LES ZONES HUMIDES RIVERAINES DANS LE BASSIN DE LA SEINE : DELIMITATION, CARACTERISATION HYDROGEOMORPHOLOGIQUE ET EVALUATIONS FONCTIONNELLES

Stéphan GAILLARD[1], Hocine BENDJOUDI[2], Daniel BRUNSTEIN[3], Aicha AMEZAL[4], Sylvain THERY[2], Jean – Paul BRAVARD[5], Nader ABBOU DAGGA[2], Edith JOYEUX[1]

[1] IGARUN, Université de Nantes, UMR 6554

[2] LGA, Université Paris 6, UMR SISYPHE

[3] LGP, UMR 8591

[4] AESN

[5] Université Lumière – Lyon 2, UMR 5600

1- Introduction

Les zones humides ont un intérêt fonctionnel reconnu. Elles favorisent l'auto – épuration des eaux souterraines et superficielles, la rétention des crues et, dans certains cas, la recharge des nappes. Elles sont, par ailleurs, caractérisées par une extrême diversité biologique (Mitsch et Gosselink, 1993 ; Fustec et Lefeuvre, 2000).

Face à la dégradation importante de ces milieux, mise en évidence par l'évaluation des politiques publiques, l'Agence de l'Eau Seine – Normandie a mis en place une politique de préservation des zones humides. Cette politique se manifeste par des aides financières pour la réalisation d'études et de travaux de restauration et/ou d'entretien et des acquisitions foncières. Cette politique implique également la définition de stratégies d'actions et de priorités, qui sont directement liées à une meilleure connaissance des caractéristiques, des fonctions et des valeurs des zones humides.

Si les zones humides à fort intérêt patrimonial sont connues – il s'agit des milieux faisant l'objet d'un inventaire (Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique, ZNIEFF ; Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux, ZICO, …), de protections réglementaires (réserves naturelles, arrêtés préfectoraux de biotope, zones de protections spéciales, …) ou d'engagements internationaux (RAMSAR, …) –, les sites qui présentent un potentiel important vis – à – vis de la ressource en eau ne sont pas identifiés.

Dans ce contexte, le PIREN - Seine a développé des méthodes et des outils qui permettent : (1) de délimiter et de caractériser ces milieux et (2) de définir des indicateurs permettant d'évaluer de façon semi – quantitative leurs fonctions vis – à – vis de la ressource en eau ; ces travaux débouchant sur des typologies fonctionnelles susceptibles d'éclairer les décisions de gestion.

Cette caractérisation multivariée des zones humides et les inventaires typologiques qui en découlent doivent permettre d'identifier des sites prioritaires vis – à – vis de la ressource en eau ; par exemple, les zones humides à fort pouvoir d'écrêtement des pointes de crues et/ou à forte capacité de réduction des flux de nitrates. Dans le cadre de la DCE du 23 – 12 – 2000, ces travaux devraient permettre à l'Agence de créer une dynamique forte auprès des acteurs locaux en vue de définir les stratégies d'actions les plus efficaces pour améliorer la qualité des eaux.

L'objectif de ce rapport est de décrire les différentes étapes de la méthode ainsi que les principaux résultats relatifs à ces évaluations environnementales. Il convient à ce sujet de préciser que les travaux présentés ci – dessous sont centrés sur les zones humides riveraines (ZHR) ; ils ne concernent que les cours d'eau et les plaines alluviales qui leur sont associées et que l'on désigne également sous le vocable d'hydrosystèmes fluviaux.

L'évaluation des fonctions des ZHR vis – à – vis de la ressource en eau (stockage d'eau à court et à long terme, rétention et/ou recyclage d'éléments particulaires et dissous, …) passant par l'identification des différents types de milieux depuis les têtes de bassin jusqu'aux plaines fluviales drainées par des cours d'eau de rang supérieur (Brinson et al., 1994), la méthode développée pour caractériser l'action des ZHR sur les flux d'eau et de matières s'appuie sur trois étapes :

- la première étape consiste à délimiter, inventorier et classer les ZHR sur des bases hydrogéomorphologiques ; les critères retenus à ce niveau étant considérés comme des déterminants du fonctionnement des systèmes aquatiques continentaux (Salo, 1990 ; Brinson et al., 1993, 1994 ; Maltby et al., 1994) ;
- la seconde étape a pour objet la sélection d'indicateurs et la construction d'indices qui permettent d'évaluer de façon semi – quantitative les fonctions des ZHR en termes de présence / absence et d'intensité de réalisation ;
- la troisième étape s'appuie sur la constitution de bases de données géoréférencées et sur le développement d'applications SIG qui assurent l'identification et la spatialisation des différents types de ZHR ainsi que l'élaboration des typologies fonctionnelles.

Comme cela a été souligné précédemment, la finalité de ces travaux est de fournir aux gestionnaires un outil d'aide à la décision en matière de gestion voire de restauration des ZHR à l'échelle du bassin de la Seine. Ces travaux doivent également permettre aux équipes du PIREN – Seine de procéder à un changement d'échelle (extrapolation de résultats acquis sur des sites ateliers à des secteurs plus vastes présentant les mêmes caractéristiques de point de vue de leur structure hydrogéomorphologique). Ils pourront également alimenter les modèles dédiés à la qualité des eaux développés dans le cadre du programme (Billen et Garnier, 2000).

Ce rapport s'articule de la façon suivante. Dans la première partie, les principaux résultats relatifs à la délimitation des ZHR et à leur caractérisation sur des bases hydrogéomorphologiques sont présentés. La seconde partie est centrée sur les évaluations environnementales. Il s'agit ici de présenter les typologies fonctionnelles relativement à deux fonctions : (i) l'écrêtement des pointes de crues et le stockage d'eau en plaine alluviale, (ii) la rétention et/ou l'élimination des nitrates.

2- Délimitation et caractérisation des zones humides riveraines sur des bases hydrogéomorphologiques

2.1. Classification théorique des zones humides riveraines

La caractérisation des ZHR dans le bassin de la Seine repose sur l'élaboration d'un système de classification théorique sur des bases hydrogéomorphologiques. En raison de l'étendue de la zone d'étude (superficie du bassin de la Seine : 76 000 km² ; linéaire de rivières : 23 000 km), une démarche analytique classique basée sur l'extraction et l'analyse statistique d'un jeu de variables hydrogéomorphologiques caractérisant les lits fluviaux et les plaines alluviales n'apparaît pas applicable (Bernot et al. 1996 ; Gaillard, 1999). Pour cette raison, nous avons développé une approche théorique centrée sur le concept de système morphologique hiérarchisé et emboîté (Amoros et Petts, 1993). La structure des plaines et des cours d'eau résultant de processus géomorphologiques qui se réalisent à différentes échelles de temps et d'espace, nous avons cherché à replacer la compréhension

des paysages de fonds de vallées et la définition des différents types de ZHR dans une perspective génétique et dynamique.

La figure 1 se rapporte à la classification des ZHR 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 et le fonctionnement des hydrosystèmes fluviaux peuvent être appréhendés (Salo, 1990 ; Amoros et Petts, 1993). La figure suivante (fig. 2) montre les dispositifs morphostratigraphiques associés aux différents types de ZHR et leur déclinaison selon les niveaux du système de classification.

