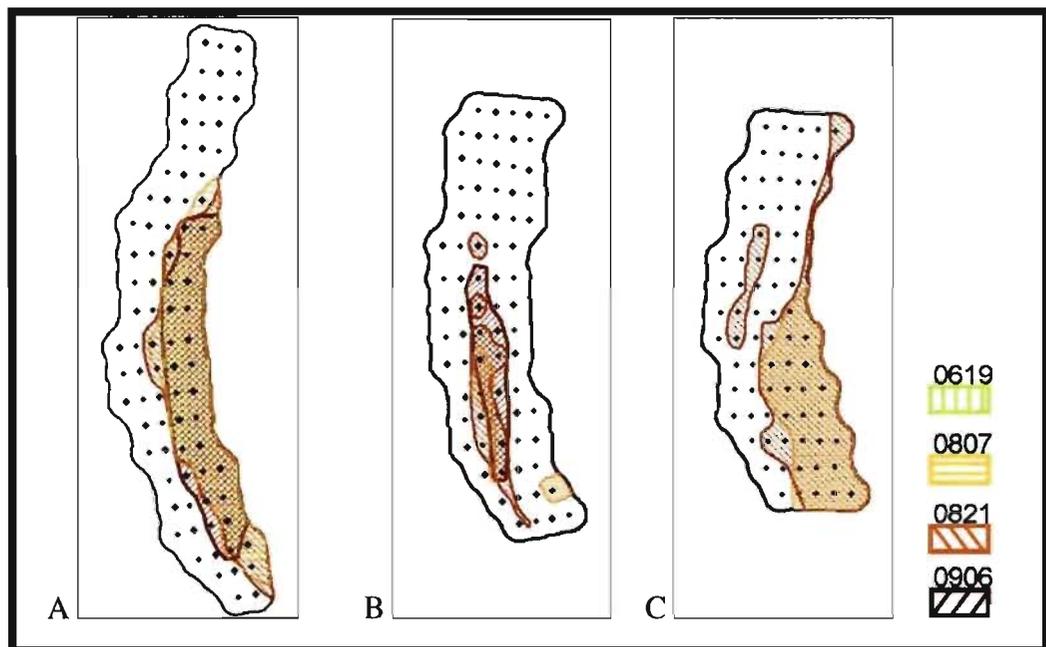


Figure 3.19. Zones où les sédiments de surface étaient secs lors des visites sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl. Les dates de la légende sont sous format MMJJ. Chaque cadre est d'une largeur de 25 m.

3.3.2.1. Humidité et végétation

L'humidité du sol ne semble pas liée avec la végétation en place. Une comparaison des limites des zones les plus sèches sur le banc au pourcentage de couverture de la végétation ne présente aucun lien notable (Fig. 3.20). Sur les trois bancs, les zones sèches sont couvertes par des pourcentages de végétation variant de moins de 5 % à plus de 75 %.

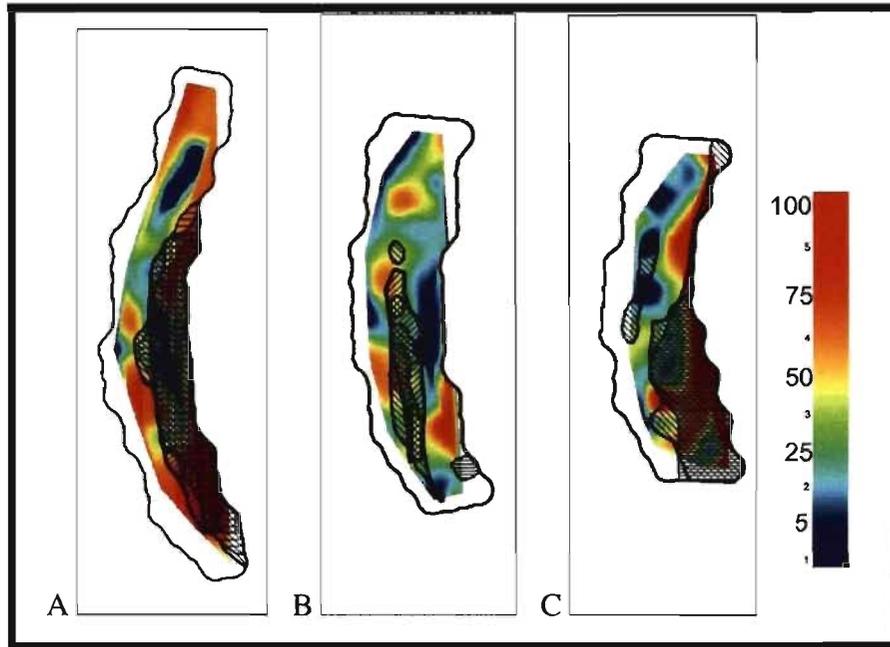


Figure 3.20. Superposition des zones sèches de différentes dates sur les cartes interpolées du pourcentage de couverture végétale des 24 et 25 septembre 2008. (A) Amt (0925), (B) Ctr (0924), (C) Avl (0924).

Cependant, il semble y avoir un lien négatif assez fort entre la surface asséchée du banc Amt et le nombre d'espèces en date du 21 août (Fig. 3.21-A), moment de l'année où l'indice de biodiversité de Shannon atteint un plateau sur les trois bancs (Fig. 3.16). Cette relation entre sécheresse et pauvreté de la biodiversité est toutefois complètement absente sur le banc Ctr, dont la zone sèche a un profil très différent des deux autres environnements étudiés (Fig. 3.21-B). Le banc Avl présente aussi une plus faible concentration d'espèces dans les zones sèches, mais de façon beaucoup moins nette (Fig. 3.21-C). Ces trois situations se répètent de manière amplifiée lors de l'association des zones sèches au nombre d'individus répartis sur le banc (Fig. 3.21-D; fig. 3.21-E; fig. 3.21-F). Dans ces cas, l'humidité du milieu est très positivement liée au nombre d'individus colonisant le banc Amt. Comme pour le nombre d'espèces, la relation inverse existe sur le banc Ctr, alors que l'ensemble de la zone la plus rapidement asséchée est couverte par plus de 20 plants par quadrat. Sur le banc Avl, quelques exceptions à la queue du banc amenuisent le lien direct entre l'absence de semis et la faible humidité de certains secteurs du banc.

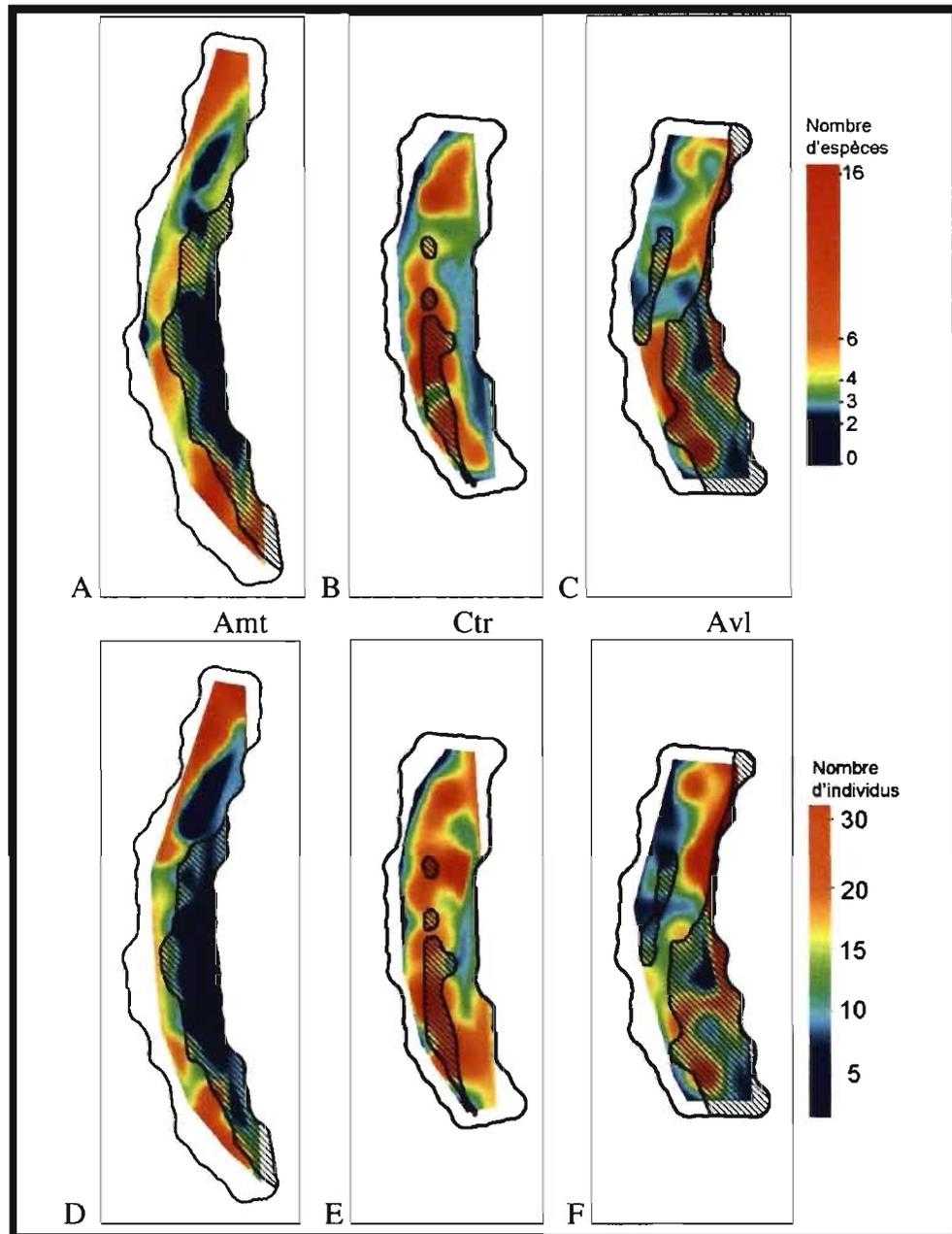


Figure 3.21. Superposition des zones sèches au 21 août 2007 sur les cartes interpolées du (A, B, C) nombre d'espèces et du (D, E, F) nombre d'individus (excluant le peuplier) par quadrat sur les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl.

3.3.2.2. Humidité et granulométrie

Une superposition des zones sèches aux cartes de granulométrie ne donne une correspondance intéressante que sur le banc Ctr (Fig. 3.22). La figure 3.22-B présente un lien entre un faible pourcentage de particules fines et un assèchement plus rapide de la surface du banc. Cette relation se répète sur la figure 3.22-E où la limite de la zone

asséchée suit relativement bien la division interpolée entre les sédiments fins (en bleu) et grossiers (en rouge).

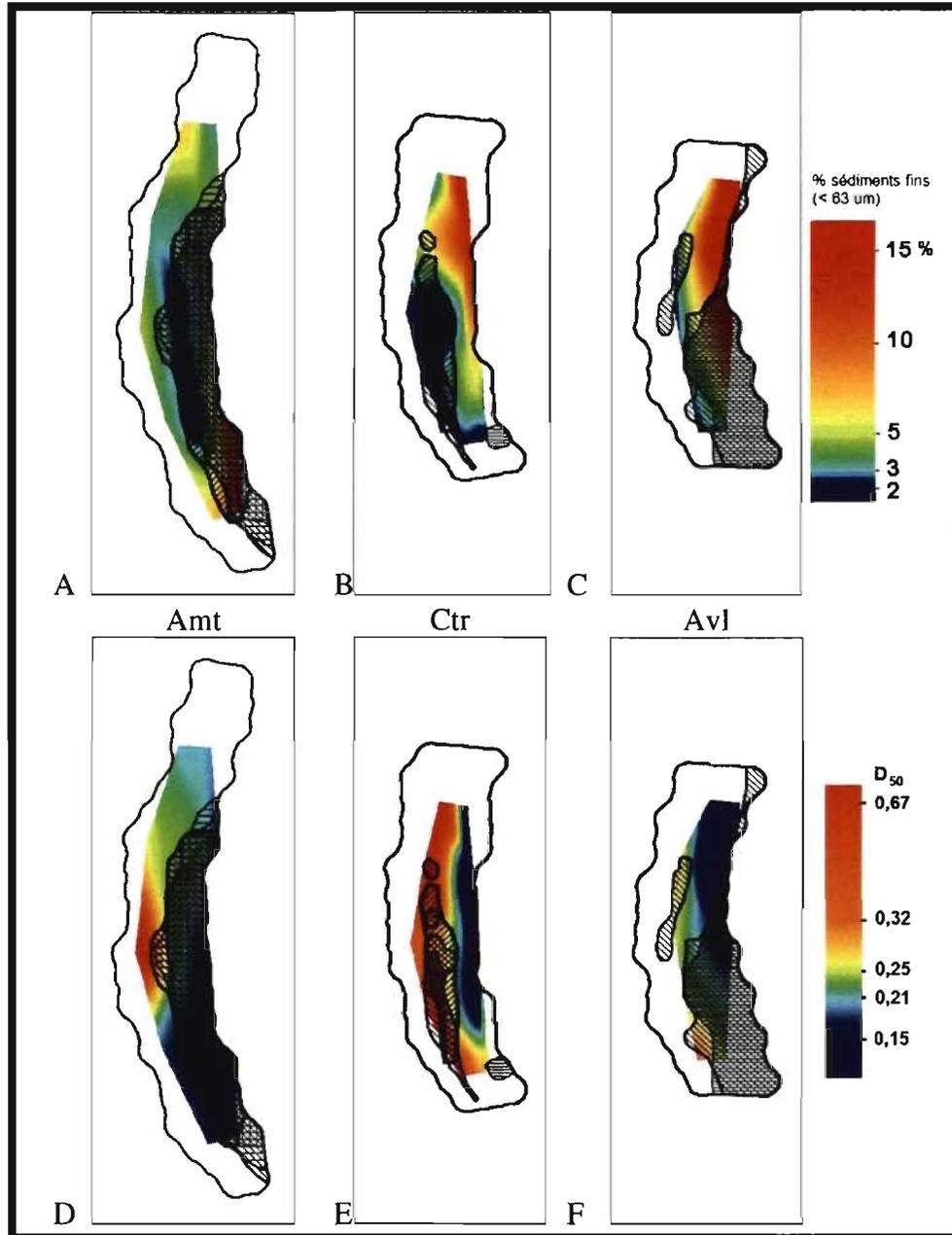


Figure 3.22. Superposition des zones sèches sur les cartes sédimentaires interpolées de juillet (A-B-C) du pourcentage de sédiments plus petits que 63 μm et (D-E-F) du D₅₀, pour les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl.

Le banc Avl correspond à la situation décrite sur le banc Ctr. La figure 3.22-C montre que la zone où un pourcentage relativement élevé en limon et argile a été observé, à la tête du banc, est restée humide lors des relevés. Sur la figure 3.22-F, cette même zone montre aussi un faible D₅₀.

Le banc Amt affiche une toute autre réalité, car les zones sèches ne semblent aucunement liées au pourcentage de particules fines (Fig. 3.22-A) et liées de manière contraire à ce que l'on observe sur le banc Ctr au niveau du D_{50} (Fig. 3.22-D; fig. 3.22-E).

Ainsi, les bancs Ctr et Avl tendent à présenter un lien au moins partiel entre la taille des sédiments et le maintien de l'humidité par les particules plus fines. Sur le banc Amt, cette relation n'est pas présente. Elle s'explique possiblement par le plus petit écart entre les plus fines et plus grossières particules, ainsi que par le plus faible pourcentage maximal de limon et argile dans un même échantillon (autour de 10 %, comparativement à des valeurs maximales de 20 % et 30 % pour les bancs Ctr et Avl).

3.3.3. L'altitude

3.3.3.1. *Nombre de plants par quadrat*

En plus du rôle de la taille des particules, l'altitude des quadrats pourrait être étroitement liée au niveau d'humidité. La figure 3.23 affiche, pour les quadrats ayant été inventoriés durant l'ensemble de la période d'échantillonnage, le nombre d'individus présents selon l'altitude des quadrats lors de tous les relevés. Les peupliers ont été exclus. La taille des cercles n'a aucune signification précise et ne sert qu'à bien tous les discerner.

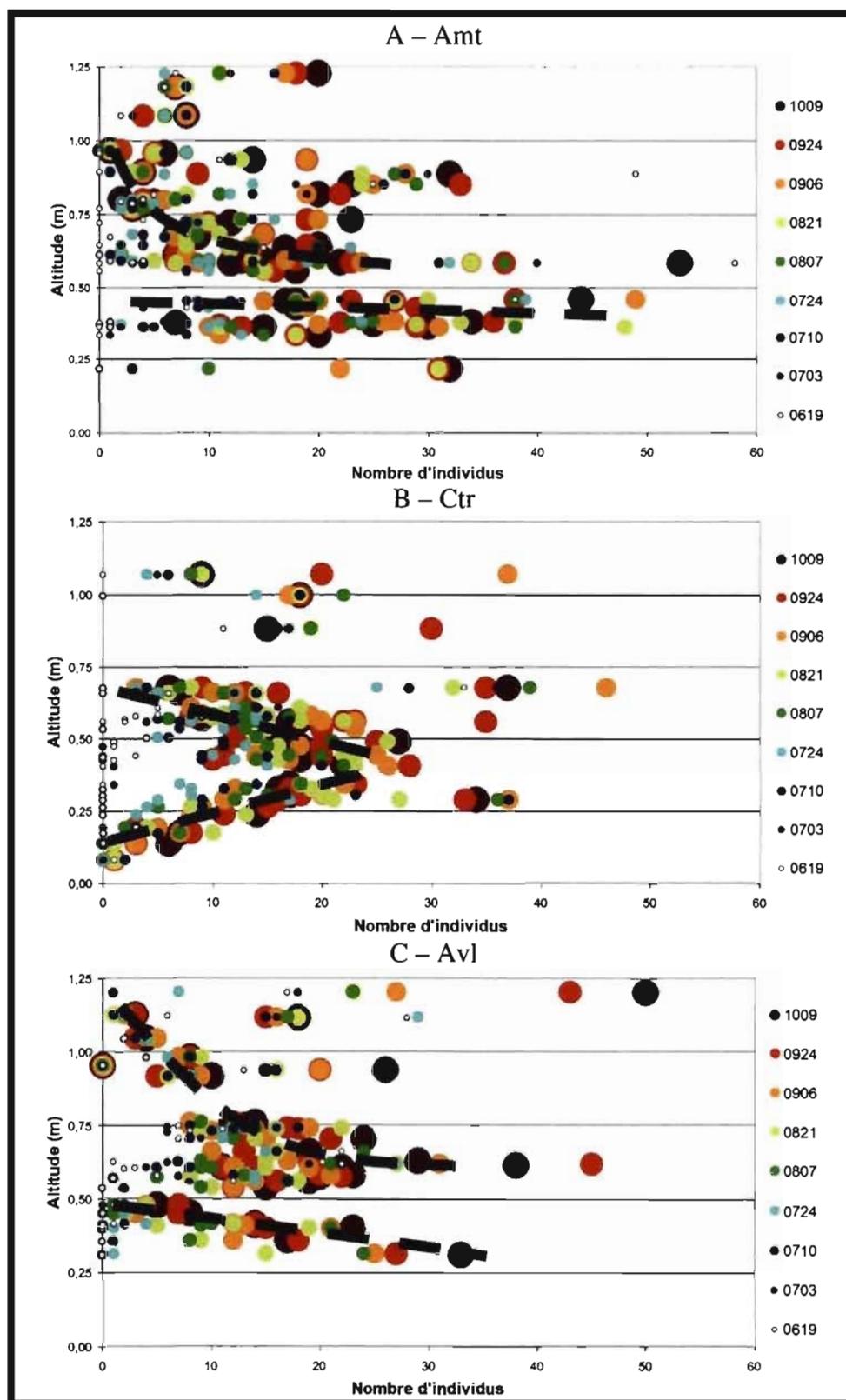


Figure 3.23. Relation entre l'altitude des quadrats et le nombre d'individus croissant à l'intérieur de ceux-ci. Seuls les quadrats ayant été présents à tous les relevés sont affichés. La taille des cercles n'a aucune signification et ne sert qu'à bien distinguer les différentes dates. (A) Amt, (B) Ctr, (C) Avl.

