

Typologie hydrogéomorphologique des zones humides riveraines dans le bassin de la Seine : application aux bassins de l'Yonne, de l'Eure et du Grand Morin.

S. Gaillard (IGARUN, UMR Géolittomer – Nantes)

D. Brunstein (LGP, UMR 8591)

E. Fustec (LGA, UMR Sisyphe)

J. P. Bravard (Université Lyon 2)

H. Bendjoudi (LGA, UMR Sisyphe)

D. Nguyen-Thé (LGA, UMR Sisyphe)

D. Pasquier (LGA, UMR Sisyphe)

1 Introduction

L'évaluation des fonctions des zones humides riveraines vis-à-vis de la ressource en eau (stockage à court et à long terme, rétention et/ou recyclage d'éléments particuliers et dissous, etc.) ou des peuplements piscicoles (habitats de reproduction, refuges, etc.) passe par l'identification des différents types fonctionnels depuis les têtes de bassin jusqu'à l'estuaire.

Dans ce contexte, la démarche suivante a été retenue dans cette étude :

1/ il s'agit dans un premier temps d'inventorier et de classer les zones humides riveraines sur des bases géomorphologiques et hydrologiques ; les critères retenus à ce niveau étant considérés comme des déterminants du fonctionnement des systèmes écologiques (Salo, 1990 ; Brinson *et al.*, 1993 et 1994) ;

2/ il s'agit ensuite - à l'échelle des compartiments homogènes discriminés par la classification hydrogéomorphologique - de définir un ensemble d'indicateurs permettant d'évaluer les fonctions des zones humides riveraines en termes de présence / absence et d'intensité de réalisation (Brinson *et al.*, 1995).

Un des principaux objectifs de ce travail est, à terme, de fournir aux gestionnaires un outil d'aide à la décision en matière de gestion voire de restauration des zones humides riveraines à l'échelle du bassin de la Seine. Selon la définition proposée par Brinson *et al.* (1994), on entend ici par « zones humides riveraines » les plaines alluviales et les rivières qui leur sont associées.

Plus globalement, ce travail doit aussi permettre de guider les équipes du PIREN – Seine dans le choix de zones de référence puis d'extrapoler les résultats acquis sur ces zones à des ensembles plus vastes présentant les mêmes caractéristiques du point de vue de leur structure hydrogéomorphologique. Enfin, les résultats obtenus permettront d'alimenter certains modèles développés dans le cadre du programme (SENEQUE en particulier).

Au cours de cette année, les principales opérations que nous avons mené ont été centrées sur l'élaboration de typologies théoriques sur des bases géomorphologiques et hydrologiques ; le volet hydrologique ayant été en partie finalisé. Le SIG dédié aux zones humides riveraines (constitution des bases de données renseignant les critères pris en compte dans les typologies et développement des applications permettant d'identifier et de caractériser les différents types de zones humides riveraines) a été développé en parallèle. Dans la suite de ce rapport, ces opérations ainsi que les principaux résultats acquis sont présentés. Les perspectives pour l'année 2001 – 2002 sont ensuite détaillées.

2 Présentation de la typologie des zones humides riveraines sur des bases hydrogéomorphologiques

La mise au point d'indicateurs qui rendent compte de l'intervention des zones humides riveraines sur les flux d'eau et de matières et sur le fonctionnement écologique des milieux aquatiques continentaux nécessite que soit établi au préalable un inventaire typologique des plaines alluviales et des lits fluviaux. Cette première étape s'appuie sur l'élaboration de typologies théoriques sur des bases géomorphologiques et hydrologiques. Il s'agit à ce stade de définir les différents types de paysages fluviaux rencontrés dans le bassin de la Seine et le fonctionnement hydrologique qui leur est associé. La seconde étape repose sur la constitution d'un SIG. Ce dernier assure le couplage des deux volets de la typologie ainsi que l'identification et la spatialisation des différents types de zones humides riveraines.

2.1 Classification géomorphologique sur des bases génétiques et dynamiques

Comme nous l'avons indiqué dans les rapports précédents, une approche analytique centrée sur l'étude des différentes pièces qui composent la mosaïque des hydrosystèmes fluviaux n'apparaît pas applicable à l'échelle du bassin de la Seine (Gaillard *et al.*, 1998 et 1999). Pour cette raison, nous avons proposé de développer une méthode théorique centrée sur le concept de système morphologique hiérarchisé et emboîté (Salo, 1990 ; Amoros et Petts, 1993). La structure des plaines alluviales et des lits fluviaux résultant en effet de processus géomorphologiques qui se réalisent à différentes échelles de temps et d'espace, nous avons développé une démarche qui vise à replacer la compréhension des paysages de fonds de vallées et la définition des différents types de zones humides riveraines dans une perspective génétique et dynamique.

La figure 1 se rapporte à la classification des zones humides riveraines sur des bases génétiques et dynamiques. Cette classification intègre une série de variables représentatives des différentes échelles de temps et d'espace auxquelles la mise en place des hydrosystèmes fluviaux peut être appréhendée. Elle a permis de définir au niveau 4 un nombre limité de types de zones humides : 12 au total.

Le premier niveau de la classification correspond au système « zone humide riveraine » défini par Brinson *et al.* (1993, 1994, 1995).

Les niveaux suivants sont liés à l'intégration de 3 variables géomorphologiques. On a ainsi considéré :

au niveau 2, le comportement du profil en long du lit fluvial relativement à la nappe de graviers mise en place lors de la dernière froide (pas de temps géologique ; 10 à 15 000 ans BP) ;

au niveau 3, le type de dépôts de couverture (pas de temps holocène ; < 10 000 ans BP) ;

au niveau 4, les mésoformes conçues ici comme des mosaïques hydrogéomorphologiques (pas de temps actuel).

