



Agence de l'eau de Seine Normandie

Inventaire des rivières mobiles du bassin Seine- Normandie

Rapport

Juillet 2007



Département gestion des ressources en Eaux
✉ 2, bld Vauban, Montigny le Bretonneux 78180 France
☎ (+33) 0 130 129 100 fax (+33) 0 139 449 187

Sommaire

1	INTRODUCTION	3
1.1	REGLEMENTATION ET LEGISLATION	3
	Arrêté du 24 janvier 2001 relatif aux exploitations de carrières	3
	Loi ordinaire 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologique et naturel	3
1.2	CONTEXTE DE L'ETUDE ET OBJECTIFS	3
2	METHODOLOGIE	3
2.1	TERRITOIRE D'ETUDE : SELECTION DES COURS D'EAU DU BASSIN	3
2.2	PRESENTATION DE L'OUTIL DE SECTORISATION DES COURS D'EAU ET DONNEES NECESSAIRES	3
3	ETAPE 1 : SECTORISATION	3
3.1	EXEMPLE DE SECTORISATION POUR UNE ETUDE GLOBALE : SECTORISATION HYDRO MORPHOLOGIQUE A L'ECHELLE DU BASSIN SEINE- NORMANDIE.....	3
3.1.1	<i>Opérations réalisées pour préparer les couches de bases</i>	3
3.1.2	<i>Sectorisation</i>	3
3.1.3	<i>Résultats de la sectorisation</i>	3
3.2	SECTORISATION POUR UNE ETUDE LOCALE :	3
3.3	SYNTHESE DES ELEMENTS A PRENDRE EN COMPTE POUR LA DETERMINATION DES TRONÇONS	3
4	EVALUATION DE LA MOBILITE POTENTIELLE A PARTIR DE VARIABLES HYDROMORPHOLOGIQUES	3
4.1	LA PENTE DE LA VALLEE	3
4.2	TAILLE DU BASSIN VERSANT	3
4.3	LARGEUR DU LIT MINEUR	3
4.4	DEBIT DE PLEINS BORDS	3
4.5	PUISSANCE SPECIFIQUE	3
4.6	EMPRISE DU COURS D'EAU SUR LE FOND DE VALLEE	3
4.7	TYPOLOGIE MORPHODYNAMIQUE : MOBILITE POTENTIELLE DES TRONÇONS	3
4.8	LIMITE DE LA METHODE	3
4.8.1	<i>Fiabilité de l'outil</i>	3
4.8.2	<i>Fiabilité des résultats</i>	3
4.8.3	<i>Données non prise en compte</i>	3
4.9	CONCLUSION	3
5	ANALYSE DE LA MOBILITE REELLE DES COURS D'EAU	3
5.1	EVALUATION DE LA MOBILITE REELLE PAR LA PRISE EN COMPTE DES ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES.....	3
5.2	RECENSEMENT DES PRINCIPAUX ENJEUX SOCIO-ECONOMIQUES	3
5.3	TRONÇONS A MOBILITE POTENTIELLE « FORTE ».....	3
5.4	TRONÇONS A MOBILITE POTENTIELLE « MOYENNEMENT FORTE »	3
5.4.1	<i>Méthode</i>	3
5.4.2	<i>Validation des résultats</i>	3
5.5	MOBILITE REELLE RETENUE	3
5.6	CONFRONTATION DES RESULTATS AVEC LES ETUDES LOCALES ET PRISES EN COMPTE DES AVIS D'EXPERT DE L'AGENCE.....	3
5.7	RELATION « MOBILITE »/ANNEXES	3
5.8	METHODE 2 : EVALUATION DE LA MOBILITE REELLE A PARTIR D'UNE ANALYSE DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE	3
5.8.1	<i>Evaluation de la divagation du cours d'eau par comparaison de cartes et mesure des fleches d'érosion (Méthode Malavoi)</i> :	3
5.8.2	<i>Identification des bancs alluviaux</i>	3
5.9	CONCLUSION	3
6	DETERMINATION DES ESPACES OU FUSEAUX DE MOBILITE	3
6.1	DELIMITATION DE L'ESPACE DE MOBILITE MAXIMAL : EMAX.....	3
6.2	ESPACE DE MOBILITE FONCTIONNEL : EFONC.....	3
6.2.1	<i>Détermination de l'amplitude d'équilibre</i>	3

6.2.2	<i>Evaluation des capacités de transport</i>	3
6.2.3	<i>Espace de divagation historique</i>	3
6.2.4	<i>Espace de divagation résiduel ou restreint</i>	3
6.2.5	<i>Zones d'érosion à 50 ans</i>	3
6.2.6	<i>Zone d'intérêt écologique actuel ou potentiel</i>	3
6.2.7	<i>Enveloppe minimale fonctionnelle</i>	3
6.2.8	<i>Détermination de l'espace de mobilité fonctionnel</i>	3
6.3	RECUEIL DES DONNEES : BILAN	3
7	CONCLUSION :	3
	BIBLIOGRAPHIE	3
	ANNEXE 1 : EQUATIONS UTILISEES POUR LE CALCUL DE LA LARGEUR DES COURS D'EAU.	3
	ANNEXE 2 : EQUATION UTILISEE POUR LE CALCUL DU DEBIT BIENNAL	3
	ANNEXE 3 : APPLICATION GEOTER SOUS ARCGIS	3
	ANNEXE 4 : DETAIL DES BUFFERS REALISES POUR CALCULER LA TAILLE DU BASSIN VERSANT	3
	ANNEXE 5 : COMPARAISON DE LA MOBILITE POTENTIELLE OBTENUE AVEC L'OUTIL GEOTER ET DE L'EVALUATION DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE REALISEE PAR J-R MALAVOI SUR L'ARMANÇON	3
	ANNEXE 5 : COMPARAISON DE LA MOBILITE REELLE OBTENUE AVEC L'OUTIL GEOTER ET DE L'EVALUATION DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE REALISEE PAR J-R MALAVOI SUR L'ARMANÇON	3

Liste des figures

Figure 1 : Répartition des tronçons par commission géographique	3
Figure 2 : Répartition de la mobilité potentielle des tronçons par commission géographique	3
Figure 3: exemple d'analyse cartographique : tronçon considéré moyennement mobile suite aux contraintes présentes dans son amplitude d'équilibre.....	3
Figure 4 : corrélation entre les linéaires de route	3
Figure 5 : Répartition de la mobilité réelle par direction de secteur	3
Figure 6: Répartition de la mobilité réelle et de la mobilité potentielle par direction de secteur	3
Figure 7: exemple de répartition des annexes hydrauliques au niveau de tronçons à mobilité potentielle moyenne, faible et forte	3
Figure 8 : Grille de choix des méthodes de définition de l'espace de mobilité, p32 du guide technique n°2 du bassin Rhône Méditerranée Corse.....	3
Figure 10 : Délimitation de l'EFONC, p28 du Guide technique n°2 du bassin Rhône Méditerranée Corse.....	3

Liste des tableaux

Tableau 1: critère de discrimination de certaines des entités de sectorisation d'un grand cours d'eau et coefficient théorique de pondération (<i>Malavoi, 2003</i>).....	3
Tableau 2: Règle de décision adoptée pour classer les cours d'eau selon leur potentiel de mobilité	3
Tableau 3: Estimation de la fiabilité des résultats obtenus avec l'outil GEOTER et pistes d'amélioration (S. Thomas, 2006)	3
Tableau 5: classification des taux d'érosion relatifs (<i>Malavoi, 2002 modifié</i>).....	3

Liste des cartes

Carte 1: Localisation des cours d'eau étudiés dans le cadre de « l'inventaire des rivières mobiles du bassin Seine-Normandie ».....	3
Carte 2 : le MNT STRM (90m) et les cours d'eau drains principaux	3
Carte 3 : a. limite du MNT (zone sombre à gauche)	3
Carte 4 : hydro-écorégion de niveau 2 du bassin Seine-Normandie.....	3
Carte 5 : Rang Strahler des cours d'eau de la BD Carthage V3	3
Carte 6 : carte des enveloppes représentant les « corridors fluviaux »	3
Carte 7 : Sectorisation des cours d'eau du bassin Seine Normandie	3
Carte 8 : Pente des cours d'eau du bassin Seine-Normandie en %	3
Carte 9 : Taille de bassin versant des cours d'eau du bassin Seine-Normandie	3
Carte 10 : Largeur des cours d'eau du bassin Seine-Normandie.....	3

Carte 11 : Débit de plein bord des cours d'eau du bassin Seine-Normandie.....	3
Carte 12 : Puissance spécifique des cours d'eau du bassin Seine-Normandie	3
Carte 13 : Emprise des cours d'eau du bassin Seine-Normandie sur le fond de vallée	3
Carte 14 : Mobilité potentielle des cours d'eau du bassin Seine Normandie	3
Carte 15 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Bocages Normands.....	3
Carte 16 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Rivières d'Ile-de-France	3
Carte 17 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine amont	3
Carte 18 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine aval.....	3
Carte 19 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées de Marne	3
Carte 20 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées d'Oise	3
Carte 21 : Mobilité réelle des rivières du bassin Seine Normandie.....	3
Carte 22 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées d'Oise	3
Carte 23 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Bocages Normands.....	3
Carte 24 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Rivières d'Ile-de-France	3
Carte 25 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine amont	3
Carte 26 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine aval.....	3
Carte 27 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées de Marne	3
Carte 28 : tronçons dont la mobilité potentielle est impactée par des contraintes socio-économiques	3

Définitions

Amplitude des méandres : distance entre deux sinuosités.

Cartes de Cassini : plus ancienne carte détaillée de France (échelle 1/86 400) levée au 18^{ème} siècle.

Carte d'Etat-Major : carte de France levée au 19^{ème} siècle (1870-1880), à usage militaire (échelle 1/80 000).

Dynamique alluviale ou fluviale : désigne les processus par lesquels un cours d'eau déplace naturellement son lit de manière plus ou moins importante, rapide et prononcée dans un espace dit de mobilité ou de divagation. Cette dynamique est liée à l'érosion, au transport et au dépôt de sédiments par les écoulements

Espace de mobilité = espace de liberté = fuseaux de mobilité : espace du lit majeur à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales permettant la mobilisation des sédiments ainsi que le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Cet espace augmente lorsque l'on s'éloigne de la source et devient très large au niveau des plaines alluviales des grands fleuves.

Espace de mobilité fonctionnel ou optimal : espace à préserver pour permettre au cours d'eau de conserver son potentiel d'ajustement en plan et en long et de se recharger en sédiments. Il est délimité à partir de critères essentiellement géomorphologiques et sédimentologiques

Espace de mobilité maximal : espace de divagation maximale théorique. Il est représenté par l'ensemble du fond de vallée érodable.

Espace de mobilité minimal : espace déduit de l'espace de mobilité fonctionnel en excluant certaines infrastructures secondaires. Il s'agit de l'espace indispensable pour ne pas accentuer les dysfonctionnements observés.

1 Introduction

Certains cours d'eau présentent une dynamique de leur lit, qui se déplace au sein d'un fuseau de mobilité. Cette dynamique fluviale dépend essentiellement de deux variables de contrôle majeures que sont le débit liquide (Q) et le débit solide (Qs). Ces débits varient dans l'espace et dans le temps, à une échelle et dans des proportions très variables selon les cours d'eau. Ces variations induisent un ajustement régulier de la géométrie en long autour de conditions moyennes : lorsque le débit solide est important, le cours d'eau va déposer des sédiments. A contrario, lorsque le débit solide est faible, il aura tendance à éroder ses berges. Les phénomènes d'érosion, de dépôt de sédiments, d'exhaussement ou d'enfoncement ponctuel du lit sont donc naturels et témoignent de la dynamique du cours d'eau. Néanmoins, à partir d'un certain seuil, les modifications géométriques d'un cours d'eau sont révélatrices de dysfonctionnements du système.

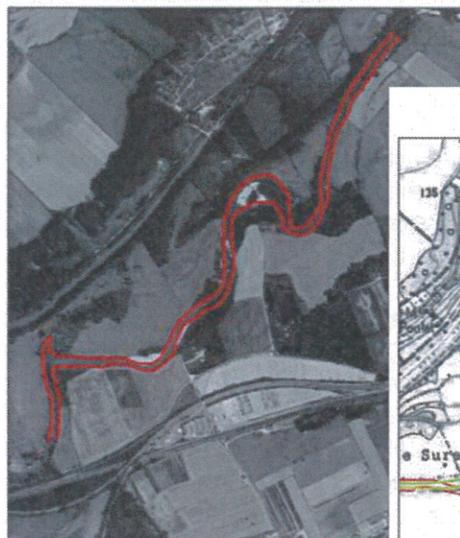
Le concept d'espace de mobilité est un concept de gestion des hydrosystèmes fluviaux qui s'applique aux cours d'eau à dynamique latérale active ou potentiellement active. Ce concept est apparu à l'occasion des Assises Nationales de l'eau en 1990 et a, dès lors, été adopté comme principe de gestion. Cet espace est défini comme l'espace à préserver pour permettre au cours d'eau de conserver son potentiel d'ajustement en plan et en long, en fonction de l'évolution des autres variables (débits liquide et solide) et de se recharger en sédiments.

☛ La mobilité d'un cours d'eau est le moteur d'une dynamique écologique intense, garante de la richesse et de la diversité des milieux naturels.

Les cartes ci-dessous illustrent le déplacement du cours d'eau sur une période de 20 ans :



SCAN25 : années 1980



Orthophotoplans IGN : 2002



Superposition des deux tracés : illustration de la dynamique

Aujourd'hui, il est admis que la gestion et la préservation de la dynamique fluviale contribuent à:

- préserver la ressource en eau potable : maintien du niveau de la nappe alluviale
- réalimenter, en partie, la charge de fond de la rivière lorsque celle-ci est déficitaire, et stabiliser ou rehausser le profil en long, ce qui réduit les éventuels problèmes d'incision du lit
- préserver les habitats aquatiques, le processus d'érosion des berges favorisant la diversité des habitats et des groupements floristiques
- limiter le risque de déchaussement des ouvrages d'art (pont, digues...)
- favoriser le ralentissement des écoulements en période de crue.

1.1 Réglementation et législation

Arrêté du 24 janvier 2001 relatif aux exploitations de carrières

L'arrêté impose l'interdiction d'exploiter une carrière de granulats dans l'espace de mobilité des cours d'eau.

« L'espace de mobilité est évalué par l'étude d'impact en tenant compte de la connaissance de l'évolution historique du cours d'eau et de la présence des ouvrages et aménagements significatifs, à l'exception des ouvrages et aménagements à caractère provisoire, faisant obstacle à la mobilité du lit mineur. Cette évaluation de l'espace de mobilité est conduite sur un secteur représentatif du fonctionnement géomorphologique du cours d'eau en amont et en aval du site de la carrière, sur une longueur minimale totale de 5 kilomètres ».

Les extractions de matériaux sont également interdites dans une bande de 50 mètres de part et d'autre du lit mineur pour les cours d'eau d'au moins 7.50 mètres de largeur. Pour les autres cours d'eau la bande d'interdiction est de 10 mètres.

Loi ordinaire 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologique et naturel

« L'arrêté préfectoral peut soumettre à déclaration préalable, auprès des autorités compétentes en matière d'urbanisme, les travaux qui, en raison de leur nature, de leur importance ou de leur localisation, sont susceptibles de faire obstacle au déplacement naturel du cours d'eau et n'entrent pas dans le champ d'application des autorisations ou déclarations instituées par le code de l'urbanisme. »

« L'arrêté préfectoral peut également soumettre à déclaration préalable les ouvrages qui, en raison de leur nature, de leur importance ou de leur localisation, sont susceptibles de faire obstacle au déplacement naturel du cours d'eau et n'entrent pas dans le champ d'application des autorisations ou déclarations instituées par le code de l'urbanisme. Le préfet peut, par décision motivée, dans un délai de deux mois à compter de la réception de la déclaration, s'opposer à la réalisation de ces ouvrages ou prescrire les travaux nécessaires. Les travaux de réalisation de ces ouvrages ne peuvent commencer avant l'expiration de ce délai. »

1.2 Contexte de l'étude et objectifs

Cette étude se base sur les orientations du SDAGE actuel de 1996 (orientation B2) et sa révision ainsi que sur l'évolution du contexte réglementaire présentée dans le paragraphe ci-dessus.

Comme l'impose la DCE, le SDAGE Seine-Normandie est actuellement en cours de révision. La version 5 du projet de SDAGE, de juillet 2007, indique clairement la nécessité de cartographier et de préserver l'espace de mobilité des cours d'eau. Le chapitre « protection et restauration des milieux aquatiques et humides » indique de « Délimiter et cartographier les espaces de mobilité ». Il signale que « pour instruire le plus efficacement possible les autorisations et déclarations des opérations ayant un impact sur le milieu aquatique, la commission locale de l'eau, lorsqu'elle existe, le préfet ou les préfets concernés délimite(nt) et cartographie(nt) les fuseaux de mobilité à l'échelle du 1/50 000ème ou plus précise, avant 2015, dans le cadre d'études à mener en concertation avec les acteurs locaux. ». Il est également préconisé de « Préserver et restaurer les espaces de mobilité » par :

- La recherche d'une exploitation des terres riveraines compatible avec la préservation des espaces de mobilité.
- Leur classement dans les documents d'urbanisme en zone non constructible ou en zone naturelle à préserver.
- La mise en œuvre de servitudes d'utilité publique conformément au L211 – 12 du code de l'environnement qui peuvent être instituées, à la demande de l'Etat, des collectivités territoriales ou de leurs groupements, pour créer ou restaurer des zones à mobilité du lit mineur d'un cours d'eau en amont des zones urbanisées.
- L'acquisition foncière et la gestion de ces espaces par les collectivités sont recommandées. »

En outre, il est rappelé que « tout projet soumis à autorisation ou déclaration doit faire l'objet d'une analyse de ses impacts sur la fonctionnalité des milieux aquatiques et humides et / ou sur le lit mineur, les berges et le fuseau de mobilité, pendant et après les travaux »... « L'autorité administrative peut s'opposer au projet dès lors que les effets cumulés négatifs, pouvant être produits, malgré les mesures compensatoires, ne respectent pas une gestion équilibrée de la ressource en eau et de la préservation des milieux aquatiques. »

Ce travail servira à l'élaboration des programmes de mesures des différents sous bassins, tels que commandés par la Directive Cadre Européenne sur l'eau de décembre 2000, afin d'envisager dans ses « plans territoriaux d'actions » des mesures de protection et de reconquête des fuseaux de mobilité des rivières mobiles les plus stratégiques pour la conservation ou le retour au bon état des cours d'eau.

L'objectif est double :

- avoir un bilan cartographique des cours d'eau ou secteurs à lit mobile (potentiellement ou réellement) à l'échelle du bassin
- proposer une méthodologie pour évaluer plus précisément la mobilité de ces cours d'eau et cartographier leurs fuseaux de mobilité à l'échelle locale.

Remarque : la littérature emploie respectivement le terme d'espace de liberté et d'espace de mobilité. Ces deux termes sont synonymes. Par souci de simplicité, nous utiliserons le terme employé dans le SDAGE Seine-Normandie, c'est-à-dire « espace de mobilité ».

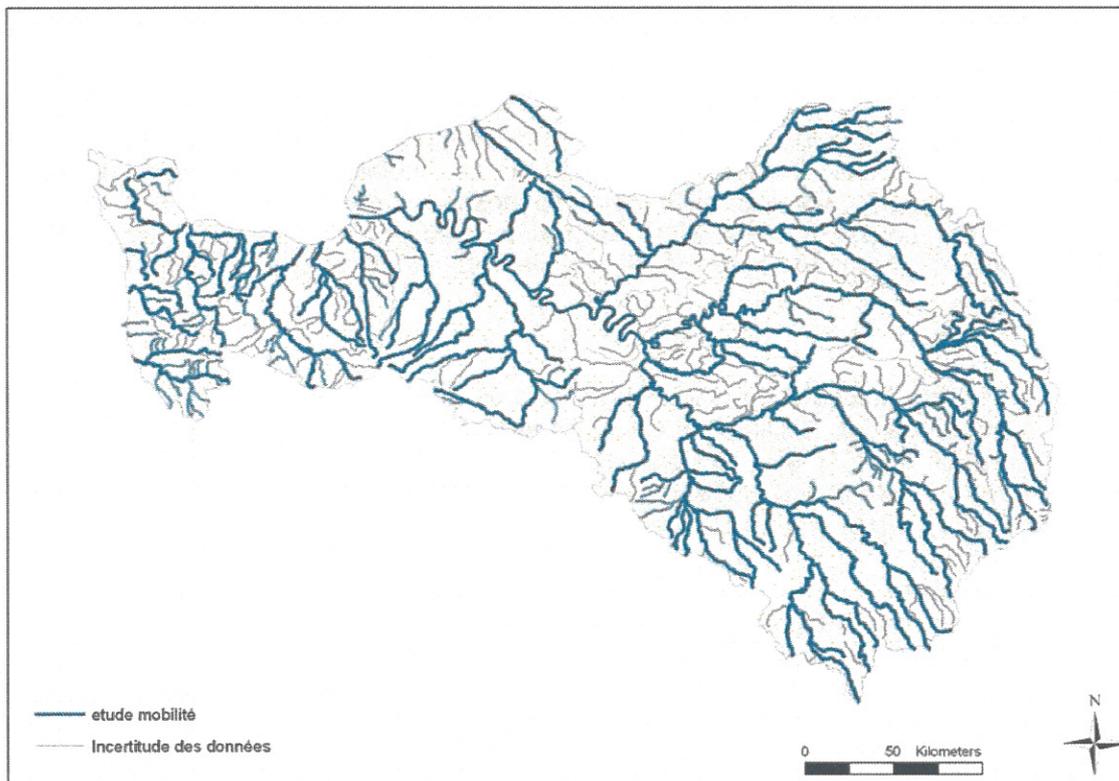
2 Méthodologie

2.1 Territoire d'étude : sélection des cours d'eau du bassin

L'étude porte sur 189 cours d'eau du bassin, soit un linéaire d'environ 11 200 km. Les cours d'eau sélectionnés sont :

- ❖ les cours d'eau dont le rang de Strahler est égal à 3 et dont la longueur est au moins égale à 50 km
- ❖ les cours d'eau de rang supérieur ou égal à 4 et dont la longueur est au moins égal à 40 km
- ❖ les « masses d'eau prioritaires » dans le cadre du 9^{ème} programme » de l'Agence, c'est-à-dire les masses d'eau du bassin pour lesquelles l'hydromorphologie a été reconnue comme le facteur essentiel de risque de non atteinte du bon état ou du bon potentiel écologique au sens de la DCE¹.

La précision des données utilisées diminue avec la taille des cours d'eau. Aussi, nous avons choisi, en concertation avec le Comité de pilotage, de ne pas étudier les petits cours d'eau pour lesquels les résultats n'auraient pas été pertinents. Des études seront donc à réaliser localement pour acquérir des données fiables sur ces cours d'eau. En outre, la mobilité doit être analysée prioritairement sur les cours d'eau à fort enjeux, c'est-à-dire, sur les cours d'eau de rang supérieur à 3.



Carte 1: Localisation des cours d'eau étudiés dans le cadre de « l'inventaire des rivières mobiles du bassin Seine-Normandie »

¹ DCE : Directive Cadre Européenne sur l'Eau

2.2 Présentation de l'outil de sectorisation des cours d'eau et données nécessaires

Une partie de l'étude, principalement celle relative à la détermination de la mobilité potentielle des cours d'eau, a été assistée par l'utilisation d'un outil élaboré pour l'AESN par GEOTER et testé par Sonia Thomas lors d'un stage à l'Agence de l'eau Seine-Normandie en 2006. Cet outil, utilisable au niveau national, permet d'effectuer une sectorisation hydro-morphologique des cours d'eau et de calculer des grandeurs caractéristiques pour chaque secteur homogène identifié.