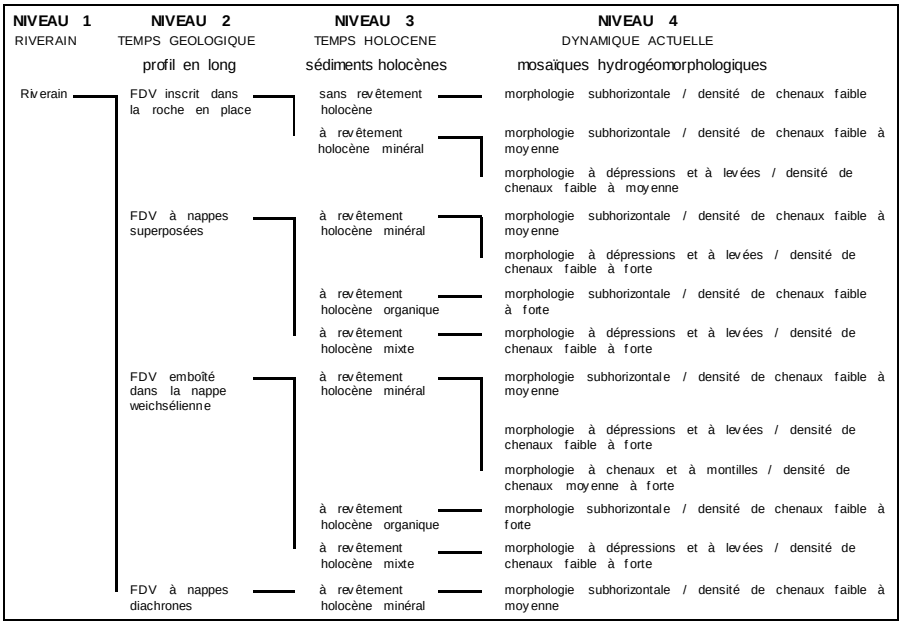


Figure 1 : Classification des ZHR sur des bases génétiques et dynamiques.

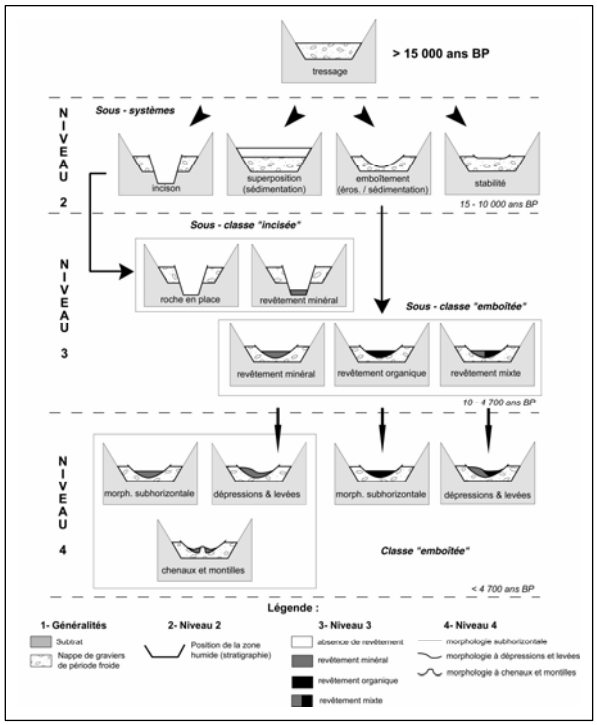


Figure 2 : Caractérisation morphostratigraphique des différents types de ZHR pour les niveaux 2, 3 & 4 de la classification hydrogéomorphologique.

Quatre niveaux de description sont proposés. Le niveau d'entrée de la classification (niveau 1) correspond au système ZHR défini par Brinson et al. (1993) dont nous cherchons à préciser la variabilité. Les niveaux 2, 3 et 4 correspondent à l'intégration de 3 variables hydrogéomorphologiques :

- évolution du profil en long des cours d'eau (niveau 2 / pas de temps géologique) ;
- dépôts sédimentaires holocènes (niveau 3 / pas de temps holocène) ;
- mosaïques hydrogéomorphologiques (niveau 4 / pas de temps actuel).

Les variables intégrées aux niveaux 2, 3 et 4 contrôlent des caractéristiques morphologiques et fonctionnelles des couloirs fluviaux. Les modalités retenues pour ces variables sont les suivantes :

- la variable « évolution du profil en long des cours d'eau » (niveau 1) joue sur les macroformes (largeur et pente des hydrosystèmes) ; elle comprend 4 modalités : incision, exhaussement, emboîtement et stabilité à partir desquelles on a défini 4 sous – systèmes caractérisés par des dispositifs stratigraphiques spécifiques ; comme cela a été montré, ces sous – systèmes sont contrôlés (1) par des modifications dans le rapport débit liquide/débit solide des rivières dues au changement bioclimatique postglaciaire et (2) par la pente du plancher alluvial hérité de la dernière période froide (Schumm, 1977 ; Richards, 1982) ;
- la variable « dépôt sédimentaire holocène » (niveau 3) comprend quatre modalités : absence de dépôt (i.e. fond de vallée inscrit dans la roche en place), dépôt à dominante minéral, dépôt à dominante organique, dépôt mixte ; cette variable joue sur les échanges verticaux entre les milieux de surface et de subsurface ; elle joue également sur la dynamique de l'azote via la teneur en matière organique des nappes de revêtement holocène ;
- au niveau 4, la variable « mosaïques hydrogéomorphologiques » caractérise les mosaïques de mésoformes les plus couramment observées dans le bassin de la Seine (Gaillard, 1999) ; elle comprend 3 modalités : morphologie subhorizontale ; morphologie à levées et à dépressions ; morphologie à chenaux et à montilles ; à chacun de ces dispositifs, nous avons associé des caractéristiques relatives aux annexes hydrauliques drainant les couloirs fluviaux (densité de chenaux secondaires faible, moyenne, forte) ; ces caractéristiques sont dépendantes des dispositifs morphologiques ainsi que des variables prises en compte aux niveaux supérieurs de la classification (niveaux 2 et 3) ; la variable « mosaïques hydrogéomorphologiques » exerce un contrôle sur les transferts d'eau et de matières dans les couloirs fluviaux lors des inondations (mise en eau, stockage et vidange des plaines fluviales, rétention des flux particulaires, …) ; elle intervient également sur la nature et la distribution des habitats pour la flore et la faune (Hughes, 1980 ; Lewin et Hughes, 1980 ; Dzana et Gaillard, 1995 ; Fustec et al., 1999 ; Boët, 2000).

Selon le principe d'emboîtement des échelles de temps et d'espace retenu pour cette étude, il est important de noter que les classes et sous – classes définies aux niveaux 3 et 4 ont été induites des conditions d'évolution à long terme du système (i.e. évolution du profil en long des cours d'eau). Ceci a permis de définir au niveau 4, 13 types de paysages fluviaux.

2.2. Inventaires typologiques

Les inventaires typologiques des ZHR s'appuient sur l'exploitation – via un SIG – de bases de données au format vectoriel développées spécifiquement pour cette étude. Afin de disposer d'une information homogène à l'échelle du territoire étudié, les données – source utilisées sont issues de la lecture et de l'interprétation de cartes topographiques IGN à 1/25 000e et de cartes géologiques du BRGM à 1.50 000e. Quatre couvertures qui renseignent sur (1) l'extension des corridors fluviaux et les types de revêtements sédimentaires, (2) le système de terrasses alluviales, (3) les annexes hydrauliques et (4) les mosaïques hydrogéomorphologiques ont ainsi été produites. Ces couvertures fournissent une information spatialisée sur les ZHR à l'échelle du bassin ; elles permettent également de renseigner les variables prises en compte aux différents niveaux de la classification hydrogéomorphologique.

La figure suivante (fig. 3) se rapporte à la distribution des ZHR dans le bassin Seine – Normandie. La délimitation des corridors fluviaux a été faite à partir d'une interprétation hydrogéomorphologique des cartes topographiques IGN à 1/25 000e. Ces données sont issues de la couverture des corridors fluviaux présentée ci – dessus.

En considérant l'ensemble du bassin Seine – Normandie, les ZHR couvrent une superficie de 8240 km² ; soit 8.7 % du territoire. Le tableau 1 donne la répartition des ZHR par bassin. Les différences observées à ce niveau permettent d'opposer les bassins inscrits dans des roches calcaires et/ou crayeuses (Seine amont : 7.87 %) à ceux inscrits dans des roches granitiques et métamorphiques (Basse – Normandie : 10.1%) ; ceci matérialise le contrôle exercé par le cadre morpho – structural sur la distribution des ZHR. La figure suivante (fig. 4) se rapporte à la distribution des surfaces de ZHR en fonction du rang.