C'est sur le banc Ctr que l'altitude semble avoir l'impact le plus significatif sur le nombre d'individus (Fig. 3.23-B). En effet, la forme triangulaire pointant vers la droite évoque l'établissement d'un plus grand nombre d'individus aux altitudes moyennes du banc, peu importe le secteur ou la date. Les quadrats en haute ou basse altitude ont globalement soutenu moins d'individus. Sur le banc Amt, deux environnements différents sont visibles. Certains quadrats, situés à quelque 30 cm d'altitude (par rapport au niveau d'eau minimal) ont été colonisés de manière stable, alors que la végétation colonisant plus loin de l'écoulement permanent s'est agglomérée surtout dans les quadrats placés vers 60 cm d'altitude. Quant au banc Avl, bien que le quadrat ayant soutenu le plus grand nombre d'individus soit aussi le plus élevé en altitude (Fig. 3.23-C) (avec un maximum atteint au dernier inventaire avant la submersion automnale), ce sont les quadrats d'altitudes basse et moyenne qui ont été colonisés par le plus grand nombre d'individus. Comme sur le banc Amt, une tendance négative semble se dessiner entre l'altitude et le nombre d'individus.

Comparés les uns aux autres, les trois bancs montrent une concentration maximale sensiblement au même endroit, soit entre 15 et 20 individus par quadrat (aire de 0,09 m²), avec des quantités maximales similaires variant de 46 à 58 individus, toutes espèces confondues. Observées date par date, ces relations n'ont montré aucune relation claire.

3.3.3.2. *Nombre d'espèces*

Les relations entre l'altitude et le nombre d'espèces (Fig. 3.24) sont similaires à celles liant l'altitude à l'abondance d'individus, ce qui corrobore la relation entre les deux variables de végétation (Fig. 3.12). Sur le banc Amt, la biodiversité maximale survient aux altitudes moyennes et basses sur le banc, alors que les plus bas et plus hauts quadrats sont moins diversifiés (Fig. 3.24-A). Sur le banc Ctr, moins l'altitude est élevée, plus la biodiversité est importante (Fig. 3.24-B). Sur le banc Avl, seuls trois quadrats ont dépassé huit espèces différentes, et ceux-ci se situent dans la moitié basse en altitude (Fig. 3.24-C).

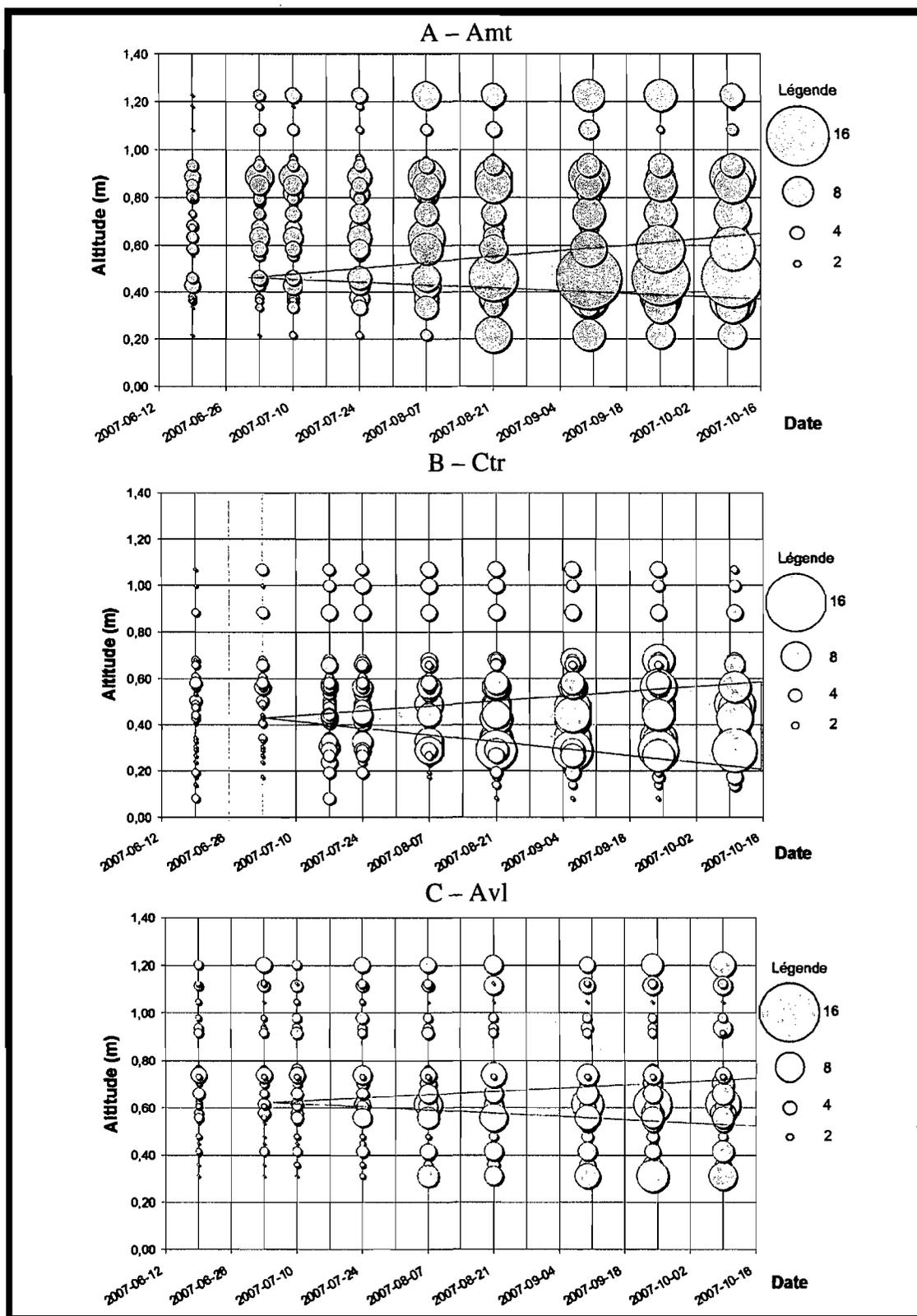


Figure 3.24. Évolution du nombre d'espèces sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl selon l'altitude des quadrats (par rapport au niveau modal de l'écoulement). Seuls les quadrats ayant été inventoriés à tous les relevés sont présentés. La taille des cercles est proportionnelle au nombre d'espèces.

Le lien montré sur la figure 3.24 indique l'existence d'une position altitudinale optimale favorisant une croissance végétale plus diversifiée. Cette position est évaluée autour de 30 centimètres au-dessus du niveau du plus bas quadrat. Cette altitude est légèrement supérieure à celle atteinte par les quatre crues mineures survenues durant l'été (Fig. 3.5). La colonisation serait donc à la fois positivement influencée par la proximité de l'eau, mais très peu résistante aux inondations mineures. Le banc Ctr a tout de même soutenu quelques quadrats diversifiés ayant subi ces inondations.

3.3.4. L'ensoleillement des bancs

Les bancs alluviaux étaient au départ considérés comme des milieux ouverts dans un corridor fluvial libre de couverture végétale. Cependant, l'étroitesse de la rivière Yamachiche (de 20 à 25 mètres) et la couverture végétale de ses berges ont pu engendrer une influence de l'ombre sur les bancs étudiés. L'orientation de ces derniers et la proximité de la végétation pérenne ont été les deux facteurs majeurs quant à la superficie des sites soumis à un ensoleillement de durée variée.

Alors que les bancs Amt et Avl étaient tous deux orientés au sud-ouest, donc plus exposés au soleil, le banc Ctr faisait principalement face au nord-ouest (Tabl. 3.5). En milieu complètement ouvert, cette distinction n'aurait pas été très influente, car les berges, qui sont de 0,5 à 1,5 mètre plus hautes que les bancs, ne sont pas suffisamment surélevées pour y projeter elles-mêmes une ombre importante. Par contre, sur la plaine inondable qu'est le delta de la rivière Yamachiche, la forêt, principalement composée de peupliers baumiers et deltoïdes matures, est d'une hauteur estimée à 20 mètres.

Tableau 3.5. Orientation des bancs (perpendiculairement à l'écoulement) et proximité des arbres de la plaine inondable à partir du replat de la berge.

Banc	Orientation	Orientation (°)	Proximité des arbres (m)
Amt	sud-ouest	198 à 218	6 à 12
Ctr	nord-ouest	322 à 332	1 à 4
Avl	sud-ouest	238 à 240	0 à 4

Cette proximité est marquée pour les bancs Ctr et Avl (Tabl. 3.5). Par contre, l'orientation du banc Ctr lui crée un ombrage beaucoup plus important car les rayons ne proviennent presque jamais du côté opposé de la rivière (nord-ouest). À l'inverse, le banc Avl est pleinement ensoleillé dès le milieu de la journée, alors que la végétation établie sur sa berge

connexe n'interfère plus avec le rayonnement. Enfin, le banc Amt est celui avec les conditions d'ensoleillement les plus favorables. Ce banc alluvial, en plus d'être celui dont l'orientation est la plus au sud (Tabl. 3.5), n'a aucune végétation haute à proximité immédiate sur la berge convexe. Cette absence permet aux rayons solaires matinaux, qui arrivent de l'est, d'atteindre rapidement le banc alluvial, ce qui aura pour autres effets l'évaporation plus rapide de la rosée.

Un dernier facteur, sensiblement moins important en milieu fluvial, est la proximité des arbres sur la berge opposée. Dans la situation actuelle, la présence d'une zone défrichée en face du banc Avl lui offre une exposition prolongée en fin de journée, ce dont ne profite pas le banc Amt, dont la berge concave soutient un peuplement forestier.

Ainsi, l'orientation du banc a probablement joué un rôle dans la répartition des zones sèches et humides sur les bancs (Fig. 3.19). Le banc Ctr est l'exemple le plus certain, car il est le seul des trois dont la section à proximité de la berge, qui a été beaucoup plus ombragée, ne s'est pas asséchée. Cette humidité plus élevée semble avoir favorisé l'établissement végétal, car le banc Ctr n'a presque pas connu de zones vides au cœur du banc quant au nombre d'individus, contrairement aux bancs Avl et surtout Amt (Fig. 3.9). Cependant, le manque de lumière aurait nui au développement de la végétation à proximité de la berge, d'où la faible couverture pour les quadrats se situant dans cette section (Fig. 3.6).

Au niveau global, le plus faible ensoleillement sur le banc Ctr, sensé nuire aux espèces colonisatrices optant généralement pour une stratégie-r (MacArthur et Wilson, 1967), ne semble pas avoir eu un impact négatif sur la colonisation végétale, car le nombre d'individus ayant colonisé le banc Ctr n'est pas différent de ceux des autres bancs (Fig. 3.23). De plus, le banc Ctr est celui ayant accueilli le plus grand nombre d'espèces différentes au cours de la saison (Tabl. 3.2). La situation particulière du banc Ctr a peut-être permis l'établissement d'espèces de stratégie-K, lesquels n'ont pas eu à attendre une influence positive d'espèces pionnières qui sont habituellement leurs prédécesseurs.

3.4. Regroupements par associations

3.4.1. Les secteurs *Tête, Cœur, Queue* (TCQ)

Le sous-échantillonnage ayant permis de construire une banque de données de 18 quadrats par banc, soit six par secteur (voir chapitre 2.4.5), est représentatif de l'ensemble des quadrats. Comparés aux autres quadrats de chaque secteur (même ceux ayant été ajoutés plus tard en saison et ne suivant pas nécessairement le même rythme de croissance végétale), les tests de *t* ont montré que les différences n'étaient généralement pas significatives entre les quadrats choisis et les autres (Tabl. 3.6).

Tableau 3.6. Nombre de comparaisons significativement différentes ($\alpha = 0,05$) entre les sous-échantillons et les quadrats non-sélectionnés, pour chaque banc, à chaque relevé. Le nombre est basé sur neuf comparaisons (une par relevé). * Pour Ctr – PrCt, seulement huit relevés ont pu être comparés.

Banc	Variable	Nombre	Banc	Variable	Nombre	Banc	Variable	Nombre
Amt	PrCt	0	Ctr	PrCt	0*	Avl	PrCt	0
Amt	NbSp	3	Ctr	NbSp	0	Avl	NbSp	0
Amt	NbPltsT	2	Ctr	NbPltsT	0	Avl	NbPltsT	1
Amt	NbPltsS	4	Ctr	NbPltsS	0	Avl	NbPltsS	0

En analysant la colonisation végétale sur les trois secteurs (*tête, cœur, queue*), quelques particularités apparaissent. Dans chaque cas, deux des trois secteurs réagissent de manière similaire, alors que le troisième fait exception. Par contre, les deux secteurs semblables ne sont pas les mêmes sur les trois bancs (Fig. 3.25). Sur le banc Amt, le cœur a été beaucoup moins colonisé que les extrémités du banc. Sur le banc Ctr, c'est la queue du banc qui a connu la plus faible colonisation. Sur le banc Avl, la tête de banc se démarque par le très grand nombre d'individus s'étant ajoutés au fil de la période d'observations, alors que le cœur et la queue ont beaucoup moins progressé (Fig. 3.25-A). Les exceptions décrites s'appliquent aussi quant à la biodiversité des milieux, car les patrons du nombre d'espèces suivent les mêmes tendances que ceux du nombre d'individus (Fig. 3.25-B).

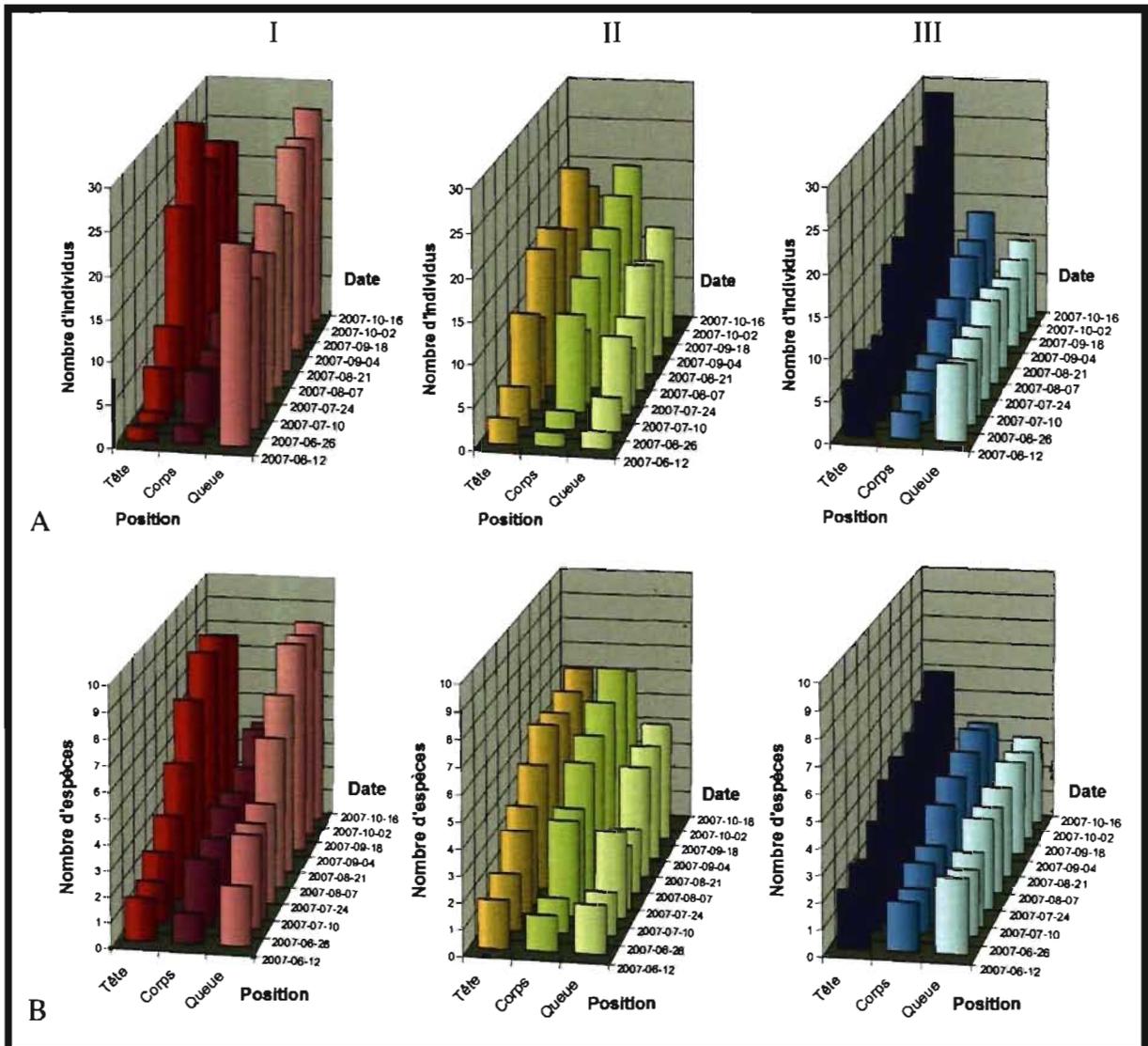


Figure 3.25. Représentations de l'évolution du (A) nombre d'individus (excluant le peuplier) et du (B) nombre d'espèces sur les bancs (I) Amt, (II) Ctr et (III) Avl selon le secteur. Le terme *Corps* équivaut au secteur *Cœur* des bancs.

3.4.2. Utilisation de l'analyse multivariée

Deux analyses multivariées ont été appliquées aux données recueillies dans le but de définir des groupes d'espèces réagissant selon la même dynamique spatio-temporelle : l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse canonique de correspondances (ACC). La première analyse (ACP) compare les espèces présentes dans chaque quadrat d'après leur nombre d'individus. La seconde (ACC) a tenté d'associer les diverses espèces aux conditions environnementales observées dans le cadre de ce projet.

3.4.2.1. *Analyse en composantes principales*

Une répétition de cette analyse à chacun des neuf relevés a permis d'obtenir, pour chaque banc, neuf graphiques de positionnement des espèces les unes par rapport aux autres. Malheureusement, dans la majorité des analyses, aucun regroupement n'a pu être défini clairement (Fig. 3.26-A). Certaines analyses présentent tout de même des ensembles relativement bien définis généralement divisés en trois groupes (Fig. 3.26-B). Cependant, les espèces réunies à l'intérieur d'un même groupe lors d'un relevé devenaient indifférentes ou opposées au relevé suivant. Ces changements brusques reflètent la variabilité de la dynamique végétale ayant cours sur un banc alluvial. Ce milieu récemment découvert des eaux est disponible simultanément pour un très grand nombre d'espèces dont les stratégies de colonisation distinctes semblent empêcher les relations statistiques multivariées. Les associations stables d'espèces évoluant de manière similaire sont ainsi très difficiles à définir par l'analyse multivariée, car de nombreuses espèces n'ont fait que des incursions de deux à quatre semaines durant la saison. De ce fait, aucun groupe d'espèces réagissant selon le même rythme n'a pu être noté par cet outil. De plus, les pourcentages explicatifs des deux axes principaux ne dépassent jamais 15% de la variance totale. Ces faibles valeurs expriment la pauvreté des quelques relations légèrement visibles.