L'outil fonctionne sous environnement ArcGIS v9.xx (Cf. Annexe 3). Des développements complémentaires ont été mis au point, afin d'automatiser l'enchaînement de certaines des opérations de traitement pour un ensemble de rivières. Ces développements se sont avérés nécessaires étant donné le grand nombre de cours d'eau à traiter.

Cet outil demande peu de données d'entrées. Trois couches sont nécessaires à son utilisation :

- la BD CARTHAGE version3 segmentée en tronçon de 500m (entité de type polyligneZ)
- Un modèle numérique de terrain (MNT de précision : 100 m)
- La couche des hydro écorégions de niveau 2

3 Etape 1 : Sectorisation

L'opération de sectorisation des cours d'eau permet de diagnostiquer des secteurs fonctionnellement homogènes. Elle constitue la première étape d'une étude géomorphologique car les variables caractérisant les cours d'eau (et particulièrement les grands cours d'eau) évoluent de l'amont vers l'aval. Afin de prendre en compte ces changements, les cours d'eau étudiés ont été découpés en unités homogènes de fonctionnement, de taille plus ou moins importante selon les besoins de l'étude :

- Le secteur : entité basée sur des critères très globaux tels que le relief et l'hydrologie. La taille d'un secteur correspond à plusieurs centaines de milliers de fois la largeur du lit.
- L'unité : cette entité prend en compte la géologie, l'hydrologie (affluent majeur). Elle correspond au niveau maximal d'intégration pour l'analyse fonctionnelle et la gestion globale du cours d'eau. La taille d'une unité correspond à plusieurs milliers de fois la largeur du lit.
- Le tronçon : il prend également en compte des critères plus locaux : type de vallée, pente de la vallée. C'est l'échelle de travail la plus intéressante. La taille d'un tronçon peut varier de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres. La taille idéale d'un tronçon est d'environ 5 km.

Tableau 1: critère de discrimination de certaines des entités de sectorisation d'un grand cours d'eau et coefficient théorique de pondération (Malavoi, 2003)

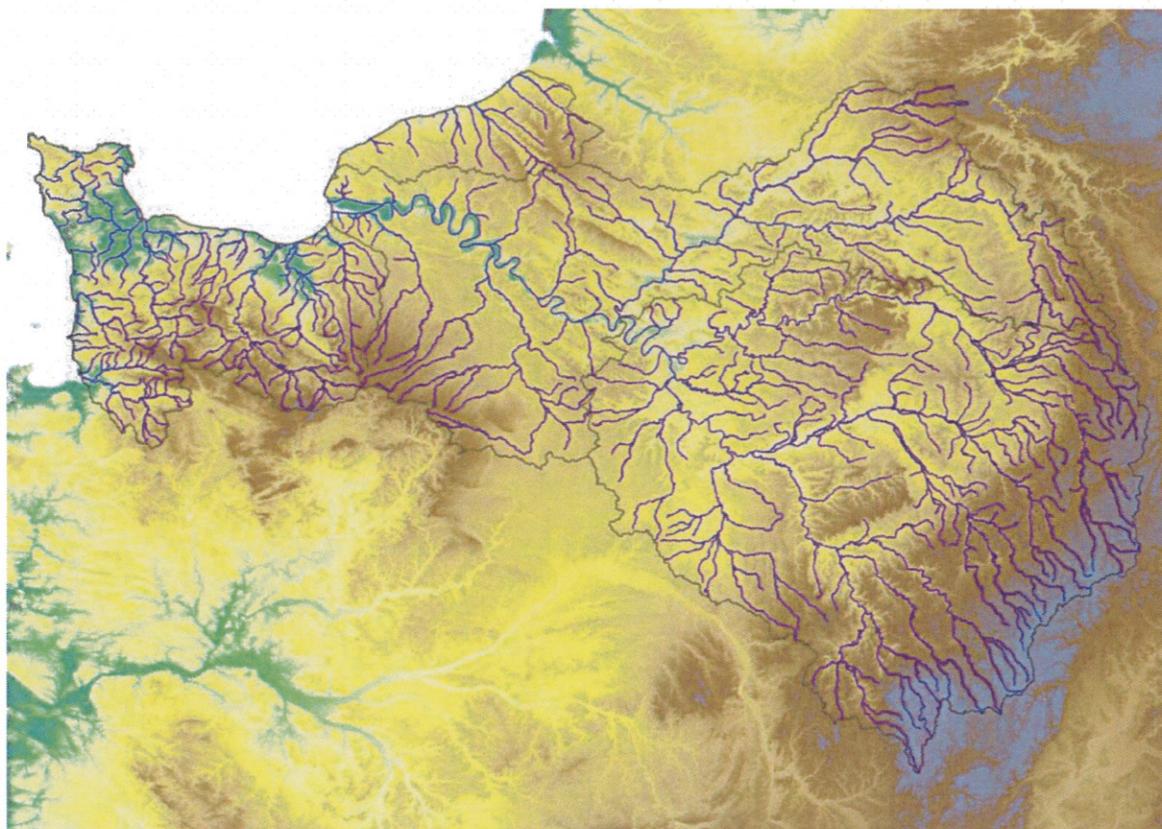
	SECTEUR	UNITE	TRONCON	SOUS-TRONCON
Relief	0.33	0.33		
Géologie	0.33	0.33	0.25	0.05
Hydrologie ou rang hydrographique	0.33	0.33	0.25	0.05
Type de vallée			0.25	0.1
Pente de la vallée			0.25	0.2
Style fluvial et intensité des processus morphodynamiques			Parfois	0.3
Anthropisation			Parfois	0.3

3.1 Exemple de sectorisation pour une étude globale : sectorisation hydro morphologique à l'échelle du bassin Seine- Normandie

3.1.1 Opérations réalisées pour préparer les couches de bases.

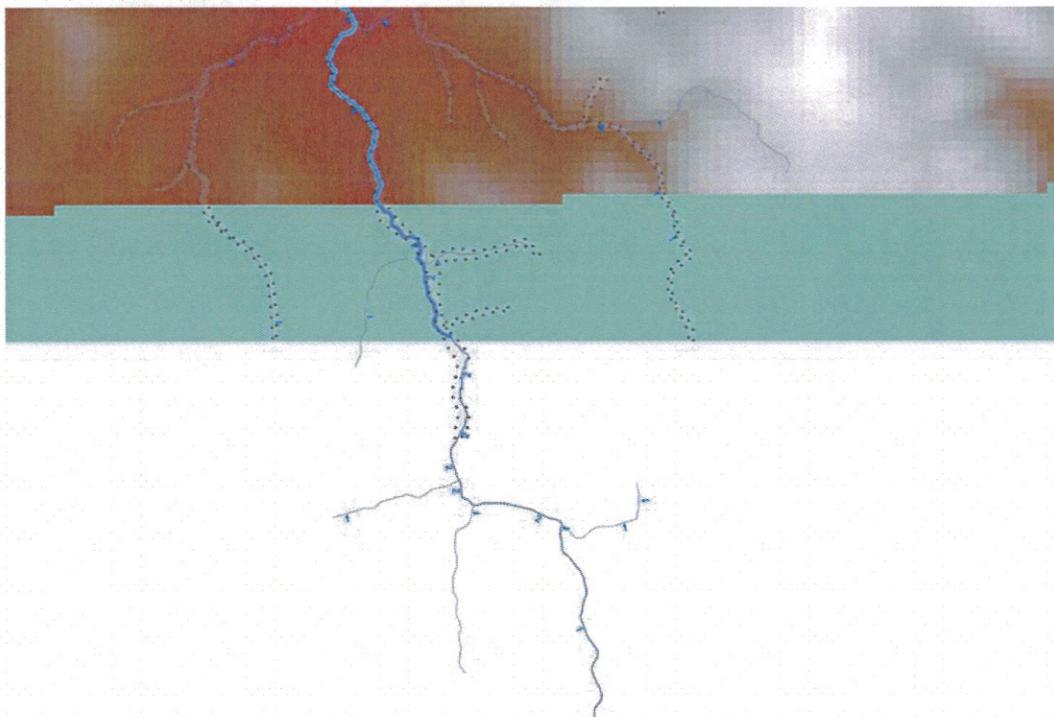
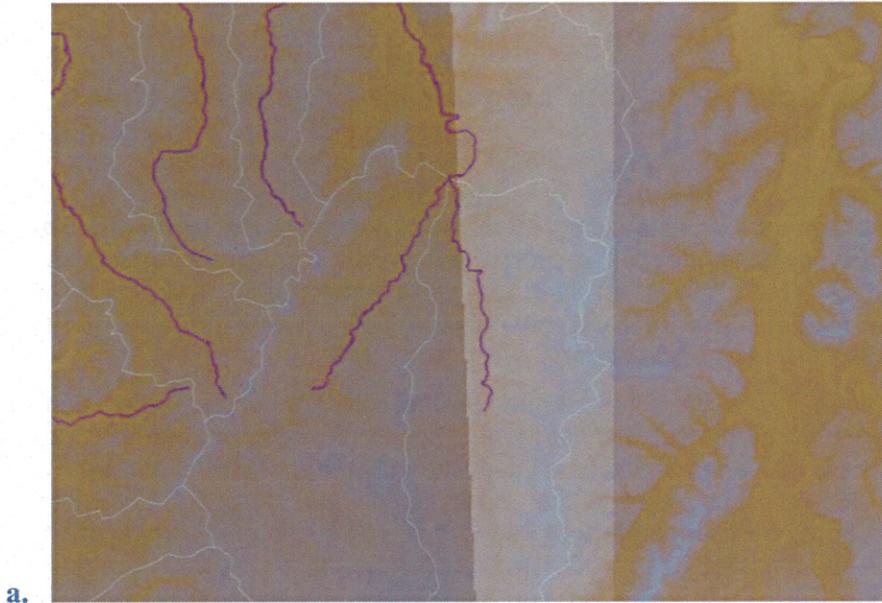
Préalablement à la mise en œuvre de l'outil pour la sectorisation des cours d'eau, il est nécessaire d'effectuer un découpage en Unité Spatiale d'Intégration (USI). L'intégration permet de « réaliser un « transfert d'échelle » pour passer d'une information par maille à une description synthétique, faisant ressortir des unités plus globales et plus facilement lisibles » (Daroussin et *al.* ; 1998). En effet, lors de la sectorisation, une analyse des critères de sectorisation retenus est réalisée sur chaque USI. Cette analyse permet ensuite d'agréger les USI en tronçons homogènes.

Pour ce faire, nous avons dans un premier temps sélectionné les drains principaux des zones hydrologiques à partir de la BD Carthage. Puis nous avons segmenté cette couche en unités élémentaires, les unités spatiales d'intégration (USI) de 500m maximum. La couche la moins précise utilisée dans cette étude étant le Modèle Numérique de Terrain d'une résolution de 100m, la taille adoptée pour ces USI devait être supérieure à 100m : une taille fixe de 500m a été choisie. Enfin nous l'avons transformé en couche 3D en utilisant les données d'altitude fournies par la version 3 du MNT issue de la mission SRTM de la NASA.



Carte 2 : le MNT STRM (90m) et les cours d'eau drains principaux

Les couches fournies ne couvraient d'ailleurs pas tout à fait l'intégralité du bassin comme on peut le voir sur les cartes ci-dessous. Trois cours d'eau n'étaient pas entièrement couverts par le MNT original (à l'est et au sud).



Carte 3 : a. limite du MNT (zone sombre à gauche)
b. partie manquante du MNT au sud pour l'amont de l'Yonne

3.1.2 Sectorisation

La sectorisation du linéaire de cours d'eau en tronçons homogènes a été réalisée sur la base d'un changement significatif des largeurs de fond de vallée, d'un changement d'hydro-écorégion et de l'arrivée d'un tributaire important.

Ce travail de sectorisation a été assisté par l'outil GEOTER. Trois critères de sectorisation ont été retenus ; ils correspondent à des variables de contrôle de la dynamique fluviale :

❖ **Les hydro écorégions niveau 2 :**

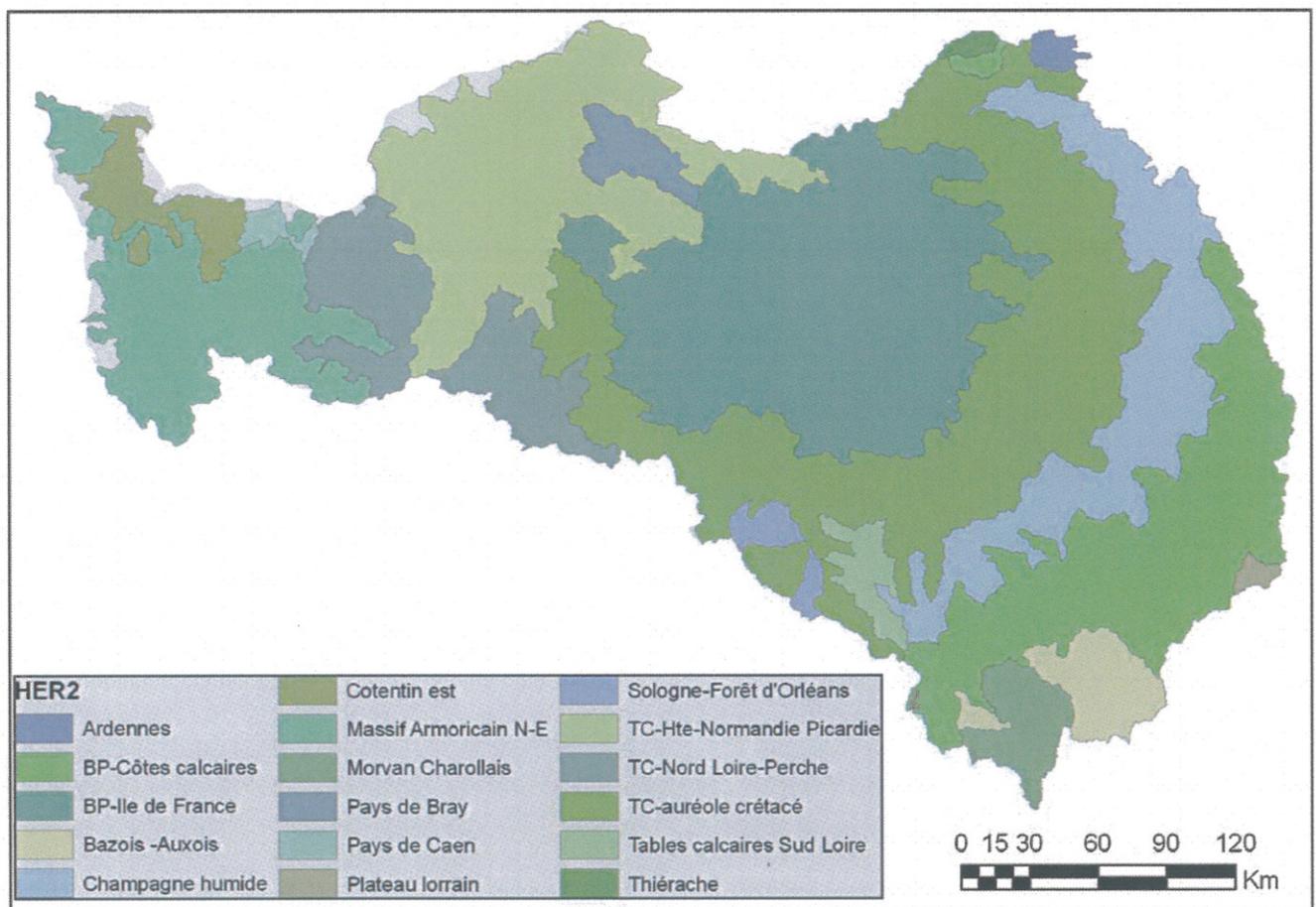
Les hydro écorégions sont des unités du territoire qui sont cohérentes et homogènes d'un point de vue des déterminants physiques qui contrôlent l'organisation et le fonctionnement global des écosystèmes aquatiques. Elles coïncident avec des variables de contrôle majeures que sont la géologie, le relief et enfin le climat :

- Le relief permet de dégager les contraintes structurales limitant les possibilités d'évolution des systèmes fluviaux.
- La géologie informe sur la gamme de sédiments disponibles au transport
- le climat permet d'intégrer les principales caractéristiques des régimes hydrologiques.

Deux niveaux hiérarchiques sont définis. Le niveau 1 (HER1) correspond aux grandes structures géophysiques et climatiques. Le niveau 2 (HER2) correspond à des variations régionales à l'intérieure des HER1.

L'hypothèse de base est que les bassins inclus dans une même hydro-écorégion de niveau 2 ont les mêmes types fonctionnels de cours d'eau.

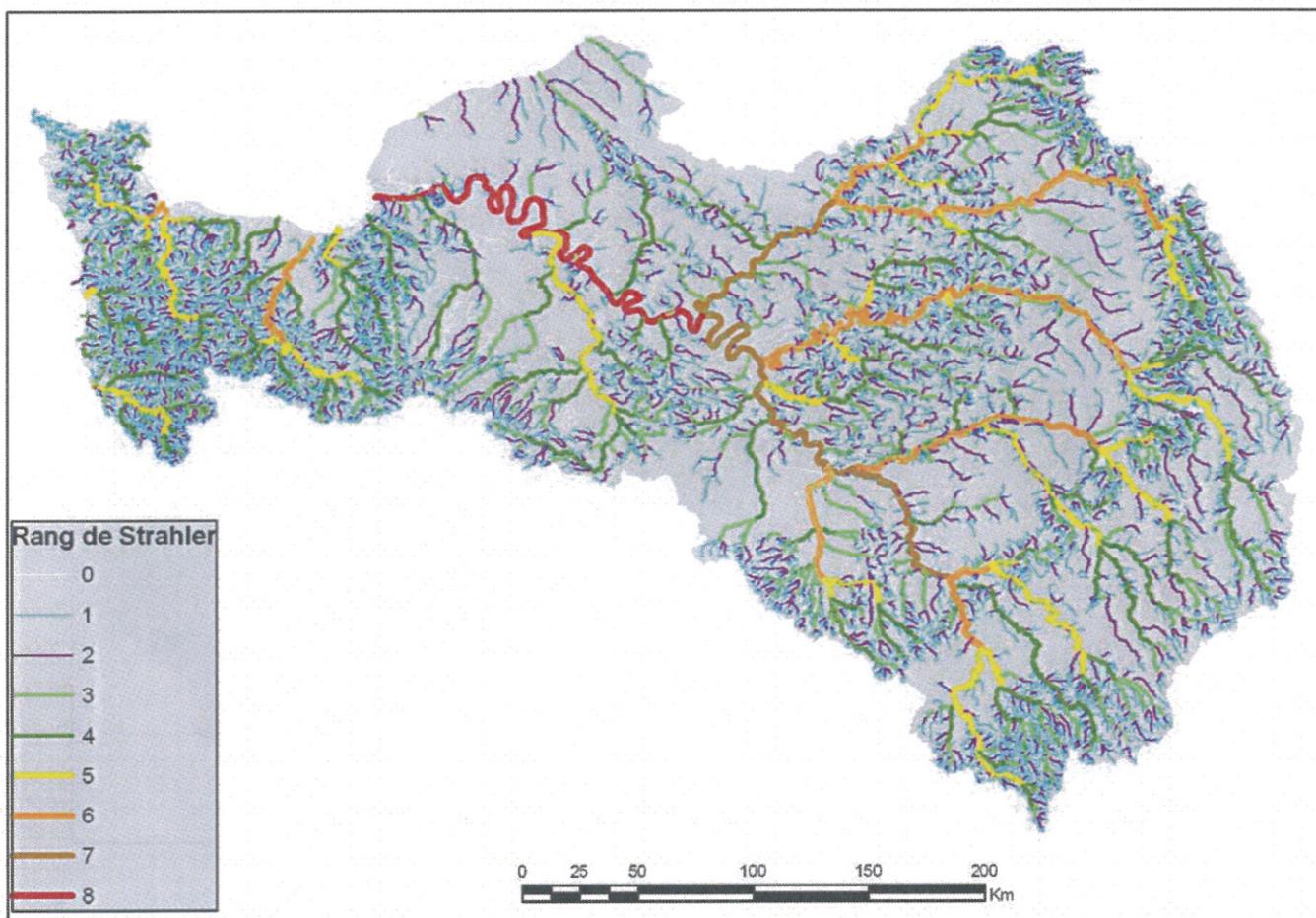
Remarque : La couche des HER2 n'est pas validée au niveau national, contrairement à la couche des HER1.



Carte 4 : hydro-écorégion de niveau 2 du bassin Seine-Normandie

❖ **Les affluents majeurs (ordination de Strahler) :**

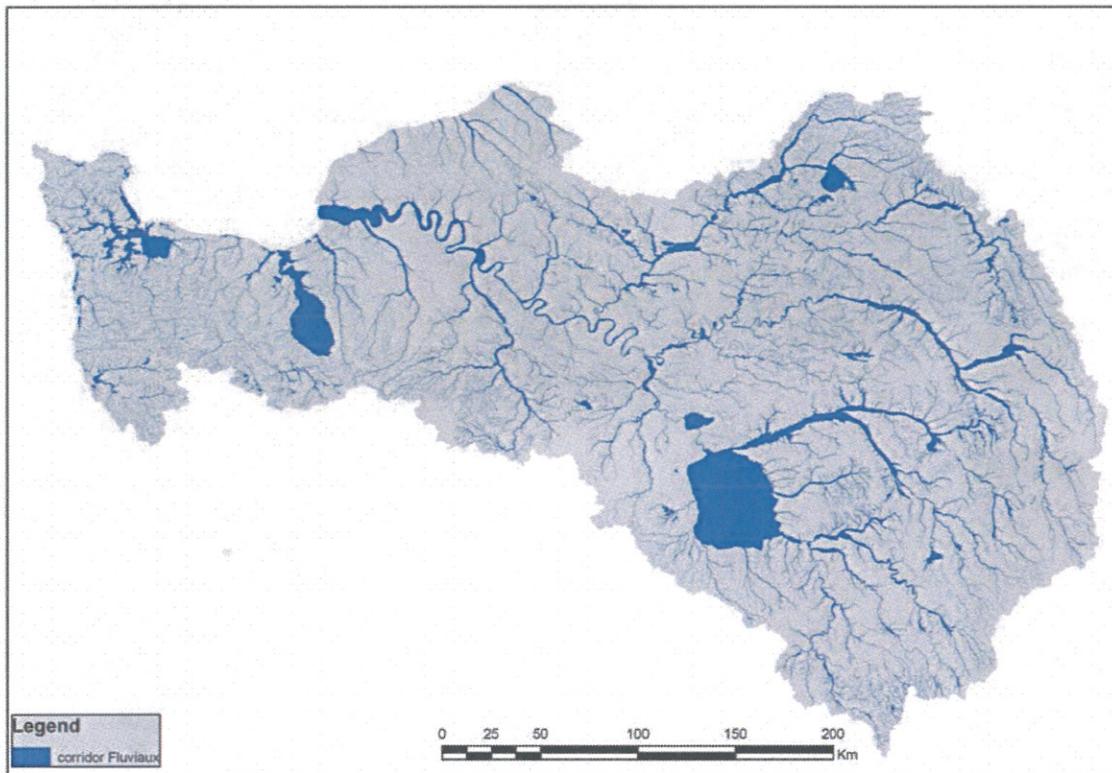
Un changement d'ordre de Strahler entraîne des modifications hydrologiques et morphologiques. La règle de décision retenue pour identifier un affluent comme majeur est la suivante : pour les cours d'eau d'ordre 3, les affluents de même ordre seront considérés comme majeurs. Pour les cours d'eau d'ordre 4, les affluents d'ordre n et $n-1$ seront considérés comme majeurs. Pour les cours d'eau d'ordre supérieur à 4, les ordres n , $n-1$ et $n-2$ identifieront les affluents considérés comme majeurs.