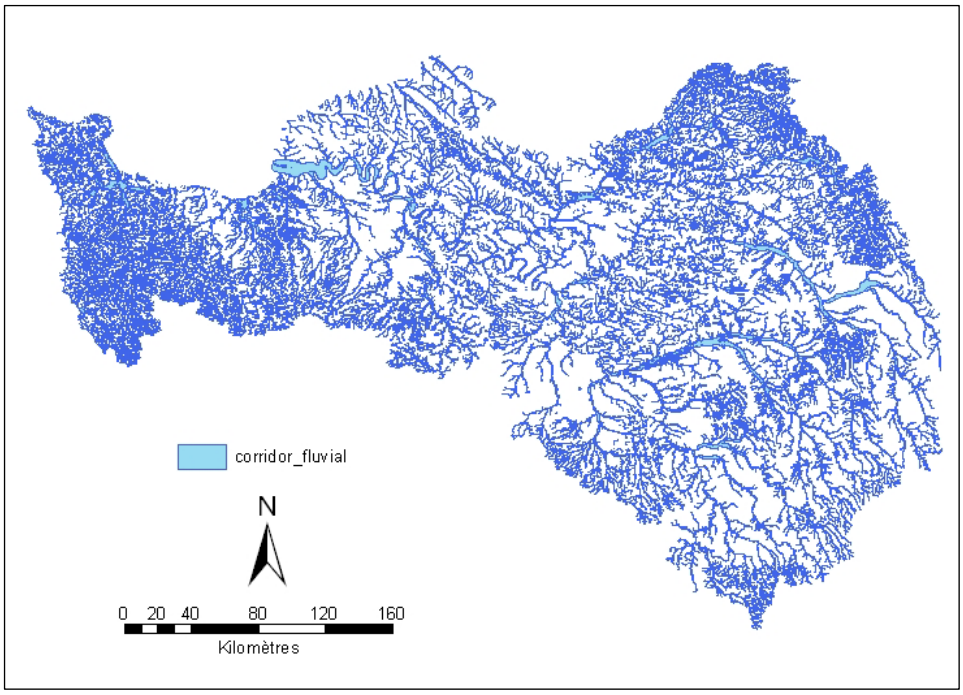


Figure 3 : Distribution des zones humides riveraines dans le bassin de la Seine.

NOM	surface ZHR (km²)	surface bassin (km²)	%
Basse Normandie	1418,56	13933,91	10,18
Basse-Seine	904,47	9846,94	9,19
Eure	465,10	6000,04	7,75
Haute-Normandie	271,23	3751,43	7,23
Marne	1111,42	12832,03	8,66
Oise	1659,06	16972,78	9,77
Seine-Amont	2418,30	30718,17	7,87
	8248,15	94055,28	

Tableau 1 : Distribution des ZHR par bassin.

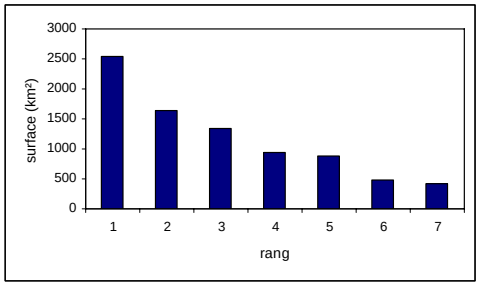


Figure 4 : Distribution des ZHR en fonction du rang.

Les figures 5a, b et c montrent les inventaires typologiques pour les niveaux 2, 3 et 4 de la classification hydrogéomorphologique. Les résultats obtenus au niveau 2 sont issus du croisement des couvertures « corridors fluviaux » et « système de terrasses » à partir desquelles il est possible d'examiner les relations stratigraphiques entre les plaines fluviales actuelles et les niveaux alluviaux plus anciens. Le niveau 3 intègre la nature des revêtements sédimentaires contenue également dans la couverture des corridors fluviaux. Le niveau 4 découle de l'intégration des couvertures « annexes hydrauliques » et « mosaïques hydrogéomorphologiques » (cf. supra).

Avec 4 sous – systèmes, 9 classes et 13 sous – classes discriminés aux niveaux 2, 3 et 4 de la classification, l'approche retenue permet de caractériser la variabilité longitudinale des hydrosystèmes fluviaux à différentes échelles d'espace. Elle permet également de mettre en évidence des ensembles spatialement continus qui présentent des propriétés homogènes aux plans géomorphologique et fonctionnel.

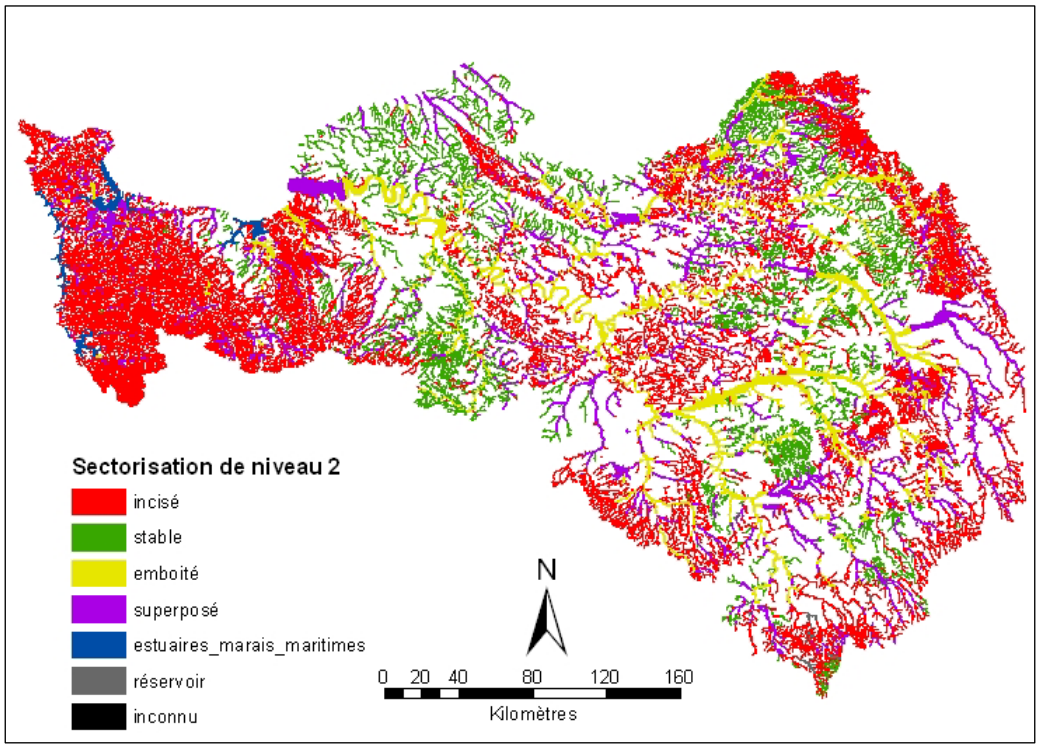


Figure 5a : Inventaire typologique de niveau 1.