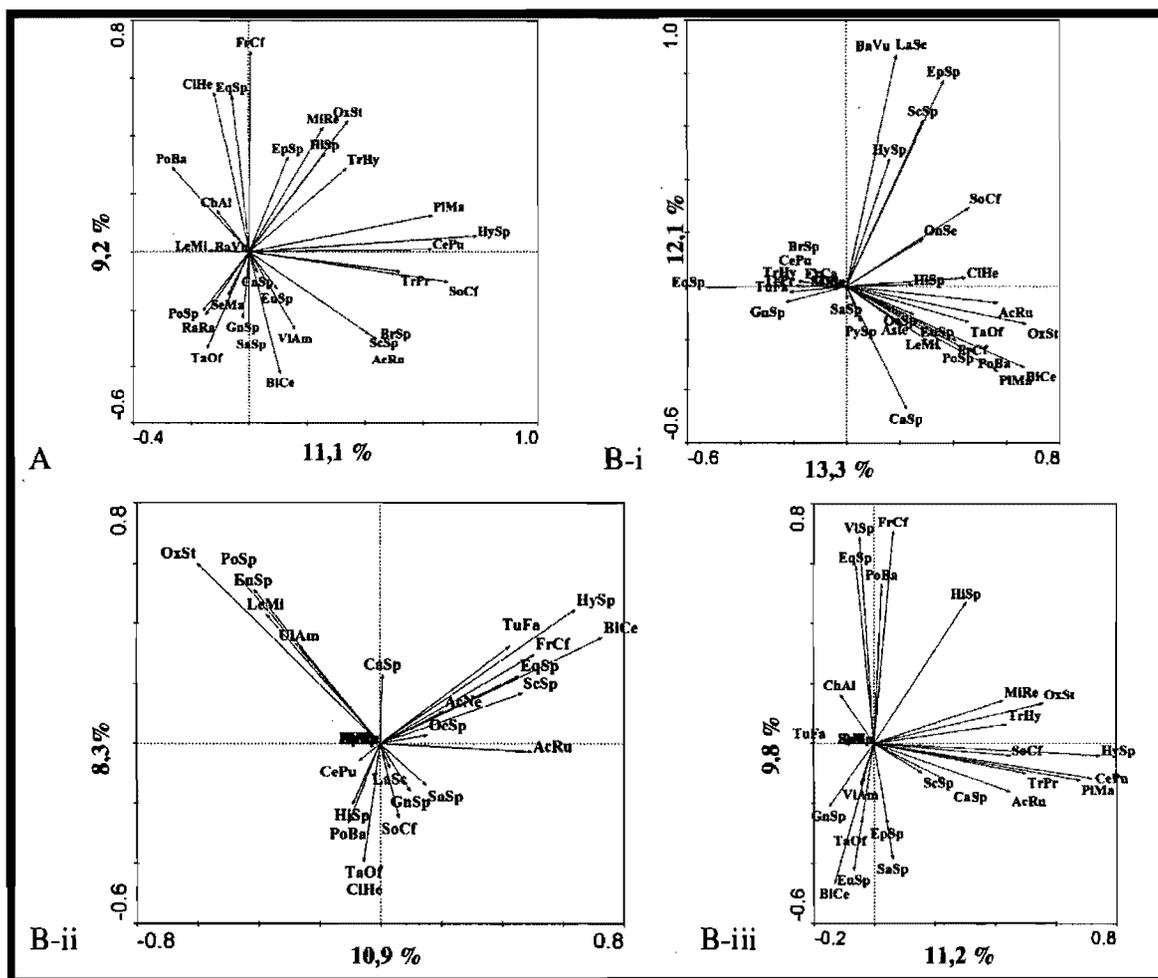


Figure 3.26. Exemples tirés des résultats de l'ACP appliquée aux données du nombre d'individus de chaque espèce à l'intérieur des quadrats à l'étude. A) Banc Avl le 24 septembre. B) Exemples de résultats utilisant le nombre d'individus par espèce pour lesquels les espèces se sont divisées en trois groupes. B-i : banc Amt le 10 octobre ; B-ii : banc Ctr le 7 août ; B-iii : banc Avl le 9 octobre. Les pourcentages explicatifs de la variance sont présentés directement sur les axes.

3.4.2.2. Analyse canonique des correspondances

Cette seconde analyse n'a pas fourni les résultats escomptés, car aucun signe de regroupement important n'a pu être décelé (Fig. 3.27). De plus, la variance expliquée par les variables environnementales est faible. Les quelques espèces semblant être liées aux variables externes sont des cas d'exceptions que nous devons qualifier d'aléatoires, car il s'agit, par exemple, d'individus uniques ou très peu nombreux ayant réussi à coloniser un seul des trois bancs (par exemple, *Chenopodium album* (ChAl) et *Vicia americana* (ViAm) à la fig. 3.27-B).

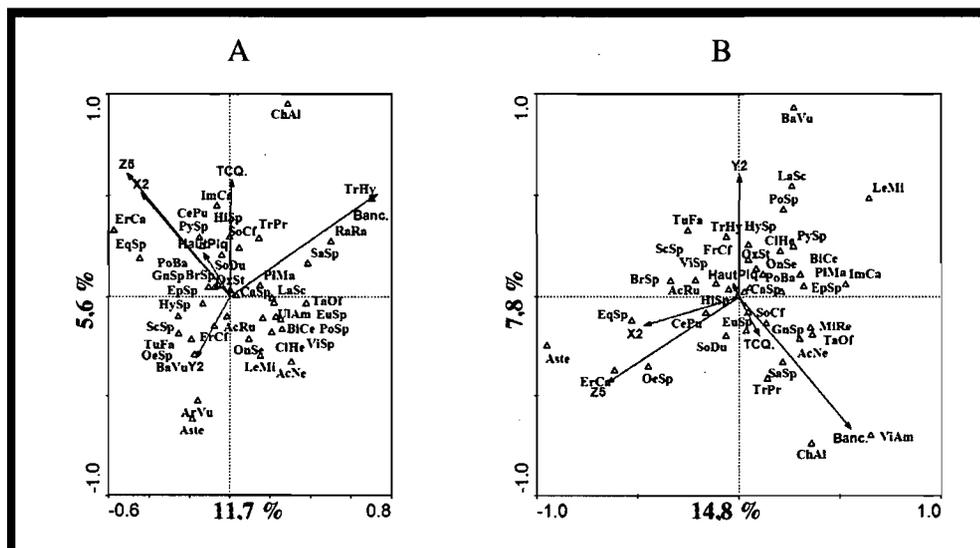


Figure 3.27. Représentation graphique de l'analyse canonique des correspondances du (A) 21 août et des (B) 9 et 10 octobre 2007 sur les trois sites étudiés regroupés. Les points triangulaires représentent les espèces par leur abréviation, alors que les flèches représentent les valeurs extérieures (voir la liste des abréviations en pages xiv et xv). Les pourcentages de la variance expliquée sont présentés directement sur les graphiques.

L'utilisation de l'analyse canonique des correspondances a donc été complexifiée par la quantité beaucoup trop grande de variables considérées. Devant une telle banque de données spatio-temporelles, il faudrait prendre soin de diviser les différentes variables selon le type et la force de l'influence qu'elles peuvent avoir les unes sur les autres. L'analyse canonique des correspondances serait alors appliquée, par exemple, pour un seul relevé d'un seul banc. Dans la poursuite des objectifs de ce projet, ces analyses n'ont pas été jugées utiles.

Ainsi, les analyses multivariées ACP et ACC, appliquées de manière générale sur les milieux étudiés, n'offrent pas de perspectives suffisamment encourageantes nous incitant à poursuivre dans cette voie statistique.

3.4.3. Analyse par nuées dynamiques

Afin de visualiser les données différemment, nous avons choisi l'analyse par nuées dynamiques. Une analyse statistique par nuées dynamiques basée sur le nombre d'individus colonisant le milieu, d'après le sous-échantillon *TCQ*⁵, a montré que, malgré divers essais, il est impossible de former plusieurs groupes distincts dans lesquels se divisent les espèces

⁵ TCQ : Tête-Cœur-Queue. Ce sous-échantillonnage est décrit au chapitre 2.4.5.

de manière relativement égale. Une forte majorité d'espèces forme toujours un très grand groupe, alors que les autres regroupements ne comptent qu'une ou deux espèces (Tabl. 3.7). Considérant la dichotomie de l'évolution du peuplier et des autres espèces (Fig. 3.8), il est normal que cette espèce forme un groupe à elle seule. Mais comme le présente le tableau 3.7, même en retirant le peuplier, le peuplier et le duo *Carex*-graminées, les sept ou même les dix principales espèces, plus de 75 % des espèces traitées se réunissent dans un même groupe. Ces résultats supposent que de trop grandes divergences existent entre les nombreuses espèces considérées, ce qui rend impossible de les regrouper entre elles par cette méthode.

Tableau 3.7. Nombre d'espèces classées dans le groupe principal lors d'une analyse par nuées dynamiques visant à distinguer des groupes d'espèces réagissant similairement.

Espèces incluses	Nombre de groupes	Nombre d'espèces	Banc	Nombre max. dans un groupe	Proportion d'espèces dans le plus gros groupe
Toutes	3	45	Amt	43	0,96
			Ctr	38	0,84
			Avl	43	0,96
Sauf PoBa	3	44	Amt	42	0,96
			Ctr	42	0,96
			Avl	42	0,96
Sauf PoBa et CaSp	3	43	Amt	34	0,79
			Ctr	39	0,91
			Avl	41	0,95
Sauf 7 principales	3	38	Amt	34	0,90
			Ctr	34	0,90
			Avl	36	0,95
Sauf 10 principales	3	35	Amt	27	0,77
			Ctr	33	0,94
			Avl	33	0,94
Les 10 principales	3	10	Amt	8	0,80
			Ctr	8	0,80
			Avl	8	0,80
Les 7 principales	3	7	Amt	5	0,71
			Ctr	5	0,71
			Avl	5	0,71
Toutes	10	45	Amt	31	0,69
			Ctr	30	0,67
			Avl	35	0,78
Toutes	2	45	Amt	44	0,98
			Ctr	44	0,98
			Avl	44	0,98

3.4.3.1. Classes de quadrats-dates⁶ par nuées dynamiques

Afin de catégoriser la dynamique végétale d'un autre point de vue, nous avons évalué les quadrats-dates en tant qu'échantillons indépendants. La comparaison de tous les quadrats-dates entre eux offre un portrait visuel de la dynamique de la végétation au cours de la

⁶ Rappel de la définition donnée à «quadrat-date» (chap. 2.4.4) : Un quadrat donné à une date donnée. Ainsi, un même quadrat lors de deux relevés différents est compté comme étant deux quadrats-dates.

saison. Le partitionnement par nuées dynamiques (*K-means Cluster Analysis*), en utilisant le nombre d'individus de chaque espèce dans chaque quadrat, a permis de distinguer trois classes (ou *groupes*) de quadrats-dates, dont deux sont dominantes. Le choix de trois classes a été fait, parmi plusieurs essais, pour sa bonne représentativité de la dynamique végétale. Chaque classe réunit les quadrats-dates dont la dynamique végétale, d'après le nombre d'individus de chaque espèce présente, est similaire. La figure 3.28 affiche le résultat de ce partitionnement en comptabilisant le nombre de quadrats regroupés dans chaque classe à chaque date.

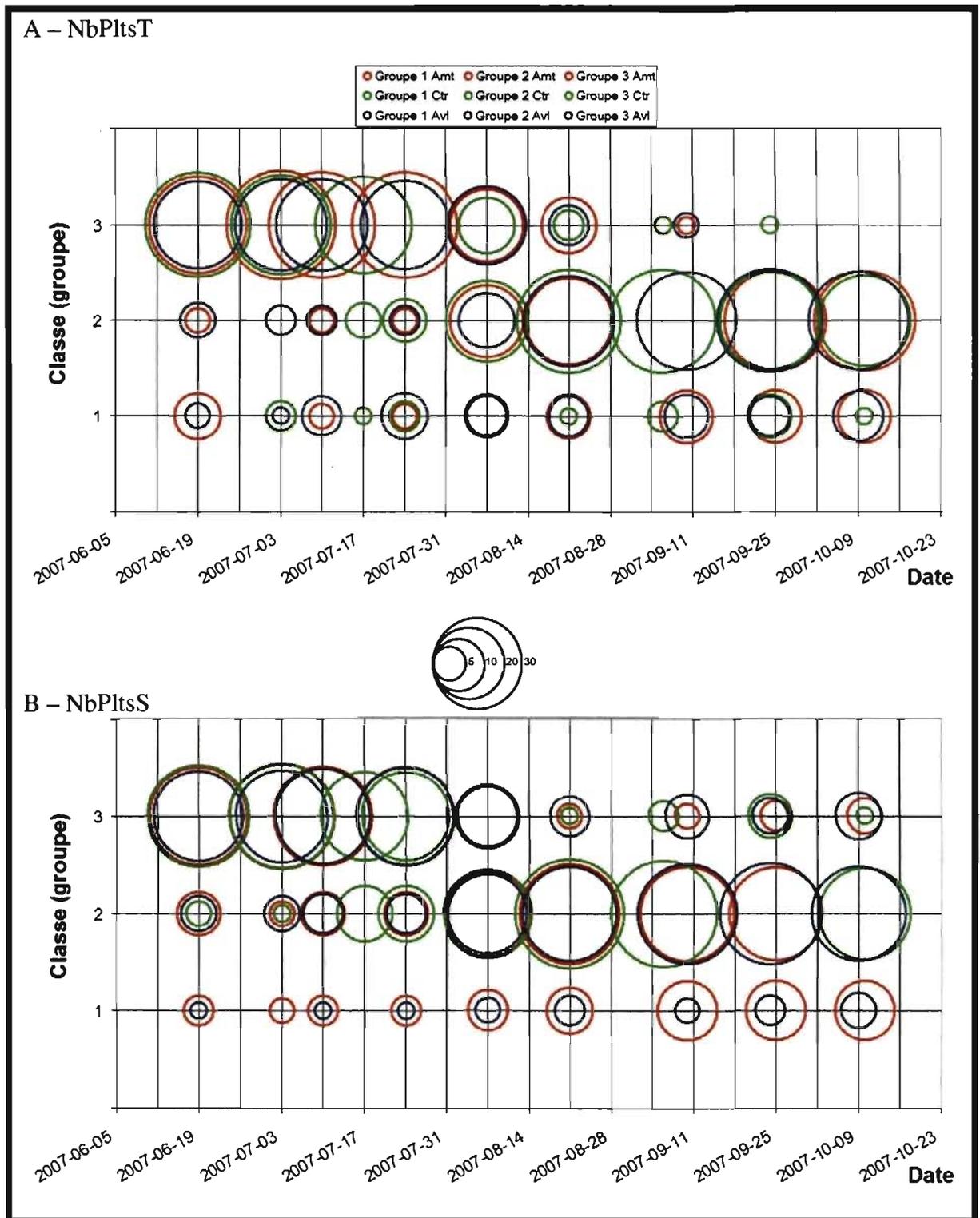


Figure 3.28. Représentation temporelle du partitionnement par nuées dynamiques en (A) considérant toutes les espèces et (B) excluant le peuplier. La taille des cercles correspond au nombre de quadrats-dates présents dans chaque classe, l'axe des ordonnées distingue les trois classes alors que les couleurs différencient les trois bancs.

La figure 3.28-A montre clairement que la saison a été marquée par deux périodes distinctes. Bien que la coupure en milieu de saison, où l'on passe du groupe 3 au groupe 2, corresponde à la période de l'année associée à la quasi disparition du peuplier (Fig. 3.8), la répétition de ce classement en ne considérant pas le peuplier offre un résultat sensiblement identique (Fig. 3.28-B).

En affichant ces groupes géographiquement sur chacun des bancs (Fig. 3.29), le changement majeur survenu entre la fin de juillet et le début d'août apparaît clairement. Cette coupure temporelle avait été constatée précédemment sous forme graphique par l'évolution de la végétation durant la saison (Fig. 3.8). Dans ce cas-ci, la dynamique spatiale du changement survenu est visible.

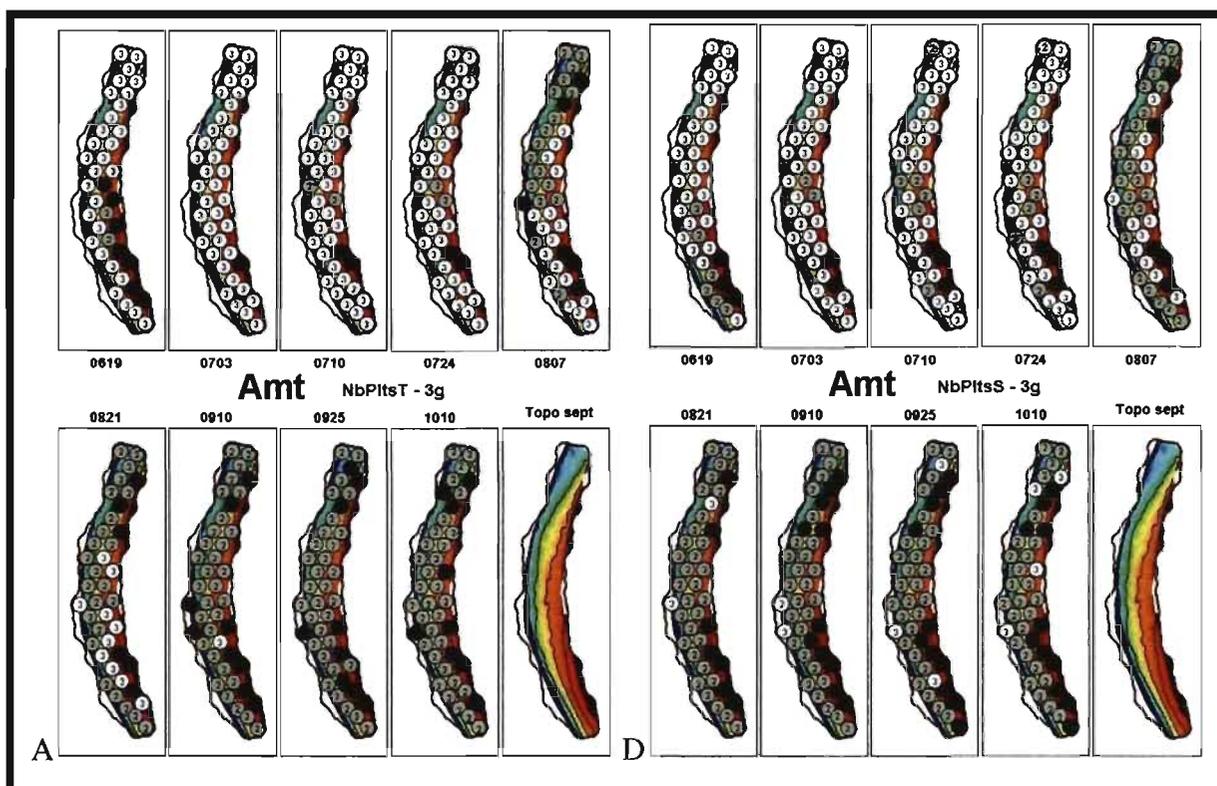


Fig. 3.29. Voir la légende à la page suivante.

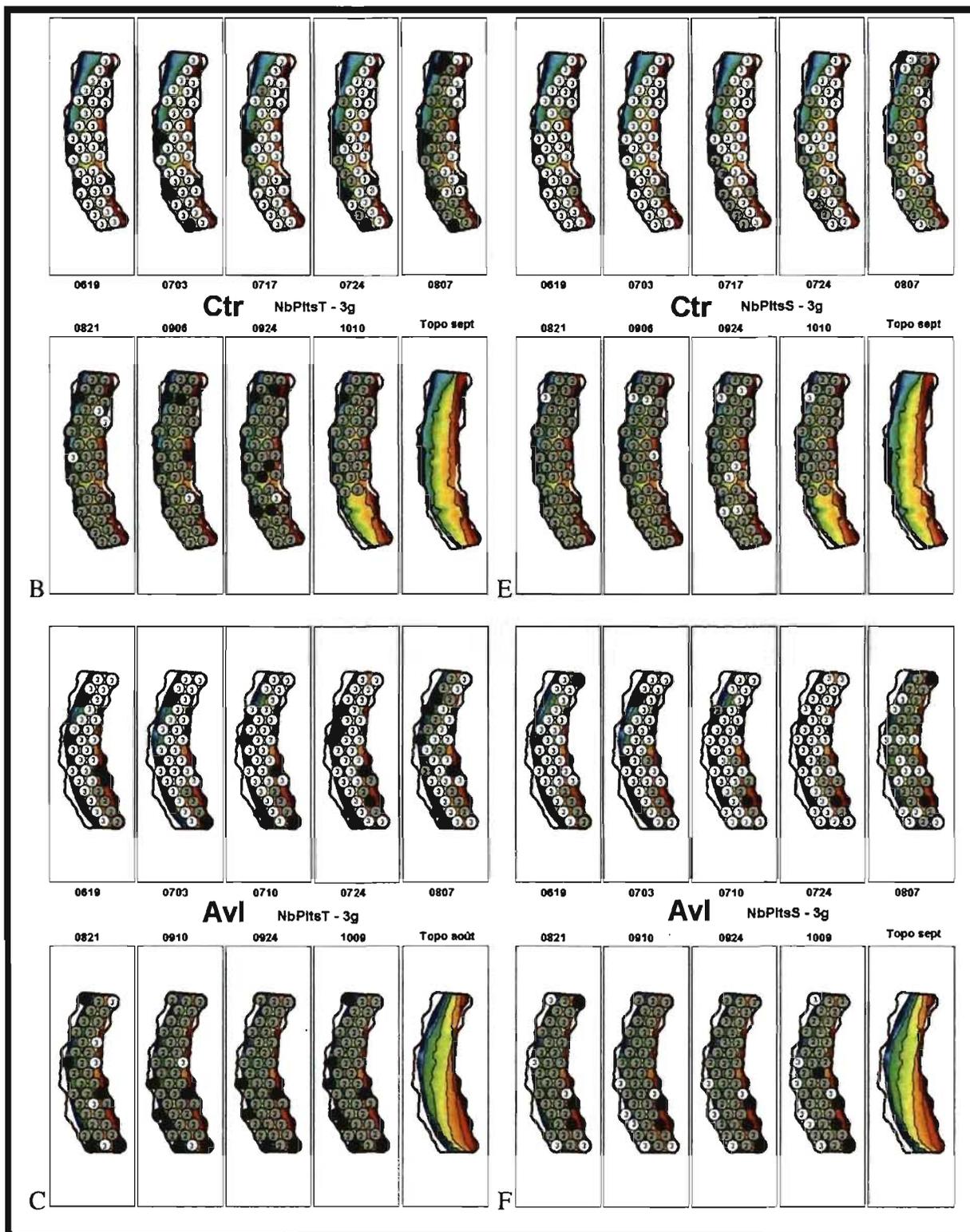


Figure 3.29. Représentation cartographique des groupes de quadrats-dates végétalisés sur fond topographique interpolé. L'évaluation des groupes par nuées dynamiques a été effectuée (A, B, C) en considérant et (D, E, F) en ne considérant pas le peuplier. Sont présentés dans l'ordre les bancs (A, D) Amt, (B, E) Ctr et (C, F) Avl. Les numéros des groupes sont inscrits dans les cercles (1 : gris foncé, 2 : gris pâle, 3 : blanc).