Carte 5 : Rang Strahler des cours d'eau de la BD Carthage V3

❖ **Largeur du fond de vallée alluviale :**

Cette variable est la variable la plus représentative du type de vallée. La largeur du fond de vallée a été calculée à partir de la couche « corridors fluviaux » issue de la base de données hydro-géomorphologiques constituée en 2004-2005 par SCOT et GEOSPHAIR pour l'Agence de l'eau Seine-Normandie. Elle cartographie les unités d'alluvions holocènes (Fz et Fzt) et les unités de fond de vallée des cartes géologiques.



Carte 6 : carte des enveloppes représentant les « corridor fluviaux »

Un taux d'erreur d'environ 25% est observé dans les résultats du calcul des largeurs de fond de vallée. La plupart des erreurs recensées sont dues :

- ❖ A l'absence de corridor fluvial au niveau des têtes de bassin versant. Dans ce cas, l'outil calcule la largeur entre deux fonds de vallées différents.
- ❖ A la présence de grands méandres très prononcés. Dans ce cas, les largeurs calculées sont la plupart du temps erronées.

3.1.3 Résultats de la sectorisation

Les 189 cours d'eau étudiés ont été découpés en 1924 tronçons de cours d'eau. Chaque tronçon est caractérisé par une hydro-écorégion de type 2, un rang de Strahler et une largeur de fond de vallée. La longueur moyenne des tronçons est de 5800 mètres. Toutefois, 800 tronçons ont une taille jugée peu pertinente car inférieure à 1 km.

Bilan :

- taille moyenne d'un tronçon : 5.8 km
- taille minimale d'un tronçon : 500 m
- taille maximale d'un tronçon : 103 km (tronçon Seine)

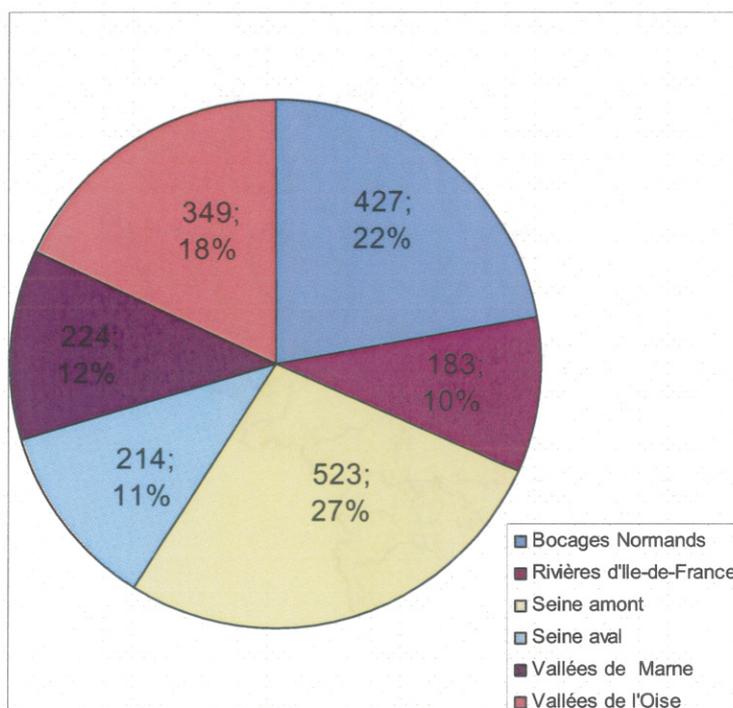
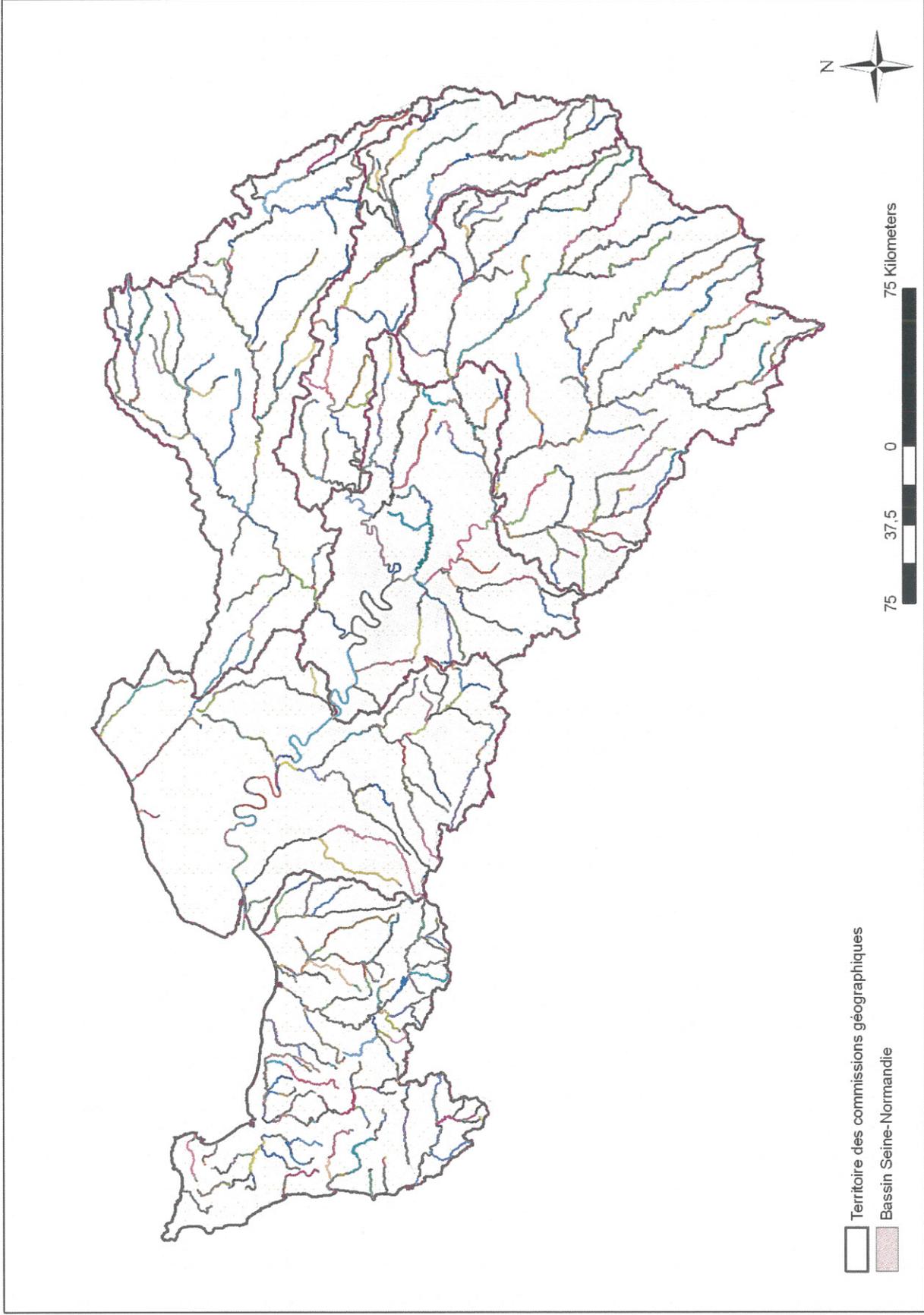


Figure 1 : Répartition des tronçons par commission géographique



Carte 7 : Sectorisation des cours d'eau du bassin Seine Normandie

3.2 Sectorisation pour une étude locale :

Localement, la délimitation de tronçons homogènes peut être effectuée sur la base d'une reconnaissance de terrain au cours de laquelle on examine précisément la morphologie du lit mineur. Les éléments suivants peuvent être recensés :

- hauteur des berges, largeur moyenne du chenal, profondeur
- secteurs d'érosion, secteurs de dépôt
- pente
- granulométrie du lit et des berges
- occupation du sol
- débit de plein bord
- largeur du cours d'eau à plein bord

Cet examen peut ensuite être croisé avec une analyse cartographique qui permet de donner une vision globale du tracé du cours d'eau et de sa typologie en différents points de son cours. A l'issue de ce travail, des zones fonctionnelles homogènes d'un point de vue typologique et morphologique peuvent être définies.

3.3 Synthèse des éléments à prendre en compte pour la détermination des tronçons

	Données	Sources	Méthode
Relief	Cartes topographiques IGN au 1/100 000ème et 1/50 000ème	IGN	
	Hydroécocorégion niveau 2	Agence de l'eau	Changement d'hydroécocorégion
	BD Alti	IGN	
Géologie	Cartes géologiques au 1/1 000 000 et au 1/50 000	BRGM	Observation des modifications et des ruptures géologiques
	Hydroécocorégion niveau 2	Agence de l'eau	Changement d'hydroécocorégion
Hydrologie ou rang hydrographique	Cartes topographiques au 1/25 000	IGN	Observation des affluents majeurs
	BD Carthage	IGN, Agence de l'eau	Changement de rang de Strahler
Hydrométrie	BD Hydro	Agence de l'eau	
	Terrain		
Type de vallée	Cartes topographiques au 1/25 000ème	IGN	
	Model numérique de terrain		
Pente de la vallée	Carte topographiques	IGN	Mesure de la distance entre deux courbes de niveau dans la vallée selon un axe médian à égale distance des coteaux
	Modèle numérique de terrain		
Style fluvial et intensité des processus morphodynamiques	Cartes topographiques au 1/25 (SCAN25) et photographies aériennes (BD Ortho)	IGN	Analyse de la sinuosité, du nombre de chenaux et de la position des bancs
Pente du lit	Profil en travers Profil en long	IGN	Analyse des profils en long dressés par le service des Forces Hydrauliques de l'IGN (sur certains cours d'eau) ou profils en long plus récents réalisés lors d'études locales
	BD Alti	IGN	Calcul de la pente

	Visite de terrain		Relevé du fond ou relevé de la ligne d'eau
Annexes hydrauliques	BD corridor fluvial	Agence de l'eau	
	Visite de terrain		
Anthropisation	SCAN25	IGN	Observation de l'occupation du sol Détermination de l'état d'artificialisation : digues, protection de berges, ponts, traversée de ville et village, chenalisation
	Orthophotos	IGN	
	Visite de terrain		
	Corine Land Cover		
Largeur de la vallée	BD Corridor fluvial	Agence de l'eau	
	Cartes géologiques	IGN	Couche Fz et Fy
Granulométrie	Visite de terrain		

4 Evaluation de la mobilité potentielle à partir de variables hydromorphologiques

La détermination de l'espace de mobilité d'un cours d'eau impose au préalable l'examen du fonctionnement du cours d'eau, en particulier de sa mobilité. Le concept d'espace de mobilité ne peut être appliqué qu'aux rivières mobiles à notre échelle de temps, ou aux rivières potentiellement mobiles si elles sont aménagées (AERMC).

Le potentiel de mobilité des cours d'eau du bassin Seine-Normandie a été caractérisé à partir de deux paramètres : la puissance spécifique et l'emprise du cours d'eau sur le fond de vallée.

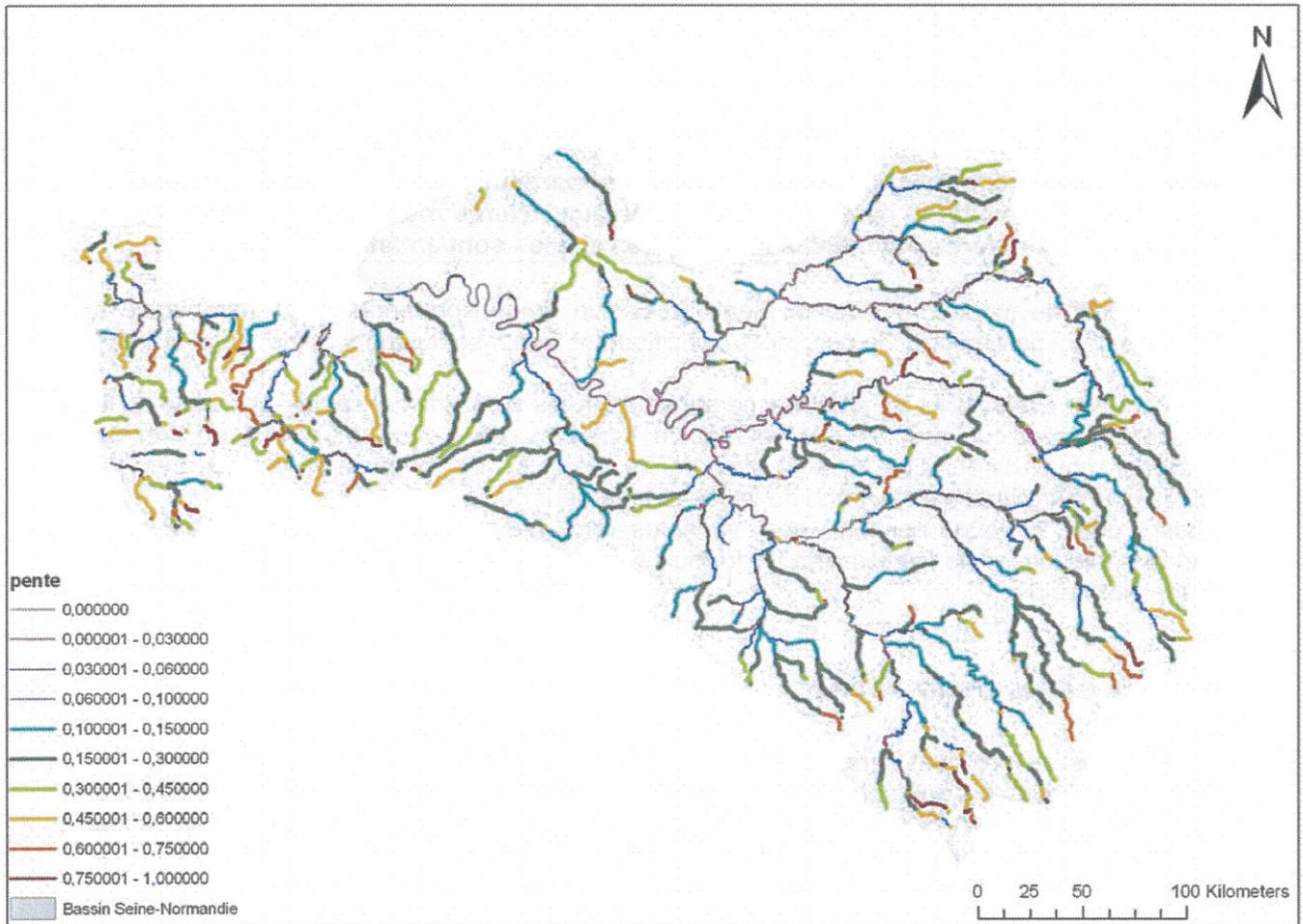
Pour pouvoir évaluer ces paramètres, certaines données sont indispensables. Le calcul de la puissance spécifique requiert des valeurs de « pente », de « débit de plein bord » et de « largeur moyenne du cours d'eau à plein bord ». Le calcul de l'emprise nécessite, quand à lui, de connaître la largeur du fond de vallée et la largeur du cours d'eau.

Aussi, pour chaque tronçon, ces variables ont été évaluées à partir d'analyses cartographiques ou de l'application de formules de calcul calées sur les données du bassin Seine-Normandie.

4.1 La pente de la vallée

La pente est le principal paramètre de réglage d'un cours d'eau naturel pour adapter sa capacité de transport aux apports réels, en fonction des débits liquides disponibles et de la taille des matériaux à transporter. Elle décroît de l'amont vers l'aval. La pente de la vallée détermine en grande partie la pente du cours d'eau.

Le calcul de pente avec l'outil GEOTER est peu précis car le MNT utilisé a une précision de 100m et les reliefs du bassin sont peu accentués : la majorité des plateaux se situe entre 100m et 300m d'altitude.



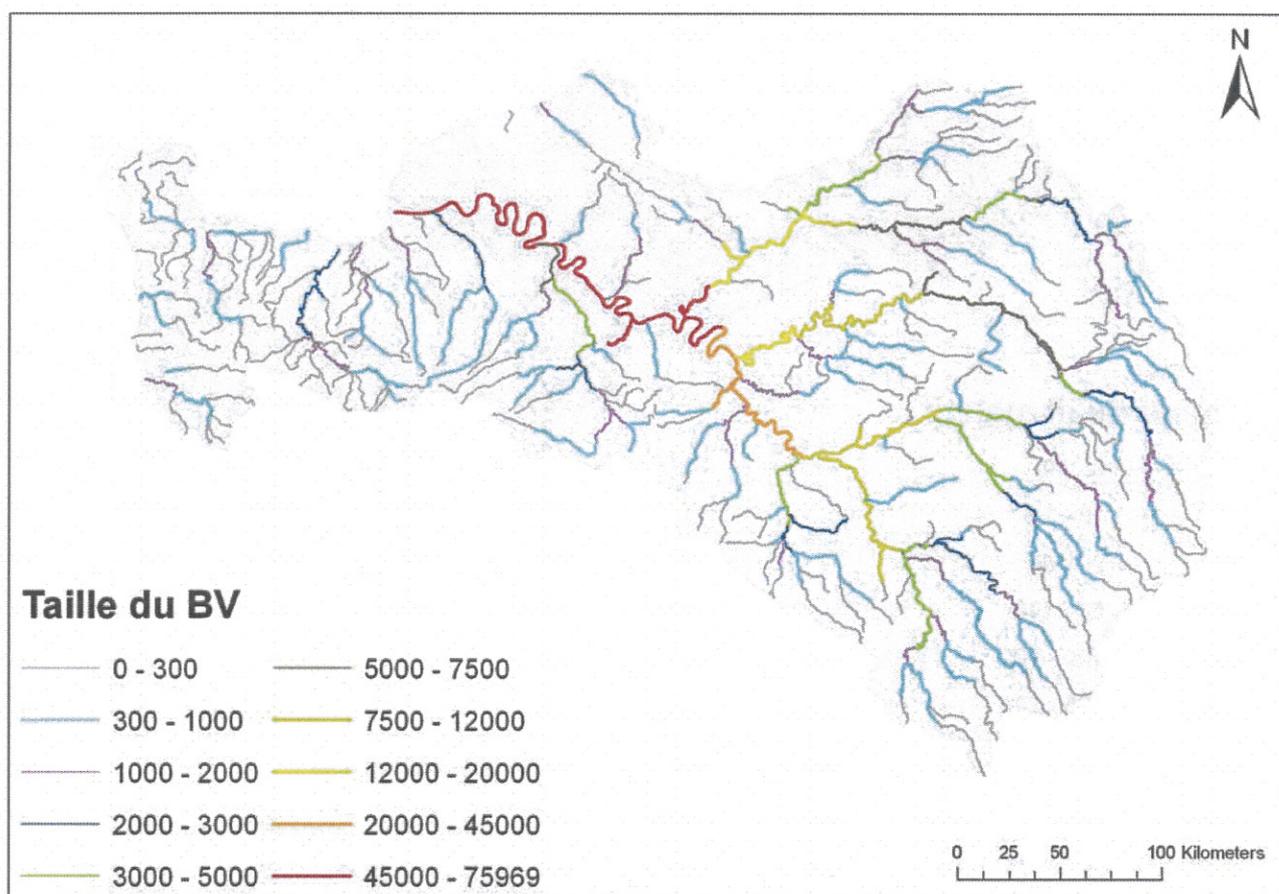
Carte 8 : Pente des cours d'eau du bassin Seine-Normandie en %

Cependant, d'autres méthodes permettent de déterminer la pente. Sur le terrain la pente peut être évaluée par des relevés du fond, ou par des relevés de la ligne d'eau pour lisser les irrégularités locales difficiles à interpréter lors du relevé des points du fond. La pente peut être analysée directement sur les profils en long dressés sur certains cours d'eau par le service des Forces Hydrauliques de l'IGN ou sur des profils en long plus récents réalisés lors d'étude locales. Les bases de données (BD Alti, BD Topo) sont plus ou moins précises et il est fortement conseillé de réaliser des mesures de terrain pour les études locales.

4.2 Taille du bassin versant

Cette donnée est nécessaire au calcul du débit théorique et au calcul de la largeur théorique du cours d'eau. La taille du bassin versant a été évaluée à partir d'une grille d'accumulation des flux (FAC). Les valeurs de cette grille correspondent en chaque point à la somme du nombre de pixels formant le bassin amont. Pour obtenir la surface drainée en amont d'un point, il suffit de multiplier la valeur de la grille en ce point par la surface d'une cellule (dans notre cas 1 ha).

La procédure mise au point pour affecter une surface drainée au point aval de chaque tronçon, a consisté à réaliser une série de buffers de largeur croissante autour des tronçons, puis de rechercher dans chacun d'eux, la valeur (c'est-à-dire la surface) maximale des cellules de la grille FAC intersectant le buffer de ce tronçon. Nous avons procédé pour la taille des buffers par étapes successives de largeur respectivement de 0, 75, 175, 275 et 375 m (cf annexe 4).



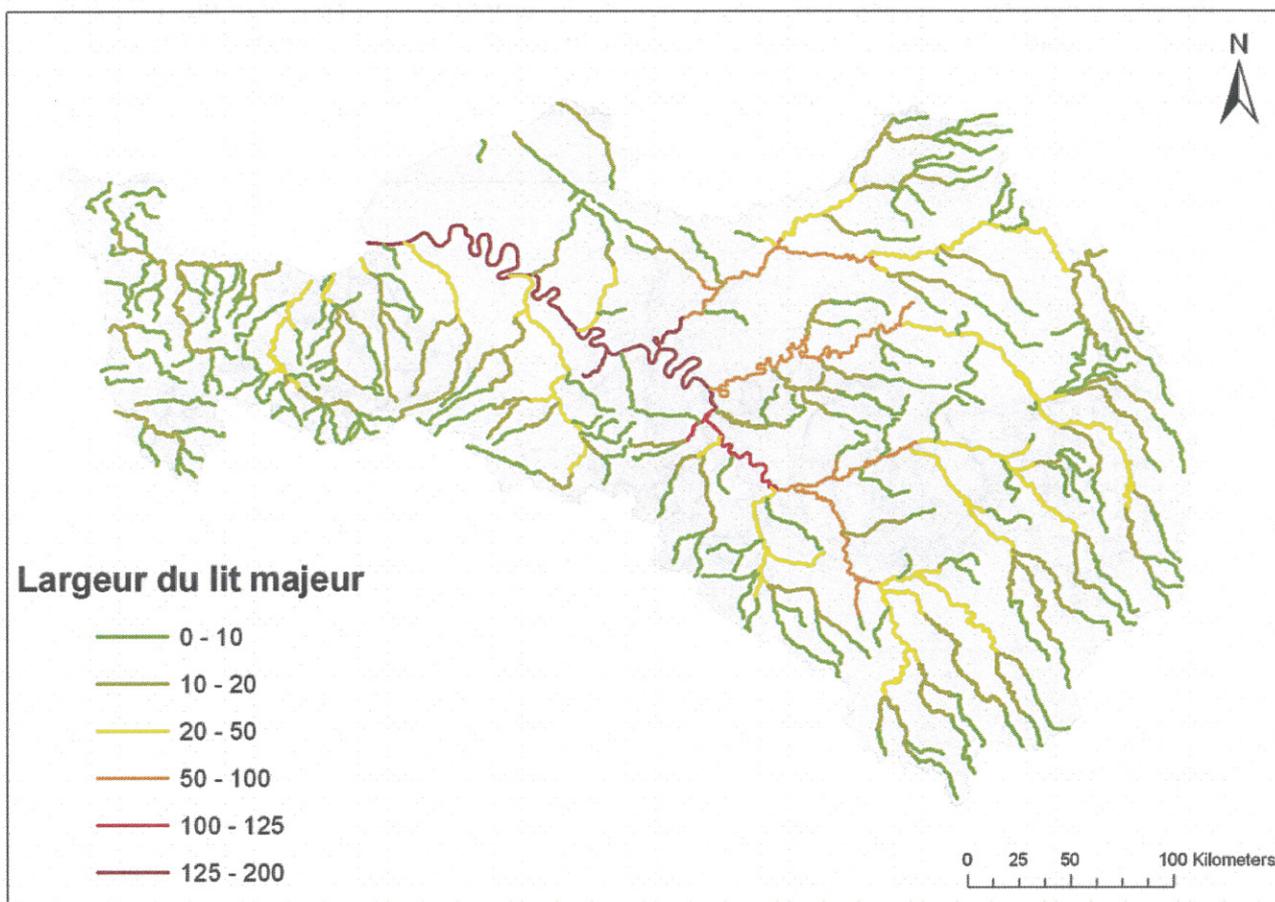
Carte 9 : Taille de bassin versant des cours d'eau du bassin Seine-Normandie

4.3 Largeur du lit mineur

C'est une variable importante de la dynamique fluviale. La largeur du lit est une réponse aux différents stimuli imposés au cours d'eau. Une variation de la largeur du cours d'eau illustre la mobilité du cours d'eau qui transporte ses sédiments plus en aval.