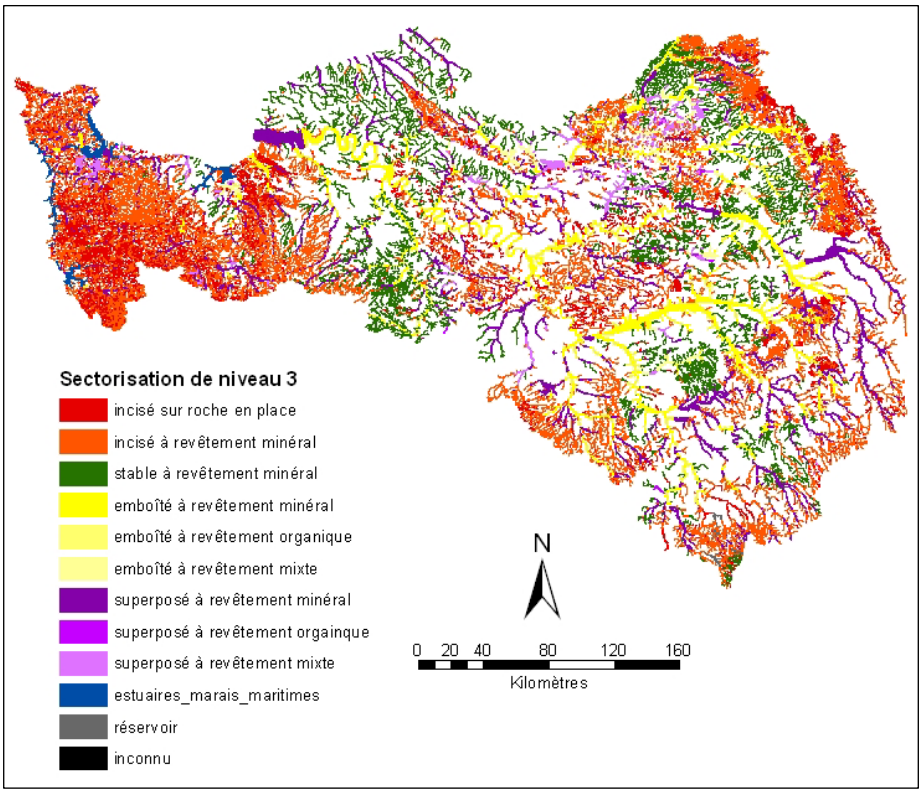


Figure 5b : Inventaire typologique de niveau 2.

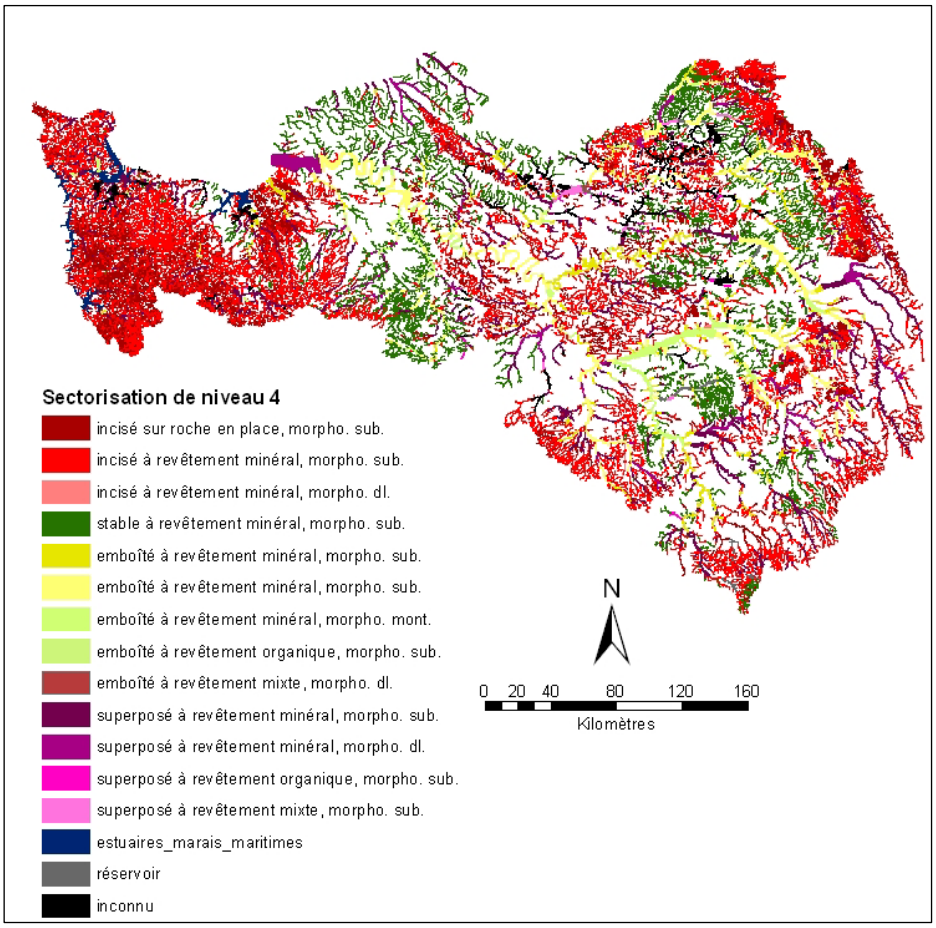


Figure 5c : Inventaire typologique de niveau 3.

La figure suivante (fig. 6) montre la répartition des 4 sous – systèmes pour le niveau 2 de la classification. Les sous – systèmes caractérisés par des revêtements sédimentaires emboîtés et/ou superposés (i.e. nappes de limons holocènes couvrant des sables et graviers weichséliens) représentent plus 65 % de l'effectif. Les sous – systèmes de type incisé et stable représentent respectivement 22 et 10%.

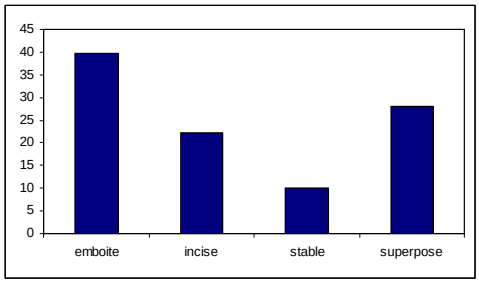


Figure 6 : Distribution des ZHR de niveau 2.

Pour les différents niveaux de la classification, les logiques de distribution des types dans le gradient amont – aval font principalement intervenir des facteurs internes dus à la dynamique fluviale ; en particulier (1) la pente du plancher alluvial héritée de la dernière période froide qui fournit l'énergie entrant dans le système et (2) l'évolution longitudinale dans le rapport débit liquide/débit solide (Gaillard, 1999). Localement, des facteurs externes interviennent tels que la lithologie et l'hydrogéologie ; ils rendent compte par exemple de la présence et/ou de l'absence de certains types de ZHR et de revêtements sédimentaires.

3- Evaluations fonctionnelles

A la suite des inventaires typologiques présentés ci – dessus, nous avons cherché, en nous appuyant sur une approche semi – quantitative proposée par Brinson et al. (1995), à évaluer les fonctions des ZHR. Deux fonctions ont été retenues pour cette étude : la régulation des crues et la rétention et l'élimination des nitrates.

3.1. Définitions

Le terme de « fonction » désigne un ensemble de processus physico – chimiques et biologiques qui se réalisent naturellement dans les zones humides et les propriétés qui en découlent (Fustec et al., 1996). Les fonctions des zones humides peuvent être regroupées en quatre catégories : (1) fonctions hydrologiques vis – à – vis du régime des eaux tels que le contrôle des crues ou la recharge des nappes ; (2) fonctions biogéochimiques intervenant sur la qualité des eaux (piégeage des sédiments, rétention et élimination des nutriments et des polluants) ; (3) fonctions d'habitat pour la flore et la faune et (4) fonctions de récréation.

La fonction de régulation des crues est définie comme la capacité d'une zone humide à réduire les débits de pointe de crues et donc à modérer leurs effets en aval. A titre d'exemple, sur le bassin de la Maine en amont d'Angers, le débordement des eaux de la crue de 1995 sur environ 100 km² de marais et de prairies humides a réduit la côte maximale atteinte au niveau de la ville d'Angers de 20 à 30 cm (DIREN de bassin Loire Bretagne). Cette fonction est assurée par le processus de laminage dû au stockage et/ou au ralentissement des eaux de débordement en amont de la zone considérée (Oberlin, 2000). Il est important de noter que cette fonctionnalité a également des incidences sur d'autres fonctions comme la qualité des eaux ou les habitats pour les biocénoses.