Chaque variable possède plusieurs modalités et contrôle des caractéristiques morphologiques et fonctionnelles des couloirs fluviaux. La variable « comportement du profil en long du lit fluvial » (pas de temps géologique) contrôle par exemple les caractéristiques dimensionnelles des couloirs fluviaux en particulier la largeur et la pente du plancher alluvial (i.e. macroformes). Elle comprend les modalités suivantes : incision, emboîtement, exhaussement et stabilité à partir desquelles on a défini 4 sous-systèmes. Ces 4 sous-systèmes sont caractérisés par des dispositifs stratigraphiques particuliers ; ils sont représentés sur la figure 2

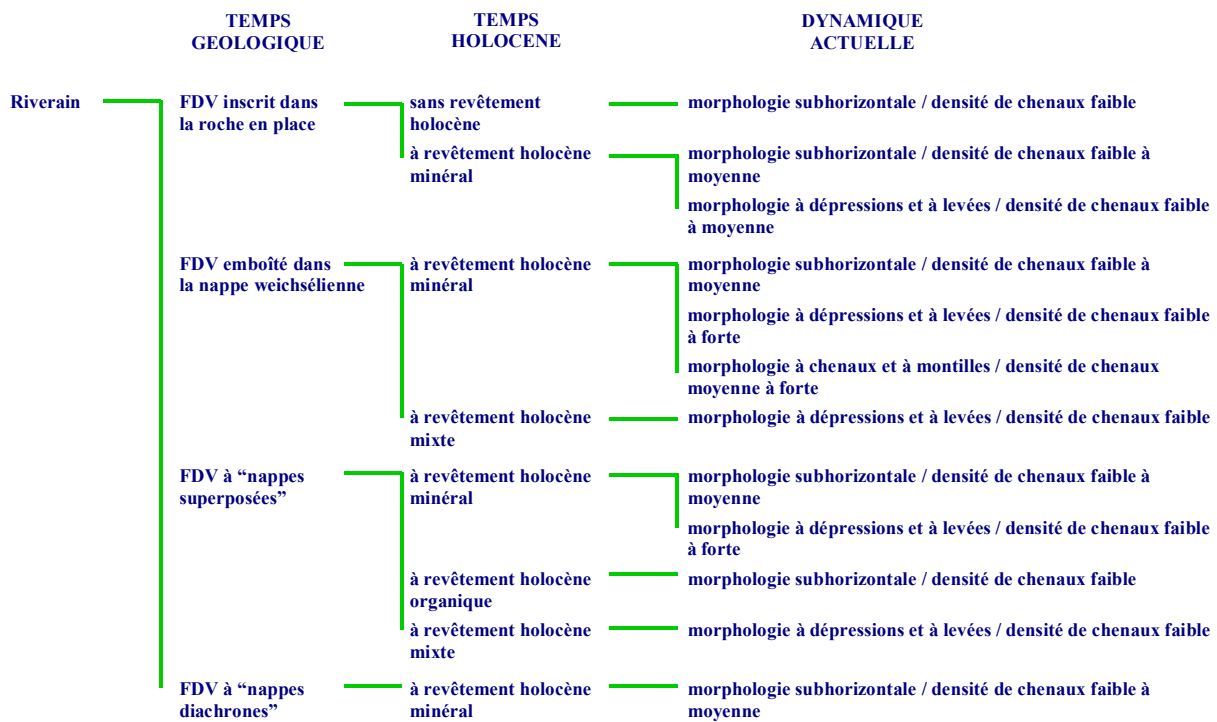


Figure 1. Typologie des zones humides riveraines sur des bases génétiques et dynamiques.

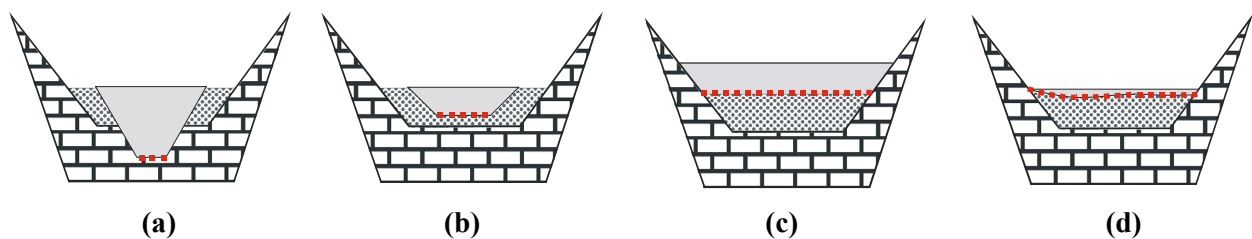


Figure 2. Coupes montrant les dispositifs stratigraphiques associés aux 4 sous-systèmes identifiés au niveau 2 de la classification géomorphologique: (a) incision ; (b) emboîtement ; (c) exhaussement ; (d) stabilité. Les pointillés rouges indiquent la position actuelle de la plaine alluviale relativement à la nappe de graviers de période froide.

Comme cela a été montré, les 4 sous-systèmes zones humides riveraines définis ci-dessus au travers de la stratigraphie des dépôts du Quaternaire récent sont contrôlés :

- d'une part par des modifications dans le rapport débit liquide / débit solide des cours d'eau consécutives au changement bioclimatique postglaciaire (Schumm, 1977) ;
- d'autre part par la pente du plancher alluvial hérité de la dernière période froide (Richards, 1982 ; Gaillard, 1999).

La variable intégrée au niveau 3 de la classification (dépôt de couverture holocène) comprend 4 modalités : (1) absence de dépôt (i.e. fond de vallée inscrit dans la roche en place) ; (2) dépôt à dominante minéral ; (3) dépôt à dominante organique ; (4) dépôt mixte.