Dans notre cas, les largeurs de cours d'eau ont été approximées par l'intermédiaire de la taille du bassin versant. Les données issues de la BD hydro et des stations RHP² permettent d'identifier des relations exponentielles entre largeur du cours d'eau et taille du bassin versant selon l'hydro-écorégion (cf. annexe1) :

$$W = a \cdot T_{bv} + b$$



Carte 10 : Largeur des cours d'eau du bassin Seine-Normandie

Lors d'études locales, il est préférable d'utiliser des méthodes plus précises. La meilleure façon d'obtenir des largeurs de cours d'eau est de les mesurer directement sur le terrain. Lorsque des mesures de terrain ne sont pas envisageables (coût trop élevé, problème d'accessibilité...), la largeur du cours d'eau peut être évaluée selon les méthodes suivantes :

- à partir du SCAN25 ou de photographies aériennes.
- Détermination de la largeur naturelle à pleins bords par la relation de Hey:

$$w = CQ_{pb}^{0.5}$$

avec C, coefficient dépendant du pourcentage de la végétation (C peut varier entre 4.33 (0%) et 2.34 (50%)) et Q_{pb} représentant le débit à plein bord (variable décrite ci-après). Cette approche est très simpliste et peu précise. Elle a été utilisée dans

² RHP : réseau hydrobiologique et piscicole

l' « étude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée » réalisée par SOGREAH pour la DIREN. Le pourcentage de végétation est évalué par reconnaissance des berges.

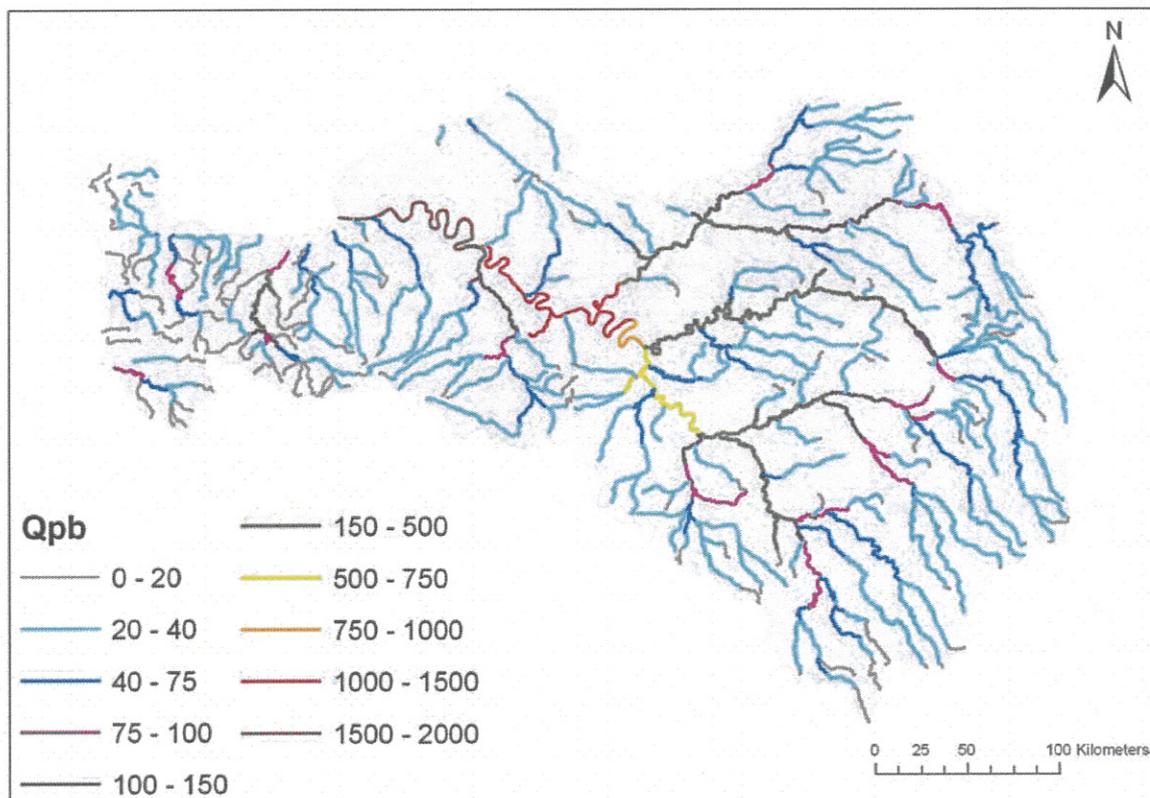
4.4 Débit de pleins bords

Le débit de plein bord est le débit mesuré lorsque le niveau des eaux atteint les limites du lit mineur avant débordement. C'est le débit qui façonne le lit d'une rivière et préside à la formation et à la dynamique des faciès d'écoulement. Il est considéré comme le débit morphogène. Ce débit est estimé à une période de retour de 1,5 à 3 ans. La plupart du temps on prend en compte le Q_{2j} , c'est-à-dire le débit journalier de crue de fréquence 2 ans.

Comme pour la largeur des cours d'eau, les débits sont corrélés à la taille des bassins versant. Une relation liant la valeur du débit biennal à la taille du bassin versant a été utilisée:

$$Q_{2j} = a \cdot T_{bv} + b$$

Des régressions linéaires sur les données de terrain, telles que les données du Réseau Hydrologique et Piscicole, ont permis d'obtenir les valeurs de a et b pour les hydro-écorégions du bassin Seine-Normandie. Ces valeurs nous ont été fournies par l'Agence de l'eau Seine Normandie et sont présentées en annexe 2.



Carte 11 : Débit de plein bord des cours d'eau du bassin Seine-Normandie

Les débits peuvent être analysés aux différentes stations de jaugeage grâce aux données de la banque de données hydro. Cependant le nombre de stations est réduit et le débit de plein bord calculé n'est pas toujours fiable.

4.5 Puissance spécifique

Cet indicateur permet de déterminer l'intensité des processus morpho-dynamiques. Plus la puissance augmente, plus les taux d'érosion sont importants. Selon A. Brookes, la valeur seuil de puissance spécifique à partir de laquelle une rivière est active est comprise entre 25 et 35 W/m².

La puissance spécifique (W/m²) d'un cours d'eau est donnée par :

$$\omega = (\rho g Q_{pb} I) / L$$

avec :

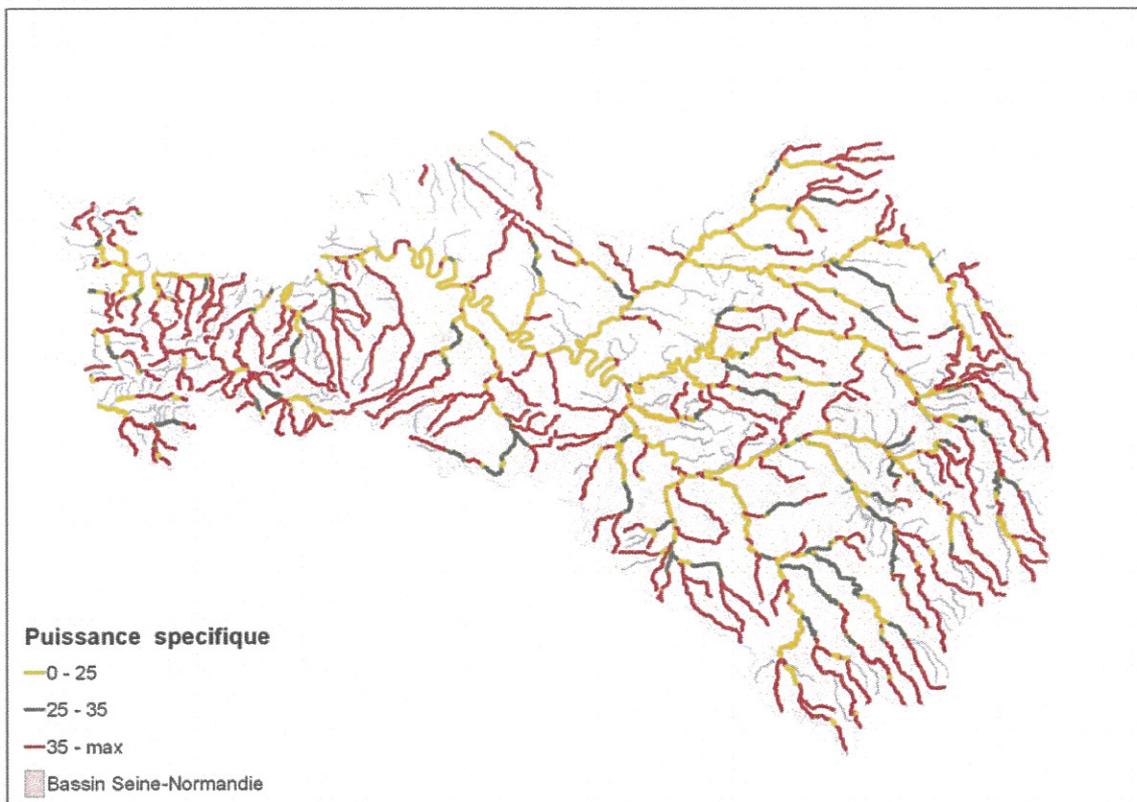
g : accélération de la pesanteur (=9.81 m/s²)

ρ : masse volumique de l'eau (=1000 kg/m³)

I : pente moyenne du cours d'eau

Q_{pb} : débit de plein bord ou débit de crue journalière de fréquence 2 ans (m³/s)

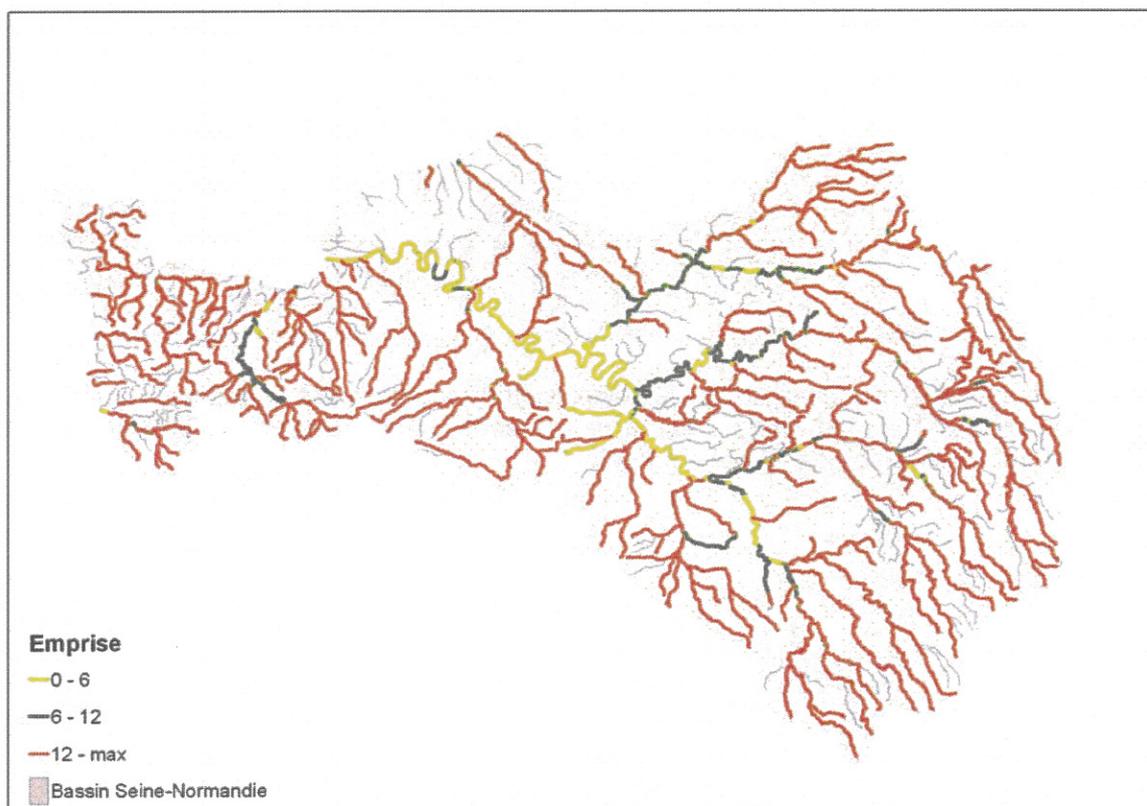
L : largeur moyenne du cours d'eau à pleins bords (m)



Carte 12 : Puissance spécifique des cours d'eau du bassin Seine-Normandie

4.6 Emprise du cours d'eau sur le fond de vallée

C'est le rapport de la largeur du fond de vallée sur la largeur du cours d'eau. L'emprise du cours d'eau sur le fond de vallée traduit le degré de contrainte imposé par la vallée au cours d'eau. C'est un paramètre essentiel pour évaluer le potentiel de mobilité des cours d'eau car il illustre la capacité du cours d'eau à divaguer librement dans le fond de vallée et à assurer son équilibre dynamique.



Carte 13 : Emprise des cours d'eau du bassin Seine-Normandie sur le fond de vallée

La largeur de fond de vallée peut être mesurée sur les cartes IGN. Cependant ces données sont directement mobilisables dans la base de données hydrogéomorphologiques qui identifie les corridors fluviaux du bassin Seine-Normandie. Cette base a été constituée en 2005 par SCOT et GEOSPHAIR pour l'Agence de l'eau Seine Normandie.

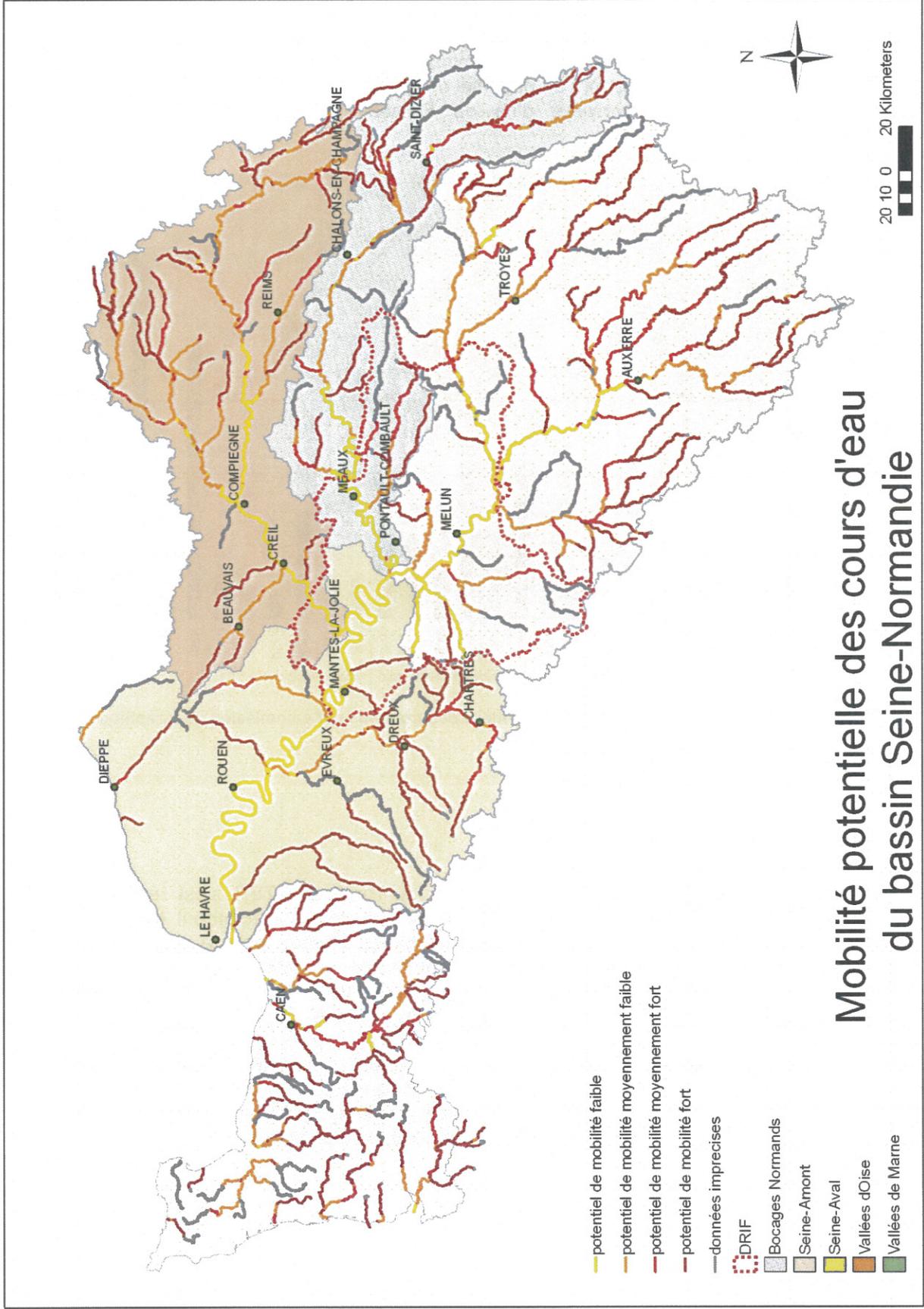
4.7 Typologie morphodynamique : mobilité potentielle des tronçons

Le potentiel de mobilité des cours d'eau du bassin Seine-Normandie a été évalué à partir de la puissance spécifique et de l'emprise du cours d'eau sur le fond de vallée selon la règle, réalisée en collaboration avec H. Andriamahefa (AESN), présentée dans le tableau ci-dessous.

Potentiel de mobilité	Emprise faible ($L_{\text{fond de vallée}} < 6 \cdot L_{\text{lit}}$)	Emprise intermédiaire ($6 \cdot L_{\text{lit}} < L_{\text{fond de vallée}} < 12 \cdot L_{\text{lit}}$)	Emprise forte ($L_{\text{fond de vallée}} > 12 \cdot L_{\text{lit}}$)
Puissance faible ($P < 25 \text{ w/m}^2$)	Faible	Faible	Moyennement faible
Puissance moyenne $25 < P < 35 \text{ W/m}^2$	Faible	Moyennement faible	Moyennement fort
Puissance forte $P > 35 \text{ w/m}^2$	Faible	Moyennement fort	fort

Tableau 2: Règle de décision adoptée pour classer les cours d'eau selon leur potentiel de mobilité

Ce tableau matriciel serait beaucoup plus significatif s'il intégrait des données relatives à la granulométrie du lit et des berges. Faute de données, nous n'avons pas pu prendre en compte ce paramètre (voir paragraphe 4.8.3).



Carte 14 : Mobilité potentielle des cours d'eau du bassin Seine Normandie

La mobilité potentielle des cours d'eau varie avec leur localisation sur le bassin. Les cours d'eau des sous bassin correspondant aux commissions géographiques Seine amont, vallée de l'Oise et bocages normands, ont un potentiel de mobilité fort. Les cours d'eau suivis par la commission géographique « rivière d'île de France » ont un potentiel de mobilité majoritairement faible.

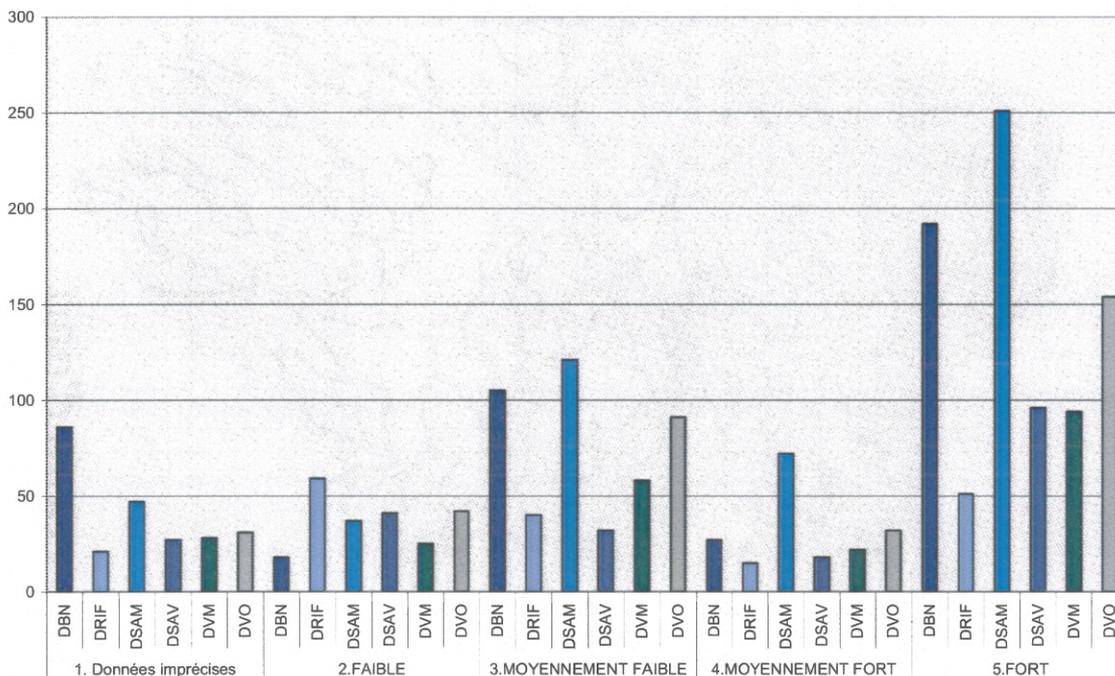


Figure 2 : Répartition de la mobilité potentielle des tronçons par commission géographique

4.8 Limite de la méthode

4.8.1 Fiabilité de l'outil

Le traitement automatique des données à partir de l'outil GEOTER s'est révélé long et fastidieux. De nombreuses procédures ne fonctionnaient pas correctement et ont dû être modifiées. La fiabilité de l'outil est limitée par les volumes d'informations à traiter : la gestion de la mémoire sous Arcgis (version 9.1) est probablement perfectible. La dernière évolution (9.2) est susceptible de limiter ce phénomène. Comme les volumes de données traitées avaient tendance à saturer la mémoire, nous avons travaillé par série d'une trentaine de cours d'eau au lieu de procéder à des traitements batch³ sur l'ensemble des rivières.

En outre, le fonctionnement est très dépendant de la qualité des données d'entrée; à chaque fois qu'une erreur liée à une discontinuité, une absence d'information, d'un élément de codage ou autre est détectée, le traitement s'arrête. Il est alors nécessaire de rechercher la cause de l'erreur, de la corriger et de relancer l'ensemble de la série de calcul.

³ Traitement Batch : ce traitement permet de réaliser les calculs sur plusieurs cours d'eau sans avoir à relancer la procédure.

4.8.2 Fiabilité des résultats

Les résultats de la sectorisation par l'outil sont globalement cohérents. La variation de la taille des tronçons est le principal problème mis en évidence. Les tronçons de petite taille, pour lesquels les résultats sont peu fiables, sont nombreux. Il serait intéressant de développer une méthode permettant de lisser les résultats et de supprimer les tronçons de petite taille.