La fonction de rétention et d'élimination des nitrates, qui est définie comme la capacité des zones humides à réduire les flux d'azote, est assurée par 3 processus : la dilution dans les zones rivulaires où la nappe est alimentée par la rivière, l'absorption par la végétation et les micro – organismes du sol et la dénitrification biologique assurée par des bactéries hétérotrophes ; ce dernier processus est le seul qui assure une élimination complète de l'azote. A titre d'exemple, Cooper et al. (1986) ont montré qu'un secteur de marais et de forêts rivulaires peut absorber jusqu'à 97% des flux de nitrates. Dans le bassin de la Seine amont, la rétention estimée varie de 40 à 80% du flux de nitrates (Billen et Garnier, 2000).

3.2. Méthodologie et principaux résultats

3.2.1. Méthodologie

L'approche retenue pour ces évaluations s'appuie sur l'analyse des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des corridors fluviaux ainsi que sur l'analyse de leur niveau d'altération via un SIG et sur la sélection d'un ensemble d'indicateurs. Mis en évidence par différentes études scientifiques, ces indicateurs sont utilisés pour construire un indice. Dimensionné entre 0 et 1, cet indice permet d'estimer la capacité des ZHR à réaliser les 2 fonctions étudiées en termes de présence / absence et d'intensité de réalisation (Brinson et al., 1995 ; Joyeux, 2005).

Le tableau 2 se rapporte aux indicateurs retenus pour estimer les fonctions de régulation et de rétention et d'élimination des nitrates et les bases de données utilisées pour les renseigner. Pour estimer la fonction de régulation des crues, 11 indicateurs ont été retenus. Basés sur des caractéristiques qui contrôlent la manifestation de cette fonction, ces indicateurs permettent de préciser les relations entre les ZHR et les aquifères. Ils interviennent également sur les capacités potentielles de mise en eau et de stockage (largeur et morphologie de la plaine, densité d'annexes hydrauliques, type de revêtements, gravières) ainsi que sur les vitesses d'écoulement (sinuosité du lit mineur, pente maximale de la plaine, rugosité due à la végétation, densité d'obstacles, barrages et écluses).

Chaque indicateur a été codé et renseigné de façon semi – quantitative. L'indice pour estimer la fonction de régulation des crues est le suivant :

$$CN = (Lp + Sco + Pp + Dca + Tp + Ap + Oc + Gp + V + Se + Be) / 11$$

CRITRES RETENUS	BASES DE DONNEES UTILISEES
Largeur de la plaine d'inondation (Lp)	BD hydrogéomorphologiques
Sinuosité du cours d'eau (Sco)	BD hydrogéomorphologiques
Pente de la plaine d'inondation (Pp)	MNT (100 m)
Densité des chenaux et connexions (Dca)	BD hydrogéomorphologiques
Macrotopographie de la plaine (Tp)	BD hydrogéomorphologiques
Connexion avec un aquifère profond (Ap)	BD Masses dEau (AESN)
Obstacles construits (Oc)	BD Carto (IGN)
Gravières – plans d'eau (Gp)	Corine Land Cover (IFEN)
Type de végétation (V)	Corine Land Cover (IFEN)
Type de revêtement sédimentaire (Se)	BD hydrogéomorphologiques
Barrages et écluses (Be)	BD Barrages – Ecluses (AESN)

Tableau 2 : Indicateurs retenus pour évaluer les fonctions de régulation des crues et de rétention et d'élimination des nitrates.

Bien que tous les critères ne jouent pas tous le même rôle, l'indice pour estimer la rétention et l'élimination des nitrates est identique à celui proposé pour la régulation des crues. La sinuosité du cours d'eau et la pente de la plaine interviennent par exemple sur le temps de résidence de l'eau ; la végétation sur les capacités d'absorption des nitrates. La présence d'un aquifère renseigne sur l'alternance de conditions aérobie / anaérobie favorable à la dénitrification, de même que les sédiments via leur teneur en matière organique. Les chenaux secondaires, les gravières ainsi que les barrages jouent sur le stockage d'eau et l'accumulation de matière organique.

3.2.2. Principaux résultats

Aucune redondance n'ayant été observée entre les différentes variables, les 11 indicateurs ont été utilisés pour produire l'indice crue et nitrate. Le tableau suivant (tab. 3) montre les valeurs extrêmes prises par l'indice selon les bassins. Le nombre de variables utilisées explique le niveau assez bas du maximum de la série (0.72). Les variations de l'indice sont cependant suffisamment importantes pour réaliser une typologie. Pour produire la typologie, les valeurs de l'indice ont été discrétisées de 0.1 en 0.1. Sous cette forme, on peut ensuite représenter l'indice selon 7 classes d'efficacité (fig. 7).

BASSIN	MIN	MAX
Seine amont	0.17	0.72
Oise	0.17	0.65
Seine Aval	0.09	0.57
Yonne	0.16	0.57
Marne	0.19	0.65
Eure	0.17	0.61
Bocages normands	0.05	0.5
Côtiers normands	0.2	0.5

Tableau 3. Variation de l'indice crue et nitrate.

Classe	Niveau d'efficacité	Couleur
0.1	très mauvais	
0.2	mauvais	
0.3	médiocre	
0.4	moyen	
0.5	bon	
0.6	très bon	
0.7	excellent	

Figure 7. Classes utilisées pour la typologie fonctionnelle des ZHR.

La figure suivante (fig. 8) représente la distribution des ZHR selon leur niveau d'efficacité ; 4 figures correspondant à la cartographie des principaux critères sont présentées en annexe. Les ZHR les plus efficaces se situeraient principalement dans la plaine de la Bassée en amont de Paris et la moyenne vallée de l'Oise. Ces secteurs correspondent à de larges hydrosystèmes fluviaux caractérisés par des plaines alluviales surdimensionnées héritées de la dernière période périglaciaire (sous – classe « emboîté à dépressions et à chenaux » de la classification hydrogéomorphologique). D'autres secteurs de fond de vallée, caractérisés par des plaines fluviales moins larges, présenteraient également des potentialités importantes. Il s'agit des vallées du Loing, de l'Essonne dans son cours moyen et supérieur, de la Marne supérieure et de l'Armance… Dans tous les cas, il s'agit de ZHR appartenant aux sous – systèmes emboîté ou superposé de la classification. Indépendamment du gabarit de la plaine alluviale, les facteurs qui rendent compte du niveau d'efficacité important de ces milieux sont : la présence d'une nappe libre, la sinuosité du lit et la pente de la vallée. Dans certains cas, les aménagements (gravières, barrages et écluses et obstacles construits) joueraient un rôle important sur l'indice crue et nitrate (vallée de Loing). D'autres secteurs situés en tête de bassin (bassins de l'Yonne ou de l'Aisne) joueraient également un rôle efficace.

Les ZHR les moins efficaces se situeraient dans les secteurs artificialisés comme la Seine dans et en aval de Paris. De nombreux cours d'eau de tête de bassin à vocation agricole présentent également des niveaux d'efficacité faible. Ces résultats restent cependant à interpréter avec prudence. En effet, certaines ZHR comme celles du bassin de la Basse – Normandie réputées pour la qualité de leurs milieux présentent des niveaux d'efficacité faible.