Au niveau 4, la variable « mésoforme » définit les principaux types de mosaïques hydrogéomorphologiques observables dans les couloirs fluviaux. On a considéré ici 3 modalités qui sont les plus couramment observées dans le bassin parisien (Gaillard, 1999) : (1) morphologie subhorizontale ou indifférenciée ; (2) morphologie caractérisée par la présence de levées alluviales bordant les lits mineurs et de dépressions latérales ; (3) morphologie à chenaux et à montilles caractéristique des plaines fluviales inscrites dans l'auréole de la craie en amont de Paris. A chacun de ces dispositifs morphologiques, nous avons associé des caractéristiques relatives aux annexes hydrauliques drainant les corridors fluviaux (densité d'annexes faible, moyenne ou forte). Ces caractéristiques sont dépendantes des types de mosaïques morphologiques ainsi que des variables prises en compte aux niveaux supérieurs de la classification. La variable « mésoforme » exerce un contrôle important sur les transferts d'eau et de matières dans les couloirs fluviaux lors des inondations (mise en eau, stockage et vidange des plaines fluviales et rétention des flux particuliers) ; elle intervient également sur la nature et la distribution des habitats pour la flore et la faune.

Selon le principe retenu pour cette étude (*cf. supra*), les combinaisons obtenues aux niveaux 3 et 4 par intégration des variables « dépôts de couverture » et « mésoformes » ont été induites des conditions d'évolution à long terme (i.e. comportement du profil en long du lit fluvial au pas de temps géologique).

Partant du fait que les processus et les formes qui se réalisent sur des pas de temps longs et sur des espaces importants exercent une contrainte sur ceux qui se réalisent aux échelles inférieures, certaines combinaisons ont été exclues.

La figure 3 montre les 12 sous-types de zones humides riveraines définis au niveau 4 de la classification. Chaque colonne représente un sous-système (incisé, emboîté, superposé, stable) ; ceux-ci sont ensuite déclinés en fonction des combinaisons définies aux niveaux 3 et 4. Pour chacun des cas représentés ici, on remarquera qu'en fonction des caractéristiques stratigraphiques considérées (*cf. Figure 2*), les types de remplissage sédimentaires holocènes ainsi que les types de mosaïques hydrogéomorphologiques changent ; ce qui donne 12 types de paysages fluviaux nettement différenciés.

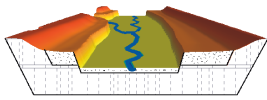
2.2 Typologie hydrologique

Sur des bases similaires, nous avons cherché à définir le fonctionnement hydrologique des zones humides riveraines. Il existe de nombreux essais de caractérisation des zones humides à partir des échanges hydriques avec leur environnement. Certains auteurs (voir par exemple les travaux de Lent *et al.* (1997) sur les zones humides non affectées par les marées) distinguent, aussi bien dans les entrées que dans les sorties, d'une part les eaux terrestres (de surface et souterraines) et d'autre part les eaux atmosphériques (précipitations et évapotranspiration).

On peut aussi distinguer entre flux de surface (incluant précipitations et évaporation) et flux souterrains (Bendjoudi et Marsily, 2000). Cette dernière classification prend mieux en compte la vitesse des transferts hydriques avec l'environnement. On peut distinguer en effet des transferts rapides (eaux superficielles ou atmosphériques) et des transferts plus lents (eaux souterraines). Les premiers donnent lieu à un régime de fonctionnement contrasté, très fortement corrélé avec les apports atmosphériques, alors que les derniers absorbent les variations trop brutales et contribuent à assurer un fonctionnement plus régulier tout au long de l'année.

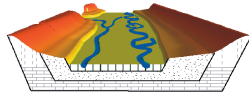
Trois types de régimes hydrologiques peuvent ainsi être dégagés comme le montre la figure 4. Ainsi, si on parcourt un bassin versant de l'amont vers l'aval, on constate que les eaux souterraines jouent un rôle de plus en plus important, contribuant à « assagir » le comportement hydrologique (laminage des crues et soutien des étiages). Différents du point de vue de leur influence sur le régime hydrique, transferts rapides et transferts lents le seront aussi du point de vue de leur rôle dans le transport, le dépôt ou la reprise de matières en suspension notamment.

**FOND DE VALLEE
INSCRIT DANS LA ROCHE EN PLACE**



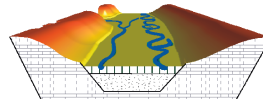
sans revêtement holocène

**FOND DE VALLEE
A "NAPPES EMBOÎTÉES"**



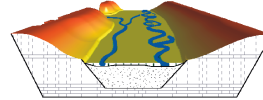
à revêtement holocène
minéral

**FOND DE VALLEE
A "NAPPES SUPERPOSÉES"**

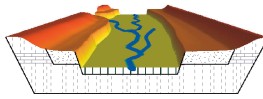


à revêtement holocène
minéral

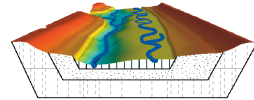
**FOND DE VALLEE
A "NAPPES DIACHRONES"**



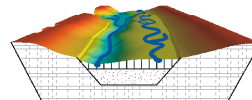
à revêtement holocène
minéral



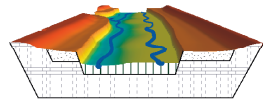
à revêtement holocène
minéral



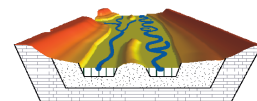
à revêtement holocène
minéral



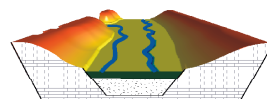
à revêtement holocène
minéral



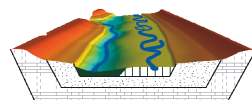
à revêtement holocène
minéral



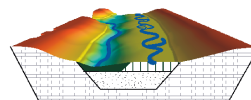
à revêtement holocène
minéral



à revêtement holocène
organique



à revêtement holocène
mixte



à revêtement holocène
mixte



Revêtement holocène minéral



Nappe de graviers weichsélienne



Revêtement holocène organique



Substratum



Fond rocheux

Figure 3. Blocs-diagrammes illustrant différents sous-types de zones humides riveraines au niveau 4 de la classification géomorphologique.