Les résultats des calculs de la puissance spécifique et de l'emprise sont totalement dépendant des données utilisées. La fiabilité des variables calculée a été analysée par S. Thomas :

Tableau 3: Estimation de la fiabilité des résultats obtenus avec l'outil GEOTER et pistes d'amélioration (S. Thomas, 2006)

Variable	Fiabilité	Source d'erreur	Piste d'amélioration
Pente du cours d'eau	-	MNT 100m	résolution et précision du MNT
Pente de la vallée	--	MNT 100m définition de l'axe de la vallée	résolution et précision du MNT utiliser un autre axe de vallée que le réseau théorique trouver une méthode adaptée
		découpage de l'axe de la vallée	
Sinuosité	+	définition de l'axe de la vallée	utiliser un autre axe de vallée que le réseau théorique trouver une méthode adaptée
		découpage de l'axe de la vallée	
Distance à la source	++	erreurs ponctuelles	
Taille du bassin versant	+	MNT découpage du fond de vallée et définition des correspondances entre tronçons de réseau théorique et tronçons de cours d'eau	résolution du MNT algorithme à développer
Débit biennal	+	- variabilité spatiale et particularités de chaque station	- densification du réseau de station de la Banque Hydro - utilisation de formules de calcul plus adaptées
Largeur du cours d'eau		- adaptation des HER pour définir des zones homogènes de calcul	
Puissance spécifique	--	combinaison des erreurs de pente du cours d'eau, débit biennal et largeur du cours d'eau	améliorer la fiabilité des 3 variables utilisées pour le calcul

Le taux d'erreur pour la puissance spécifique n'a pas été quantifié. Ce calcul aurait nécessité des valeurs précises d'erreur de pente, de débit biennal et de largeur des cours d'eau. On sait cependant que les données utilisées pour calculer la pente ne sont pas précises. On peut en déduire que le calcul de pente est peu fiable, ce qui se répercute sur le calcul de la puissance spécifique.

De la même manière, le taux d'erreur pour l'emprise résulte des erreurs liées au calcul de la largeur du fond de vallée (évaluée à 25%) et de celle liée au calcul de la largeur du cours d'eau. Ce niveau d'erreur impose de vérifier et de valider les résultats obtenus avec l'outil.

Il faut garder à l'idée que l'outil GEOTER permet :

- de sectoriser rapidement et avec peu de données une grande quantité de cours d'eau
- une première caractérisation hydrogeomorphologique de ces cours d'eau. Les résultats obtenus sont des ordres de grandeur et non des résultats précis mais cette analyse permet une première sélection des cours d'eau pour lesquels des études plus précises doivent être réalisées.

Il faut également noter que la fiabilité de l'outil augmente proportionnellement à la précision des données d'entrées.

4.8.3 Données non prise en compte

La mobilité potentielle a été évaluée à partir d'un nombre restreint de variables. Idéalement, il aurait fallu tenir compte de la résistance des berges, donc de la granulométrie. On peut également valider les résultats avec des données concernant la sinuosité et les annexes.

❖ *La granulométrie des berges*

Compte tenu des données actuellement disponibles à l'échelle du bassin Seine-Normandie, nous n'avons pu tenir compte de la granulométrie que par la prise en compte des hydroécorigions de niveau 2. Cette variable est pourtant un élément essentiel pour expliquer la mobilité des cours d'eau car les caractéristiques sédimentologiques du lit et des berges conditionnent leur érodabilité et la mobilité d'une rivière résulte d'un équilibre entre sa puissance et la résistance de ses berges.

Si les cartes géologiques donnent une idée générale du type de sédiments rencontrés, il n'existe aucune relation permettant de déterminer le diamètre médian (D_{50}) des grains d'une rivière, ni même d'estimer grossièrement la taille approximative du substrat à partir d'informations géologiques. Des données de terrain sont indispensables pour la prise en compte de la granulométrie.

La méthode la plus simple pour obtenir le diamètre moyen des grains est la réalisation de courbes granulométriques. La granulométrie des matériaux est analysée au niveau des atterrissements par la méthode de « comptage » : on place un décimètre sur le sol, on prélève l'élément sous la graduation et on en mesure le diamètre. Il faut au minimum référencer 100 éléments. Les résultats permettent de réaliser une courbe granulométrique. Pour des éléments fins, il faut réaliser un prélèvement que l'on analyse ensuite par tamisage en laboratoire. On peut déduire des courbes granulométriques le diamètre médian des grains D_{50} .

En outre, un modèle a été proposé par H. Piegay, chercheur à l'université de Grenoble, pour évaluer la probabilité de mobilité d'un cours d'eau. Ce modèle reprend les principaux paramètres de la formulation de la puissance spécifique, mais il permet d'intégrer la résistance des berges. Cette résistance résulte essentiellement des caractéristiques granulométriques du matériel composant le fond du lit et des berges. Les berges peu cohésives sont favorables au développement des lits à méandres et à l'érosion latérale. Des berges limono-sableuses sont plus difficiles à éroder que des berges caillouteuses.

$$P_{\text{mobilité}} = \frac{[\exp(332 \cdot \text{Index} - 32,87)]}{[1 + \exp(332 \cdot \text{index} - 32,87)]}$$

$$\text{avec Index} = \frac{1}{[\log(\frac{D_{50} Q_{2\text{spec}}}{I}) + 10]}$$

ET :

$$Q_{2\text{spec}} = \frac{Q_2}{A} : \text{le débit spécifique de crue journalière de fréquence de 2 ans (m}^3\text{/s/km}^2\text{)}$$

Q_2 : le débit de crue journalière de fréquence 2 ans (m³/s)
 A : la surface du bassin versant au point considéré (km²)
 D_{50} : le diamètre médian des grains du cours d'eau (m)
 I : pente moyenne du cours d'eau (m/m)

Néanmoins, même si ce modèle logistique a été calibré et validé sur plus de 35 cours d'eau présentant des caractéristiques très variées, il n'est pas universel. Il peut fonctionner sur un cours d'eau, mais pas sur le cours d'eau voisin. Ce modèle logistique est donc à utiliser avec précaution.

Lors de l'« Etude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée » réalisée par SOGREAH pour la DIREN de bassin Seine-Normandie, la mobilité de la Seine a été évaluée à partir du calcul de la puissance spécifique et du modèle de probabilité de mobilité des cours d'eau. Le modèle logistique a permis de mettre en évidence que la puissance spécifique ne peut pas être l'unique indicateur de la mobilité d'un cours d'eau. En effet, le modèle a révélé que des secteurs de faible puissance spécifique étaient mobiles à 85 %. Cette mobilité est essentiellement due aux caractéristiques granulométriques du matériel composant le fond du lit et des berges.

❖ *L'indice de sinuosité IS_H*

L'indice de sinuosité permet de caractériser la forme du lit :

- les lits rectilignes avec $IS_H < 1.05$;
- les lits sinueux avec $1.05 \leq IS_H < 1.25$;
- les lits très sinueux avec $1.25 < IS_H < 1.75$
- les lits méandriformes avec $IS_H > 1.75$.

Si l'indice de sinuosité informe sur le style fluvial du cours d'eau, il informe peu sur son potentiel de mobilité. Socio-économiquement parlant, la sinuosité est révélatrice de perturbations et d'artificialisation de l'écosystème aquatique. Des tronçons rectilignes sont couramment intercalés entre des tronçons méandriformes. Ce phénomène résulte le plus souvent d'anthropisation.

Dans cette étude la sinuosité n'a pas été prise en compte pour évaluer la mobilité, essentiellement pour deux raisons :

- les contraintes anthropiques ne pouvaient pas être différenciées des contraintes naturelles
- la BD Carthage ne permet pas de mesurer la sinuosité : une grande différence a pu être observée entre la précision de la BD Topo et celle de la BD Carthage surtout pour les cours d'eau de rang 1,2 et 3.

Une « étude préliminaire à la détermination des fuseaux de mobilité des cours d'eau dans le bassin Seine-Normandie » a été réalisée par S. Gaillard. Elle a permis d'établir une carte de la sinuosité des lits fluviaux de tous les cours d'eau du bassin. Les cours d'eau ont été segmentés différemment suivant leur longueur : la taille des segments varie entre 200m et 20 km. La sinuosité a ensuite été calculée pour chaque segment. Cette étude peut être utilisée pour valider des résultats de sinuosité. Néanmoins, les calculs ont été réalisés à partir de la BD Carthage, ce qui est synonyme d'un nombre d'erreur important.

S. Thomas lors de son étude sur « la fiabilité et applicabilité de l'Outil de Sectorisation et de Caractérisation Morphologique des Cours d'Eau sur le bassin Seine – Normandie » a également évalué la sinuosité de quelques grands cours d'eau du bassin de Seine et des cours d'eau côtiers normands.

❖ **La distribution des formes relictuelles (annexes hydrauliques) :**

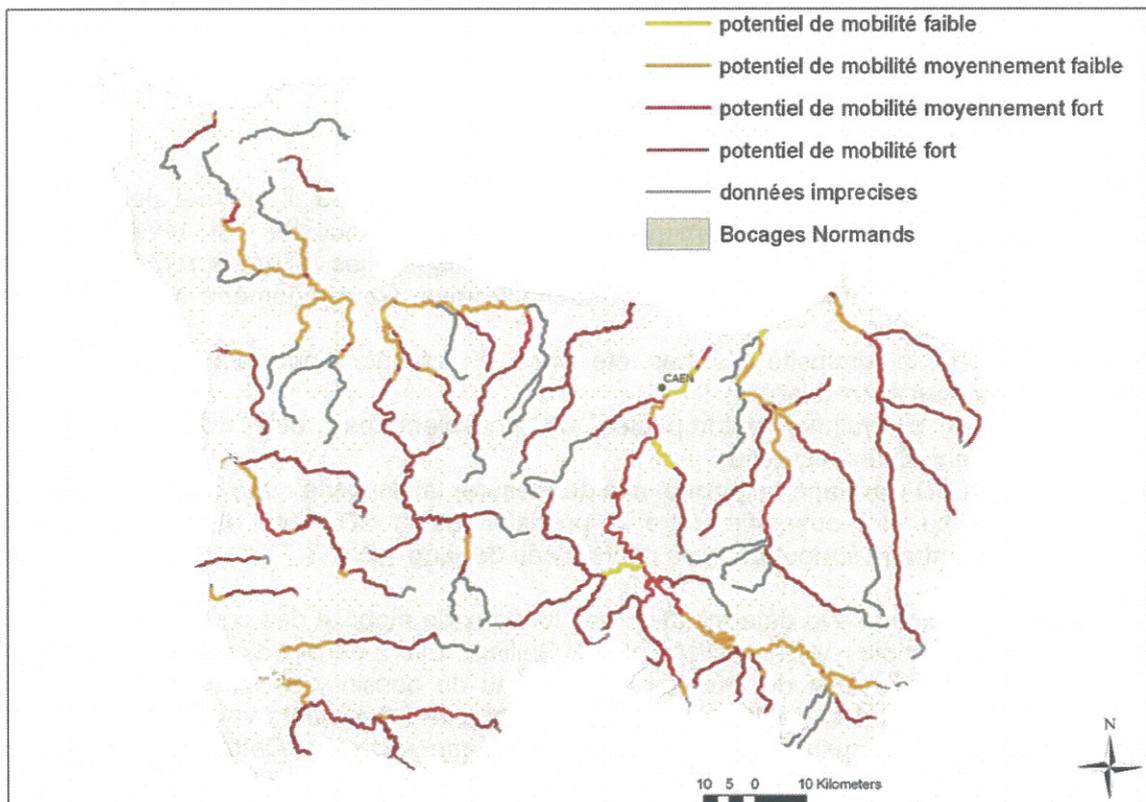
Les annexes (bras morts, noues) correspondent le plus souvent à d'anciens tracés de la rivière. Elles n'ont néanmoins pas été considérées dans cette étude pour plusieurs raisons :

- sur le bassin Seine-Normandie, elles sont très anciennes donc non représentatives de la mobilité actuelle des cours d'eau (plus de 200 ans)
- ce sont des variables de réponse et non des variables de contrôle
- l'absence d'annexes n'est pas synonyme d'immobilité du cours d'eau : la disparition des annexes hydrauliques sous l'effet des processus géodynamique et sédimentaire est normale. Aussi leur disparition n'est pas nécessairement indicatrice d'un dysfonctionnement du système.

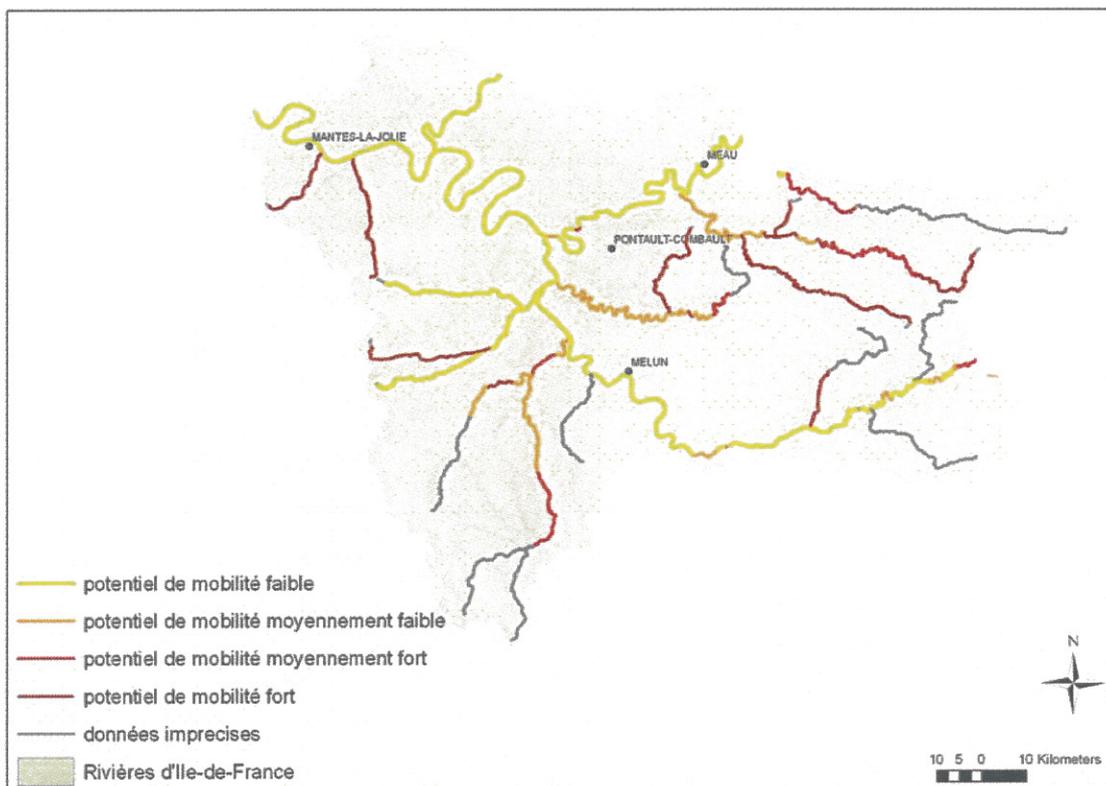
Par contre, la distribution des formes relictuelles peut permettre de valider les résultats.

4.9 Conclusion

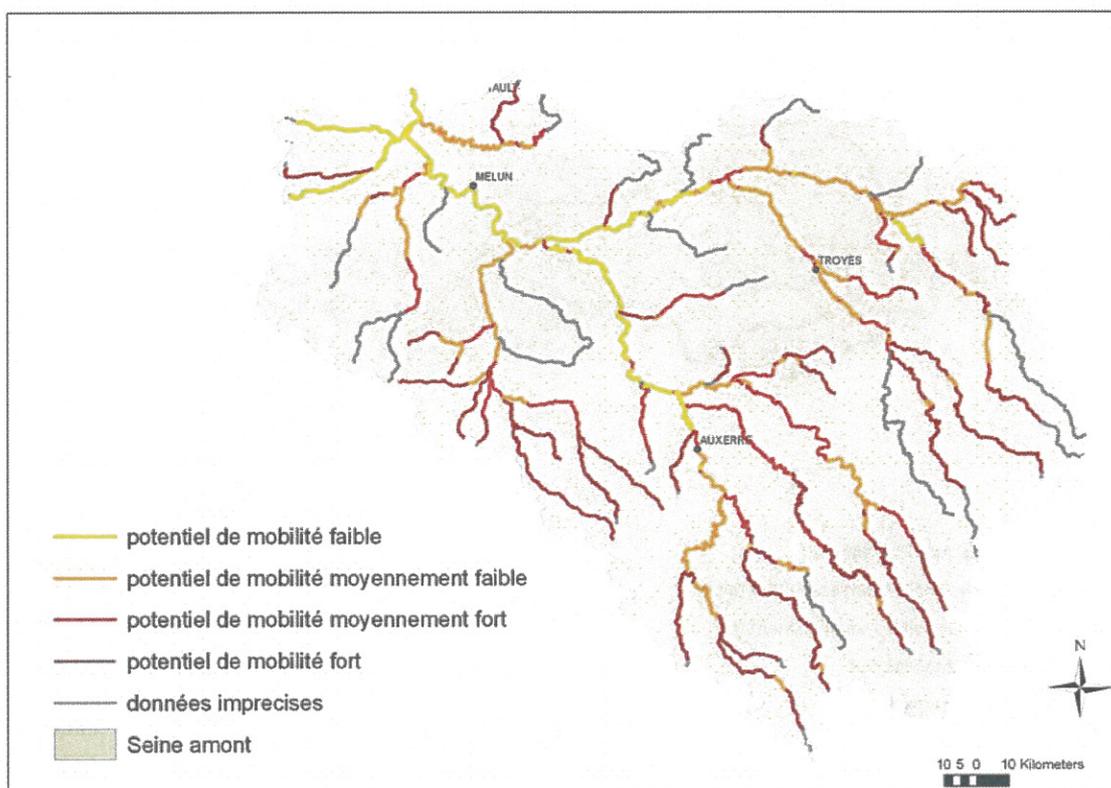
A l'issue de cette première étape, les rivières potentiellement mobiles sont identifiées pour chacun des territoires des commissions géographiques du bassin Seine-Normandie.



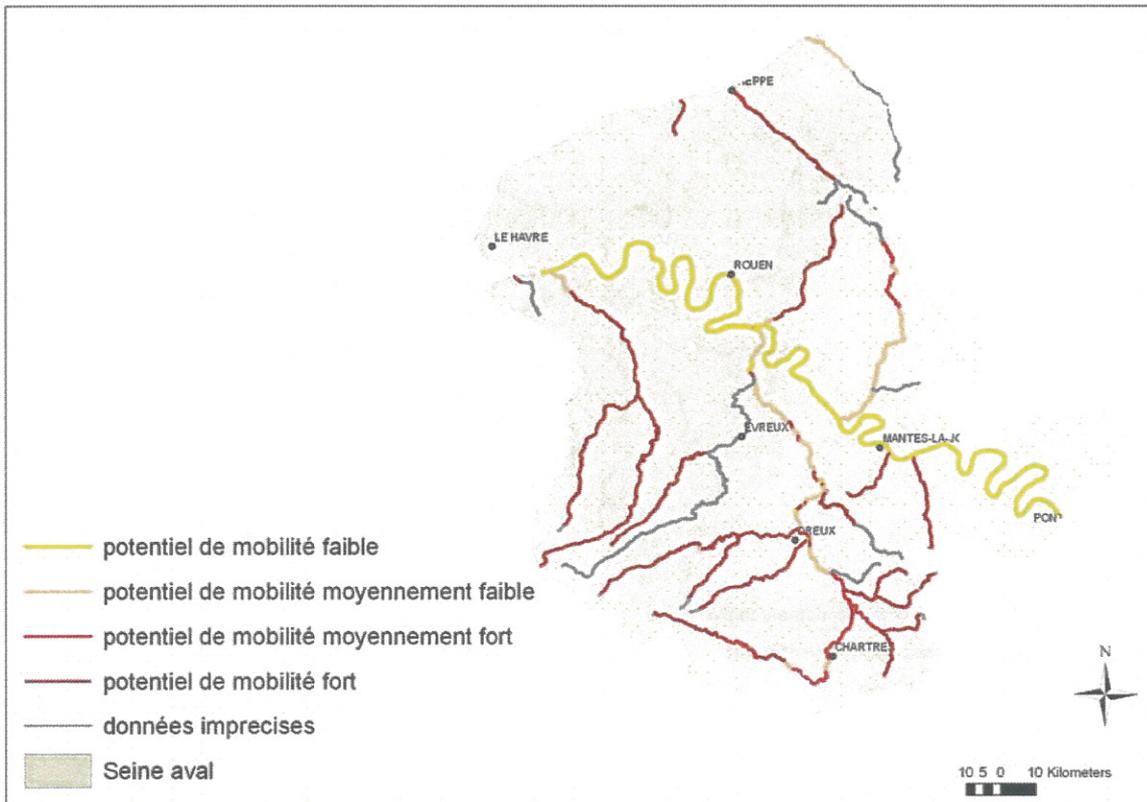
Carte 15 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Bocages Normands



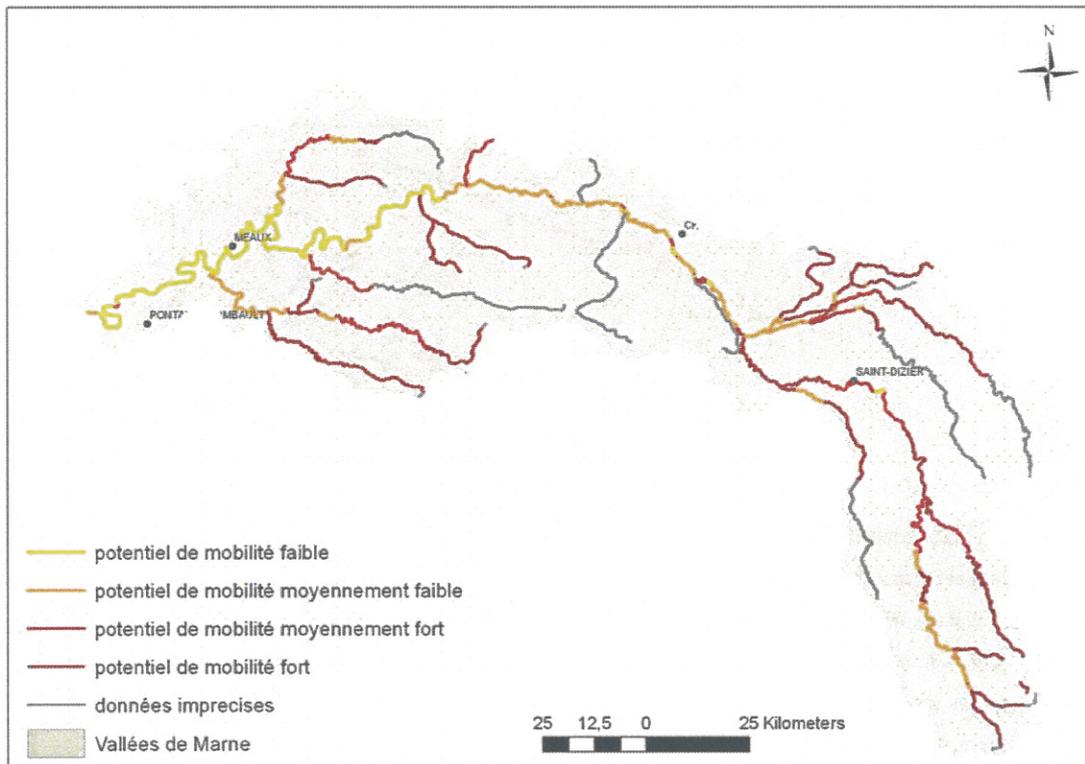
Carte 16 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Rivières d'Ile-de-France



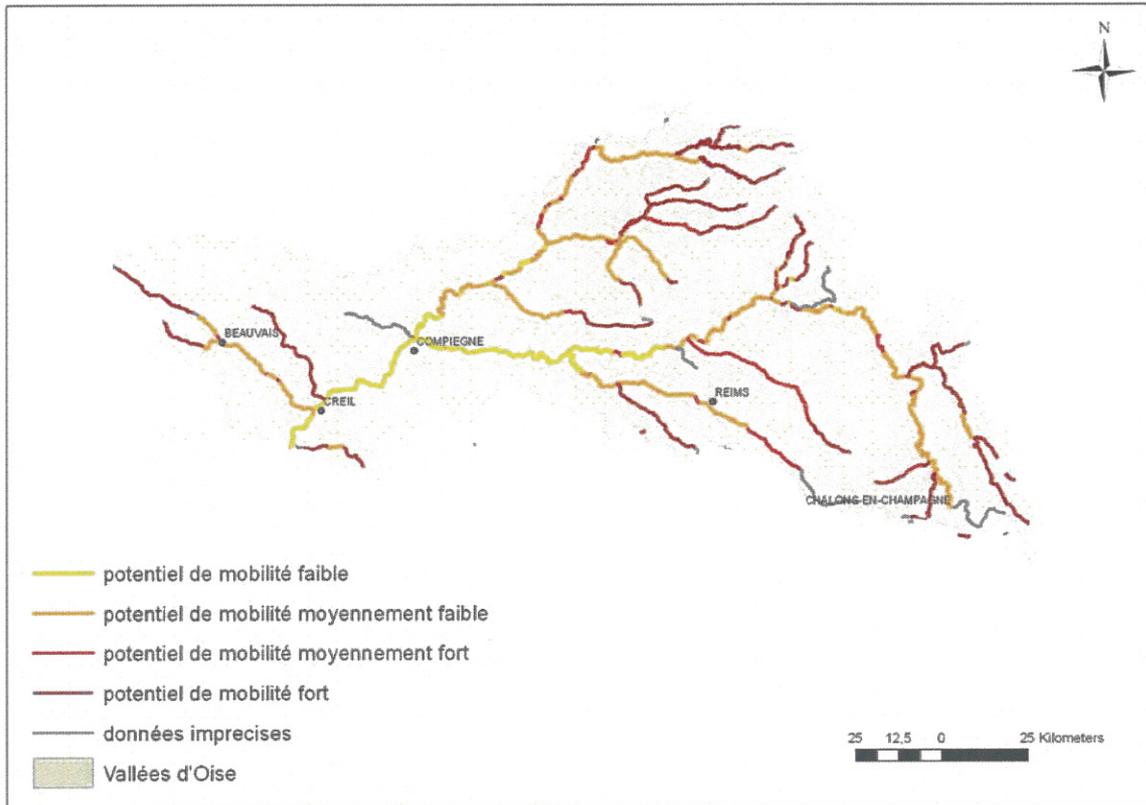
Carte 17 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine amont



Carte 18 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine aval



Carte 19 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées de Marne



Carte 20 : Mobilité potentielle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées d'Oise

La carte de mobilité potentielle réalisée à l'échelle du bassin Seine Normandie met en évidence les cours d'eau les plus actifs. Cependant, cette carte, au même titre que les zooms réalisés pour chaque commission géographique, doit être considérée avec précaution. Cette carte est la première réalisée à l'échelle de l'ensemble du bassin. Beaucoup de données n'étaient pas disponibles sur la totalité du territoire et les données existantes n'étaient pas toujours de bonne qualité. De plus, l'outil GEOTER n'est pas achevé. Des analyses de terrains sont indispensables pour valider ces résultats globaux et pour prendre des décisions de travaux.