D'abord, un aperçu global des trois bancs présente la similarité de l'évolution temporelle des groupes majoritaires aux trois sites. Cette situation exprime la croissance simultanée des mêmes taxons principaux aux mêmes moments dans les trois cas. Aussi, les cartes permettent de visualiser la très faible différence dans la formation des groupes lorsque ceux-ci sont évalués en considérant ou pas la présence du peuplier. Le groupe 1, qui comprend les quelques quadrats-dates n'étant inclus dans aucun des deux groupes prédominants (Tabl. 3.8), est surtout représenté dans les zones les plus élevées ou, à l'inverse, par des quadrats de basse altitude qui ont été ajoutés en cours de saison. Ce groupe réunit donc principalement les quadrats où n'ont crû que peu d'individus, ou quelques individus d'une seule espèce, ce qui les distingue fortement de la majorité des quadrats où la biodiversité a été relativement importante. Sur les trois bancs, le relevé du 7 août est une date charnière où la dominance du groupe 3 s'est brutalement arrêtée pour les cartes excluant le peuplier (Fig. 3.29-D; fig. 3.29-E; fig. 3.29-F). La transition est plus graduelle sur les cartes incluant le peuplier (Fig. 3.29-A; fig. 3.29-B; fig. 3.29-C).

Tableau 3.8. Nombre de quadrats-dates inclus dans chaque groupe créé par l'analyse par nuées dynamiques.

Groupe	Avec peupliers (NbPltsT)				Sans peupliers (NbPltsS)			
	Amt	Ctr	Avl	Total	Amt	Ctr	Avl	Total
1	51	23	45	119	56	0	17	73
2	142	156	145	443	155	178	157	490
3	164	134	127	425	146	135	143	424
Total	357	313	317	987	357	313	317	987

Une comparaison des deux analyses banc par banc met en évidence l'absence du groupe 3 sur les derniers relevés de la saison dans les résultats de l'analyse incluant les peupliers (Fig. 3.29). Cette absence était déjà visible sur la figure 3.28, mais la représentation cartographique montre que les quadrats subsistant du groupe 3 en format NbPltsS (excluant le peuplier) (Fig. 3.29-D; fig. 3.29-E; fig. 3.29-F) sont presque tous inclus dans le groupe 1 lors de l'analyse des données incluant le peuplier (NbPltsT). Cette différence exprime la dominance qu'a eue le peuplier en début de saison ainsi que sa chute au profit d'autres espèces. Les quadrats peu végétalisés en fin de saison en sont le reflet : sur les cartes excluant le peuplier (Fig. 3.29-D; fig. 3.29-E; fig. 3.29-F), ils s'associent au groupe dominant du début de saison, où ne croissaient majoritairement que des peupliers ; sur les

cartes incluant le peuplier, ces mêmes quadrats sont identifiés au groupe 1, c'est-à-dire distincts des deux majorités dominantes durant la saison.

3.4.3.2. Nuées dynamiques : banc Amt

Le banc Amt est celui où la non-considération du peuplier influence le moins les résultats. Il présente tout au long de l'année plusieurs quadrats du groupe 1, principalement aux endroits où l'altitude est la plus élevée. Aussi, le relevé du 7 août (Fig. 3.29-A; fig. 3.29-B; fig. 3.29-C) montre un changement de groupe commençant à la tête du banc et l'occupant en entier un mois plus tard (le 10 septembre). En ne considérant pas le peuplier, ce changement de groupe est survenu de manière plus générale sur le banc, sans particularité selon le secteur (Fig. 3.29-D; fig. 3.29-E; fig. 3.29-F).

3.4.3.3. Nuées dynamiques : banc Ctr

Sur le banc Ctr, les deux chronologies (en considérant ou pas le peuplier) montrent que les quadrats ayant évolué différemment ont d'abord été ceux situés en bordure de l'eau, sur toute la longueur du banc, avant que ceux situés sur les zones plus élevées ne rejoignent le groupe 2 eux aussi, jusqu'à une uniformisation du banc à la fin de la saison. Aussi, l'analyse ignorant la variable *peuplier* présente la particularité de n'émettre aucun quadrat-date dans le groupe 1 durant toute la saison. Ainsi, sur ce banc, la croissance des populations des espèces autres que le peuplier n'a permis à aucun des quadrats de se distinguer des groupes 2 ou 3 durant la saison (Fig. 3.29-E).

3.4.3.4. Nuées dynamiques : banc Avl

Sur le banc Avl, le secteur élevé de la queue du banc n'a que très peu fait partie du groupe principal (3). Par la suite, lorsque les secteurs cœur et tête du banc passent au groupe 2, quelques quadrats de la queue sont transférés au groupe 1, le moins gros des trois (Tabl. 3.8). Du 21 août au 9 octobre, tous les quadrats-dates faisant partie du groupe 1 dans le décompte incluant le peuplier (Fig. 3.29-A; fig. 3.29-B; fig. 3.29-C) sont inclus au groupe 3 lorsque cette espèce est exclue (Fig. 3.29-D; fig. 3.29-E; fig. 3.29-F). Nous discuterons de cette situation au chapitre 4.

3.4.4. Association d'espèces

L'analyse multivariée n'a pas permis de distinguer les groupes d'espèces réagissant similairement sur les bancs alluviaux. L'analyse par nuées dynamiques a quant à elle permis de visualiser la présence d'une dynamique végétale globale durant la saison. Cependant, il est pertinent de définir si des groupes d'espèces évoluant de manière similaire ont existé sur ce milieu sédimentaire au cours de la saison. Les analyses statistiques globales n'ont possiblement pas fonctionné à cause des différences trop marquées entre les moments ou les durées des périodes de colonisation. De ce fait, une meilleure méthode d'évaluation doit être utilisée afin de générer une association d'espèces. La méthode choisie est un jugement qualitatif des milieux de colonisation des espèces (plutôt que des caractéristiques de ces dernières) basé sur trois critères :

- la proportion des quadrats colonisés se trouvant dans trois catégories de granulométrie ;
- la proportion des quadrats colonisés se trouvant en milieu sec ou humide ;
- l'étendue altitudinale de la colonisation de l'espèce au-dessus du niveau de l'eau.

Ces critères ont été appliqués aux données de présence des espèces lors du relevé du 21 août 2007. Ce relevé a été sélectionné car il correspond à un seuil important au niveau de l'indice de biodiversité de Shannon (Fig. 3.16). Cette méthode a permis d'obtenir trois graphiques concordants facilitant l'association qualitative des espèces au 21 août 2007 (Fig. 3.30). Ainsi, grâce à ces trois critères, nous avons pu jumeler certaines espèces, lesquelles sont considérées comme ayant connu une dynamique de croissance similaire (Tabl. 3.9).

La figure 3.30 offre un portrait des milieux colonisés. Elle montre la forte proportion de quadrats à granulométrie grossière ayant permis une colonisation végétale sur le banc Ctr. Sur les bancs Avl et Amt, les proportions des milieux granulométriques sont très semblables pour l'ensemble des espèces. Cette cohérence s'applique aussi au niveau de l'humidité des quadrats végétalisés, alors que la majorité des quadrats où se sont installées presque toutes les espèces ont été classés « humides », bien qu'une superficie plus vaste sur chaque banc ait été classée « sèche » (Fig. 2.19). Enfin, la figure 3.30 permet de constater la variabilité existante entre l'étendue altitudinale d'un même taxon sur les trois bancs. Par exemple, *Hypericum sp.* (HySp) et *Polygonum sp.* (PoSp) ont occupé un large espace sur deux bancs mais ne se sont que très peu étendus sur le troisième.

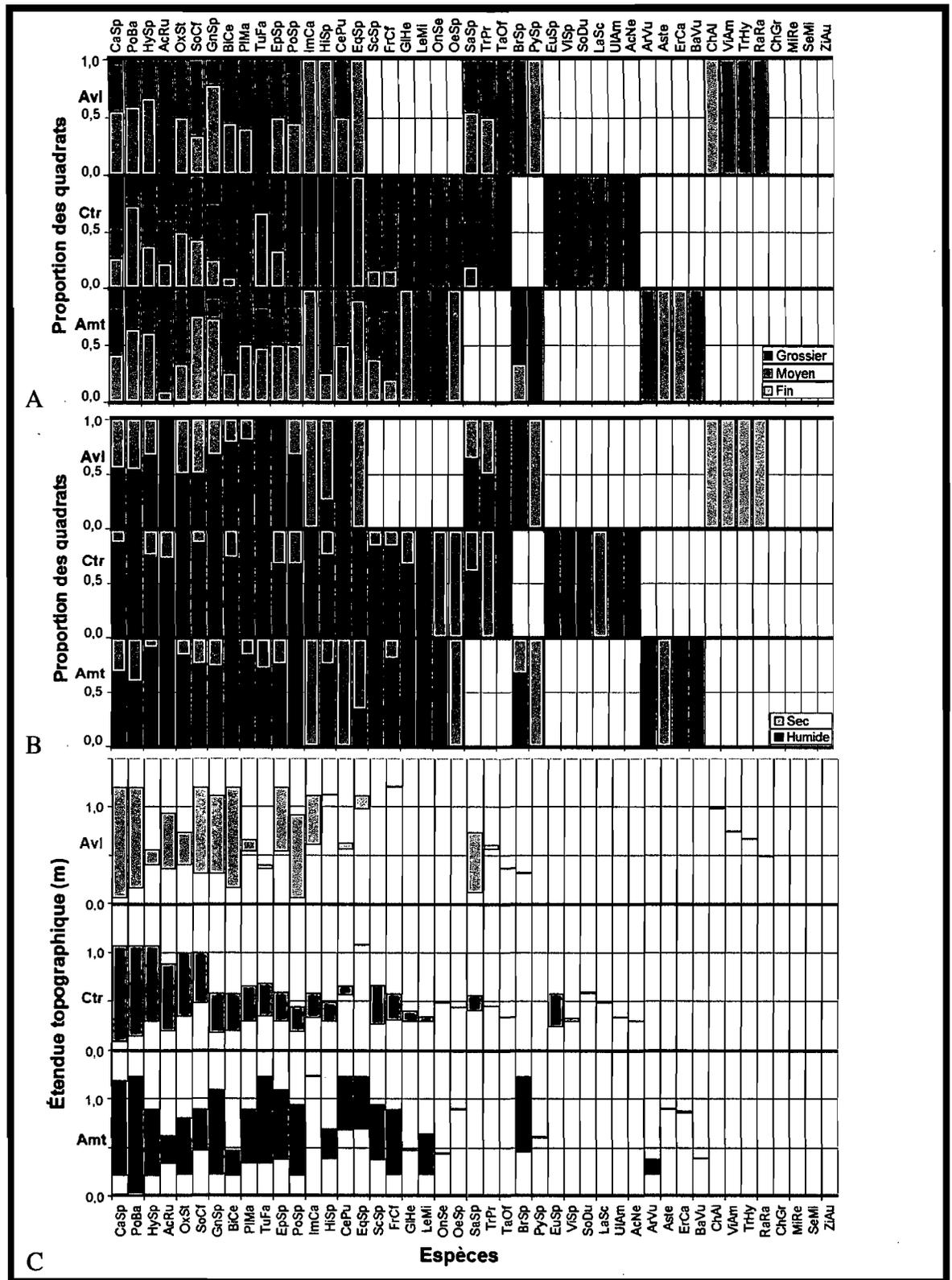


Figure 3.30. Proportion des quadrats dans lesquels était présent au moins un individu au 21 août 2007 (A) selon leur granulométrie et (B) selon leur classe d'humidité. (C) Étendue altitudinale de ces quadrats. L'ordre a été déterminé principalement d'après l'étendue des espèces sur le banc Ctr.

Tableau 3.9. Taxons regroupés d'après la figure 3.30 à partir des caractéristiques physiques des quadrats où leurs individus ont crû. Les espèces sont présentées selon l'ordre établi à la figure 3.30. Les groupes NC et ABS signifient *Non-Classées* (informations insuffisantes) et *Absentes* (lors du relevé du 21 août).

Groupe	Taxons	Étendue altitudinale	Humidité	Granulométrie	Légende	
					Symbole	Définition
G1	<i>Carex sp.</i> (CaSp), <i>Populus sp.</i> (PoBa)	U	U	U	U	Ubiquiste
G2	<i>Hypericum sp.</i> (HySp), <i>Acer rubrum</i> (AcRu), <i>Gnaphalium sp.</i> (GnSp), <i>Bidens cernua</i> (BiCe), <i>Plantago major</i> (PlMa), <i>Tussilago farfara</i> (TuFa), <i>Epilobium sp.</i> (EpSp), <i>Polygonum sp.</i> (PoSp), <i>Scutellaria sp.</i> (ScSp), cf. <i>Fragaria</i> (FrCf)	V	H	U	V	Variable
G3	<i>Oxalis stricta</i> (OxSt), cf. <i>Solidago</i> (SoCf)	V	H	M	É	Étroite
G4	<i>Impatiens capensis</i> (ImCa), <i>Hieracium sp.</i> (HiSp)	É	V	V	H	Humide
G5	<i>Eupatorium sp.</i> (EuSp), <i>Vivia sp.</i> (ViSp), <i>Ulmus americana</i> (UlAm), <i>Acer negro</i> (AcNe)	É	H	G	S	Sec
G6	<i>Artemisia vulgaris</i> (ArVu), <i>Barbarea vulgaris</i> (BaVu)	É	H	M	F	Fine
G7	<i>Centaureum pulchellum</i> (CePu)	É	U	M	M	Moyenne
G8	<i>Equisetum sp.</i> (EqSp)	É	S	F	G	Grossière
G9	<i>Lechea minor</i> (LeMi)	V	H	M		
G10	<i>Salix sp.</i> (SaSp)	V	V	U		
G11	<i>Brassica sp.</i> (BrSp)	V	H	V		
G12	<i>Chenopodium album</i> (ChAl), <i>Vivia americana</i> (ViAm), <i>Trifolium hybridum</i> (TrHy), <i>Raphanus raphanistrum</i> (RaRa)	-	S	M		
G13	<i>Aster</i> (Aste), <i>Erigeron canadensis</i> (ErCa)	-	-	F		
NC	<i>Glechoma hederacea</i> (GlHe), <i>Oenothera sp.</i> (OeSp), <i>Onoclea sensibilis</i> (OnSe), <i>Trifolium pratense</i> (TrPr), <i>Taraxacum officinale</i> (TaOf), <i>Pyrola sp.</i> (PySp), <i>Solanum dulcamara</i> (SoDu), <i>Lactuca scariola</i> (LaSc)	-	-	-		
ABS	<i>Chrysopsis graminifolia</i> (ChGr), <i>Mitchella repens</i> (MiRe), <i>Sesuvium maritimum</i> (SeMa), <i>Zizia aurea</i> (ZiAu)	-	-	-		

Le tableau 3.9 présente une division des espèces en 13 groupes, dont 5 sont monospécifiques. Le groupe G1 réunit les deux espèces principales ayant occupé la plus grande partie du territoire disponible. Le groupe G2, le plus gros, représente les espèces ayant occupé des altitudes variables selon le banc, mais principalement dans des environnements humides. Le groupe G3 se distingue du groupe précédent par sa présence importante dans les quadrats à granulométrie moyenne. Les espèces du groupe G4 ont la particularité de s'être établies sur de petites étendues, mais dans des quadrats à humidité et granulométrie variables. Tout comme les groupes G10 et G11, elles ne s'associent que très peu à un type de milieu idéal. Le groupe G5 expose les seules espèces ayant colonisé

majoritairement un milieu à granulométrie grossière. Il faut cependant considérer le faible nombre d'individus de ces espèces ayant réussi à s'établir. Cette mise en garde vaut aussi pour le groupe G6, dont les espèces ont colonisé les mêmes milieux que le groupe G3 mais avec un nombre d'individus restreint. Les groupes G7 à G11 sont monospécifiques, c'est-à-dire qu'ils représentent des espèces n'ayant pas pu être classées dans l'un des six premiers groupes. L'espèce la plus particulière est celle du groupe G8, la prêle (EqSp – *Equisetum sp.*) qui s'est établie en grand nombre malgré l'étroitesse de son étendue altitudinale. Elle est aussi une des seules espèces à avoir grandement profité de zones sèches et à granulométrie fine. Enfin, les groupes G12 et G13 réunissent des espèces très peu nombreuses mais présentes dans des milieux particuliers : les quatre espèces du groupe G12 se sont installées dans des quadrats à faible humidité, alors que les deux espèces du groupe 13 sont rassemblés par leur colonisation des milieux à fine granulométrie.

Malgré tout, douze taxons n'ont pas pu être classés par cet outil, soit par leur simple absence au 21 août ou par leur présence en trop petite quantité. Une répétition de cette analyse qualitative à toutes les dates n'aurait pas amélioré la situation, car si elle avait permis de classer un des taxons actuellement ignorés, elle aurait aussi assurément retiré certains taxons ayant été classés ici. Ces changements multiples montrent l'importante hétérogénéité des bancs alluviaux et les nombreuses stratégies utilisées par les plantes pour s'y implanter.

3.5. Variations sédimentaires

La mesure des quatre côtés de chaque tige, à une précision de 0,5 cm, offre une hauteur moyenne de chacune et présente les variations sédimentaires ayant eu cours sur les bancs alluviaux. Il n'y a pas eu de différences importantes entre les mesures des quatre côtés (berge, aval, eau, amont). De ce fait, la variation moyenne de hauteur moyenne des quatre côtés a été jugée valide et utilisée pour estimer les variations sédimentaires de chaque quadrat au cours de la saison.

Afin d'en faciliter la lecture, les hauteurs des tiges ont été transformées en valeurs centrées autour de zéro. Les valeurs positives expriment une accumulation sédimentaire, alors que les valeurs négatives décrivent une érosion sédimentaire. La moyenne générale est restée sensiblement proche de zéro (Tabl. 3.10). Les valeurs minimales très faibles (moins de -25

cm) expriment la présence de zones où il y a eu une forte érosion cumulative. À l'inverse, les valeurs maximales mesurées montrent que les plus importantes accumulations n'ont pas dépassé, au total, les cinq centimètres (Tabl. 3.10).

Tableau 3.10. Statistiques descriptives des hauteurs (centrées autour de zéro) du sol sur chacun des côtés des tiges. Le côté A est orienté vers la berge, le côté B vers la queue du banc, le côté C vers l'eau et le côté D vers la tête du banc. Les hauteurs maximales et minimales présentent les variations les plus importantes.