Dans une seconde étape il nous faudra relier cette typologie des régimes hydrologiques à des caractéristiques géomorphologiques quantifiables. Au stade actuel de notre réflexion et sous réserve de tester davantage la démarche, nous nous proposons de retenir la démarche suivante :

- pour caractériser les transferts rapides nous retiendrons une caractéristique liée à la partie superficielle du bassin versant au point considéré de la vallée alluviale : le temps de concentration qui est défini comme le temps mis par une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée du point d'observation pour atteindre ce point (Roche, 1963). Ce temps peut être estimé en combinant un MNT (modèle numérique de terrain) et des formules empiriques (Chow et al, 1988). Plus ce temps est faible plus la vitesse de transfert est importante ;
- pour caractériser les transferts lents, nous retiendrons la perméabilité de l'encaissant de la zone humide.

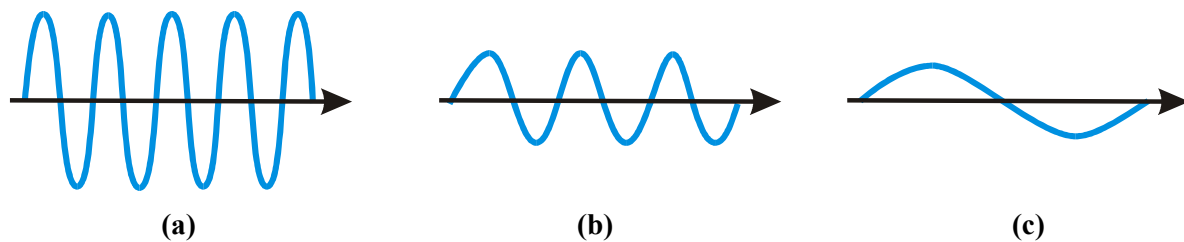


Figure 4. Les trois types de régimes hydrologiques : **(a)** régime hydrologique dominé par les apports atmosphériques et de surface, grande variabilité fortement liée aux conditions climatiques (plutôt caractéristique de l'amont des bassins) ; **(b)** régime hydrologique mixte ; **(c)** régime hydrologique dominé par les apports souterrains, variabilité atténuée par le stockage en période de crue et la décharge des nappes en période d'étiage (plutôt caractéristique de l'aval des bassins)

Le choix de classes de valeurs pour ces deux caractéristiques permettra de construire le cinquième niveau de notre classification.

Le travail de constitution de la base de données concernant temps de concentration et perméabilités de l'encaissant le long du couloir alluvial est actuellement en cours et devra être suivi d'un test sur la pertinence d'une telle typologie.

3 Principaux résultats

La constitution d'un SIG centré sur les zones humides riveraines a pour objet de fournir à l'échelle du bassin versant une information spatialisée sur les plaines fluviales et leurs caractéristiques hydrogéomorphologiques et d'aider à l'identification des différents types de zones humides.

L'approche retenue dans cette étude nous a conduit à constituer une base de données destinée à renseigner les différents critères pris en compte dans la typologie hydrogéomorphologique et à élaborer des applications dédiées au traitement et à la gestion des données (caractérisation des corridors fluviaux et identification des différents types de zones humides riveraines). Les bases de données gérées dans le cadre du PIREN-Seine seront intégrées progressivement lors du passage à l'évaluation fonctionnelle.

La base a été décrite de façon détaillée dans le rapport précédent (Gaillard *et al.*, 1999). Pour information, elle comporte les thèmes suivants :

- nature sédimentaire et extension des corridors fluviaux (thème 1) ;
- caractérisation et délimitation des terrasses alluviales (thème 2) ;
- caractérisation du réseau hydrographique, des annexes hydrauliques et des mésoformes (thème 3) ;
- perméabilité de l'encaissant des zones humides riveraines et temps de concentration (thème 4).

Les deux premiers thèmes permettent de décrire les relations entre la plaine fluviale actuelle et les niveaux alluviaux plus anciens et de renseigner la classification géomorphologique aux niveaux 2 et 3. Le thème 3 sert à renseigner le niveau 4. Le quatrième thème concerne le volet hydrologie de la classification. Il est en cours de constitution et permettra de constituer le niveau 5 de la classification (*cf. supra*). Les principales données utilisées pour l'inventaire typologique sont : les cartes topographiques IGN à 1/25 000^e ; les cartes géologiques BRGM à 1/50 000 ; la carte hydrogéologique du Bassin de Paris (Albinet *et al.*, 1967) ; le modèle numérique de terrain GTOPO30 de l'U.S.G.S..

Le document suivant (Figure 5) se rapporte au bassin de l'Eure. Il s'agit d'une sortie cartographique obtenue en superposant les thèmes « nature sédimentaire et extension des corridors fluviaux » et « caractérisation et délimitation des terrasses alluviales ». Ces données sont également disponibles sur le bassin de l'Yonne (Gaillard *et al.*, 1999).