Les résultats que nous avons obtenus avec l'utilisation de l'outil ont pu être comparés, sur l'Armançon, à ceux obtenus par J-R Malavoi avec la méthode des flèches d'érosion présentée dans le chapitre suivant (cf annexe 5). Les cours d'eau au potentiel de mobilité faibles sont définis comme peu actif par l'étude Malavoi. Par contre, certains tronçons définis comme ayant un potentiel fort ou moyennement fort ont été identifiés comme peu ou moyennement actif. Ce phénomène peut être lié à un blocage anthropique.

A l'heure actuelle, il est impératif de mettre en place une méthode commune pour déterminer le potentiel de mobilité des cours d'eau afin de pouvoir :

- comparer les potentiels de mobilité des cours d'eau entre eux,
- réaliser un suivi de la dynamique fluviale sur le moyen terme et évaluer les changements induits par d'éventuelles mesures de gestion

La méthode proposée ici est une bonne base. Elle est pertinente mais perfectible. La qualité et la disponibilité des données d'entrées restent à améliorer. L'acquisition de la BD Topo

pays sur la totalité du bassin serait un plus. Des études sont également à lancer sur le territoire du bassin afin de collecter les données manquantes et de créer des bases de données homogènes. Ces études concernent, entre autres, les données granulométriques.

5 Analyse de la mobilité réelle des cours d'eau

5.1 Evaluation de la mobilité réelle par la prise en compte des enjeux socio-économiques

5.2 Recensement des principaux enjeux socio-économiques

La mobilité des cours d'eau peut être bloquée par des contraintes anthropiques. Lorsque les contraintes sont réversibles, elles peuvent être effacées grâce à une politique volontariste de restauration du milieu, tenant compte de l'occupation du territoire dans la vallée. Cela induit de déterminer les fuseaux de mobilité des cours d'eau afin de connaître l'espace foncier à restaurer ou à préserver (cf. partie 7).

L'étape suivante consiste à identifier les contraintes socio-économiques présentes dans l'amplitude d'équilibre et qui bloquent la mobilité du cours d'eau. Nous avons retenu, comme préconisé dans le guide Rhône Méditerranée-Corse, que cette enveloppe était égale à dix fois la largeur du cours d'eau.

 **L'amplitude d'équilibre n'est en aucun cas l'espace de mobilité idéal. Elle représente l'hypothèse la plus pessimiste dans la définition de la mobilité. Cette enveloppe est utilisée dans cette étude comme un espace d'analyse minimum.**

Les enjeux humains, sociaux et économiques considérés dans cette étude sont ceux qui ne peuvent a priori pas être remis en question, soit :

❖ **Zones urbanisées (contrainte irréversible)**

Les zones urbanisées ou les ensembles de constructions habitées constituent une contrainte lourde et irréversible.

Origine des données : Corine Land Cover

❖ **Routes majeures et ouvrages de franchissement (contrainte irréversible)**

L'impact des routes sur la mobilité du cours d'eau varie en fonction de leur position. Les voies de communication qui sont parallèles au cours d'eau ont un impact beaucoup plus fort sur la mobilité que celles qui sont perpendiculaires au cours d'eau.

Les ponts exercent une contrainte ponctuelle.

Origine des données : BD Carto fournies par AESN

❖ **Gravières et plans d'eau (contrainte plus ou moins réversible)**

Lorsqu'elles sont localisées dans le lit majeur et donc dans l'amplitude d'équilibre du cours d'eau, les gravières posent des problèmes hydrogéologiques, sédimentologiques et écologiques. Nous avons convenu que les gravières, de volume suffisamment important pour bloquer la charge alluviale en charriage, seraient considérées comme des points durs.

La contrainte exercée par les gravières est plus ou moins réversible en fonction de l'échelle de temps à laquelle on travaille. A une grande échelle de temps, on peut estimer que des remblaiements naturels sont possibles.

Origine des données : Corine Land Cover et DRIRE Ile de France.

❖ **Cours d'eau navigués (contrainte irréversible)**

Le caractère navigable d'un cours d'eau sous-entend la plupart du temps le blocage irréversible de sa mobilité potentielle. Cette contrainte « cours d'eau navigués » augmente avec le gabarit. Un grand gabarit entraîne également des rectifications de tracés, des recalibrages, des coupures de boucles, des renforcements de l'artificialisation des berges, et la création de ports importants.

Origine des données : cette information est directement mobilisable dans la BD Carthage.

❖ **Ouvrages transversaux dans le lit mineur (contrainte plus ou moins réversible)**

Dans cette étude les barrages ont uniquement été considérés comme une contrainte ponctuelle et réversible. A plus petite échelle, il serait intéressant de prendre en compte la hauteur de chute des barrages pour évaluer le degré d'altération de la pente des cours d'eau, et en déduire l'impact sur la puissance spécifique. Il serait également nécessaire de différencier les barrages réversibles, pour lesquels l'abandon d'usage est possible, et les barrages irréversibles, comme les ouvrages de navigation ou les ouvrages à usage hydroélectrique.

Origine des données : les barrages ont été identifiés à partir de la base AREA de 2002 « Barrages, entraves à la dynamique biologique des rivières » réalisée pour la DIREN ile-de-France », complétée d'un recensement fait par la CATER de basse Normandie.

❖ **Captages (contrainte réversible)**

Les captages et surtout les protections qu'ils imposent bloquent ponctuellement la mobilité des cours d'eau.

Origine des données : les données nous ont été fournies par l'agence de l'eau.

❖ **Masses d'Eau Fortement Modifiées ou MEFM (contrainte réversible)**

Une masse d'eau fortement modifiée est une masse d'eau de surface qui, par suite à des altérations physiques dues à l'activité humaine, est fondamentalement modifiée quant à son caractère. Les altérations hydro morphologiques considérées sont les suivantes :

- Urbanisation,
- Routes et endiguements
- Cours d'eau navigués : la connaissance du gabarit de navigation est là encore une information significative pour apprécier la contrainte recalibrage, rectification...
- Recalibrage et rectification de grande ampleur
- Retenues
- Barrages et seuils
- Obstacles à la migration

La prise en compte du caractère fortement modifié des masses d'eau induit des redondances en ce qui concerne les contraintes « urbanisation », « routes » et « ouvrages ».

Nous avons cependant choisi de considérer ce paramètre car c'est le seul dont nous disposons pour apprécier le recalibrage, les rectifications ou l'endiguement.

Origine des données : cette information est directement mobilisable dans la BD Carthage. Elle est issue de l'expertise réalisée par l'Agence de l'Eau Seine Normandie lors de l'état des lieux du bassin en 2004.

❖ **Masses d'Eau Artificielles ou MEA (contrainte réversible)**

Les masses d'eau artificielles sont les masses d'eau de surface créées par l'homme. Elles sont représentées par les canaux et les plans d'eau artificiels.

Origine des données : cette information est directement mobilisable dans la BD Carthage.

Tableau 4: liste des contraintes prises en compte dans les études de délimitation des fuseaux de mobilité

CONTRAINTES	AE RM	AE RMC	DIREN (étude bassée)	UNICEM	Inventaire des rivières mobiles	Réversibilité
Zones urbanisées	+	+	+	+	+	Irréversible
Voies de communication majeures et ponts	+	+	+	+	+	Irréversible
Captages	+	+	+		+	Réversible
Gravières et plans d'eau	+	+			+	Réversible
Ouvrages transversaux		+	+	+	+	Réversible
Canaux et chenaux de navigation	+	+	+	+	+	Irréversible
Pylônes EDF	+					
Canalisation	+					
Les zones d'activités : agricoles, industrielles, commerciales, récréatives			+			
Protection de berges				+		

5.3 Tronçons à mobilité potentielle « forte »

La mobilité réelle des tronçons à mobilité potentielle forte a été évaluée à partir d'une analyse cartographique de chaque tronçon. Pour chaque tronçon, les contraintes présentes dans l'enveloppe d'équilibre ont été recensées et intégrées dans une base de données :

- linéaire en milieu artificialisé, linéaire en milieu forestier, linéaire en milieu agricole, linéaire en milieu humide, type de milieu prédominant
- linéaire de routes parallèles au cours d'eau : ce linéaire a été mesuré manuellement sur le SIG
- nombre de ponts qui intersectent le cours d'eau
- nombre de captages présents dans l'enveloppe d'équilibre des cours d'eau
- nombre de plans d'eau localisés dans l'enveloppe d'équilibre des cours d'eau
- nombre d'ouvrages transversaux sur les cours d'eau
- linéaire de cours d'eau navigués
- linéaire de voies artificialisées parallèles au cours d'eau
- linéaire en MEFM

La présence ou l'absence de ces variables dans l'amplitude d'équilibre, ainsi que leur poids respectif, a permis d'estimer la mobilité réelle des cours d'eau. Elle a été caractérisée selon 4 valeurs : nulle, faible, moyenne, forte.

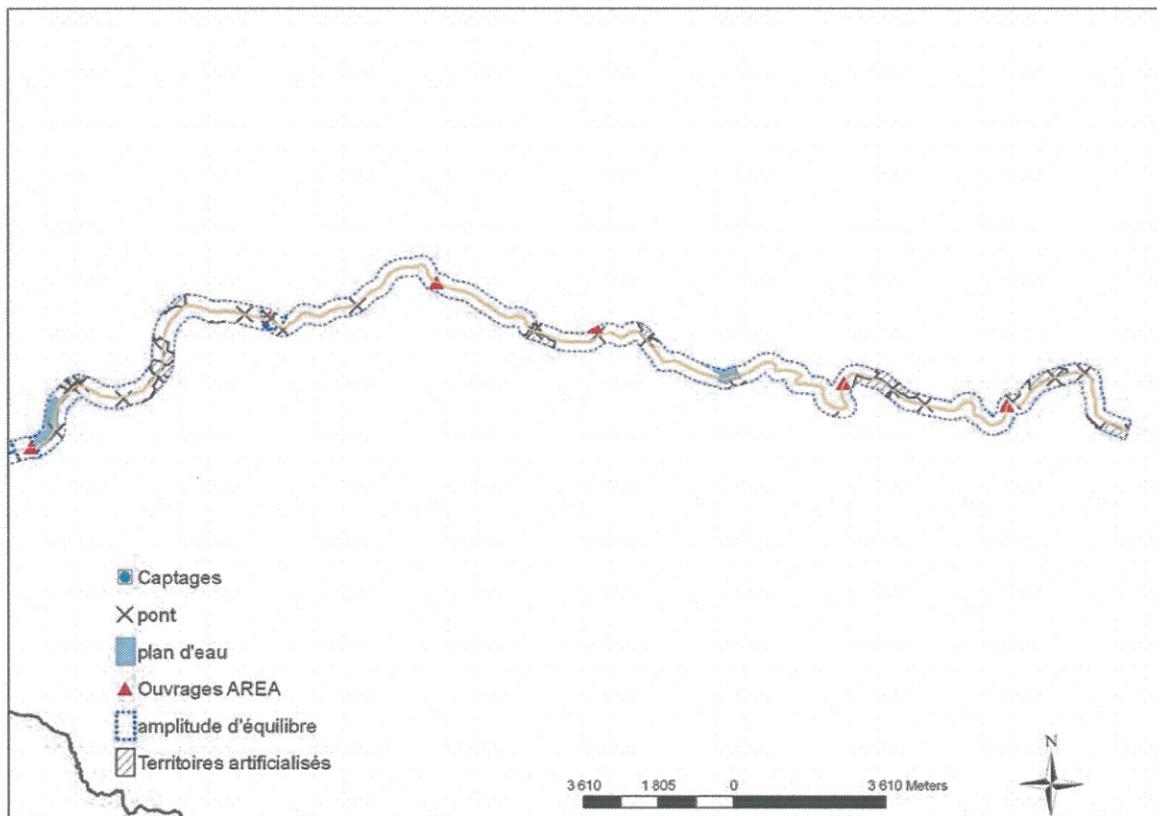


Figure 3: exemple d'analyse cartographique : tronçon considéré moyennement mobile suite aux contraintes présentes dans son amplitude d'équilibre

Cette méthode est très longue car elle demande, pour chaque tronçon, de mesurer manuellement le linéaire de voie de communication parallèle au cours d'eau et d'évaluer la mobilité réelle. Ainsi, elle n'a été réalisée que pour les tronçons à mobilité potentielle forte.

Pour les autres tronçons, une méthode automatique a été élaborée. Les résultats de ces deux méthodes ont ensuite été comparés.

5.4 Tronçons à mobilité potentielle « moyennement forte »

5.4.1 Méthode

Une méthode a été mise en place pour automatiser l'évaluation de la mobilité réelle des tronçons. Les contraintes présentées ci-dessus ont été évaluées de façon automatique sous SIG. Puis, nous avons évalué :

❖ La contrainte « linéaire artificialisé ».

Cette contrainte en milieu artificialisé est représentée par le ratio:

$$\frac{\text{linéaire de lit mineur qui traverse un milieu artificialisé}}{\text{linéaire total}}$$

Les « territoires artificialisés » sont issus du type 1 d'occupation des sols présentés dans la nomenclature Corine Land Cover. Les « territoires artificialisés » regroupent :

- les zones urbanisées,
- les zones industrielles ou commerciales et réseau de communication,
- les « mines, décharges et chantiers »,
- les espaces verts artificialisés, non agricoles .

❖ La contrainte « route et masse d'eau artificialisées »:

$$\frac{(\text{linéaire de routes} + \text{linéaire MEA})}{\text{linéaire total}}$$

Seul le linéaire de route parallèle au cours d'eau est à prendre en compte. On considère que la contrainte liée au linéaire de route perpendiculaire au cours d'eau est déjà prise en compte par la variable « ponts ».

Pour estimer ce linéaire, nous avons réalisé une régression linéaire sur les données mesurées sur la carte et celles calculées automatiquement par SIG. Nous avons obtenu l'équation $y = 0.692x - 62.728$ avec :

- y = linéaire de voie de communication parallèle au cours d'eau mesuré sur la carte
- x = linéaire de voie de communication totale présent dans l'enveloppe d'équilibre du cours d'eau.

Le coefficient de détermination obtenu est $r^2 = 0.8807$, ce qui confirme la pertinence du calcul. Nous avons donc estimé le linéaire de voies de communication parallèle au cours d'eau à partir du linéaire de voies de communication total présent dans l'amplitude d'équilibre.

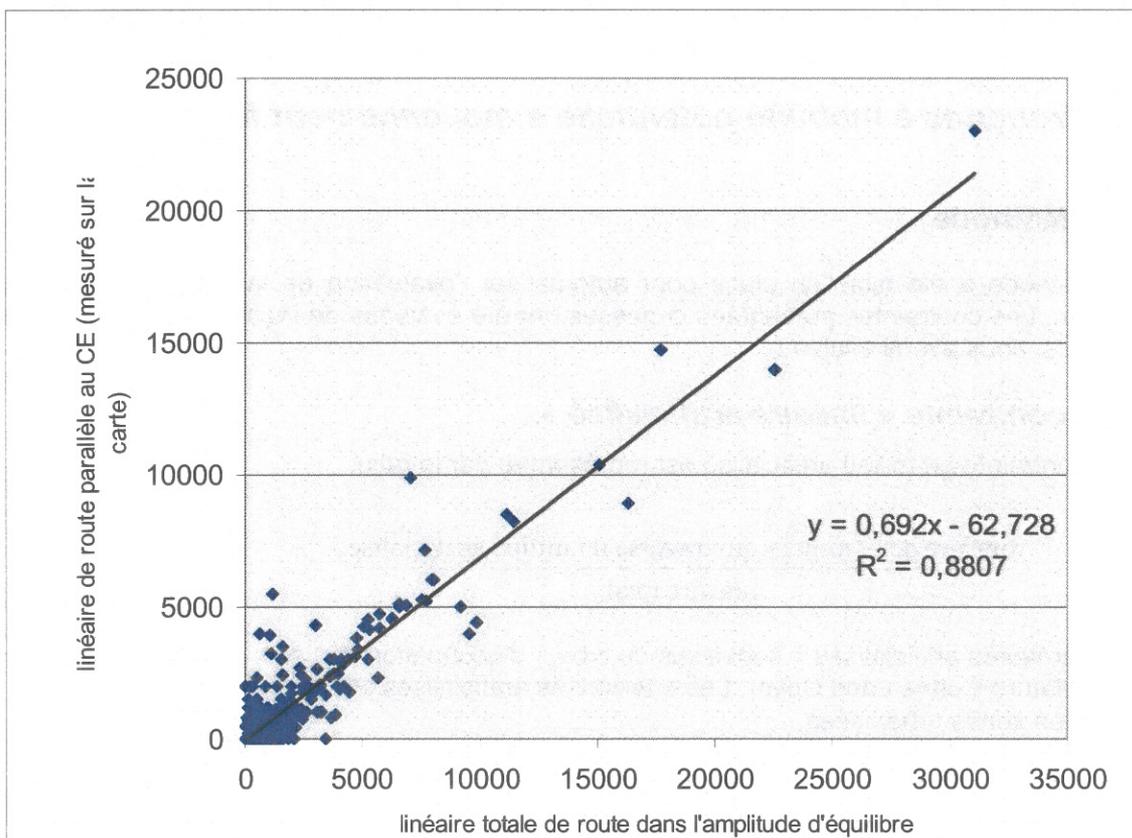


Figure 4 : corrélation entre les linéaires de route

❖ **La contrainte « voies naviguées et MEFM » :**

$$\frac{\text{linéaire « voies naviguées »} + \text{linéaire "MEFM"}}{\text{linéaire total}}$$

❖ **Les contraintes ponctuelles présentes dans l'amplitude d'équilibre :**

$$\frac{(\text{nbr d'ouvrages transversaux dans le lit mineur} + \text{nbr de ponts} + \text{nbr de plans d'eau} + \text{nbr de captages})}{\text{linéaire total}}$$

Pour les 4 contraintes précédentes, une typologie en 5 classes a été retenue, chaque classe correspondant à une note. Les valeurs des classes sont comprises :

- entre 0 et 1 dans le cas où le linéaire maximal de contrainte est égal au linéaire de cours d'eau
- entre 0 et 2 lorsque le linéaire de contrainte peut être égal à deux fois le linéaire du cours d'eau.

Chacune des contraintes a ensuite été pondérée par un coefficient pour lui attribuer une valeur d'importance. Les poids ont été choisis en accord avec A. David-Vaudey et H. Andriamahefa, experts de l'Agence de l'eau Seine Normandie.

Contrainte urbanisation	x<0.2	0.2<x<0.4	0.4<x<0.6	0.6<x<0.8	x>0.8
note	1	25	50	100	1000
Coefficient de pondération	0.3				

Contrainte routes/MEA	x<0.4	0.4<x<0.8	0.8<x<1.2	1.2 <x<1.6	x>1.6
note	1	25	50	100	1000
Coefficient de pondération	0.3				

Contrainte voie naviguées/MEFM	x<0.4	0.4<x<0.8	0.8<x<1.2	1.2 <x<1.6	x>1.6
note	1	25	50	100	1000
Coefficient de pondération	0.3				

Contraintes ponctuelles	x<0.002	0.002<x<0.004	0.004<x<0.006	0.006<x<0.008	x>0.008
note	1	25	50	100	1000
Coefficient de pondération	0.1				

Un score a ensuite été calculé pour chaque tronçon :

$$\text{SCORE} = (\text{score urbanisation} \times 0.3) + (\text{score routes/MEA} \times 0.3) + (\text{score voies de navigation/MEFM} \times 0.3) + (\text{score contraintes ponctuelles} \times 0.1)$$

Enfin, la mobilité réelle a été estimée en fonction du score :

- si $1 < \text{score} \leq 11$, on estime que la mobilité réelle est forte
- si $12 < \text{score} \leq 21$, on estime que la mobilité réelle est moyenne
- si $21 < \text{score} \leq 350$, on estime que la mobilité réelle est faible
- $\text{score} > 350$, on estime que la mobilité réelle est nulle.