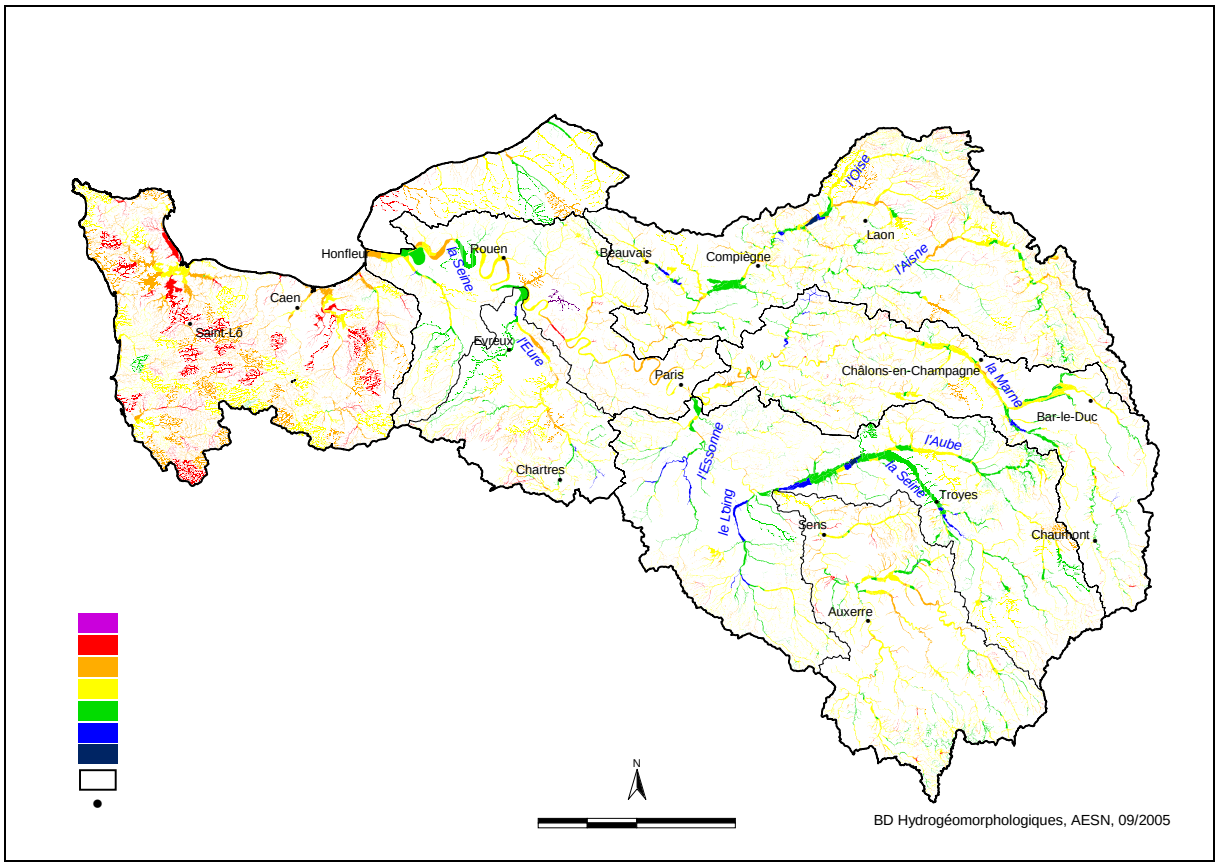


Figure 8. Potentialités des ZHR relativement aux fonctions crue et nitrate.

En gardant à l'esprit les remarques formulées plus haut, nous avons cherché à cartographier les ZHR les plus efficaces vis – à – vis de la régulation des crues et/ou de la rétention et de l'élimination des nitrates. Dans ce contexte, nous avons considéré les ZHR dont l'indice est égal ou supérieur à 0.6. La figure 9 se rapporte à la cartographie des ZHR les plus efficaces. Trois classes ont été conservées pour cette représentation : $0.6 \leq CN \leq 0.7$ (niveau d'efficacité très bon) et $0.7 \leq CN \leq 0.8$ (niveau d'efficacité excellent) ; les ZHR dont l'indice est inférieur à 0.6 ont été considérées comme non prioritaires. L'examen des cartes et des données qui décrivent les couloirs fluviaux montre que 4 critères sont discriminants. Il s'agit : de la taille de la plaine alluviale, de la présence d'une nappe libre, de la pente longitudinale et, enfin, de la structure du réseau hydrographique drainant les corridors fluviaux.

4- Perspectives

L'approche proposée permet de caractériser la structure hydrogéomorphologique à différentes échelles spatiales des ZHR et d'identifier des secteurs fonctionnels. Basée sur un jeu de variables aisé à acquérir à partir des documents cartographiques et des bases de données disponibles, cette méthode est plus souple à mettre en œuvre qu'une approche analytique classique centrée sur l'extraction et l'exploration statistique d'un ensemble de variables caractérisant les couloirs fluviaux (Gaillard, 1999).

Permettant de préciser la variabilité du type ZHR défini par Brinson et al. (1993, 1994), le système de classification proposé dans cette étude et la caractérisation multi – échelles qui en découle sont susceptibles d'être appliqués à d'autres bassins versants présentant des contextes hydrogéomorphologiques similaires ainsi que des trajectoires d'évolution comparables. Le transfert à d'autres bassins, dans des contextes différents, peut également être envisagé sous réserve de compléter

le système de classification. Ceci peut être fait en intégrant de nouvelles modalités aux variables considérées à chaque niveau du système typologique.

En ce qui concerne les évaluations fonctionnelles, l'étude permet de fournir à l'échelle du bassin Seine – Normandie un instantané de la distribution de différents facteurs qui contrôlent au moins en partie la réalisation des fonctions de régulation des crues et de rétention et d'élimination des nitrates (*cf.* cartes en annexe) ; en ce sens, il s'agit d'appréhender à partir de l'indice proposé des potentialités relatives aux corridors fluviaux. Ces résultats devront être approfondis sous au moins 3 angles. Le premier consiste à intégrer des indicateurs supplémentaires qui rendent compte des échanges hydriques à l'intérieur des couloirs fluviaux (fréquence et durée des submersions, endiguement) ainsi que des caractéristiques physiques et de l'occupation humaine à l'échelle des bassins versants. Ceci devrait permettre de mieux appréhender les potentialités ZHR. Le second concerne l'analyse statistique du jeu d'indicateurs ; il s'agira à ce stade de les hiérarchiser ; l'objectif étant de produire un indice qui prenne mieux en compte le poids réel des indicateurs dans la réalisation des fonctions étudiées. La dernière étape concerne la validation de cet indice.