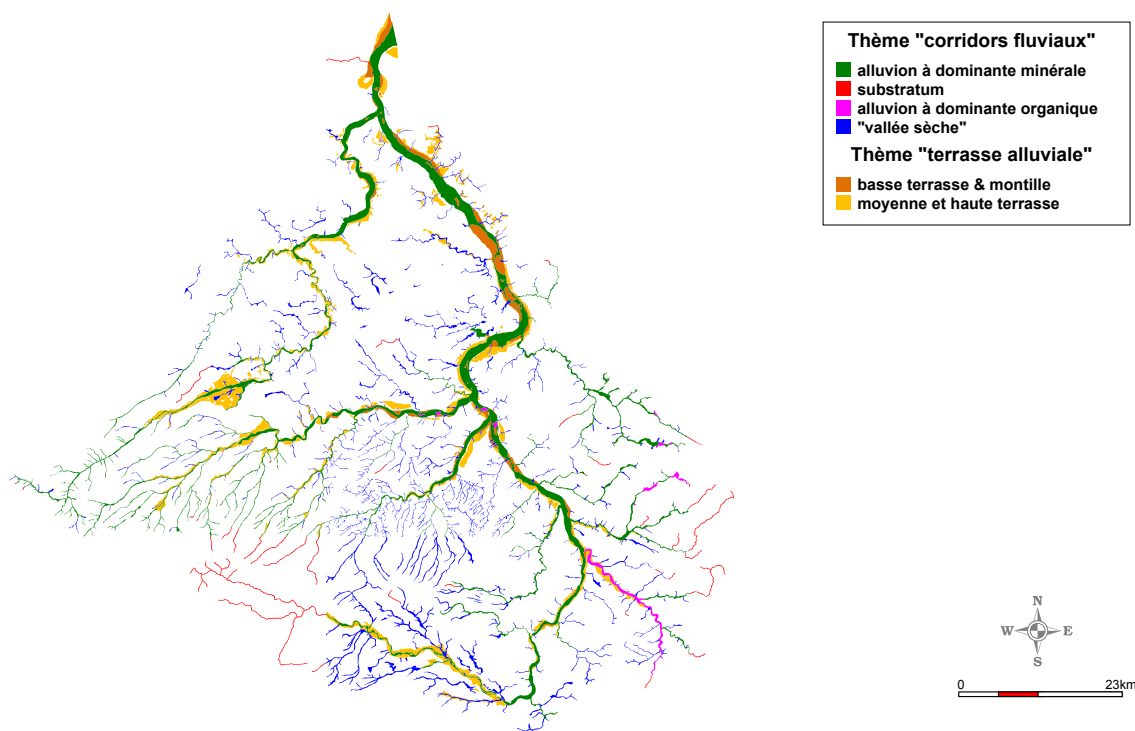


Figure 5. Bassin de l'Eure : bases de données utilisée pour la caractérisation et l'identification des différents types de zones humides riveraines aux niveaux 2 et 3 de la classification géomorphologique.

Sur le même bassin, les figures suivantes (Figures 6 et 7) montrent les sectorisations obtenues aux niveaux 2 et 3 de la classification géomorphologique à partir des applications que nous avons développées.

Les figures 8 et 9 se rapportent au bassin du Grand Morin. La figure 8 montre la base de données géomorphologique pour les thèmes 1 et 2. Le document suivant se rapporte à la sectorisation automatique obtenue au niveau 2 de la classification ; l'objectif était ici d'examiner les relations entre la distribution des différents types de zones humides riveraines par sous bassins et les bilans de dénitrification estimés par SENEQUE (Sebilo et al, thème I dans ce volume).

D'une manière générale, l'examen des différents documents (Figures 6, 7 et 9) met en évidence des logiques de distribution cohérente dans la répartition longitudinale des différents types de zones humides riveraines ; ce qui tend à confirmer l'intérêt de la démarche mise en œuvre dans cette étude.

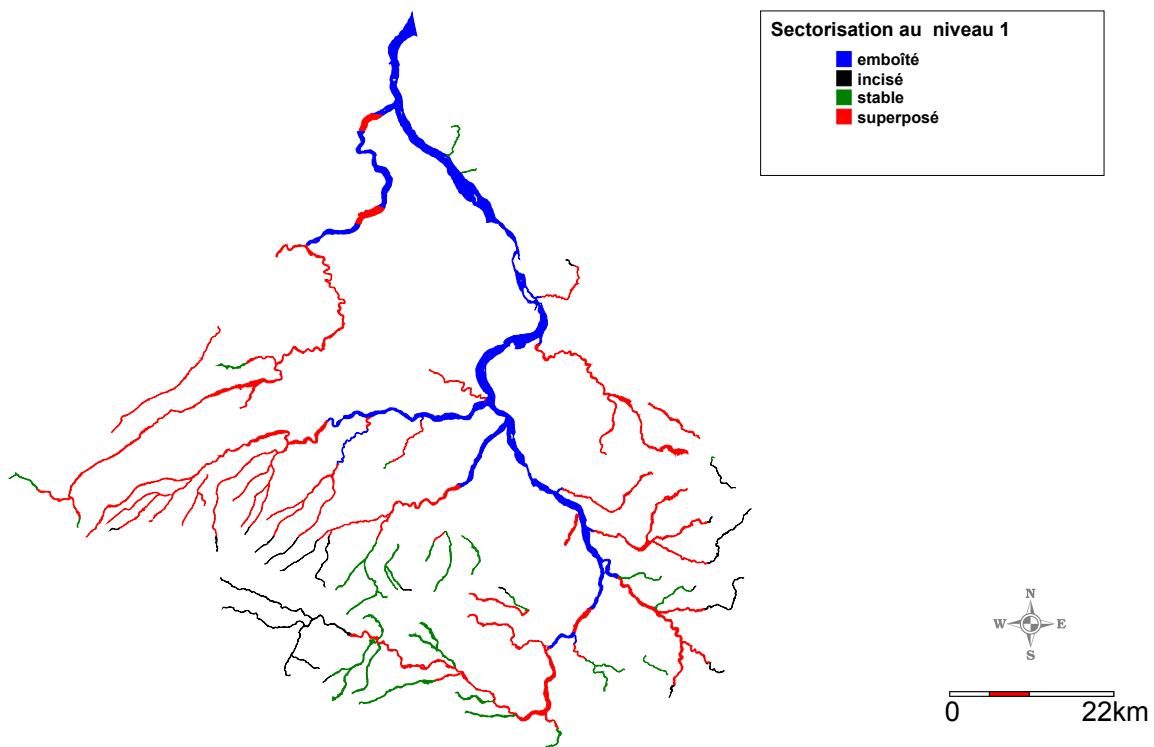


Figure 6. Bassin de l'Eure : sectorisation au niveau 1.