	Côté	A	B	C	D
Hauteur moyenne (cm)		-1,01	-0,99	-1,17	-1,09
Hauteur maximale (cm)		3,0	5,0	3,5	3,0
Hauteur minimale (cm)		-29,0	-29,5	-30,0	-30,5

La comparaison de la hauteur de la tige à une date donnée avec celle du relevé précédent exprime le changement sédimentaire survenu entre deux visites sur le terrain. Sur l'ensemble des quadrats-dates, seulement 3,6 % des hauteurs mesurées ont varié d'environ un écart-type, soit 1,5 cm (Tabl. 3.11). Le tableau 3.11 présente aussi la forte similarité entre les résultats des quadrats végétalisés et ceux des quadrats dénudés, dont les moyennes ne sont pas significativement différentes. Il n'y a donc pas eu de différenciation entre les deux types de quadrats. Quoi qu'il en soit, la très faible couverture végétale existante lors des premiers et deuxièmes relevés (Fig. 3.6) ne permettrait pas de considérer la végétation comme un élément responsable de ces différences.

Tableau 3.11. Variation de la hauteur des tiges d'un relevé par rapport au relevé précédent, différenciée selon l'ensemble des quadrats (Tous), les quadrats laissés intacts (Vég) et les quadrats maintenus sans végétation (Nus).

	Tous	Vég	Nus
Nombre de quadrats-dates valides	1516	762	754
Moyenne (cm)	0,19	0,23	0,16
Écart-type (s_x) (cm)	1,49	1,51	1,46
Nombre au-dessus d'un s_x	13	4	9
Nombre sous moins un s_x	51	29	22
Test de t de Student (prob.)		p = 0,353	

La figure 3.31 présente la distribution des variations de hauteur des tiges durant la saison. Ces variations sont la différence de hauteur mesurée entre un relevé et le relevé précédent sur un même quadrat. Cette distribution est normale lorsque les valeurs sont relativisées (Fig. 3.31). Cependant, les valeurs exprimées sont majoritairement situées sous 1,5 cm, exprimant les très faibles variations sur la très grande majorité des quadrats-dates. Les valeurs extrêmes sur la figure 3.31-B sont les quadrats-dates dont les variations de hauteur de la tige ont été supérieures ou inférieures à un écart-type de la moyenne. Cinquante-et-

une valeurs se situent en-dessous d'un écart-type, alors que seulement treize sont supérieures à un écart-type (Tab. 3.11). De ce fait, il est survenu quatre fois plus de situations exceptionnelles d'érosion que d'accumulation.

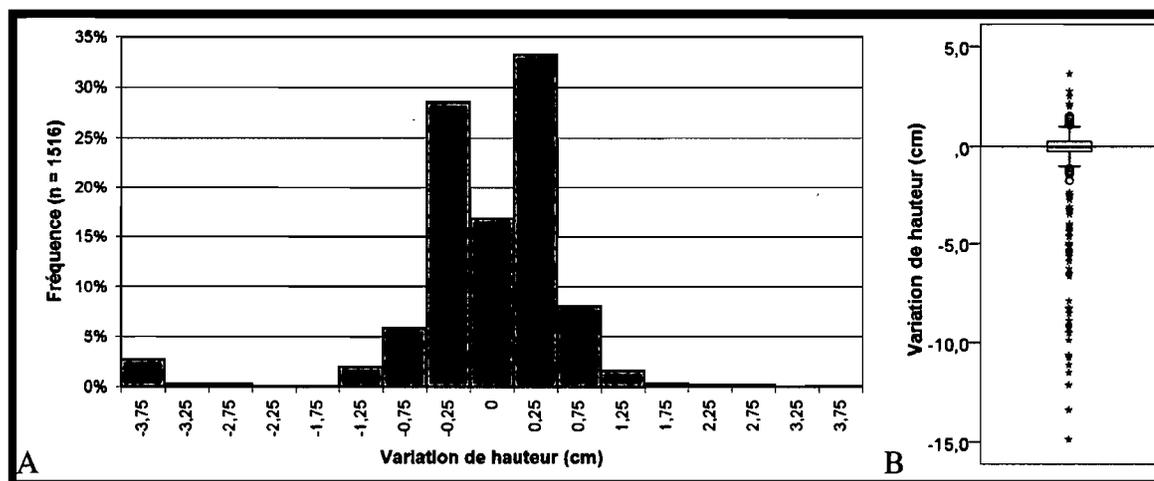


Figure 3.31. Distribution des variations de hauteur moyenne des tiges à chaque relevé (comparativement à la hauteur au relevé précédent) durant toute la saison sur les trois bancs. La distribution est présentée (A) sous forme d'histogramme (les limites sont arbitraires) et (B) sous forme de boîte à moustaches (n = 1516 quadrats-dates).

3.5.1. Moments des variations

La figure 3.32 résume la situation hydro-sédimentaire tout au long de la saison. Comme un seul événement important de précipitations a fait hausser le niveau d'eau de plus de 50 cm, les changements majeurs simultanés sur plusieurs quadrats n'ont été constatés qu'après cette unique crue, la première de la saison. La figure 3.32 montre clairement l'absence de variations majeures en cours de saison, alors qu'aucune hausse importante du niveau d'eau n'est survenue. Comme la différence d'altitude entre les plus hauts et plus bas quadrats de chaque banc est approximativement de 1,2 m, aucune des crues survenues en 2007 n'a pu affecter significativement l'ensemble de chaque site à l'étude.

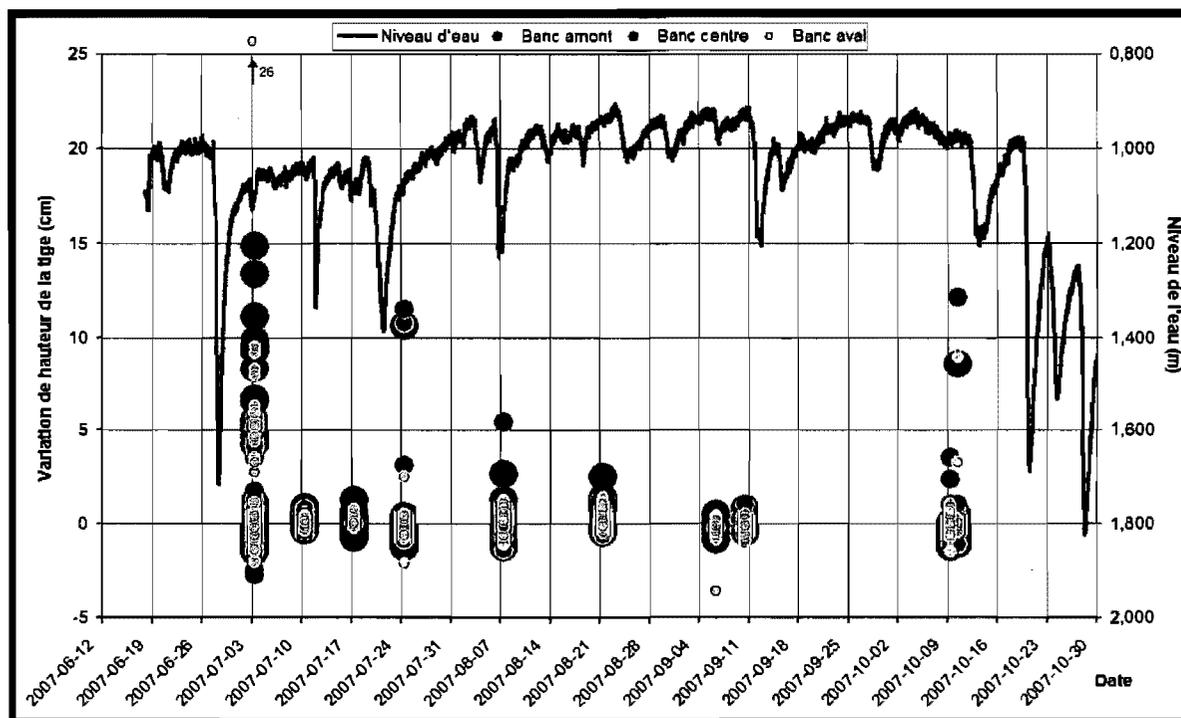


Figure 3.32. Variations de la hauteur des tiges selon les niveaux d'eau au courant de la saison 2007.

3.5.2. Position des variations

Les quelques quadrats ayant subi les variations négatives les plus grandes, soit ceux sur lesquels l'érosion a été la plus forte, sont principalement situés en bordure du cours d'eau. À ces endroits, l'érosion a principalement été causée par troncature (Fig. 1.3), ce qui ne requiert pas un écoulement immergeant sur le banc.

Durant la saison d'étude, la rivière Yamachiche n'a jamais couvert entièrement les bancs alluviaux. La figure 3.33 montre cartographiquement les quadrats dont la tige centrale a subi une variation importante (plus ou moins un écart-type) entre deux relevés. Parmi les 55 quadrats-dates concernés, 48 (87 %) l'ont été lors de la crue survenue entre le 27 juin et le 3 juillet, et douze lors des relevés subséquents (certains quadrats l'ayant été à deux reprises). Parmi ces 12 quadrats, neuf n'étaient pas encore installés lors du relevé du 3 juillet 2007, ce qui suppose que seulement trois quadrats-dates, sur 1516, ont subi un changement sédimentaire significatif durant la saison.

Les quelques quadrats ayant enregistré une accumulation sédimentaire plus grande qu'un écart-type étaient dispersés sur les bancs. Aucun lien n'a pu être établi entre ces quadrats.

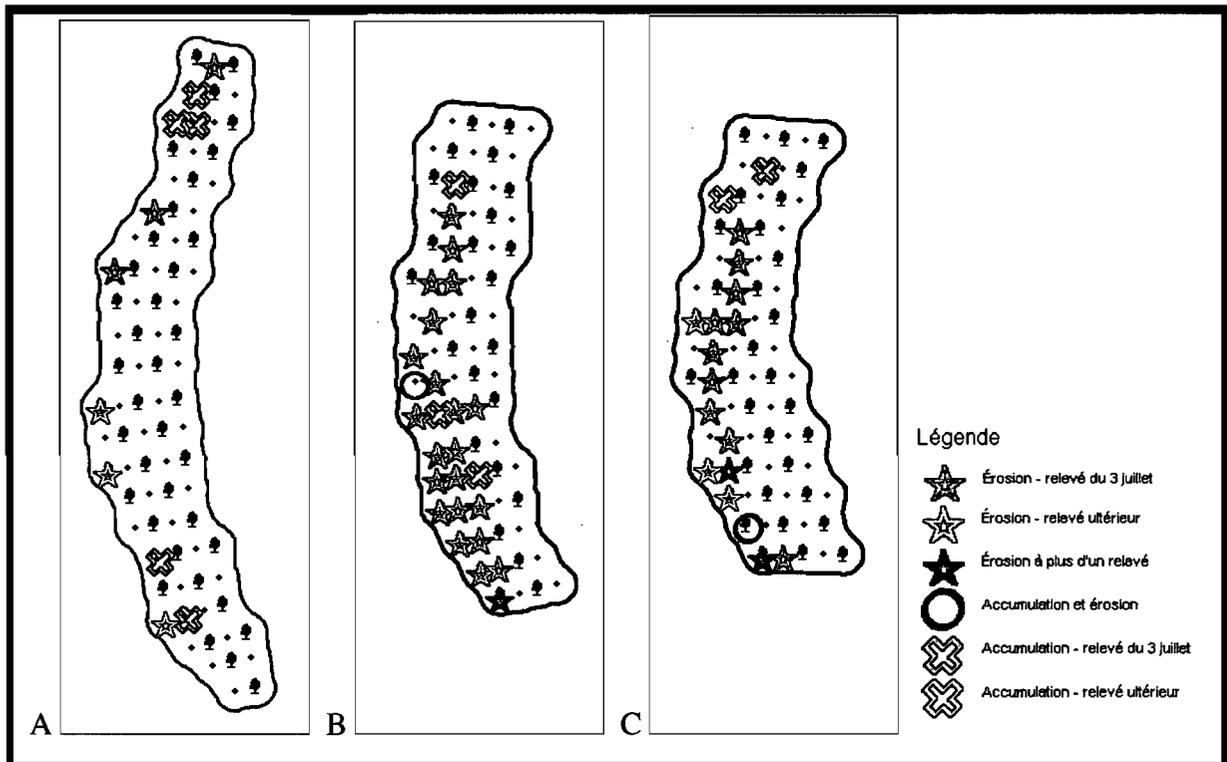


Figure 3.33. Variations de hauteur dépassant l'écart-type de la distribution. Les étoiles représentent les moments d'érosion. Les croix à 45° représentent l'existence d'une accumulation. Une distinction est apportée entre les quadrats où une variation sédimentaire importante a été notée uniquement lors du relevé du 3 juillet 2007 des autres variations durant l'année. Les cercles désignent un quadrat ayant subi à la fois un événement d'accumulation et un événement d'érosion durant la saison.

3.5.3. Relations végétation – sédiments

Les quadrats ayant enregistré des variations sédimentaires plus grandes qu'un écart-type sont autant des quadrats intacts et des quadrats dénudés (Fig. 3.34). De plus, toutes les variations survenues sur les quadrats laissés intacts ont eu lieu dans un environnement où la végétation était très peu présente, principalement à cause de la date très hâtive à laquelle la majorité de ces variations ont été notées (Fig. 3.33). Il n'y a donc aucune distinction possible entre la présence ou l'absence de la végétation sur les quadrats durant la saison 2007, les crues estivales escomptées n'ayant pas été au rendez-vous. La figure 3.34 montre tout de même qu'il existe de légères variations de hauteur sédimentaire à l'intérieur des quadrats laissés intacts. Cependant, ces variations sont à la fois positives et négatives, ce qui ne suppose aucune interaction importante avec les conditions autres que l'écoulement de la rivière : pluie, ruissellement, vent.

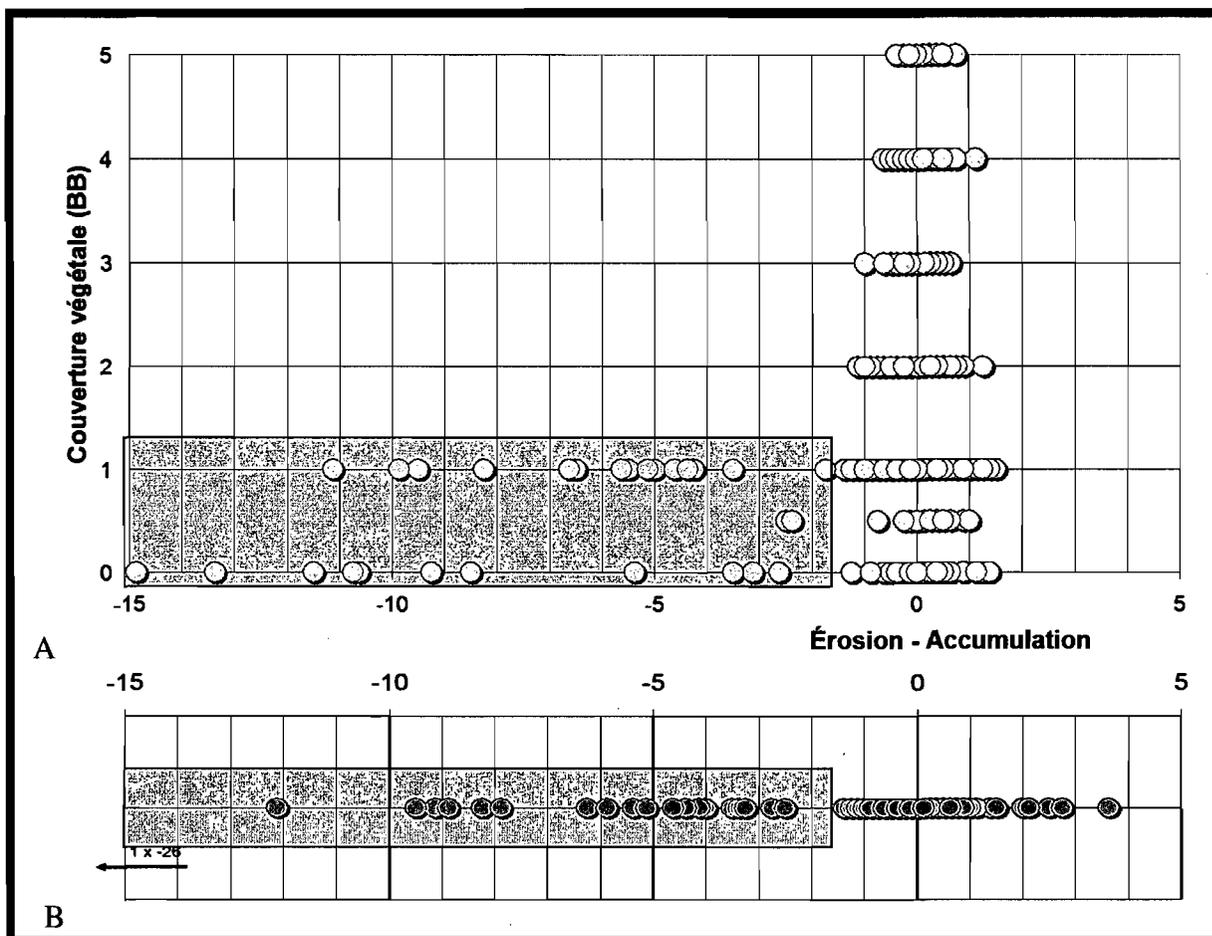


Figure 3.34. Variations de hauteur des tiges des quadrats (A) intacts selon la couverture végétale en valeurs Braun-Blanquet (BB) et (B) dénudés.

Une particularité de la figure 3.34 consiste en huit quadrats ayant subi une érosion majeure de plus de 10 cm entre deux relevés (six en milieu intact et deux en milieu dénudé), atteignant jusqu'à 26 cm. Ces huit quadrats, soit 0,5 % des variations comptabilisées, sont tous situés en bordure du cours d'eau et ont subi l'érosion d'une troncature du banc, causé par l'affaissement des sédiments dans le cours d'eau, sans nécessairement qu'il y ait eu passage d'une crue.

3.6. Conclusion des résultats

En conclusion, la végétation colonisatrice des bancs de convexité n'atteint son niveau de biodiversité maximal que vers la fin du mois d'août, soit près de trois mois après la libération des bancs des eaux printanières. Elle colonise ce nouvel environnement de manière hétérogène, se concentrant principalement autour du niveau maximal atteint par les crues sporadiques survenant durant la saison. Les espèces s'installant sur cet environnement

nouvellement disponible ne suivent pas de patrons temporels de colonisation semblables, ce qui rend très complexe la formation de groupes d'espèces à comportement similaire. Le peu de contraintes d'un tel environnement encourage fort possiblement une telle variabilité de la colonisation végétale.

Sur deux des trois bancs, une zone importante de la surface sédimentaire s'asséchait rapidement et limitait l'implantation d'une végétation diversifiée, alors qu'un grand nombre d'espèces se sont presque exclusivement limitées aux quadrats classés « humides ». La granulométrie du sol ne semble pas avoir influencé beaucoup la colonisation végétation, alors que la majorité des espèces ont été recensées sur des quadrats de granulométrie diverse.

Ces résultats ont aussi montré l'importante distinction existant entre les trois bancs, non pas par leur constitution, mais par les facteurs externes influençant le développement de la végétation. Deux facteurs importants pour la dynamique végétale sont l'orientation du banc et la présence de végétation sur les berges. Ces deux composantes jouent un rôle majeur dans l'ensoleillement du banc, ce qui influence le niveau d'humidité du milieu.

Enfin, la saison 2007 n'a pas permis de cueillir suffisamment de données pertinentes à la poursuite du troisième objectif, lequel visait à comparer les interactions hydrosédimentaires à l'intérieur des quadrats laissés intacts à celles agissant sur les quadrats dénudés. Il a néanmoins été possible de montrer la présence de zones d'érosion sur les bancs.

4. DISCUSSION

Dans ce projet, nous avons 1) documenté et quantifié la colonisation végétale pionnière sur trois bancs alluviaux ; 2) examiné les facteurs influençant les disparités de cette colonisation et 3) présenté les interactions possibles entre l'écoulement et le banc alluvial en conditions de faibles niveaux d'eau.

Ce projet se distingue des travaux antérieurs similaires par plusieurs points. D'abord, le banc alluvial est un milieu fréquemment analysé sur le plan géomorphologique. Dans notre étude, nous avons porté un regard écologique sur cet environnement pionnier en y documentant la colonisation de la végétation suite à l'émersion du banc alluvial. De plus, nous avons présenté un suivi bimensuel couvrant de manière intensive une saison de croissance complète. L'échelle temporelle choisie offre un nouveau regard sur la dynamique d'un banc alluvial. La discussion mettra en contexte les méthodes utilisées et les résultats obtenus.