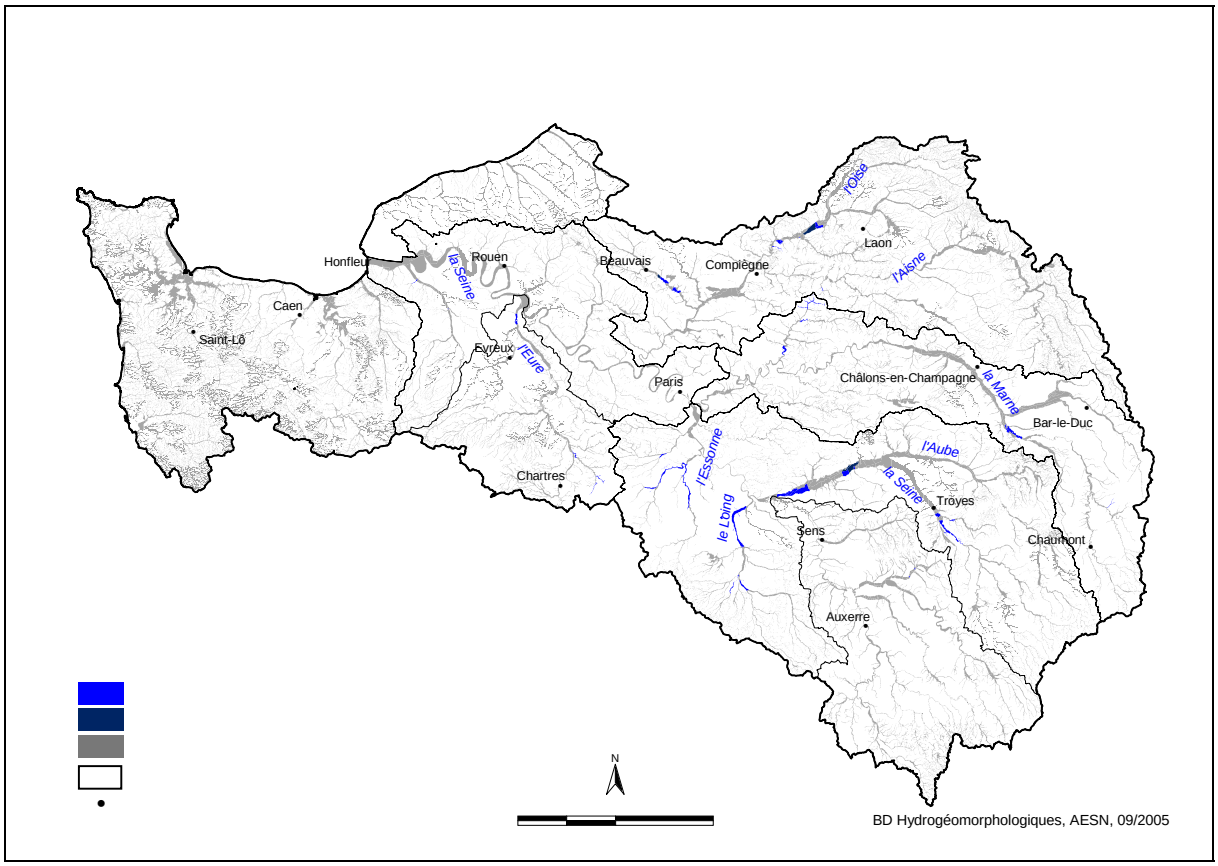


Figure 9. Potentialités des ZHR relativement aux fonctions crue et nitrate.

Références bibliographiques

AMOROS C., PETTS G. E., 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*, Paris : Masson, 300 p..

BERNOT V., CALLAND V., BRAVARD J. P., FOUSSADIER R., 1996. « La sectorisation longitudinale du Vidourle (Gard - Hérault) », *Revue de Géographie de Lyon*, 4, 323 - 339.

BILLEN G., GARNIER J., 2000. « Nitrogen transfers through the Seine drainage network : a budget based on the application of the Riverstrahler model », *Hydrobiologia*, 410, 139 - 150.

BOËT P., 2000. « Fonctions des zones humides pour les poissons », In : Fustec E. et Lefeuvre J. C. (ed.), Fonctions et valeurs des zones humides, Paris : Dunod, 245 - 259.

BRINSON M. M., 1993. *A hydrogeomorphic classification for wetlands*, USACE, Waterways Experiment Station, Technical Report WRP - DE - 4, 79 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. M., HAUER F. R., LEE L. C., NUTTER W. L., RHEINHARDT R. D., SMITH R. D., WHIGHAM D. F., 1995. *A guidebook for application of hydrogeomorphic assessments to riverine wetlands*, USACE, Waterways Experiment Station, Technical Report WRP - DE - 11, 113 p..

DZANA J. G., GAILLARD S., 1995. « Zones inondables et topographie des lits majeurs *:* l'exemple de l'Aube et de la Seine supérieure », *Annales de Géographie*, 581 - 582, 191 - 200.

FUSTEC E., GREINER I., SCHANEN O., GAILLARD S., DZANA J. G., 1999. *Les zones humides riveraines : des milieux divers aux fonctions multiples*, In : Meybeck M., de Marsily G., Fustec E. (ed.), La Seine en son Bassin : Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé, Paris : Elsevier, p. 211 - 262.

FUSTEC E., LEFEUVRE J. C., 2000. *Fonctions et valeurs des zones humides*, Paris : Dunod, 426 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., AMEZAL A., BRAVARD J. P., FUSTEC E., BENDJOUDI H., BRUNSTEIN D., N'GUYEN – THE D., 2001. « Inventaire et fonctions des zones humides dans la bassin de la Seine », *Actes du colloque Scientifiques et Décideurs : agir ensemble pour une gestion durable des systèmes fluviaux*, Lyon, 11 p...

HUGHES D. A., 1980. « Floodplain inundation : processes and relationships with channel discharge », *Earth Surface Processes*, 5, 297 - 304.

JOYEUX E., 1005. *Typologie des zones humides riveraines du basin de la Seine et functions relatives à la qualité et au regime des eaux*, Stage AESN / Master Sciences de Sociétés et de leur Environnement, 90 p.

LEWIN J., HUGHES D. A., 1980. « Welsh floodplain studies (II): Application of a qualitative inundation model », *Journal of Hydrology.*, 46, 35 - 49.

OBERLIN G., 2000. « Le contrôle des crues », In : Fustec E. et Lefeuvre J. C. (ed.), Fonctions et valeurs des zones humides, Paris : Dunod, 83 - 105.

MALTBY E., HOGAN D. V., IMMIRZI C. P., TELLAM J. H., PEIJL M., 1994. « Building a new approach to the investigation and assessment of ecosystem functioning », In : Mitsch W. J. (ed.), Global Wetlands : old world and new, Amsterdam : Elsevier, 637 - 658.

MITSCH W. J., GOSSELINK J. C., 1993. *Wetlands*, New York : Van Nostrand Reinhold Company, 722 p..

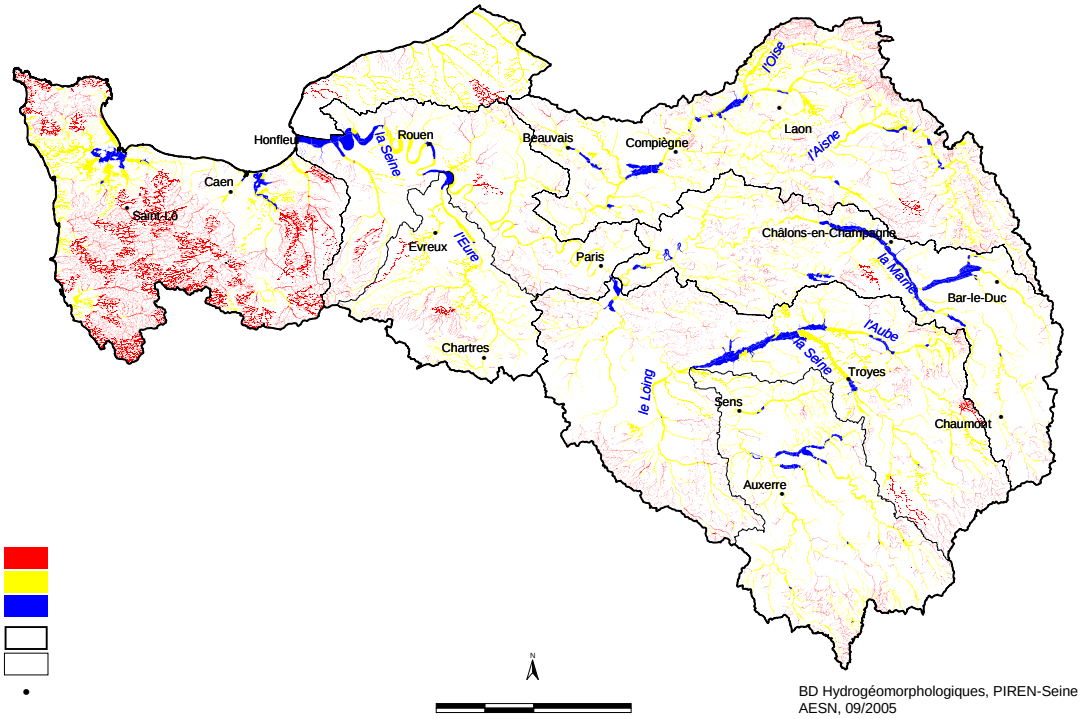
RICHARDS K. 1982. *Rivers : forms and process in alluvial channels*, New York : Methuen, 358 p..

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.