5.4.2 Validation des résultats

La pertinence de cette méthode a été évaluée sur un échantillon de 550 tronçons à mobilité potentielle forte (les résultats des tronçons de taille inférieure à 1000m n'ont pas été pris en compte). Nous avons comparé la mobilité réelle évaluée par analyse cartographique à celle obtenue par calcul automatique à partir du SIG. Nous avons utilisé la formule suivante:

$$\frac{\text{Nombre de résultats différents}}{\text{nombre total de tronçons}}$$

Nous obtenons un taux d'erreur de 40 %. Ce taux d'erreur se décompose de la façon suivante :

- 0.5% des erreurs sont très importantes, c'est-à-dire que l'on passe d'une mobilité forte à une mobilité nulle ou inversement (1)
- 12% des erreurs résultent d'un écart moyen (2)
- 27% des erreurs sont représentées par des variations légères des résultats (3)

Type d'écart rencontré entre les valeurs évaluées de façon manuelle sur le SIG et celles calculées de façon automatique :



L'analyse des résultats montre également que le taux d'erreur augmente de façon inversement proportionnelle à la mobilité. Le taux d'erreur est pratiquement nul pour des valeurs de mobilité réelle fortes ou moyennement fortes. Il est par contre très élevé pour des valeurs de mobilité réelle moyennes et moyennement faibles.

5.5 Mobilité réelle retenue

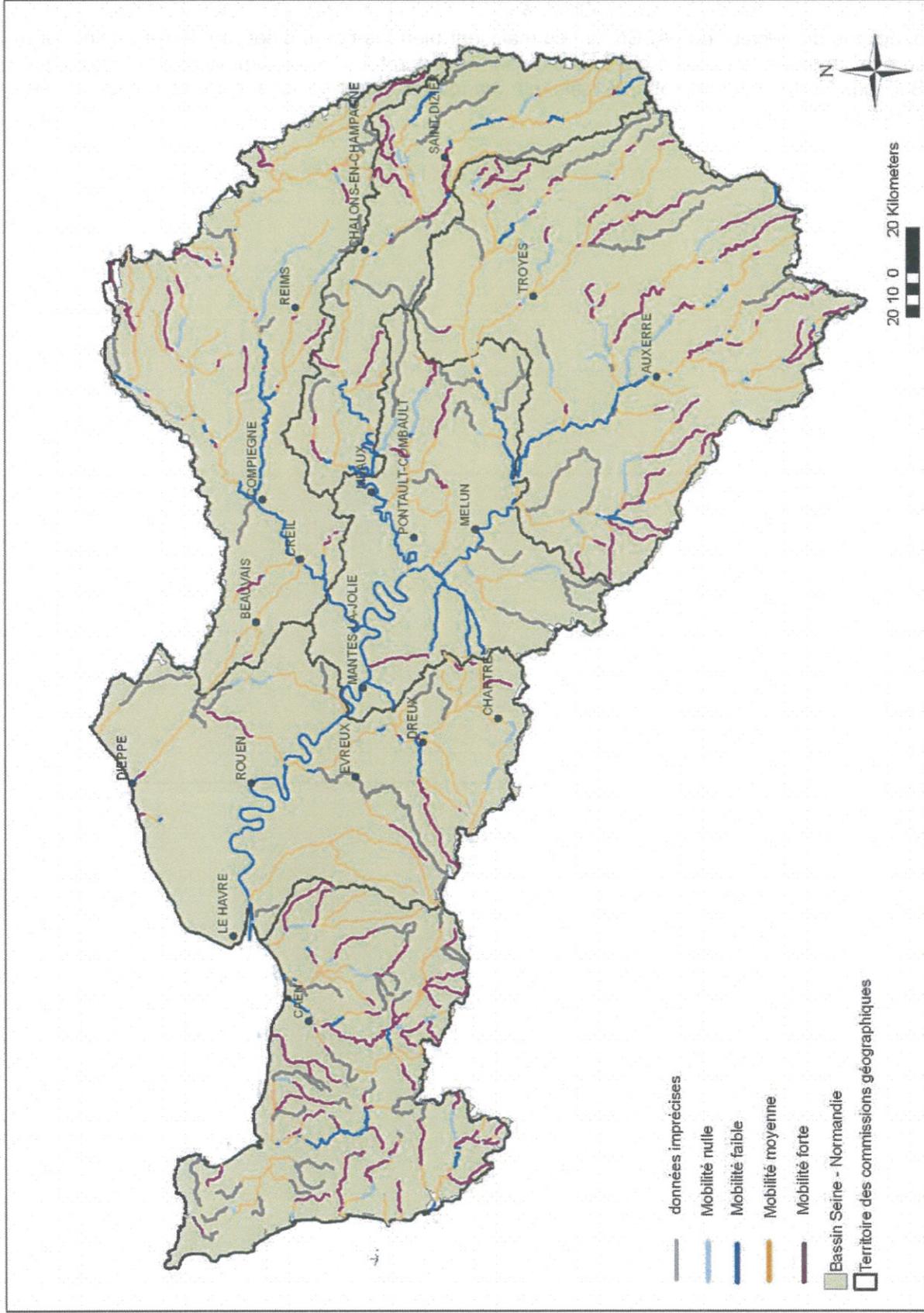
La mobilité réelle retenue a été évaluée par recoupement des données issues de l'analyse cartographique présentée dans le paragraphe 6.3 et des données issues du traitement automatique :

- Lorsque la mobilité potentielle était faible ou moyennement faible, la mobilité réelle n'a pas été évaluée. Elle a été estimée égale à la mobilité potentielle.
- Lorsque la mobilité potentielle était forte, nous avons utilisé les résultats issus de l'analyse cartographique présentée dans le paragraphe 6.3
- Pour les autres valeurs de mobilité potentielle, nous avons utilisé les résultats du traitement automatique

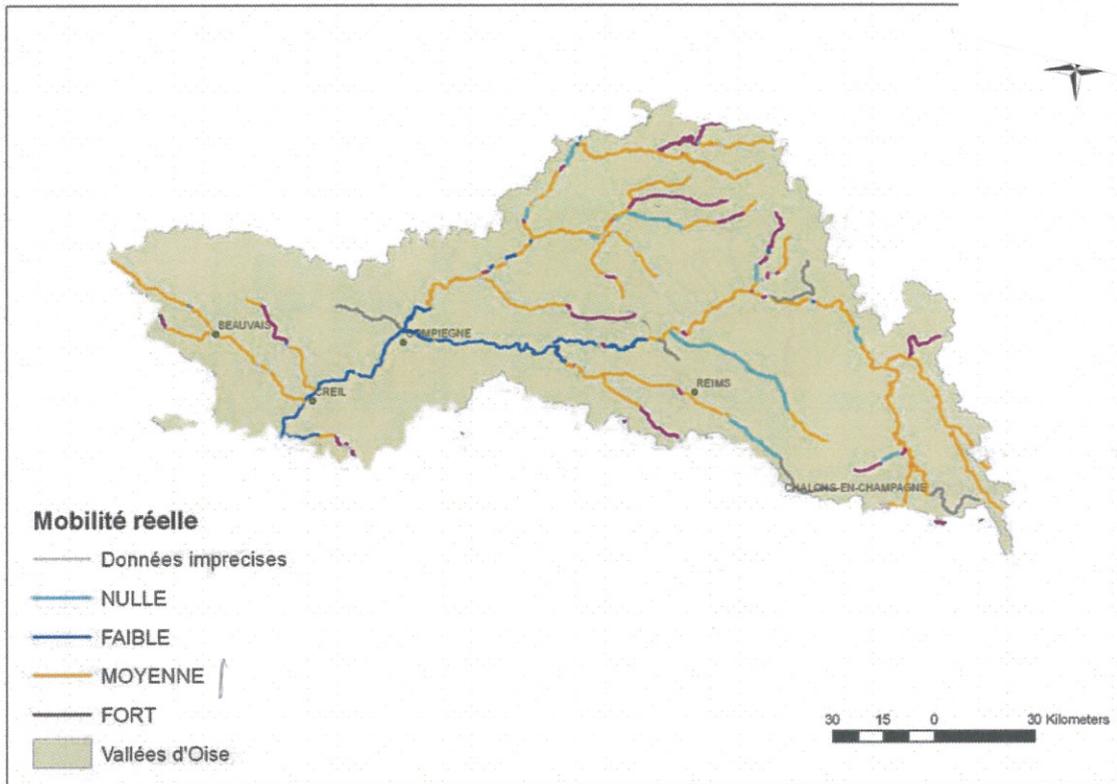
5.6 Confrontation des résultats avec les études locales et prises en compte des avis d'expert de l'Agence

Les résultats obtenus sur les tronçons analysés par des études locales ont été forcés en tenant compte de ces études. C'est le cas de la Marne entre Saint-Dizier et Vitry-le-François.

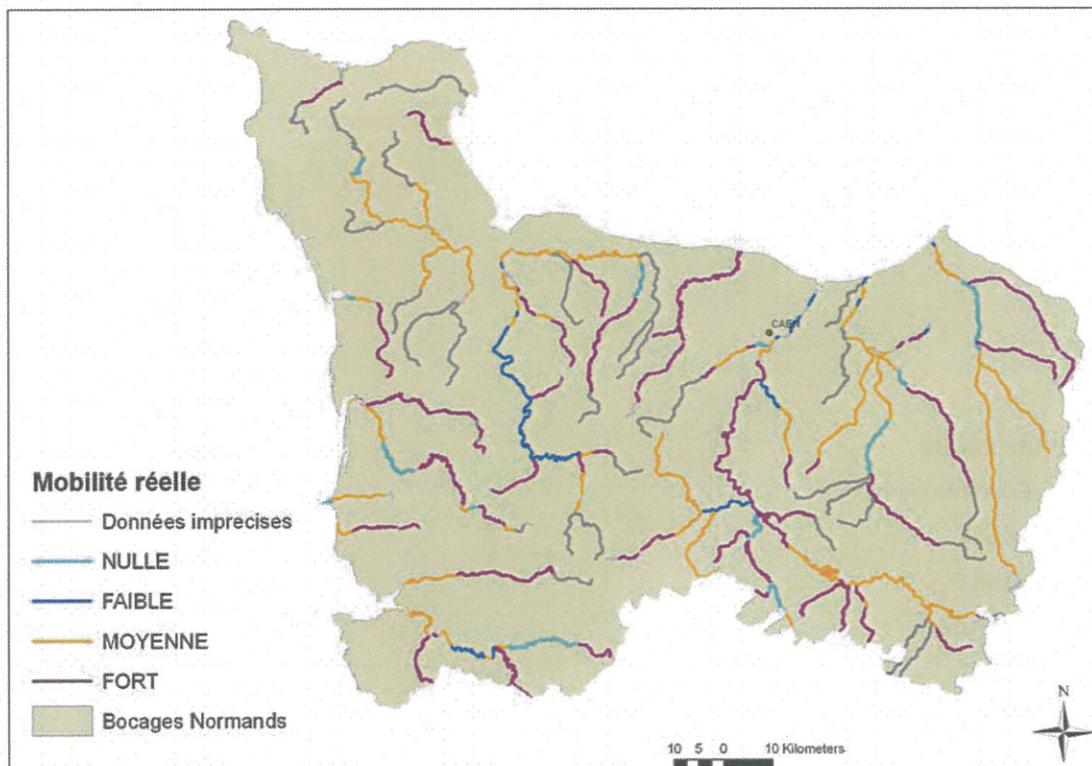
De même la carte finale de mobilité réelle tient compte des observations faites par les directions de secteur de l'AESN qui connaissent bien les cours d'eau de leur territoire. Une surévaluation de la mobilité des cours d'eau sur le territoire de la commission géographique Bocages Normands est probable mais, par manque d'informations, aucune correction n'a été effectuée.



Carte 21 : Mobilité réelle des rivières du bassin Seine Normandie



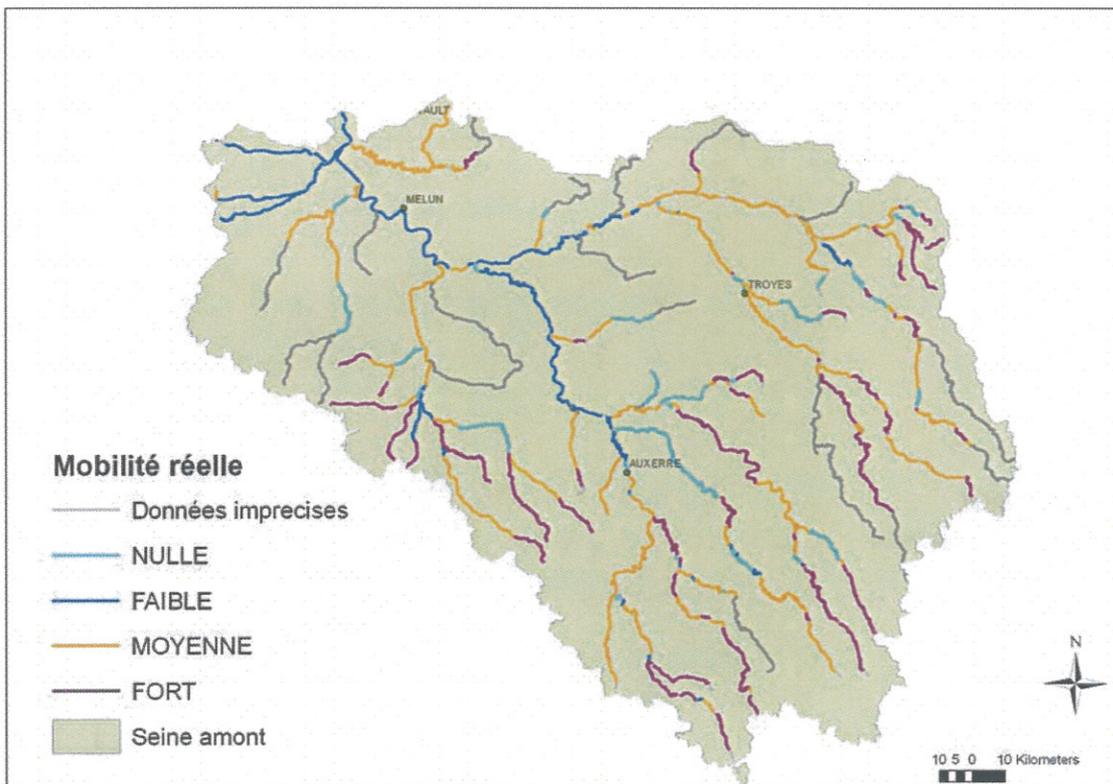
Carte 22 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées d'Oise



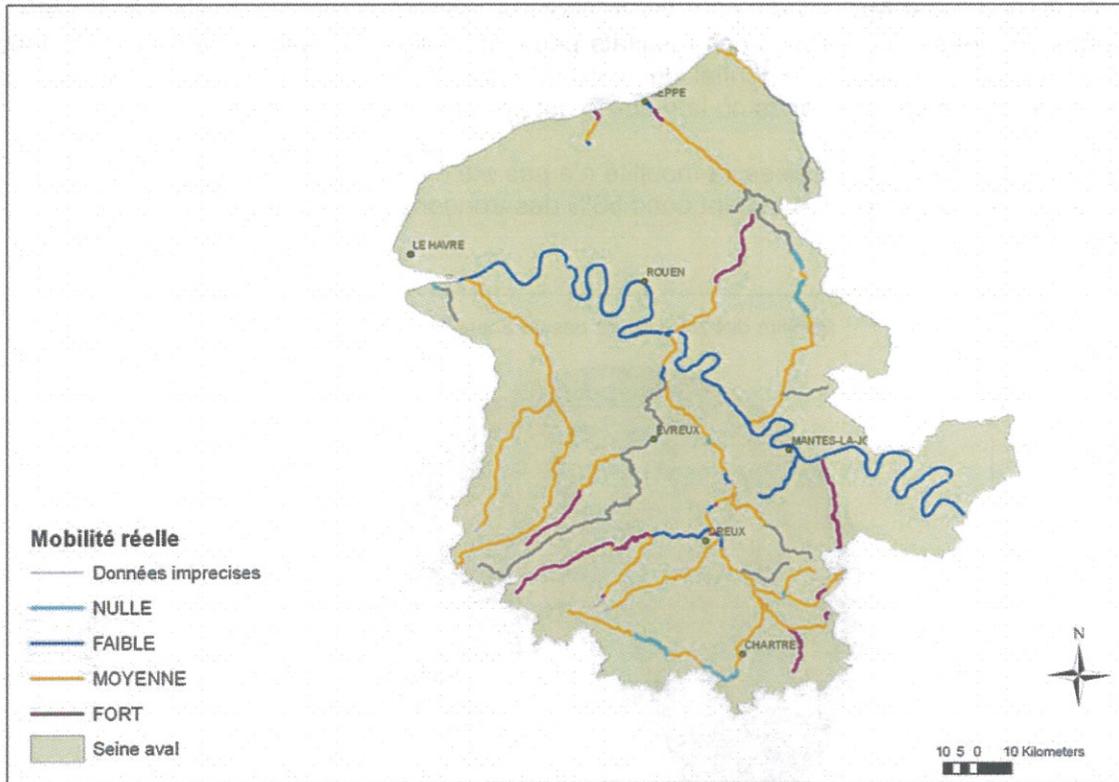
Carte 23 : Mobilité réelle des cours d'eau des cours d'eau du territoire de la commission géographique Bocages Normands



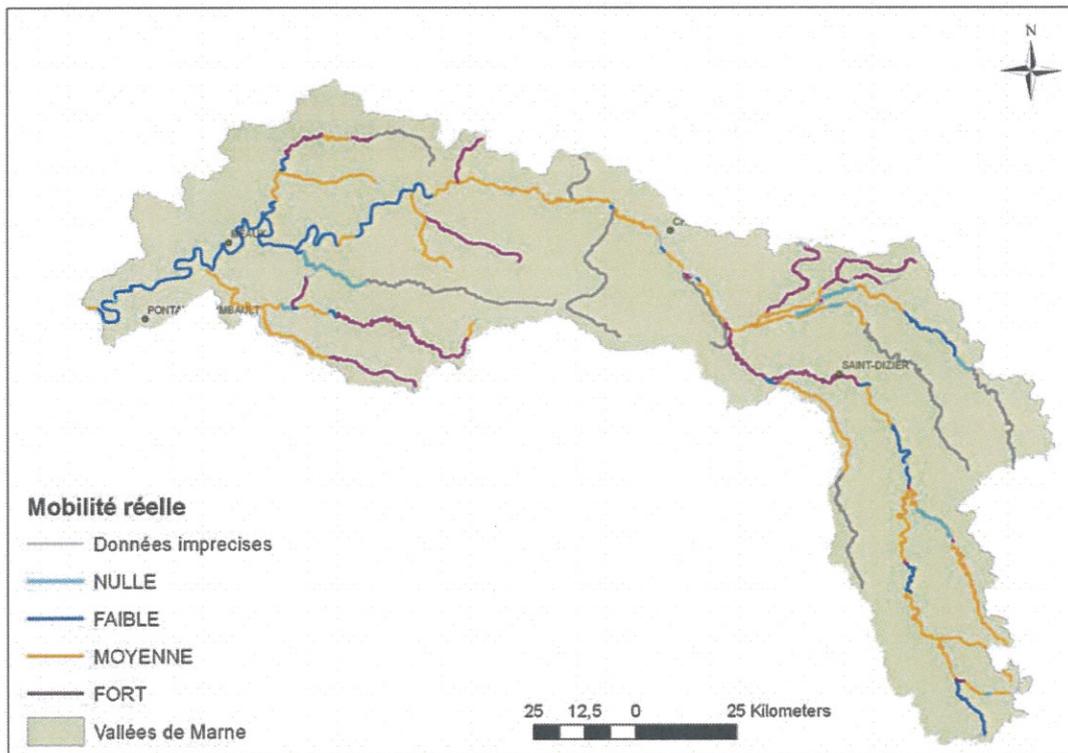
Carte 24 : Mobilité réelle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Rivières d'Ile-de-France



Carte 25 : Mobilité réelle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine amont



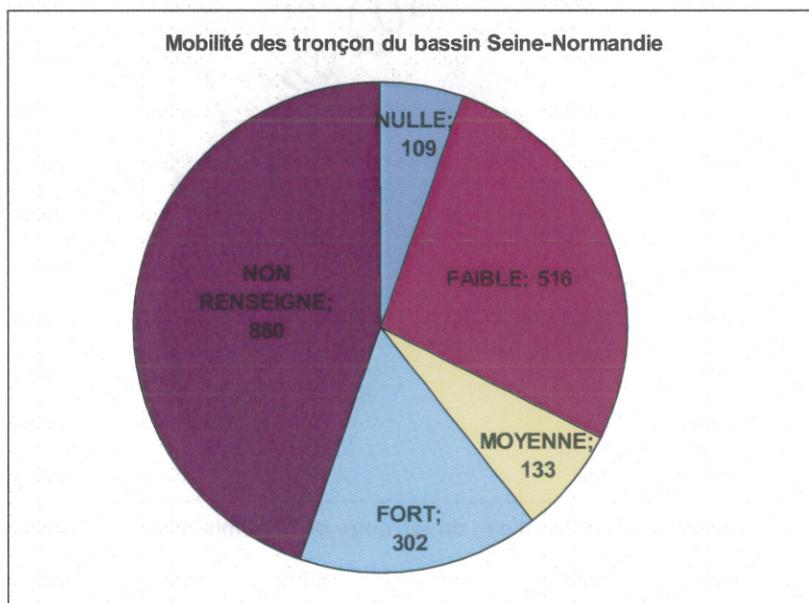
Carte 26 : Mobilité réelle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Seine aval



Carte 27 : Mobilité réelle des cours d'eau du territoire de la commission géographique Vallées de Marne

Les résultats doivent être affinés pour les tronçons à mobilité potentielle moyenne. En effet avec des données plus précises ces résultats peuvent facilement basculer vers un potentiel de mobilité fort ou vers un potentiel de mobilité faible. C'est probablement le cas sur le territoire des Bocages Normands où la mobilité est probablement surestimée.