4.1. Analyse de la méthodologie

4.1.1. Choix des méthodes

L'échelle spatio-temporelle choisie était audacieuse et a permis de cerner la dynamique biologique des bancs de convexité. Le nombre, l'espacement et la taille des quadrats, ainsi que la fréquence des visites sur le terrain, ont mis en évidence les variations écologiques et sédimentaires survenues tout au long de la saison de croissance 2007. Les informations recueillies à propos de la végétation en place ont résulté en une très grande banque de données, augmentant la complexité du traitement et la variété des analyses possibles.

Ces choix méthodologiques se sont avérés des compromis nécessaires (mais néanmoins judicieux) pour assurer la faisabilité de l'étude. Il a cependant été ardu de maintenir le même protocole durant toute la période d'observation. Par exemple, il est techniquement difficile d'assurer une cueillette de toutes les données recherchées dans une même journée. C'est pourquoi quatre des neuf relevés ont nécessité deux jours de terrain. Étant donné l'échelle temporelle de la colonisation végétale des bancs, nous estimons que ces décalages ont eu peu d'influence sur les associations que nous avons tirées des données recueillies, à l'exception des 10 et 17 juillet. À cette occasion, le décalage entre le relevé d'un banc

comparativement aux deux autres a été de sept jours, comparativement à quatre, un et un pour les autres relevés ayant nécessité plus d'une journée. Ce décalage de 7 jours est survenu durant la période d'un établissement majeur de la végétation en début d'année, là où de nombreuses espèces ont émergé. Ce retard d'une semaine dans la cueillette des données sur le banc Ctr a créé un léger décalage quant aux séquences de colonisation et d'arrivée de nouvelles espèces. Par contre, ce décalage s'est fondu dans les tendances globales car les deux relevés ont fait partie de la période de croissance de la végétation, soit avant l'établissement des plateaux du nombre d'individus et de la biodiversité. Enfin, le choix du matériel utilisé pour identifier les quadrats a été jugé efficace. Nous traiterons du seul inconvénient de cette technique (tiges métalliques rondes et minces identifiant le centre des quadrats) plus loin dans ce chapitre.

4.1.2. Ajustement éventuel du protocole expérimental

Cette étude nous permet de proposer certains ajustements à appliquer au protocole expérimental afin de rendre une nouvelle étude similaire encore plus efficace. Afin de maximiser un suivi plus pertinent de la saison de croissance végétale sans alourdir la tâche de travail, il est suggéré d'utiliser une fréquence de visites opportuniste plutôt que systématique, c'est-à-dire d'espacer les premiers et derniers relevés afin de pouvoir assurer un suivi plus fréquent de la mi-juillet au début septembre, là où la végétation atteint son niveau de biodiversité maximal (moment légèrement variable selon les conditions climatiques différentes à chaque année). De plus, une stratégie préalable de regroupement des individus végétaux en groupes d'espèces devrait être élaborée afin de faciliter l'identification des semis lors des relevés. Cette stratégie doit cependant être très malléable, car la colonisation végétale sur les bancs alluviaux est très imprévisible. Les espèces peuvent atteindre le site depuis de longues distances et dépendent d'un synchronisme favorable avec la baisse des niveaux d'eau.

Bien que le suivi exécuté pour notre projet nous ait permis d'obtenir un portrait assez précis des bancs alluviaux, une nouvelle étude profiterait d'un élargissement des zones de mesures afin de mieux intégrer les secteurs connexes au banc de convexité. D'une part, la topographie devrait inclure la rivière, idéalement jusqu'au thalweg, et la berge, jusqu'à son replat. Ces ajouts à chacun des relevés topographiques permettraient de mieux évaluer les

transformations morphologiques du banc durant la saison. Ces variations apporteraient possiblement des arguments supplémentaires aux variations sédimentaires des quadrats situés à proximité du niveau d'étiage de la rivière. De plus, dans une situation aussi dynamique que celle de la rivière Yamachiche, où l'ensemble du delta est inondé au printemps, ce suivi élargi permettrait de connaître le déplacement des bancs selon les changements morphologiques de la rivière et ce, sur de courtes périodes de deux à cinq ans. Par exemple, lors du démontage des installations à l'été 2008, plusieurs tiges installées au printemps 2007 à proximité de la berge, sur les bancs alluviaux (surtout Ctr), avaient été enfouies sous ce qui était devenu la berge. Ceci signifie que la berge, par accumulation sédimentaire provenant probablement de l'inondation printanière, s'est avancée sur le banc. Étant donné son tracé en méandres, la rivière Yamachiche est très propice au déplacement latéral des bancs alluviaux, tel que décrit au chapitre 1.1.3. Les bancs sont dynamiques, ce qui apporte un intérêt supplémentaire à un suivi sur plusieurs années successives de la colonisation végétale.

Par ailleurs, les composantes physiques externes à l'objet d'étude ont présenté un intérêt plus important que prévu par la présence et même par l'absence de certaines relations. De ce fait, les zones d'humidité du sol pourraient être précisées quantitativement par un gradient d'humidité. Celui-ci présenterait probablement des variations spatiales correspondant approximativement aux mêmes limites que celles présentées dans le cadre de l'actuel projet, mais il permettrait en plus d'évaluer l'homogénéité interne des zones sèches et humides.

Aussi, il serait pertinent de cueillir des échantillons de sédiments à l'extérieur des limites du banc et à même le cours d'eau. La disposition granulométrique de l'environnement couvrirait alors une zone plus grande et permettrait une interpolation plus précise sur les bancs. Une telle démarche permettrait aussi une comparaison statistique beaucoup plus poussée pour un travail manuel additionnel peu coûteux en temps et en argent.

4.2. Dynamique végétale

Les résultats ont montré que les trois bancs avaient été colonisés surtout à proximité de l'eau, mais pas dans les quadrats les plus proches de l'écoulement permanent. La position optimale d'établissement et de croissance de la végétation a été évaluée à 30 centimètres

au-dessus du niveau d'étiage de la rivière (Fig. 3.24). Cette situation corrobore les idées de Riis et Gibbs (2003) qui estiment qu'un milieu où surviennent peu de perturbations durant la saison estivale est plus propice à une forte biodiversité. Ainsi, les bancs alluviaux qui, par définition, sont fréquemment perturbés par les aléas de l'écoulement, ont subi durant la saison 2007 une dynamique particulière grâce à l'absence de perturbations notables à partir du 1^{er} juillet. La figure 4.1 montre clairement que, un an plus tard, la situation est bien différente. L'absence de végétation sur la partie basse du banc Amt exprime la fragilité de ces milieux dont la morphologie et la colonisation dépendent énormément des conditions externes, notamment le déplacement des glaces hivernales ainsi que l'ampleur et la fréquence des crues printanières et estivales. Dans ce cas-ci, les niveaux d'eau de 2008, en réponse aux plus nombreux événements de précipitation, ont certainement été plus fréquemment plus élevés lors du mois de juillet, limitant la colonisation végétale à une plus haute altitude.

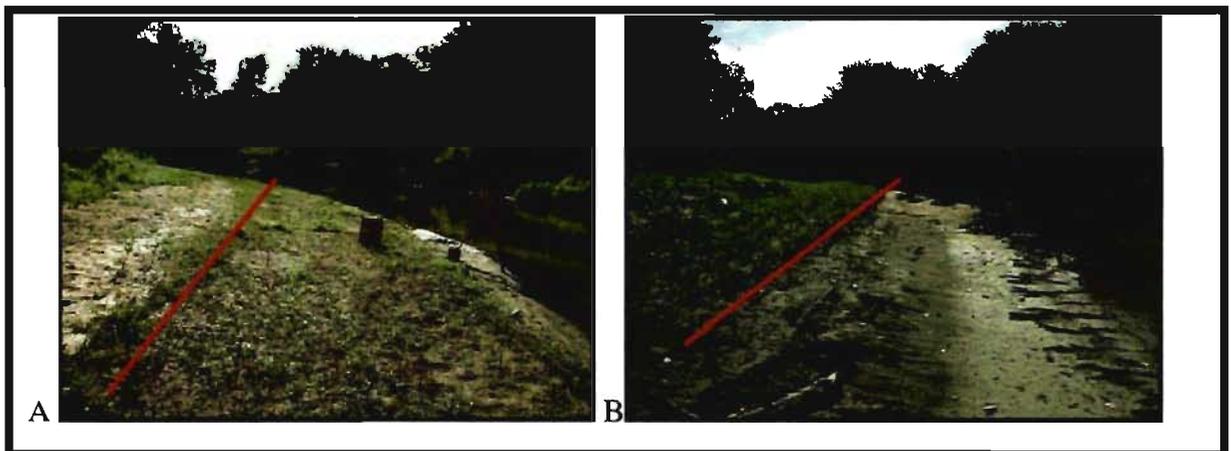


Figure 4.1. Photographies du banc Amt en regardant vers l'aval. La photo A date du 1^{er} août 2007 ; la photo B du 29 juillet 2008. Les lignes rouges servent de ligne référence afin de faciliter la comparaison des photos.

D'ailleurs, à l'inverse, la partie haute du banc Amt a soutenu une végétation très dense en 2008 alors qu'elle était un milieu très pauvre un an auparavant (Fig. 4.1). Cette inversion majeure, dans des conditions morphologiques similaires, est un signe clair de l'influence dominante qu'a le niveau d'eau de la rivière, et par conséquent l'humidité du sol, sur la colonisation végétale des bancs alluviaux.

4.2.1. Périodes de croissance

La saison 2007 a été marquée par trois périodes de croissance. Ces périodes sont très différentes en considérant ou pas le peuplier. En fait, cette espèce a été si *populeuse* lors de sa colonisation qu'elle obstrue toute autre tendance de développement d'abondance des individus des autres espèces. Comme le montre la figure 3.8, l'abondance du peuplier seul suit la même tendance que l'abondance totale. Ceci dit, il était essentiel de séparer le peuplier des autres espèces lors du traitement des données afin de faire ressortir les périodes de colonisation durant la saison. Cette distinction permet de visualiser le développement qu'ont connu les autres espèces. D'ailleurs, il a été montré que le remplacement du peuplier par une diversité de ces espèces a été rapide. Ce changement est peut-être associé à la crue survenue le 21 juillet, qui a couvert les semis de peupliers d'une couche de sédiments fins sablo-limoneux, leur bloquant l'accès aux rayons du soleil. Cette crue n'a par contre pas été suffisamment importante pour couvrir un grand nombre de quadrats. Ainsi, elle a pu nuire aux semis de peupliers situés le plus près de l'écoulement, mais d'autres facteurs sont entrés en jeu plus haut sur le banc.

4.2.2. Taille des individus

La taille des individus semble avoir été fortement influencée par l'ensoleillement. Par exemple, la queue du banc Avl soutient des plantes dont la taille moyenne était très élevée. Ces plantes ont aussi couvert une grande superficie des quadrats dans ce secteur du banc. Toutefois, le nombre d'individus n'était pas très élevé dans cette zone. Ainsi, alors que l'ensoleillement nuisait à l'établissement de plusieurs individus, probablement par manque d'humidité, il favorisait la croissance de ceux ayant réussi à s'y établir. Comme certains individus semblaient être arrivés très tôt en saison sur le banc Avl, ceux-ci ont possiblement réussi à former des racines suffisamment profondes pour ne pas être négativement influencés par l'assèchement de la couche sédimentaire superficielle.

Le banc Ctr présente cette idée de manière inverse. Le nombre d'individus colonisant le cœur de ce site, du côté de la berge, est sensiblement équivalent à l'ensemble du banc et aux valeurs maximales des deux autres sites de l'étude. Par contre, on note une taille des plantes beaucoup moins élevée dans le secteur central du banc Ctr. Ces deux résultats expriment donc, ensemble, que le secteur humide et ombragé du banc Ctr a été colonisé par

autant d'individus que les autres sections, mais que ceux-ci n'ont pas réussi à croître aussi facilement.

Par ailleurs, la variable de la taille des individus a posé un problème lors de son interprétation. Les résultats présentent la taille maximale (toutes espèces confondues) et la moyenne des tailles maximales de chacune des espèces présentes dans chaque quadrat-date. Or, certaines espèces, telles que l'oxalide dressée (*Oxalis stricta*) ou le trèfle des prés (*Trifolium pratense*) réussissent, au cours d'une saison de quelques semaines, à atteindre leur taille maximale. Ainsi, bien que ces plantes soient matures, elles cessent de grandir. Elles influencent ainsi la hauteur moyenne de la végétation dans un quadrat telle que présentée dans les résultats. Par contre, considérant qu'il aurait été impossible de mesurer chaque individu présent à l'intérieur des zones de relevé, l'approximation obtenue par cette méthode offre un bon point de distinction entre les quadrats dont la végétation colonisatrice a une hauteur variée. Calculer la hauteur végétale moyenne d'un quadrat d'après le nombre d'individus de chaque espèce n'avait pas été jugée pertinente dans le cadre de notre étude, mais elle mériterait de nouveau réflexion lors d'une nouvelle démarche. L'environnement étudié jouerait alors un rôle majeur dans la validité d'une telle mesure, car la durée de la période de croissance de chaque espèce indique si les individus d'une même espèce croîtront simultanément ou de manière temporellement dispersée durant la saison. De cette composante dépend le type de hauteur moyenne à utiliser.

Dans le cadre d'un projet connexe axé sur ce type d'interaction, la composante «taille» devrait être divisée en deux : hauteur et largeur. Simple à appliquer, cette variante offrirait un portrait plus précis de l'obstruction physique à l'écoulement que crée la végétation sur un banc alluvial. Cette approche possède aussi l'atout de présenter une végétation diversifiée, contrairement aux modèles et travaux de laboratoire actuels qui homogénéisent la végétation afin de la rendre mathématiquement plus facile à évaluer.

4.2.3. Nuées dynamiques

L'uniformité des groupes auxquels ont été associés les quadrats-dates dans l'analyse en nuées dynamiques suppose une homogénéité assez importante des milieux physiques où celles-ci ont crû. La représentation temporelle des deux groupes principaux est très semblable avec ou sans considération du peuplier. Cette similarité suppose que le peuplier

ne soit pas un facteur majeur dans la division en trois périodes de la saison de croissance. En début de saison, le peuplier a été très dominant et s'est imposé sur le milieu laissé vierge par l'abaissement du niveau d'eau. Le peuplier n'a pas bloqué la colonisation des autres espèces, mais a seulement occupé prioritairement, grâce au synchronisme de la baisse des niveaux d'eau et du transport de ses graines par anémochorie, un espace laissé libre durant la fenêtre temporelle correspondant à sa période de dispersion.

Lorsque le peuplier est considéré dans l'analyse en nuées dynamiques, la prédominance du groupe 3 (Fig. 3.29) exprime le très grand nombre d'individus (jusqu'à 450) du peuplier qui ont colonisé chacun des trois bancs. Si le peuplier est omis de l'analyse, c'est une absence relative d'individus en début d'année qui crée ce même contraste avec les quelques plantes ayant pris position à partir de la fin de juillet, et ce jusqu'à la fin de la saison.

La comparaison des représentations cartographiques des résultats des nuées dynamiques pour chacun des bancs, incluant ou n'incluant pas le peuplier, permet d'affirmer que le peuplier ne s'est pas seulement distingué par sa surabondance relative, mais aussi par le fait qu'il était presque seul sur les bancs alluviaux en début d'année. La très nette différence sur les trois bancs entre les cartes du 24 juillet et du 7 août représente à la fois la chute drastique du peuplier et l'arrivée massive des individus des autres espèces. Cette transformation soudaine sur les deux cartes exprime l'absence de période tampon durant laquelle les peupliers auraient cohabité avec les autres espèces pionnières.

4.2.4. Association d'espèces

Les espèces colonisant les bancs alluviaux sont majoritairement reconnues pour vivre sur des terrains humides. L'inventaire des espèces recensées sur nos trois sites d'étude respecte cette prémisse (Frère Marie-Victorin, 1964; Peterson et McKenny, 1968), malgré les différents niveaux d'humidité observés sur les bancs. D'ailleurs, la figure 3.30 montre la préférence qu'ont eue les espèces pour les quadrats humides. La prêle (*Equisetum sp.* (EqSp)) et quatre espèces très peu nombreuses sont les seules espèces à avoir majoritairement colonisé les milieux considérés secs.

Les groupes formés par association qualitative sont hétéroclites quant au nombre d'espèces qu'ils contiennent et aux types d'espèces jumelées. Ces associations basées sur les milieux

de colonisation ouvrent une piste intéressante permettant de comparer ou d'unir deux espèces aussi différentes à maturité que, par exemple, l'érable rouge (*Acer rubrum* (AcRu)) et le bident penché (*Bidens cernua* (BiCe)). En effet, ces deux espèces favorisent les mêmes milieux lors de leur colonisation. Considérant l'éphémérité des bancs alluviaux, il est essentiel de comparer les espèces par leur statut morphologique des premières semaines de croissance. L'association qualitative utilisant les conditions physiques des bancs est donc une évaluation pertinente du milieu de vie préconisée par une large variété d'espèces sur les bancs alluviaux. Elle a permis de reconnaître des conditions idéales récurrentes sur les trois bancs alluviaux et de montrer la présence d'espèces sur le banc dans des conditions imprévues ne correspondant pas à la définition d'un milieu riverain.

Cette analyse est aussi très appropriée dans un contexte où peu d'études semblables ont été effectuées. Il est donc difficile de comparer les résultats obtenus avec des travaux similaires. Une comparaison interne élaborée permet ainsi de faire ressortir les principales différences, ce qui a été fait dans l'analyse des résultats.

4.2.5. Distinctions entre les bancs

Ce projet a montré que les distinctions étaient plus importantes à l'intérieur même des bancs qu'entre deux bancs différents. Les trois bancs étudiés ont présenté des zones pauvres et diversifiées sensiblement aux mêmes endroits, à divers degrés selon les conditions externes telles que l'ensoleillement. Les tendances observées sur les cartes des bancs ont été similaires dans les trois cas, alors que la queue des trois bancs permettait une croissance plus intensive de la végétation, tandis que le cœur des bancs, à proximité de la berge, subissait plutôt un très faible taux de colonisation. Ainsi, considérant les nombreuses difficultés engendrées par les travaux en milieu naturel, les trois environnements ont été bien choisis et les données obtenues justifient le fait de les considérer comme des répliques.

4.3. Interprétation des facteurs explicatifs

Nous avons présenté précédemment les facteurs environnementaux ayant possiblement influencé la dynamique végétale ayant eu cours sur les bancs alluviaux. Les deux facteurs principaux sont la granulométrie et l'humidité de la surface sédimentaire. Eux-mêmes influencés par les conditions climatiques de cette région, ces deux facteurs présentent les

relations les plus directes avec la végétation colonisatrice et permettent le mieux d'en comprendre la dynamique sur un banc alluvial.

4.3.1. Granulométrie

Des trois sites à l'étude, seul le banc Amt possède un gradient granulométrique où les sédiments sont plus fins en aval qu'en amont. Il répond ainsi en partie à l'hypothèse annoncée dans la revue de la littérature selon laquelle les bancs formaient trois gradients granulométriques, car il affiche une gradation horizontale. Le banc Ctr se distingue principalement par le contraste marqué entre les quadrats de bord de l'eau et de bord de berge situés sur les deux transects les plus à la tête du site (Fig. 3.3 : transects 222 et 231, courbes rouges et orangées). Alors que les deux échantillons cueillis près de la berge possèdent la granulométrie la plus fine du banc, les échantillons en bordure de l'eau sur les deux mêmes transects sont les deux plus grossiers. Ces résultats sont l'inverse de la théorie reconnue. Cependant, comme cette situation survient à la tête du banc, un déplacement des particules les plus grossières vers le centre du cours d'eau a déjà été observé par Daniels (2006). Dans le cas du banc Ctr, un dépôt sédimentaire fin à la tête du banc crée cette situation, alors que les particules grossières déposées près de l'eau forment la future couche sous-jacente lors du déplacement du banc alluvial.