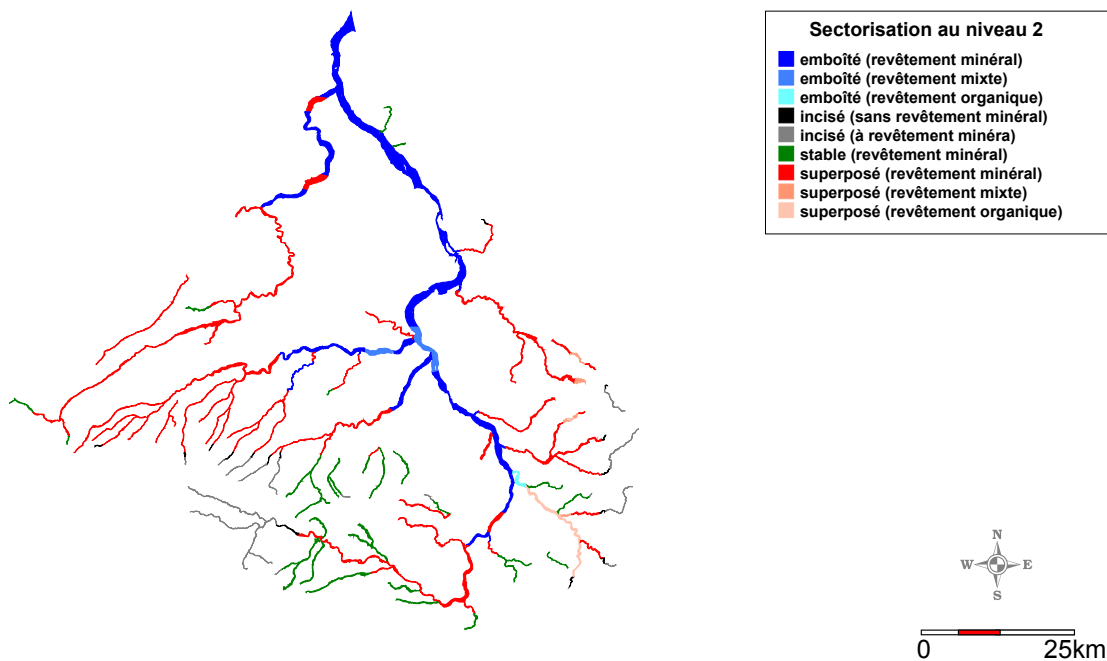


Figure 7. Bassin de l'Eure : sectorisation au niveau 2.

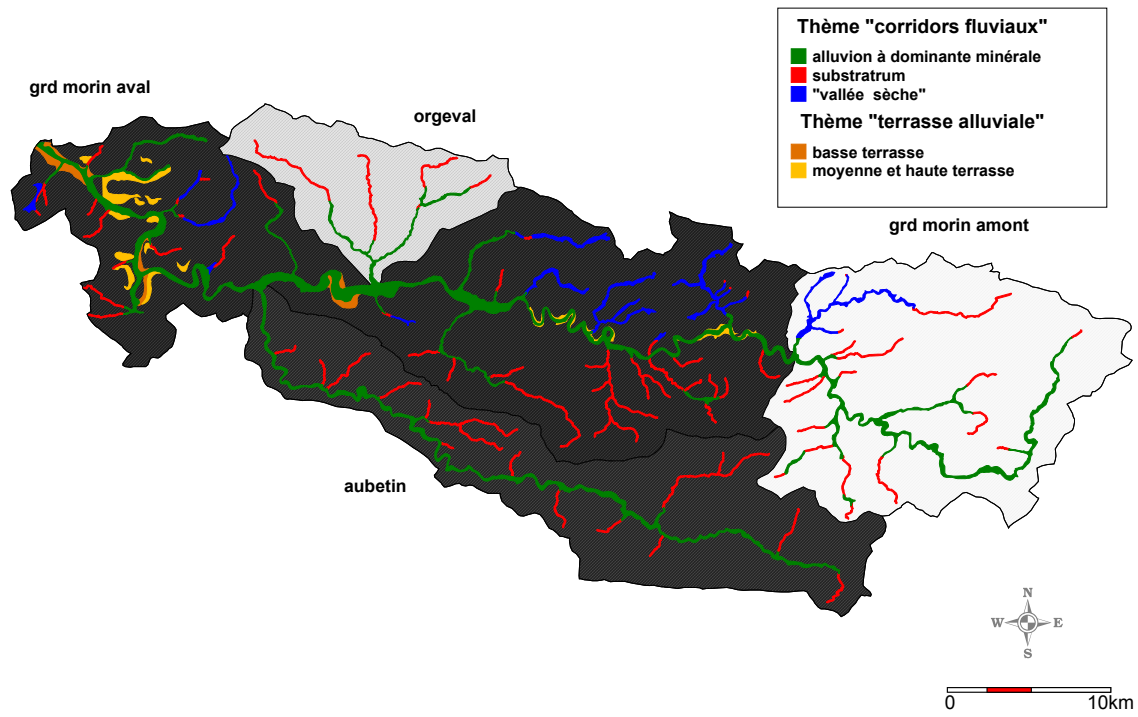


Figure 8. Bassin du Grand Morin : bases de données utilisée pour la caractérisation et l'identification des différents types de zones humides riveraines aux niveaux 2 et 3 de la classification géomorphologique.