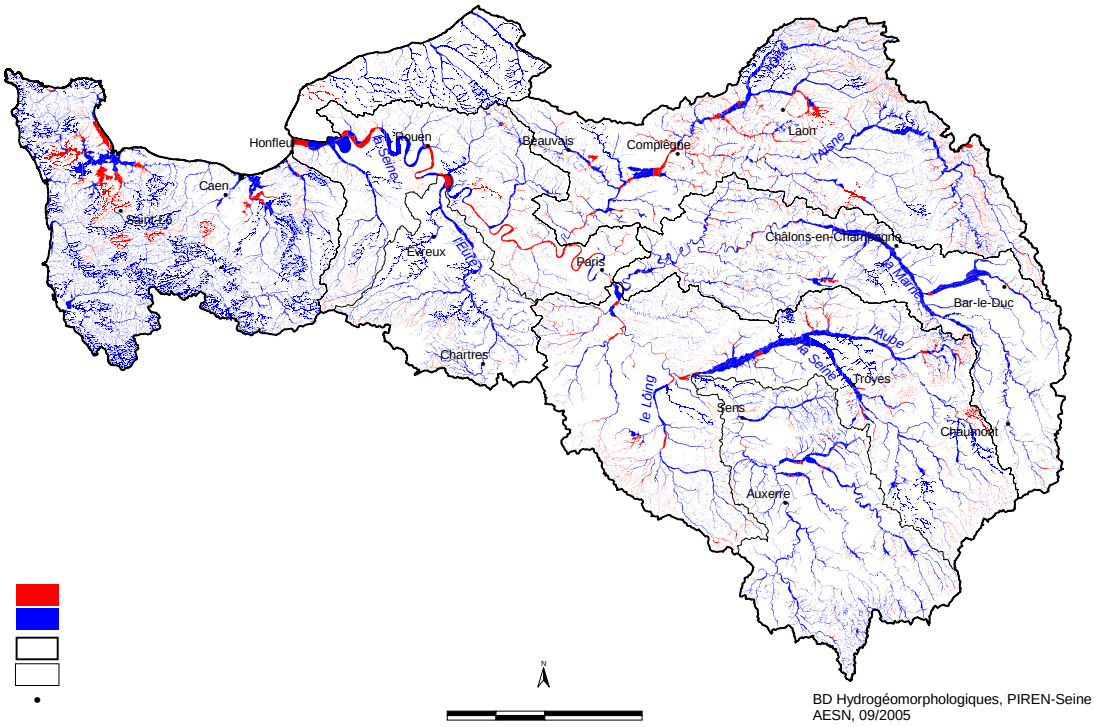
SCHUMM S. A., 1977. *The fluvial system*, New York : Wiley, 338 p..

Annexes

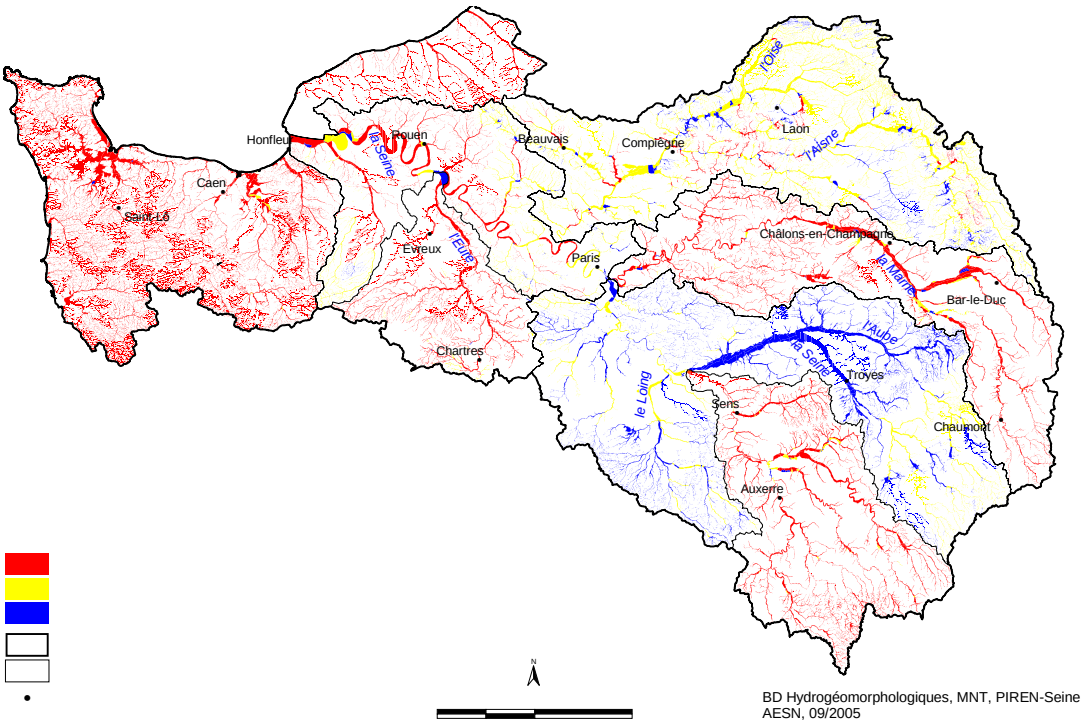
4 cartes relatives à la distribution des indicateurs « largeur des plaines alluviales » (carte 1), « sinuosité des lits fluviaux » (carte 2), « pente maximale des couloirs fluviaux » (carte 3) et « type de végétation » (cartes 4) sont présentées dans cette annexe. Ces cartes ont été extraites de l'atlas produit par E. Joyeux (2005).



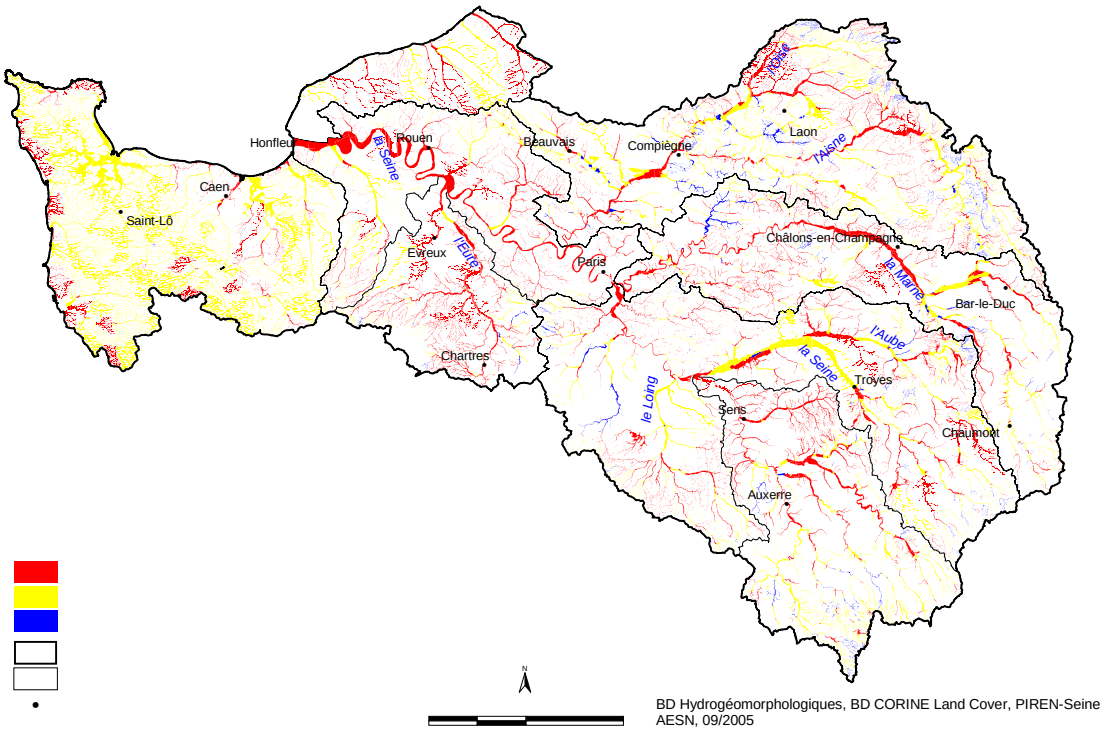
Carte 1 : distribution de l'indicateur largeur des plaines alluviales.



Carte 2 : distribution de l'indicateur sinuosité des lits fluviaux.



Carte 3 : distribution de l'indicateur pente maximale des couloirs fluviaux.



Carte 4 : distribution de l'indicateur type de végétation.