Knighton (1972) décrit qu'un banc de convexité bien implanté affiche une granulométrie plus fine qu'un banc alluvial nouvellement construit. Le tableau 4.1 présente les années à partir desquelles les trois bancs étudiés semblent s'être établis de manière permanente dans le lit de la rivière, à partir de photographies aériennes. Le banc Amt est ainsi établi depuis plus longtemps, alors que le banc Avl est le plus récent. Cette chronologie concorde avec l'ordre des méandres évoqué au premier chapitre. On note aussi que la différence de granulométrie entre les bancs Amt et Avl, plus grossière sur le banc Amt, contredit l'affirmation de Knighton (1972). La répartition de la taille sédimentaire sur les bancs Amt et Ctr (Fig. 3.18) montre des valeurs de D_{50} plus petites à proximité de la berge et plus grandes près de l'écoulement permanent. De ce fait, au niveau même du banc, les parties considérées les plus anciennes (près de la berge) sont aussi les plus fines au niveau sédimentaire (Knighton, 1972).

Tableau 4.1. Présence visuelle du banc sur les photographies aériennes du delta de la Yamachiche. Les photographies ont été observées dans un désordre chronologique aléatoire et les échelles varient de 1 : 40 000 à 1 : 8000.

Année	Amt	Ctr	Avl
1948	non	non	non
1966	non	oui	±
1970	oui	non	non
1975	oui	±	non
1977	±	oui	±
1979	oui	oui	non
1983	oui	oui	non
1985	oui	oui	oui
1988	oui	oui	oui
1997	oui	oui	oui
2000	oui	oui	oui

Afin de pousser plus loin l'étude de formation de ces bancs, il serait intéressant de raffiner la cueillette sédimentaire afin de mieux définir ce qui est inclus dans la granulométrie de la surface. En fait, comme l'altitude des bancs variait d'environ 1,2 mètre, du plus bas au plus haut point, les échantillons pris en surface à différents endroits sur le banc ont été cueillis à des altitudes différentes. Ce qui a été observé n'est donc pas tant un agencement inhabituel des particules sédimentaires qu'une chronologie différente de dépôt selon chaque lieu de collecte sur le banc. Comme l'a montré la fréquence des crues de 2007, le secteur bas du banc a été modifié par l'écoulement estival, alors que la partie haute n'était pas influencée.

La granulométrie de la surface sédimentaire varie beaucoup sur une petite altitude sur un banc alluvial. La présence de minces couches de couleurs variables sont visibles suite au retrait des carottes creusées afin d'obtenir les échantillons sédimentaires (Fig. 4.2). Ces sédiments se divisent en deux tailles distinctes : grossiers au fond et fins en surface. Cette différence corrobore les travaux de Hooke (1986) et Church et Jones (1982) qui considèrent la présence d'une séquence sédimentaire selon le moment d'accumulation. Ici, la figure 4.2 met en évidence le fait que ces différences granulométriques existent sur de faibles profondeurs. Nous proposons donc que les sédiments de surface soient plutôt analysés en deux couches distinctes de 5 cm, ce qui permettrait de mieux visualiser les différences granulométriques de chaque secteur d'un point de vue vertical. Du même coup, une chronologie de la formation du banc pourrait être estimée.

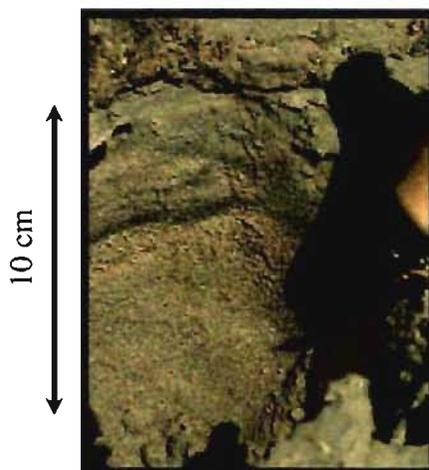


Figure 4.2. Trou de 10 cm de profondeur (banc Amt) où ont été cueillis les sédiments ayant servi à mesurer la répartition granulométrique sur les bancs. On y distingue deux types de sédiments : dépôts fins sur le dessus (sous forme de strates noires), dépôts sableux grossiers en dessous.

La granulométrie des bancs à l'étude n'a pas changé beaucoup entre 2007 et 2008. La figure 4.3 présente les distributions granulométriques des échantillons cueillis en 2008. Ces distributions sont très semblables à celles de 2007, ce qui semble confirmer la présence de conditions hydrauliques et sédimentaires sur les couches superficielles des bancs après les crues printanières. Par contre, la visite de 2008 sur les lieux d'étude nous a aussi permis de constater l'enfouissement de la majorité des tiges dans le banc. Les perturbations hivernales ont complètement déstabilisés le montage ayant été utilisé durant la saison de croissance précédente. Elles évoquent ainsi l'impact de l'hiver et du printemps sur les bancs alluviaux.

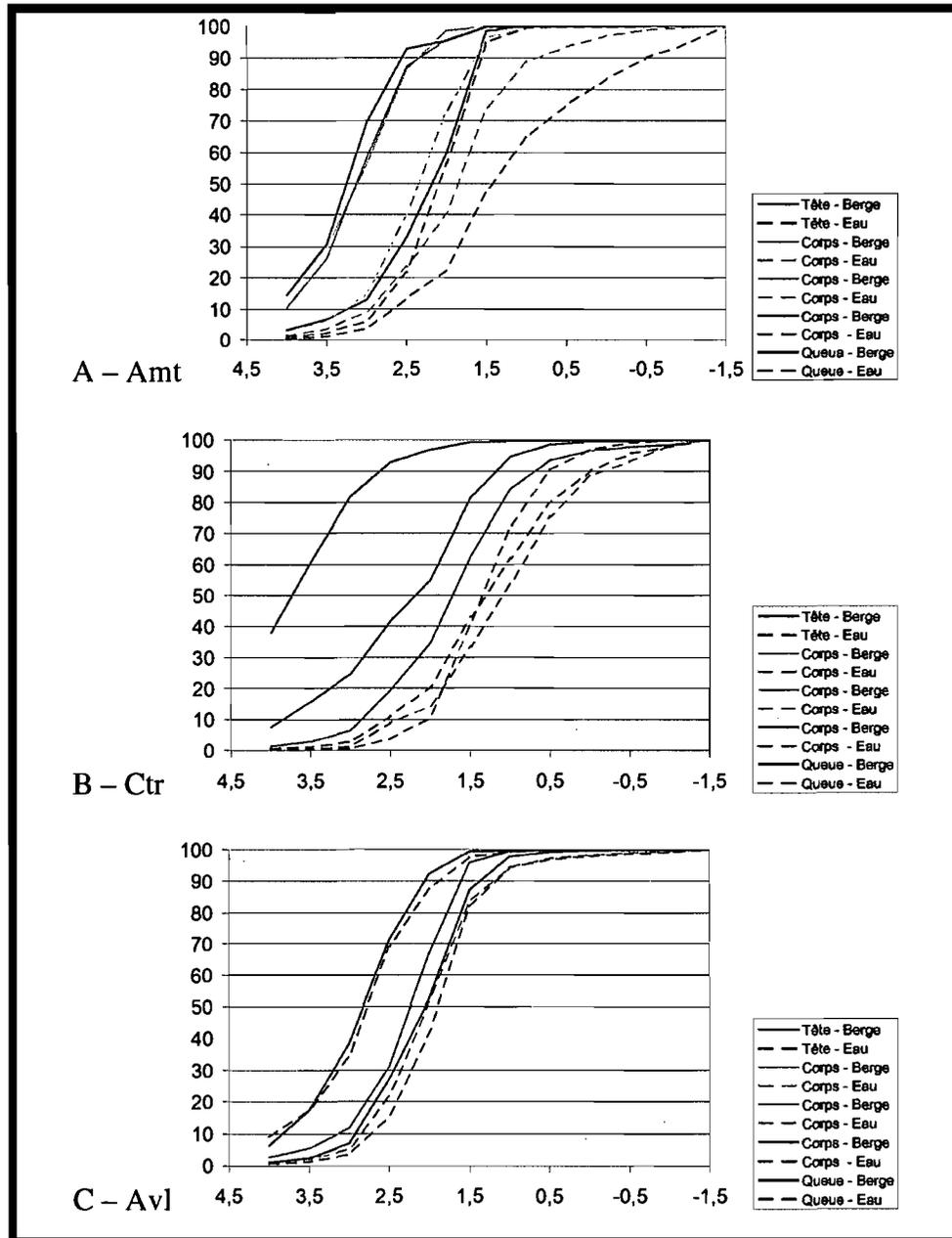


Figure 4.3. Distributions granulométriques sur les bancs (A) Amt, (B) Ctr et (C) Avl le 29 juillet 2008. L'axe des abscisses représente les valeurs de ϕ (phi), où $2^{-\phi}$ égale la dimension des grains en millimètres.

4.3.2. Zones d'humidité

La disposition cartographique des zones sèches sur les bancs a été semblable sur les bancs Amt et Avl, et ce à chaque visite où elle a été notée. Ces zones sont aussi les plus élevées en altitude et sont ainsi moins longtemps affectées par la nappe phréatique. Il est aussi probable que l'écoulement par ruissellement soit limité dans ces secteurs car, comme le delta est très plat, les eaux de pluie s'infiltrent directement dans le sol et rejoint la rivière

par écoulement souterrain. La limite nette définie sur la figure 3.19 représente possiblement l'endroit où la nappe phréatique affleure près de la surface.

Les zones définies comme étant «sèches» perdent leur humidité en surface lors des journées chaudes d'été. Une distinction entre les bancs Amt et Avl à ce niveau est la forme de la zone asséchée. Alors qu'elle longe la berge sur le banc Amt, elle est compressée vers la queue du banc Avl (Fig. 3.19). Bien que plusieurs facteurs puissent entrer en jeu dans ces milieux naturels, la position de la végétation sur la berge opposée aux bancs semble avoir ici une grande importance. Tel qu'il est exprimé dans les résultats, cette disposition offre un ensoleillement quotidien plus réparti durant la journée sur le banc Amt et plus tardif sur le banc Avl. Cette différence semble influencer la position de la couverture des zones sèches sur le banc Avl car la queue de ce dernier est la dernière section à recevoir les rayons solaires, en fin de journée, au moment où la température est la plus chaude.

Par ailleurs, le banc Ctr adopte un comportement différent : son cœur s'assèche en surface, alors que la zone plus près de la berge, pourtant plus élevée en altitude, reste humide à chaque date d'observation. Cette situation est l'exemple le plus marquant de l'importance de considérer le niveau d'ensoleillement comme étant une variable majeure dans ce type d'étude. Comme le banc Ctr est le seul orienté vers le nord-ouest, il ne profite pas d'une longue période d'ensoleillement, et celle-ci ne survient qu'en fin de journée. Contrairement aux prémisses admettant généralement une prolifération végétale supérieure dans les milieux les plus ouverts et ensoleillés, le banc Ctr n'est pas significativement différent des deux autres bancs étudiés en termes du nombre d'individus et du nombre d'espèces par quadrat-date. Les bancs Amt et Avl, qui partagent de manière générale les mêmes conditions au niveau de l'ensoleillement, sont significativement différents dans leurs nombres d'individus et d'espèces par quadrat-date. L'ensoleillement a donc un effet dominant sur les zones sèches et humides des bancs, mais n'est pas le critère principal des différences inter-bancs de la colonisation végétale.

4.4. Relation surface sédimentaire – végétation

La plus forte crue ayant eu lieu durant la saison d'étude est survenue du 27 au 29 juin 2007 et a atteint environ 70 cm. Par comparaison, une crue de plus de 100 cm est survenue autour du 4 juillet 2006 tandis qu'une autre de plus de 150 cm a été mesurée le 4 juillet

2008. Le niveau d'eau de 2007 a donc été relativement bas et n'a pas connu de hausses suffisamment importantes pour submerger les bancs dans leur ensemble, contrairement à ce qui était attendu. De ce fait, la figure 3.34 présente l'absence de relation entre la couverture végétale et la variation de hauteur des tiges, lesquelles servaient à évaluer la présence d'érosion ou d'accumulation. Les mesures se démarquant dans le bas du graphique de la figure 3.34, soit celles à une couverture Braun-Blanquet de 0 et 1 (0 % et moins de 5 %), représentent presque toutes des quadrats-dates affectés par la première crue, en début de saison. Les bancs étaient alors très peu couverts par la végétation et il est impossible d'y voir une quelconque interaction avec la végétation en place.

4.4.1. Influence d'une biomasse externe

La crue du 27 juin 2007 a eu lieu au début de la saison de croissance, entre le premier et le deuxième relevé, alors que le nombre d'espèces était encore très faible. De plus, cet écoulement important a entraîné une grande biomasse depuis le bassin versant de la rivière, principalement composée de feuilles mortes et de branches de toutes tailles (de quelques centimètres à près de trois mètres). Plusieurs de ces feuilles et branches ont été interceptées par les tiges mises en place pour identifier les quadrats, malgré leur petit diamètre et leur basse hauteur (Fig. 4.4). À quelques quadrats, l'écoulement ayant été dévié par ces amas de feuilles a engendré une érosion préférentielle en aval des tiges, laissant une petite zone plus élevée dans la traînée. Cette érosion préférentielle explique une grande partie des mesures d'érosion dépassant un écart-type en bordure du cours d'eau, principalement sur le banc Ctr (Fig. 3.33). C'est pourquoi la majorité des mesures d'érosion importante ont été notées lors du relevé du 3 juillet, le premier après l'unique crue majeure. Évidemment, cette érosion ne peut pas être analysée dans des buts de comparaison entre les quadrats végétalisés et dénudés, car elle est indirectement causée par l'objet de mesure installé pour les objectifs de l'expérience.

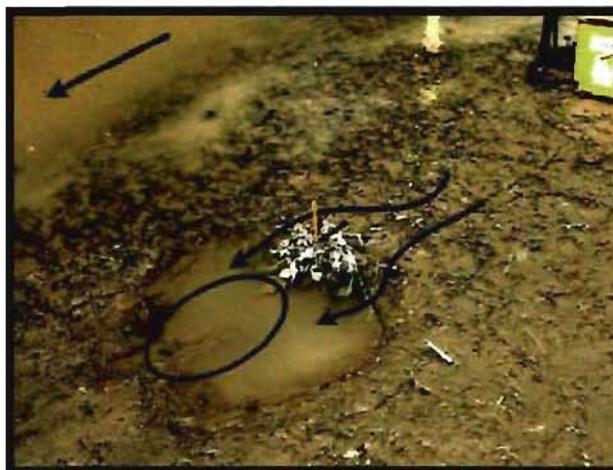


Figure 4.4. Photographie du 29 juin 2007 d'un quadrat de la tête du banc Ctr à proximité de l'écoulement, immédiatement après la crue.

Cette réponse de la surface sédimentaire à l'obstacle reflète l'expérience de Coulthard (2005) qui avait obtenu sensiblement le même résultat en laboratoire avec un obstacle végétal vivant. Turner et Chanmeesri (1984) abondent dans le même sens, évoquant qu'un amas de feuilles mortes semble causer plus de résistance qu'un tronc unique, dans le cas présent la tige d'identification. Entre les tiges, le banc ne semblait pas avoir été érodé. Il s'y serait plutôt déposé une mince couche de limon ou de sable fin (Fig. 4.5), lequel a couvert les quelques petits semis qui avaient réussi à s'installer à cet endroit. Cette accumulation sédimentaire a peut-être perturbé la colonisation des peupliers, qui ont connu un déclin important suite au premier relevé après cet épisode durant lequel les feuilles des peupliers étaient couvertes de particules fines.



Figure 4.5. Dépôt de matériel fin sur le banc Amt après la crue du 27 juin 2007. Les cercles rouges entourent les tiges alors que les flèches bleues désignent le sens de l'écoulement. Photographie prise à la tête du banc Amt, le 29 juin 2007.

5. CONCLUSION

Ce projet visait 1) à documenter et quantifier la colonisation végétale des bancs alluviaux durant une saison complète, 2) à observer les facteurs influençant la variabilité spatiale et temporelle de cette colonisation et 3) à examiner les interactions entre la végétation et la dynamique sédimentaire des bancs. Ces objectifs ont été poursuivis par le suivi bimensuel de trois bancs alluviaux de convexité situés dans le delta de la rivière Yamachiche.

La méthodologie d'échantillonnage systématique a été efficace et a permis de recueillir une grande quantité de données dans un délai raisonnable, considérant les contraintes qu'apporte une étude en milieu naturel. Nous estimons avoir représenté de manière juste la colonisation végétale sur les bancs. L'utilisation de tiges métalliques identifiant les quadrats a été bonne pour ce projet car les crues ont été de force faible. Cependant, d'après la réaction du sol à l'unique crue majeure (27 au 29 juin 2007), nous croyons que les tiges, malgré leurs petites dimensions, auraient été un élément trop perturbant si les bancs alluviaux avaient subi plusieurs inondations durant la saison de croissance. En fait, les tiges seules ne causaient pas problème, mais la facilité avec laquelle les objets flottants (feuilles et branches) y sont restés accrochés a amplifié la déviation d'écoulement de chaque côté et provoqué une érosion préférentielle en aval, semblable à celle décrite par Coulthard (2005).

La méthode de comparaison des quadrats végétalisés et dénudés n'a pas pu être véritablement testée durant ce projet à cause de l'absence de crues significatives. Cependant, le but poursuivi par cette manipulation a été atteint, car la disparité entre les quadrats intacts et modifiés était substantielle et nous croyons que si le banc avait été submergé tard en saison et ensuite libéré des eaux, la différence de réaction des deux types de quadrats, si elle existe, aurait pu être évaluée telle que prévue.

La cueillette de trois variables pour plus de 45 espèces présentes dans 118 quadrats lors de neuf relevés (pour un total de 988 quadrats-dates), a permis d'assurer un suivi pertinent de la colonisation végétale sur les trois bancs. Considérés comme des répliques géomorphologiques, les trois sites se sont avérés à la fois semblables et distincts selon les différentes caractéristiques de la végétation. La principale similitude est l'altitude optimale à laquelle la végétation s'est installée, estimée à 30 centimètres au-dessus du niveau d'étiage de la saison de croissance 2007. Cette altitude représente la hauteur maximale

atteinte par les crues estivales, qui ont été relativement faibles en 2007. Elle exprime donc une position préférentielle pour la végétation riveraine sur un banc alluvial, à mi-chemin entre les perturbations trop fréquentes et les zones s'asséchant trop vite. Aussi, les principales espèces recensées étaient présentes sur les trois bancs selon une proportion similaire. Les trois bancs alluviaux ont subi une dynamique d'établissement semblable, avec une accélération entre la fin du mois de juillet et le début du mois d'août.

Cette étude a aussi présenté que, d'un point de vue végétal, un banc alluvial n'est pas un milieu homogène. Les disparités sont relativement importantes, surtout en lien avec l'humidité du banc. Le nombre d'individus, toutes espèces confondues, présents dans les quadrats considérés secs était beaucoup plus petit que dans les autres quadrats. Cependant, le terme « sec » exprime une situation relative, car les espèces ayant principalement colonisé les quadrats ainsi nommés (la prêle et l'impatiente du Cap) sont définies comme vivant dans des milieux humides et plus ou moins ombragés (Peterson et McKenny, 1968).

L'analyse de la colonisation végétale sur un banc alluvial peut difficilement considérer ce milieu comme un méso-habitat relativement indépendant. Les interrelations avec l'environnement connexe sont majeures. L'influence de la berge et de la végétation qui y croît, tant par son apport de graines que par l'ombre qu'elle projette, peut être très significative. Jumelée à l'orientation du banc alluvial, la végétation de berge influence le statut de *milieu ouvert* du banc et en fait un environnement plus ou moins fermé, dépendant des conditions connexes à son habitat, et ce tant du côté fluvial que terrestre.

Ces conclusions ouvrent la voie à de nouvelles considérations lors des simulations en laboratoire ou en modélisation afin d'en perfectionner le réalisme et la transposition éventuelle dans des projets extérieurs. Elle invite aussi les futures études en milieu naturel à considérer sérieusement l'imprévisibilité de la fréquence des crues des bassins versants afin de prévoir des stratégies alternatives en cas d'absence de crues majeures, limitant l'écoulement sur la végétation colonisatrice. Un suivi pluriannuel devient ainsi un protocole très intéressant, car il permet de nombreuses comparaisons supplémentaires et augmente les probabilités d'assister à plusieurs événements de précipitation et d'ainsi mieux évaluer l'impact d'une basse végétation sur l'hydrogéomorphologie des bancs alluviaux.