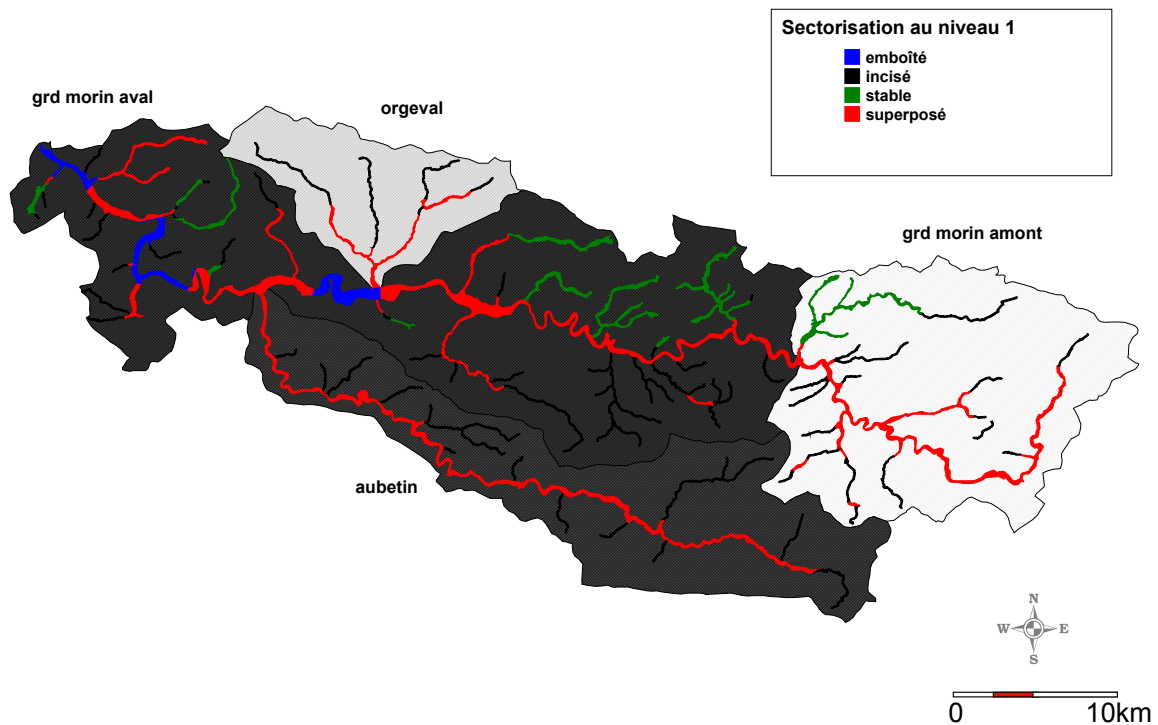


Figure 9. Bassin du Grand Morin : sectorisation au niveau 1.

Plus globalement, sur le bassin du Grand Morin, nous avons mis en relation le linéaire des différents types de zones humides riveraines (Figure 10) avec les pourcentages de rétention riparienne globale estimés par SENEQUE. Comme l'ont souligné Sebilo *et al.* (thème I dans ce volume), il existe au niveau des sous-bassins traités une relation entre ces 2 variables ; ceci dénote que l'outil « typologie hydrogéomorphologique » est susceptible de fournir des tendances en terme de potentiel de dénitrification.