RÉFÉRENCES

- Abernathy, B. et Rutherford, I.D., 2000. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surface Processes and Landforms* 25, 921 – 937.
- Allmendinger, N.E., Pizzuto, J.E., Potter Jr, J., Johnson, T.E. et Hession, W.C., 2005. The influence of riparian vegetation on stream width, eastern Pennsylvania, USA. *Bulletin of the Geological Society of America* 117: 1-2, 229 – 243.
- Anderson, B.G., Western, A.W. et Rutherford, I.D., 2005. ROVER : Introducing a unified model to estimate the hydraulic resistance of vegetation. Dans *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation*, Zerger, A. et Argent, R.M. (éd.), Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, Décembre 2005, 2876 – 2882, <http://www.mssanz.org.au/modsim05/papers/anderson.pdf>.
- Arp, C.D. et Cooper, D.J., 2004. Analysis of sediment retention in western riverine wetlands: The Yampa River watershed, Colorado, USA. *Environmental Management* 33: 3, 318 – 330.
- Begon, M., Harper, J.L. et Townsend, C.R., 1990. *Ecology. Individuals, Populations and Communities*, 2^e édition, Blackwell Scientific Publications, Boston, 945 pages.
- Bendix, J. et Hupp, C.R., 2000. Hydrological and geomorphological impacts on riparian plant communities. *Hydrological processes* 14, 2977 – 2990.
- Bennett, S.J., Pirim, T. et Barkdoll, B.D., 2002. Using simulated emergent vegetation to alter stream flow direction within a straight experimental channel. *Geomorphology* 44, 115 – 126.
- Benvenuti, S., 2007. Weed seed movement and dispersal strategies in the agricultural environment. *Weed Biology and Management* 7, 141 – 157.
- Bergeron, N. et Roy, A.G., 1985. Le rôle de la végétation sur la morphologie d'un petit cours d'eau. *Géographie physique et Quaternaire* 39: 1, 323 – 326.
- Bondue, V., 2006. *La réponse des tributaires du Saint-Laurent aux changements environnementaux : l'exemple du delta de la Yamachiche*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 120 pages.
- Boothroyd, I.K.G., Quinn, J.M., Langer, E.R.L., Costley, K.J. et Steward, G., 2004. Riparian buffers mitigate effects of pine plantation logging on New Zealand streams. 1. Riparian vegetation structure, stream geomorphology and periphyton. *Forest Ecology and Management* 194, 199 – 213.
- Boutin, C., Jobin, B. et Bélanger, L., 2003. Importance of riparian habitats to flora conservation in farming landscapes of southern Québec, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94, 73 – 87.

- Braun-Blanquet, J., 1932. *Plant sociology – The study of plant communities* (traduction autorisée de *Pflanzensoziologie*). Hafner Publishing Company, New York, 439 pages.
- Bravard, J.-P. et Petit, F., 1997. *Les cours d'eau – Dynamique du système fluvial*. Armand Colin / Masson, Paris, 222 pages.
- Buteau, P., Dignard, N. et Grondin, P., 1994. *Système de classification des milieux humides du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Québec, 25 p.
- Carollo, F.G., Ferro, V. et Termini, D., 2005. Flow resistance law in channels with flexible submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering* 131: 7, 554 – 564.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. et Mays, L.W., 1988. *Applied hydrology*. McGraw-Hill, Éd. International, Montréal, 572 pages.
- Church, M. et Jones, D., 1982. Channel bars in gravel-bed rivers. Dans *Gravel-Bed Rivers*, éd. Hey R.D., Bathurst, J.C. et Thorne, C.R., John Wiley & Sons, Chichester, 291 – 338.
- Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J. et Gurnell, A.M., 2007. Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews* 84, 56 – 86.
- Cotton, J.A., Wharton, G., Bass, J.A.B., Heppell, C.M. et Wotton, R.S., 2006. The effects of seasonal changes to in-stream vegetation on patterns of flow and accumulation of sediment. *Geomorphology* 77, 320 – 334.
- Coulthard, T.J., 2005. Effects of vegetation on braided stream pattern and dynamics. *Water Resources Research* 41, W04003, doi:10.1029/2004WR003201.
- Cowan, W.L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural engineering* 37, 473-475.
- Dabney, S.M., Meyer, L.D., Harmon, W.C., Alonso, C.V. et Foster, G.R., 1995. Depositional patterns of sediment trapped by grass hedges. *Transactions of the ASAE* 38, 1719 – 1729.
- Daniels, M.D., 2006. Grain-size sorting in meander bends containing large woody debris. *Physical Geography* 27: 4, 348 – 362.
- Darby, S.E., 1999. Effect of riparian vegetation on flow resistance and flood potential. *Journal of Hydraulic Engineering* 125: 5, 443 – 454.
- Diplas, P., 1994. Modelling of fine and coarse sediment interaction over alternate bars. *Journal of Hydrology* 159, 335 – 351.

- Dixon, M.D., Turner, M.G. et Jin, C., 2002. Riparian tree seedling distribution on Wisconsin river sandbars: controls at different spatial scales. *Ecological Monographs* 72: 4, 464 – 485.
- Dunaway, D., Swanson, S.R., Wendel, J. et Clary, W., 1994. The effect of herbaceous plant communities and soil textures on particle erosion of alluvial streambanks. *Geomorphology* 9, 47 – 56.
- Erskine, W.D. et Warner, R.F., 1999. Significance of river bank erosion as a sediment source in the alternating flood regimes of south-eastern Australia. Dans *Fluvial processes and environmental change*, éd. Brown, A.G. et Quine, T.A., John Wiley & Sons, Chichester, 139 – 163.
- Fathi-Maghadam, M. et Kouwen, N., 1997. Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering* 123: 1, 51 – 57.
- Frère Marie-Victorin, 1964. *Flore laurentienne*. 2^e édition, Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, 925 pages.
- García, M.H., Lopez, F., Dunn, C. et Alonso, C.V., 2004. Flow, turbulence and resistance in a flume with simulated vegetation. Dans *Riparian vegetation and fluvial geomorphology*, éd. S.J. Bennet et A. Simon, American Geophysical Union, Washington, 11 – 27.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J. et Nathan, R.J., 2004. *Stream Hydrology - An introduction for ecologists*. John Wiley & Sons, Chichester, 429 pages.
- Graf, W.L., 1978. Fluvial adjustments to the spread of tamarisk in the Colorado Plateau region. *Geological Society of American Bulletin* 89, 1491 – 1501.
- Gran, K. et Paola, C., 2001. Riparian vegetation controls on braided stream dynamics. *Water Resources Research* 37: 12, 3275 – 3283.
- Gurnell, A.M., Goodson, J.M., Angold, P.G., Morrissey, I.P., Petts, G.E. et Steiger, J., 2004. Vegetation propagule dynamics and fluvial geomorphology. Dans *Riparian vegetation and fluvial geomorphology*, éd. S.J. Bennet et A. Simon, American Geophysical Union, Washington, 209 – 219.
- Gurnell, A.M., Morrissey, I.P., Boitsidis, A.J., Bark, T., Clifford, N.J., Petts, G.E. et Thompson, K., 2006. Initial adjustments within a new river channel: Interactions between fluvial processes, colonizing vegetation, and bank profile development. *Environmental Management* 38: doi:10.1007/s00267-005-0190-6, 580 – 596.
- Gurnell, A.M. et Petts, G.E., 2002. Island-dominated landscapes of large floodplain rivers, a European perspective. *Freshwater Biology* 47, 581 – 600.

- Hession, W.C., Pizzuto, J.E., Johnson, T.E. et Horwitz, R.J., 2003. Influence of bank vegetation on channel morphology in rural and urban watersheds. *Geology* 31: 2, 147 – 150.
- Heywood, I., Cornelius, S. et Carver, S., 2006. *An introduction to geographical information systems*. 3^e éd., Pearson Education Limited, Toronto, 426 pages.
- Hickin, E.J., 1984. Vegetation and river channel dynamics. *Canadian Geographer* 28: 2, 111 – 126.
- Hooke, J.M., 1986. The significance of mid-channel bars in an active meandering river. *Sedimentology* 33, 839 – 850.
- Hooke, J.M., 2007. Monitoring morphological and vegetation changes and flow events in dryland river channels. *Environmental Monitoring and Assessment* 127, 445 – 457.
- Hoshizaki, L., 2005. *A GIS-based study of the Yamachiche watershed and its riparian buffer zones*. Rapport BA Honours non publié, Université Concordia, Montréal, 54 pages.
- Huang, H.Q. et Nanson, G.C., 1997. Vegetation and channel variation; a case study of four small streams in southeastern Australia. *Geomorphology* 18, 237 – 249.
- Hudon, C., 1997. Impact of water fluctuations on the St. Lawrence River aquatic vegetation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54, 2853 – 2865.
- Hughes, F.M.R., 1997. Floodplain biogeomorphology. *Progress in Physical Geography* 21: 4, 501 – 529.
- Hupp, C.R., 1990. Vegetation patterns in relation to basin hydrogeomorphology. Dans *Vegetation and Erosion – Processes and Environments*, éd. J.B. Thornes, John Wiley, Chichester, pp. 217 – 238.
- Hupp, C.R. et Osterkamp, W.R., 1996. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. *Geomorphology* 14, 277 – 295.
- Järvelä, J., 2005. Effect of submerged flexible vegetation on flow structure and resistance. *Journal of Hydrology* 307, 233 – 241.
- Jones, J.B. et Mulholland, P.J., 2000. *Streams and Ground Waters*. Academic Press, San Diego, 425 pages.
- Knighton, A.D., 1972. Changes in a braided reach. *Geological Society of America Bulletin* 83, 3813 – 3822.
- Knighton, D., 1998. *Fluvial forms and processes – A new perspective*. Oxford University Press, New York, 383 pages.
- Krigström, A., 1962. Geomorphological studies of sandur plains and their braided rivers in Iceland. *Geografiska Annaler* XLIV: 3, 328 – 346.

- Leclair, S.F. et Roy, A.G., 1997. Variabilité de la morphologie et des structures sédimentaires du lit d'un confluent de cours d'eau discordant en période d'étiage. *Géographie physique et Quaternaire* 51: 2, 125 – 139.
- Leeder, M.R., 1982. *Sedimentology – Process and Product*. Unwin Hyman, Boston, 360 pages.
- Legendre, P. et Legengre, L., 1998. *Numerical Ecology*. Second English Edition, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 853 pages.
- Leopold, L.B. et Wolman, M.G., 1960. River meanders. *Bulletin of the geological society of America* 71, 769 – 794.
- Levey, R.A., 1978. Bed-form distribution and internal stratification of coarse-grained point bars upper Congaree River, South Carolina. Dans *Fluvial sedimentology*, éd. A.D. Miall, Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, pp. 105–127.
- Longchamps, M., Gagnon, J., Théberge, P. et Corriveau, L., 2006. *Inventaires fauniques et floristiques des terres publiques de la rive nord du lac Saint-Pierre*. Comité ZIP du lac Saint-Pierre, Louiseville, 19 p
- MacArthur, R.H. et Wilson, E.O., 1967. *The theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton, 203 pages.
- Malanson, G.P., 1993. *Riparian Landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge, 296 pages.
- Millar, R.G., 2000. Influence of bank vegetation on alluvial channel patterns. *Water Resources Research* 36: 4, 1109 – 1118.
- Naden, P., Rameshwaran, P., Mountford, O. et Robertson, C., 2006. The influence of macrophyte growth, typical of eutrophic conditions, on river flow velocities and turbulence production. *Hydrological Processes* 20, 3915 – 3938.
- Naiman, R.J. et Décamps, H., 1997. The ecology of interfaces – Riparian zones. *Annual Reviews of Ecological Systems* 28, 621 – 658.
- Nanson, G.C., 1980. Point bar and floodplain formation of the meandering Beatton River, northeastern British Columbia, Canada. *Sedimentology* 27: 1, 3 – 29.
- Nanson, G.C., 1981. New evidence of scroll-bar formation on the Beatton River. *Sedimentology* 28, 889 – 891.
- Narumalani, S., Zhou, Y. et Jensen, J.R., 1997. Application of remote sensing and geographic information systems to the delineation and analysis of riparian buffer zones. *Aquatic Botany* 58, 393 – 409.

- Nepf, H.M., 1999. Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water Resources Research* 35: 2, 479 – 489.
- Neumeier, U. et Amos, C.L., 2006. The influence of vegetation on turbulence and flow velocities in European salt-marshes. *Sedimentology* 53, 259 – 277.
- Pasche, E. et Rouvé, G., 1985. Overbank flow with vegetatively roughened flood plains. *Journal of Hydraulic Engineering* 111: 9, 1262 – 1278.
- Peterson, R.T. et McKenny, M., 1968. *A field guide to wildflowers of northeastern and North-central North America*. Peterson Field Guides Series, Houghton Mifflin, Boston, 420 pages.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. et Siever, R., 1987. *Sand and Sandstone – Second edition*. Springer-Verlag, New York, 553 pages.
- Pizzuto, J.E., 1984. Bank erodibility of shallow sandbed streams. *Earth Surface Processes and Landforms* 9, 113 – 124.
- Pizzuto, J.E., 1987. Sediment diffusion during overbank flows. *Sedimentology* 34, 301 – 317.
- Pyrce, R.S. et Ashmore, P.E., 2005. Bedload path length and point bar development in gravel-bed river models. *Sedimentology* 52, 839 – 857.
- Renöfält, B.M., Jansson, R. et Nilsson, C., 2005. Spatial patterns of plant invasiveness in a riparian corridor. *Landscape Ecology* 20, 165 – 176.
- Rey, F., 2004. Effectiveness of vegetation barriers for marly sediment trapping. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 1161 – 1169.
- Rey, F., Ballais, J.L., Marre, A. et Rovéra, G., 2004. Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *Comptes Rendus – Geoscience* 336, 991 – 998.
- Riis, T. et Biggs, B.J.F., 2003. Distribution of macrophytes in New Zealand streams and lakes in relation to disturbance frequency and resource supply – a synthesis and conceptual model. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 35, 255 – 267.
- Roberge, S., 2006. *La dynamique du transport en suspension dans le bassin-versant de la Tomifobia*. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal, 167 pages.
- Rogers, R.D. et Schumm, S.A., 1991. The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield. *Journal of Hydrology* 123, 19 – 24.
- Smith, N.D., 1974. Sedimentology and bar formation in the upper Kicking Horse river, a braided outwash stream. *Journal of Geology* 82, 205 – 223.

- Smith, N.D., 1978. Some comments on terminology for bars in shallow rivers. Dans *Fluvial sedimentology*, éd. A.D. Miall, Canadian Society of Petroleum Geologists, Calgary, pp. 85–88.
- Spackman, S.C. et Hughes, J.W., 1995. Assessment of minimum stream corridor width for biological conservation: species richness and distribution along mid-order streams in Vermont, USA. *Biological Conservation* 71 – 3, 325 – 332.
- SPSS inc., 2008. SPSS 16.0 pour Windows. Version 16.0.2, mise à jour le 10 avril 2008, <http://www.spss.com/>.
- Steiger, J. et Gurnell, A.M., 2002. Spatial hydrogeomorphological influences on sediment and nutrient deposition in riparian zones: observations from the Garonne River, France. *Geomorphology* 49, 1 – 23.
- Steiger, J., Tabacchi, E., Dufour, S., Corenblit, D., Peiry, J.-L., 2005. Hydrogeomorphic processes affecting riparian habitat within alluvial channel-floodplain river systems : a review for the temperate zone. *River Research and Applications* 21, 719 – 737.
- Stone, B.M. et Shen, H.T., 2002. Hydraulic resistance of flow in channels with cylindrical roughness. *Journal of Hydraulic Engineering* 128: 5, 500 – 506.
- Temmerman, S., Bouma, T.J., Govers, G., Wang, Z.B., De Vries, M.B. et Herman, P.M.J., 2005. Impact of vegetation on flow routing and sedimentation patterns : Three-dimensional modeling for a tidal marsh. *Journal of Geophysical Research* 110: F04019, doi:10.1029/2005JF000301.
- Thompson, A.M. et Wilson B.N., 2003. Shear stress partitioning of vegetal elements. *ASAE Meeting Paper* 032132, St. Joseph, Michigan, ASAE.
- Thorne, C.R., 1990. Effects of vegetation on riverbank erosion. Dans *Vegetation and Erosion: Processes and Environments*, John Wiley, Chichester, 125 – 144.
- Trimble, S.W., 1997. Stream channel erosion and change resulting from riparian forests. *Geology* 25: 5, 467 – 469.
- Trimble, 2002. Trimble Navigation Limited, Guide d'utilisation. www.trimble.com
- Turner, A.K., Chanmeesri, N., 1984. Shallow flow of water through non-submerged vegetation. *Agricultural Water Management* 8, 375 – 385.
- Walker, L.R., Zasada, J.C. et Chapin III, F.S., 1986. The role of life history processes in primary succession on an alaskan floodplain. *Ecology* 67: 5, 1243 – 1253.
- Wilson, C.A.M.E., Stoesser, T., Bates, P.D. et Batemann Pinzen, P.A., 2003. Open channel flow through different forms of submerged flexible vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering* 129: 11, 847 – 853.

- Wu, W., Shields Jr, F.D., Bennett, S.J. et Wang, S.S.Y., 2005. A depth-averages two-dimensional model for flow, sediment transport, and bed topography in curved channels with riparian vegetation. *Water Resources Research* 41: W03015, doi:10.1029/2004WR003730.
- Wu, W. et Wang, S.S.Y., 2004. A depth-averaged two-dimensional numerical model of flow and sediment transport in open channels with vegetation. Dans *Riparian vegetation and fluvial geomorphology*, éd. S.J. Bennet et A. Simon, American Geophysical Union, Washington, 253 – 265.
- Yang, K., Cao, S. et Knight, D.W., 2007. Flow patterns in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering* 133: 2, 148 – 159.

ANNEXE

Espèces (taxons) regroupées pour le calcul de l'indice de Shannon. Les cases grises désignent les espèces incluses dans le groupe susmentionné.

	Groupe Abrév.	S-45	S-44	S-43	S-38	S-10	S-7	S-6
<i>Acer negro</i>	AcNe							
<i>Acer rubrum</i>	AcRu							
<i>Artemisia vulgaris</i>	ArVu							
<i>Aster</i>	Aste							
<i>Barbarea vulgaris</i>	BaVu							
<i>Bidens cernua</i>	BiCe							
<i>Brassica sp.</i>	BrSp							
<i>Carex sp.</i> - Graminées	CaSp							
<i>Centaureum pulchellum</i>	CePu							
<i>Chenopodium album</i>	ChAl							
<i>Chrysopsis graminifolia</i>	ChGr							
<i>Epilobium sp.</i>	EpSp							
<i>Equisetum sp.</i>	EqSp							
<i>Erigeron canadensis</i>	ErCa							
<i>Eupatorium sp.</i>	EuSp							
cf. <i>Fragaria virginiana</i>	FrCf							
<i>Glechoma hederacea</i>	GlHe							
<i>Gnaphalium sp.</i>	GnSp							
<i>Hieracium sp.</i>	HiSp							
<i>Hypericum sp.</i>	HySp							
<i>Impatiens capensis</i>	ImCa							
<i>Lactuca scariola</i>	LaSc							
<i>Lechea minor / Galium sp.</i>	LeMi							
<i>Mitchella repens</i>	MiRe							
<i>Oenothera sp.</i> (cf. biennis)	OeSp							
<i>Onoclea sensibilis</i>	OnSe							
<i>Oxalis stricta</i>	OxSt							
<i>Plantago major</i>	PlMa							
<i>Populus sp.</i>	PoBa							
<i>Polygonum sp.</i>	PoSp							
<i>Pyrola sp.</i>	PySp							
<i>Raphanus raphanistrum</i>	RaRa							
<i>Salix sp.</i>	SaSp							
<i>Scutellaria sp. / Lythrum sp.</i>	ScSp							
<i>Sesuvium maritimum</i>	SeMa							
cf. <i>Solidago</i>	SoCf							
<i>Solanum dulcamara</i>	SoDu							
<i>Taraxacum officinale</i>	TaOf							
<i>Trifolium hybridum</i>	TrHy							
<i>Trifolium pratense</i>	TrPr							
<i>Tussilago farfara</i>	TuFa							
<i>Ulmus americana</i>	ULAm							
<i>Vicia americana</i>	ViAm							
<i>Viola sp.</i>	ViSp							
<i>Zizia aurea</i>	ZiAu							