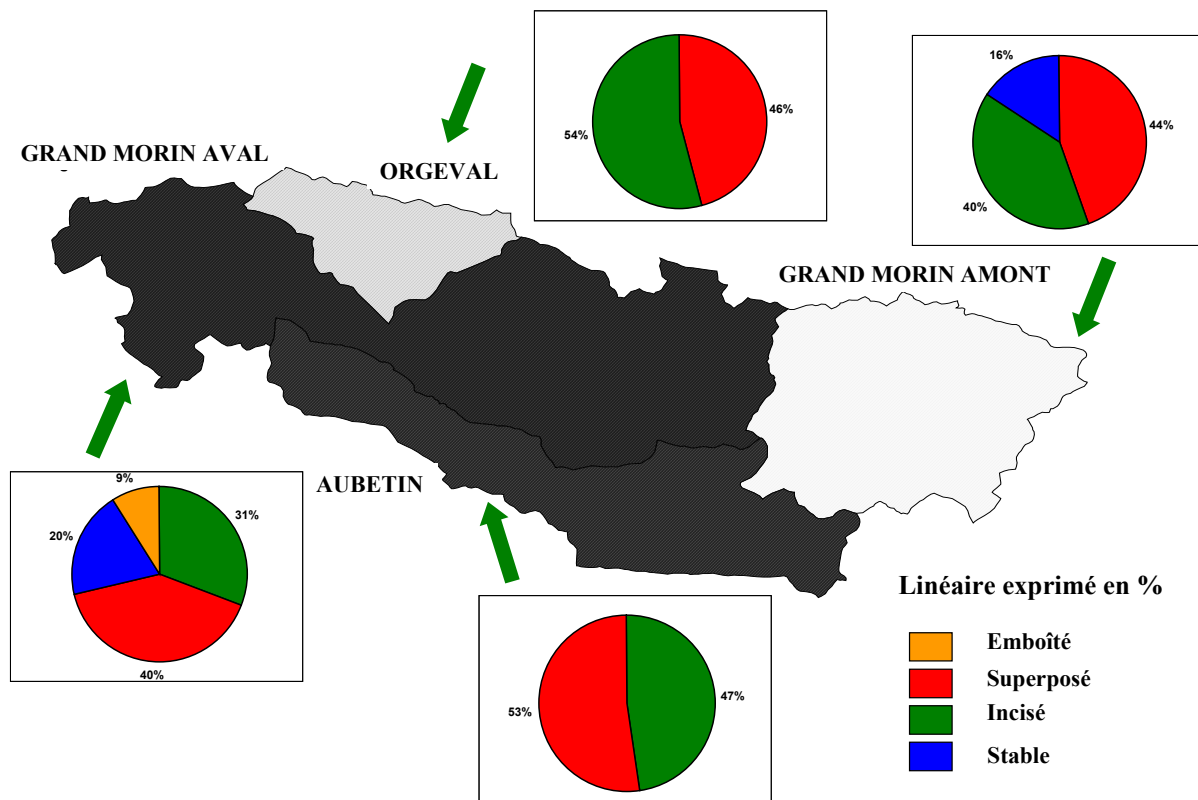


Figure 10. Bassin du Grand Morin : distribution des différents types de zones humides riveraines par sous bassin.

4 Perspectives

L'année 2001 sera consacrée à la finalisation de la méthode de classification des zones humides riveraines sur des bases hydrogéomorphologiques. On s'attachera en particulier à achever les différentes bases de données renseignant les critères pris en compte dans la classification et à optimiser les applications (sectorisation des corridors fluviaux et identification des différents types de zones humides riveraines ; gestion et extraction de données). Les résultats concerneront les bassins de la Marne et de l'Eure aux 3 niveaux de la classification ainsi que les bassins de l'Yonne et de la Seine supérieure aux 2 premiers niveaux. Ces résultats - le bassin de la Marne en particulier - seront disponibles courant juin 2001 afin que les équipes qui envisagent des campagnes de prélèvements en été puissent s'y référer (thème 1).

Ces documents serviront également de base de réflexion pour l'évaluation des différentes fonctions des zones humides. Cette réflexion sera conduite dans le cadre de 2 ateliers regroupant les chercheurs du PIREN-Seine intéressés mais également des personnalités extérieures. Ainsi, au second semestre 2001, nous procéderons à l'évaluation des fonctions des zones humides riveraines en centrant notre étude sur le bassin de la Marne dans un premier temps. Les fonctions retenues seront les fonctions d'épuration (rétention de l'azote, des MES et du phosphore ; thèmes 1, et 6) et les fonctions vis-à-vis des communautés piscicoles (thème 2/3).

5 Références bibliographiques

- AMOROS C., PETTS G. E., 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*, Paris: Masson, 300 p..
- BENDJOUDI H., MARSILY G. (de), 2000. « Fonctionnement hydrologique des zones humides », In Fustec E. et Lefeuvre J.C ed., Fonctions et valeurs des zones humides, Paris, Dunod, 61-81.
- BRINSON M., 1993. A Hydrogeomorphic classification of wetlands, US Army Corps of Engineers (Waterways Experiment Station), Wetlands Research Program, Technical Report WRP-DE-4, 71 p..
- BRINSON M. M., KRUCZYNSKI W., LEE L. C., NUTTER W. L., SMITH R. D., WHIGHAM D. F., 1994. "Developing an approach for assessing the functions of wetlands", In Mitsch W. J. ed., Global Wetlands : old world and new, Amsterdam: Elsevier, 615-624.
- BRINSON M., RHEINHARDT R. D., HAUER F. R., LEE L. C., NUTTER W. L., SMITH R. D., WHIGHAM D., 1995. A guidebook for application of hydrogeomorphic assessments to riverine wetlands, US Army Corps of Engineers (Waterways Experiment Station), Wetlands Research Program, Technical Report WRP-DE-4, 71 p..
- CHOW V.T., MAIDMENT D.R., MAYS L.W., 1988. *Applied Hydrology*, Mac Grow Hill ed., New York.
- GAILLARD S., BRAVARD J. P., FUSTEC E., 1998. « Bases méthodologiques pour une typologie des zones humides riveraines à l'échelle du bassin de la Seine », Rapport d'activité 1998 (Piren-Seine), Thème 2 : Les zones humides des cours d'eau : typologies, fonctionnement, évolution et restauration, 10 p..
- GAILLARD S., 1999. *L'Aube : dynamique morphosédimentaire holocène et fonctionnement actuel d'un hydrosystème à faible énergie*, Thèse de Géographie : Université Paris IV, 238 p..
- GAILLARD S., BRAVARD J. P., FUSTEC E., BRUNSTEIN D., PASQUIER D., 1999. « Typologie hydrogéomorphologique des zones humides riveraines dans le bassin de la Seine », Rapport d'activité 1999 (Piren-Seine), Thème 2 : Les zones humides des cours d'eau : typologies, fonctionnement, évolution et restauration, 11 p..
- LENT R.M., WEISKEL P.K., LYFORD F.P., AMSTRONG D.S., 1997. Hydrologic indices for nontidal wetlands, *Wetlands*, 17, 19-30.
- ROCHE M., 1963. *Hydrologie de surface*, Orstom et Gauthier-Villars ed., Paris.
- RICHARDS K., 1982. *Rivers: forms and process in alluvial channels*, New York: Methuen, 358 p..
- SALO J., 1990. "External processes influencing origin and maintenance of inland water-land ecotones", In Naiman R. J., Décamps H. ed., The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones, Paris: UNESCO, 37-64.
- SCHUMM S. A., 1977. *The fluvial system*, New York: Wiley, 338 p..