Par manque de données précises, la mobilité n'a pas été évaluée sur 860 tronçons qui ne sont donc pas renseignés. On obtient donc 55% des tronçons renseignés contre 45% non renseignés



La mobilité réelle varie en fonction des sous bassins versants. Les sous bassins de Seine amont et Bocage Normand possèdent les plus forts effectifs de tronçons mobiles.

mobilité réelle par direction de secteur

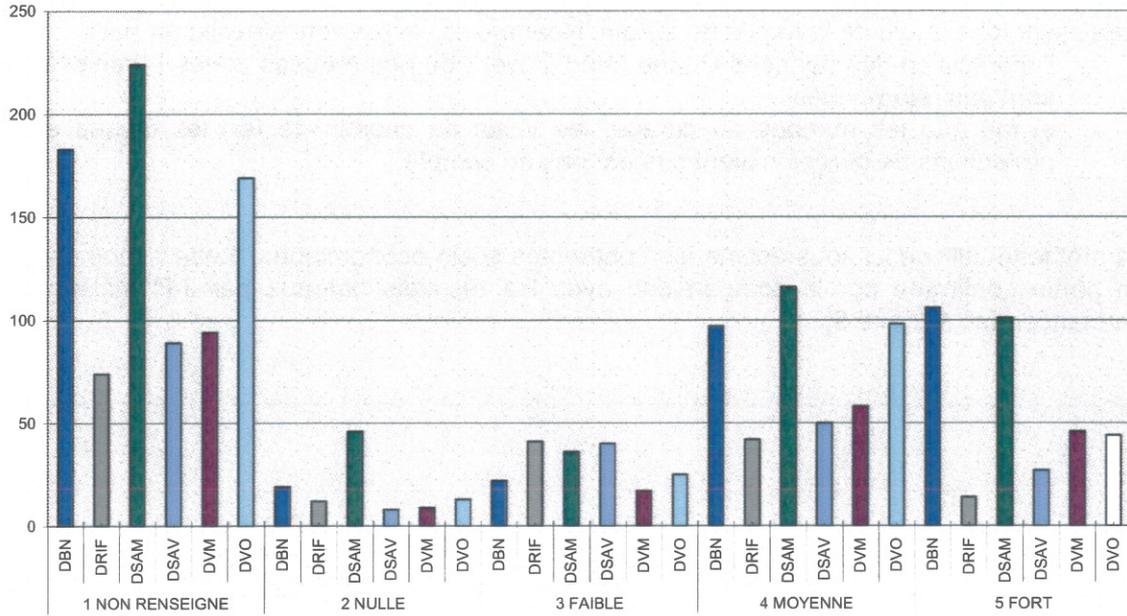


Figure 5 : Répartition de la mobilité réelle par direction de secteur

S

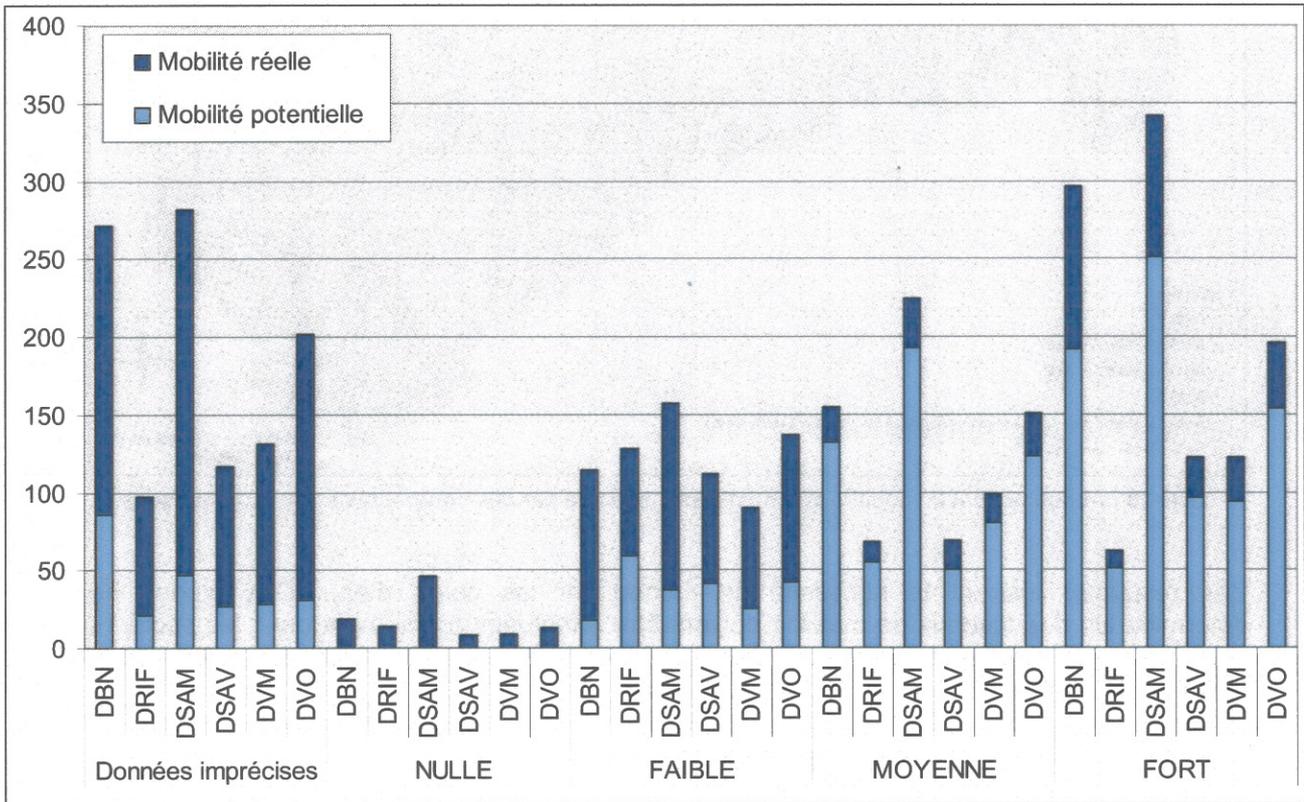
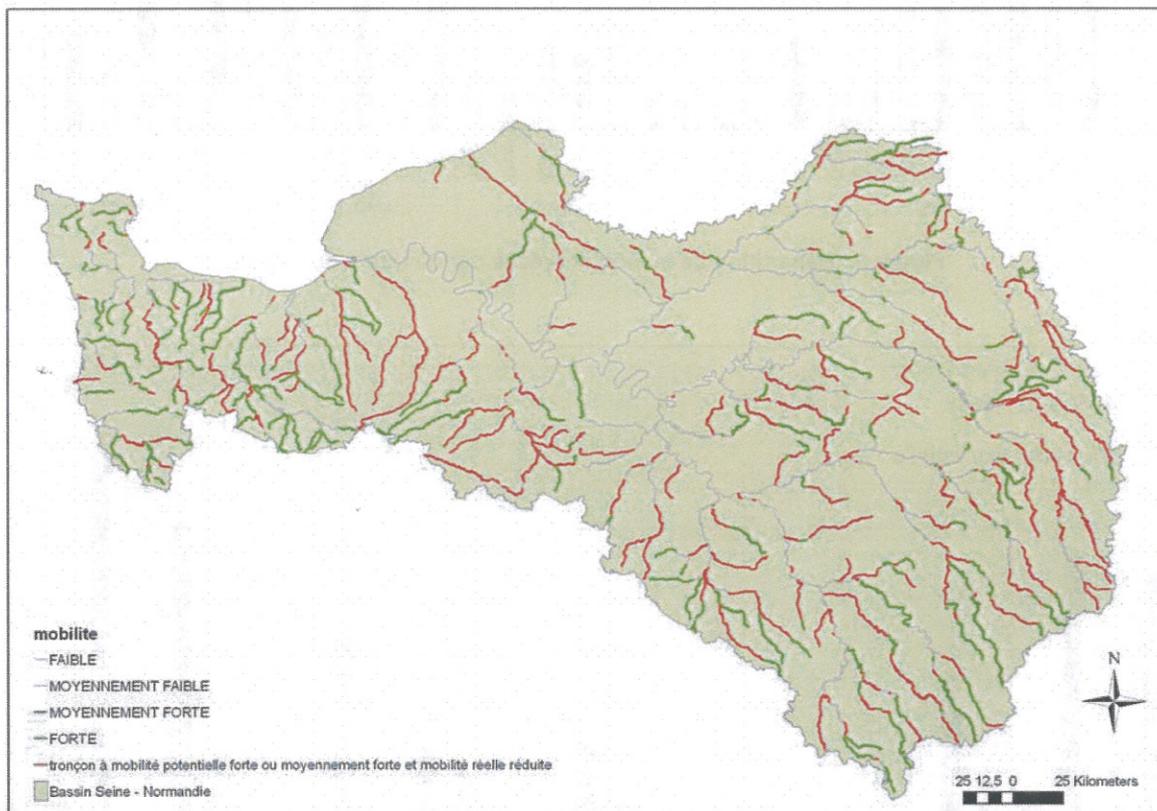


Figure 6 : Répartition de la mobilité réelle et de la mobilité potentielle par direction de secteur

Environ un tiers des tronçons à mobilité potentielle « moyennement forte » ou « forte » sont impactés par des contraintes socio-économiques et ont une mobilité réelle « moyenne », « moyennement faible », « faible » ou « nulle » (cf. carte ci-dessous). Ces résultats paraissent forts au vu de la réalité de terrain. Néanmoins, ils peuvent s'expliquer par :

- l'imprécision des données Corine Land Cover : de nombreuses zones urbanisées ne sont pas référencées
- le fait que les merlons de curage, les voies de chemin de fer, les digues et les protections de berges n'aient pas été pris en compte.

La méthode utilisée ici sous-estime les contraintes socio-économiques. Cette hypothèse est en partie confirmée par la comparaison avec les résultats obtenus par J-R Malavoi sur l'Armançon (cf. Annexe 5).



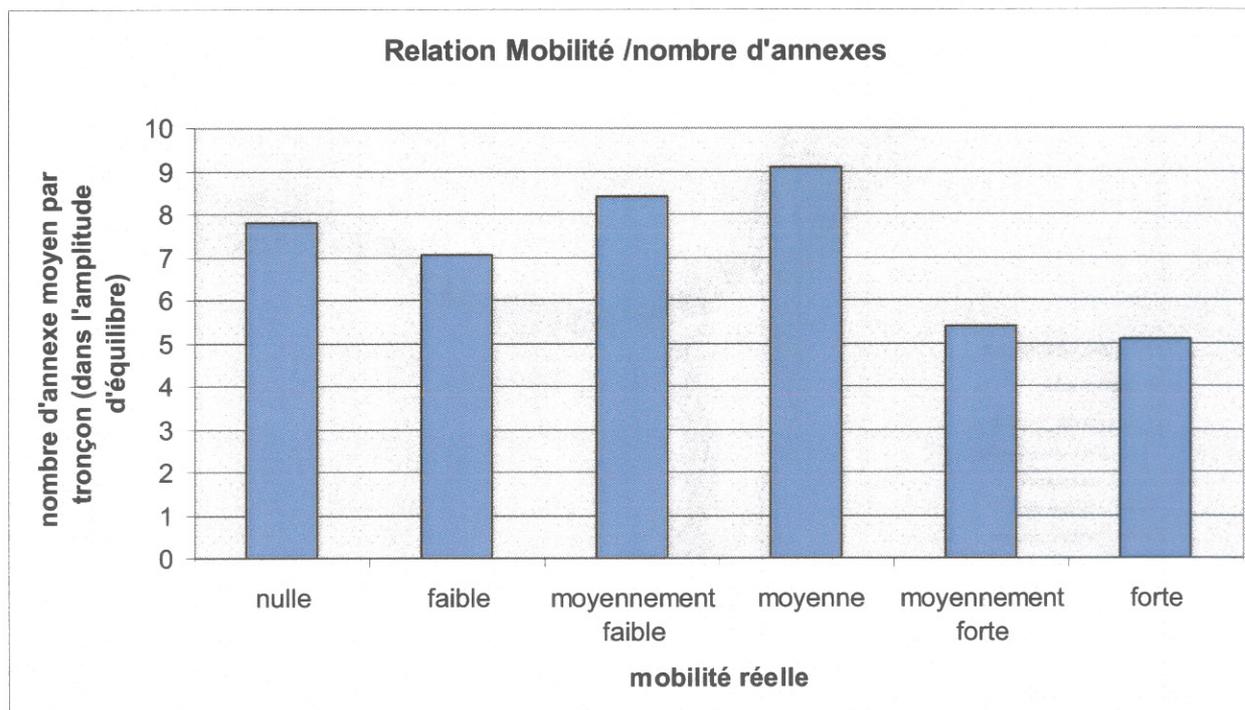
Carte 28 : tronçons dont la mobilité potentielle est impactée par des contraintes socio-économiques

Ces résultats illustrent la nécessité de reconquérir les cours d'eau. Des études de détermination des fuseaux de mobilité doivent être effectuées rapidement dans les secteurs encore préservés (Seine amont, Vallées de Marne) pour pouvoir mettre en place des mesures de gestion et/ou de protection adaptées.

5.7 Relation « Mobilité »/Annexes

Nous avons évalué la relation existant entre la mobilité réelle et le nombre d'annexes présent dans l'amplitude d'équilibre. L'objectif était de valider les résultats obtenus. Les annexes considérées sont les noues endogènes, qui sont pour l'essentiel des formes héritées de dynamiques antérieures à l'actuel et les bras morts (oxbow lake), marqueurs directs de la

mobilité horizontale des lits fluviaux. Elles sont issues de la base de données hydro géomorphologie.



Cette analyse a mis en évidence l'absence de relation entre ces deux paramètres. Ces résultats peuvent être liés à deux facteurs :

- la méthodologie utilisée : les annexes considérées sont uniquement celles qui sont localisées dans l'amplitude d'équilibre du cours d'eau. Ainsi, lorsque cette amplitude est faible, un grand nombre d'annexes n'est pas pris en compte. Une amplitude d'équilibre plus grande serait plus représentative de la réalité.

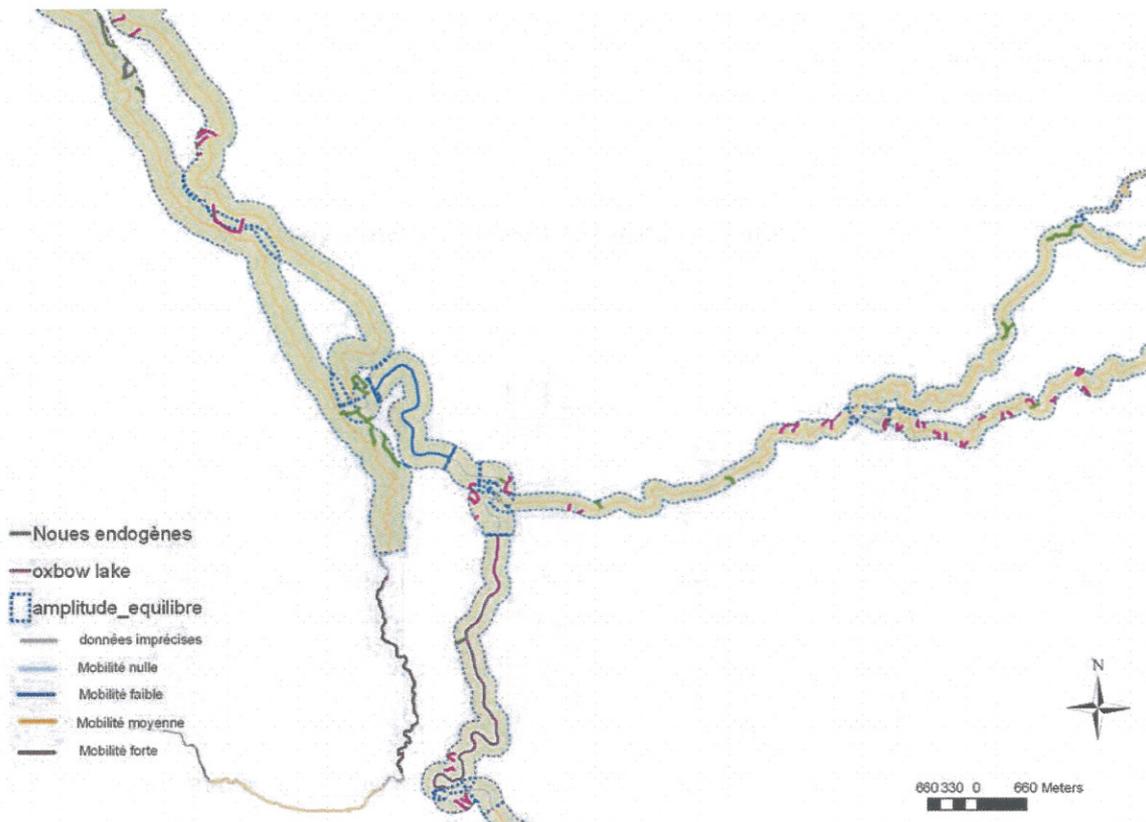


Figure 7: exemple de répartition des annexes hydrauliques au niveau de tronçons à mobilité potentiel moyenne, faible et forte

- les données utilisées : le recensement des annexes dans la base de données hydro géomorphologie n'est probablement pas exhaustif)
- comme cité dans le paragraphe 5.1.8.2, les annexes du bassin Seine-Normandie sont très anciennes donc elles ne sont plus représentatives de la mobilité actuelle des cours d'eau.
- l'absence d'annexes n'est pas synonyme d'immobilité du cours d'eau: la disparition des annexes hydrauliques sous l'effet des processus géodynamique et sédimentaire est normale. Aussi leur disparition n'est pas nécessairement indicatrice d'un dysfonctionnement du système.

Ces résultats ne signifient pas pour autant que la méthode de détermination de la mobilité des cours d'eau est fausse.

5.8 Méthode 2 : Evaluation de la mobilité réelle à partir d'une analyse de la dynamique fluviale

La méthode que nous avons utilisée dans notre étude était la méthode la plus adaptée à notre échelle de travail : le bassin Seine-Normandie. A l'échelle de sous-bassin versant, nous conseillons une analyse de la dynamique fluviale. La méthode de mesure des « flèches d'érosion » mise en place par J-R Malavoi est d'ailleurs de plus en plus répandue dans les études locales. Elle a, entre autres, été utilisée dans les études suivantes :

- Analyse de la dynamique alluviale de la rivière Ognon et de ses principaux affluents, réalisée par J-R Malavoi en décembre 2003
- Etude de la dynamique fluviale et des potentialités de régulation hydrologique de l'Armançon, réalisée par J-R Malavoi en 2006
- Réalisation de la cartographie des espaces de mobilité des rivières de Franche-Comté, réalisée pour la DIREN Franche – Comté en octobre 2005.

5.8.1 Evaluation de la divagation du cours d'eau par comparaison de cartes et mesure des flèches d'érosion (Méthode Malavoi):

Cette méthode consiste à effectuer une comparaison en plan du tracé du cours d'eau à partir des cartes anciennes (anciennes cartes IGN, cartes d'Etat Major) et des cartes IGN récentes (SCAN 25 et Orthophotoplan) et à mesurer le déplacement du cours entre ces dates au niveau des sinuosités actives.

L'expérience montre que les cartes les plus anciennes présentant un degré de précision suffisant pour établir une comparaison sont les cartes d'Etat Major (années 1835-1850); en revanche, les cartes du XVIII^{ème} siècle, type Carte de CASSINI, se révèlent assez imprécises.

On digitalise les cours d'eau à différentes dates et les tracés sont superposés les uns aux autres ce qui permet de mesurer l'axe d'érosion maximale. On obtient alors les longueurs brutes des flèches et on peut en déduire le taux d'érosion annuel brut en m/an. Le taux d'érosion relatif peut également être calculé (en pourcentage de la largeur du cours d'eau par an à la flèche) pour relativiser les processus et mettre en évidence l'activité géodynamique.

A partir de ces valeurs, l'activité géodynamique latérale relative des rivières peut être caractérisée selon le tableau suivant :

Tableau 5: classification des taux d'érosion relatifs (Malavoi, 2002 modifié)

	Taux annuel d'érosion relatif (% de la largeur)
Rivières peu actives	< 1%
Rivières moyennement actives	1 < <2.5%
Rivières actives	2.5 < <5%
Rivières très actives	5 < <10%
Rivières extrêmement actives	> 10%

Lorsque la largeur des cours d'eau est suffisante, on peut quantifier les taux d'érosion annuels en valeurs surfaciques (ha/km/an).

Si la comparaison de ces cartes semble une démarche naturelle pour juger de l'évolution du tracé en plan de la rivière au cours du temps, ce travail est souvent difficile pour trois raisons :

- **la précision des documents** : les échelles des documents exploités varient entre le 1/10 000 et le 1/80 000. Aussi on peut se trouver confronté à une marge d'erreur plus importante que l'amplitude potentielle des phénomènes de divagation.
- **La distorsion due à la reproduction** : pour comparer les différents documents, il est nécessaire de les ramener à une échelle commune, en les photocopiant ou en les scannant. Ceci crée des phénomènes de distorsion qui rendent très difficile la superposition de documents d'époques différentes. Il n'est pas toujours facile de

savoir si l'écart observé provient d'une évolution physique réelle ou d'une distorsion artificielle.

- **Les interventions humaines** : il est parfois difficile de savoir si les évolutions de tracé mises en évidence sont dues à une intervention humaine (rectification, coupure de méandres,...) ou à une évolution naturelle.

L'expérience montre également qu'il est encore plus difficile d'exploiter des photographies aériennes anciennes (années 30 à 50), car, aux difficultés précédentes s'en ajoute une quatrième : le cordon de ripisylve, qui enserre par endroit la rivière, rend très délicat la détermination du tracé du cours d'eau.

Les témoignages des riverains et des élus peuvent également fournir des éléments pour la compréhension de l'évolution en plan et l'estimation de son ampleur. Ces témoignages nécessitent toutefois une analyse critique et ne permettent qu'un recul limité dans le temps.

A l'époque de la révolution, les cours d'eau servaient souvent de limites communales. Aussi, une attention particulière doit être apportée à la position du cours d'eau par rapport à ces limites.

5.8.2 Identification des bancs alluviaux

Les alluvions visibles sont des indicateurs de l'activité géodynamique. Ils permettent de localiser les surfaces alluviales en transit. Lorsque les bancs alluviaux en transit sont nombreux, on peut supposer l'existence d'un équilibre sédimentaire. Ils peuvent être identifiés par une étude de terrain ou par digitalisation à partir des orthophotos IGN2002.

Cependant le diagnostic concernant les zones d'alluvionnement est plus compliqué que celui des zones d'érosion et la méthode doit être utilisée avec précaution :

- selon les conditions de débit, des zones d'alluvionnement peuvent être potentiellement masquées
- la présence de zones d'extraction de granulats qui jouent le rôle de pièges à sédiments
- la présence de végétation rivulaire qui peut masquer le cours d'eau
- la présence de remous de seuil ou de barrage peut submerger les atterrissements qui ne seront pas comptabilisés.



Carte 29: identification des bancs alluviaux à partir de photographie aérienne sur l'Armançon

5.9 Conclusion

Cette étude a permis de déterminer la mobilité réelle des cours d'eau du bassin Seine-Normandie. Toutefois ces résultats sont imprécis et ne donnent que des indications approximatives. Ces indications doivent permettre de dessiner des priorités pour lancer des études locales qui font appel à des méthodologies nécessitant des analyses cartographiques ou du terrain, et permettant d'aboutir, dans la concertation, à une politique de préservation d'un espace de mobilité des cours d'eau. La méthode à appliquer pour la définition de l'espace de mobilité dépendra du type de cours d'eau, de son niveau d'artificialisation, des enjeux socio-économiques actuels et futurs et de la demande sociale locale. Une palette de méthode de cartographie de l'espace de mobilité va être présentée dans le chapitre suivant.

Pour les cours d'eau les plus actifs, des mesures spécifiques pourraient être envisagées pour bloquer le moins possible la dynamique fluviale donc l'érosion et le transit sédimentaire :

- Priorité à l'effacement d'ouvrages sur ces cours d'eau et interdiction d'installation de nouveaux ouvrages transversaux
- L'absence de financement de travaux de stabilisation des berges, même en génie végétal
- Absence d'autorisation de travaux et interdiction de nouveaux projets d'extraction de granulats dans l'espace de mobilité de ces cours d'eau.

Par ailleurs, lorsque la dynamique du cours d'eau se sera révélée faible, cela n'exclue pas la possibilité de définir un espace tampon qui peut présenter une fonctionnalité dans l'écrêtement des crues ou la dénitrification des apports des versants (cf. orientation 14 de la version V du projet de SDAGE « préserver et restaurer la fonctionnalité des milieux aquatiques continentaux et littoraux et la biodiversité »).

6 DETERMINATION DES ESPACES OU FUSEAUX DE MOBILITE

D'après le Guide technique n°2 RMC, le niveau de précision et les moyens financiers à mettre en œuvre pour la détermination de l'espace de mobilité devront être adaptés à l'état d'artificialisation du cours d'eau et de son espace de mobilité. Trois types d'analyses peuvent être faites pour évaluer cette artificialisation :

1. Evaluer le niveau d'incision du lit et ses effets sur le niveau de la nappe
2. Evaluer la densité des aménagements qui bloquent la dynamique fluviale ou le transit sédimentaire
3. Evaluer la qualité écologique et paysagère au travers des espaces protégés : ZNIEFF, ZICO, Natura 2000...

Aussi sur un même cours d'eau, des enjeux différents peuvent amener à utiliser des méthodes différentes (voir tableau ci-dessous).

		ETAPE I EMAX	ETAPE II EFONC					ETAPE III EMIN			
		Sous-étape II.1 Amplitude	Sous-étape II.2 Calcul capacité de transport	Sous-étape II.3 Approche historique		Sous-étape II.4 Erosion probable sur 50 ans	Sous-étape II.5 Synthèse et approche écologique	Sous-étape II.6 Approche socio économique			
				II.3.1 Espace historique	II.3.2 Espace résiduel						
		Unités d'œuvre (pour 10 km)									
Enjeux			1/2j	1/4j	données topo données hydro + 1j	1/2j	1j terrain + 1/4j	1j terrain + 1/2j	1j terrain + 1/4j	1/2j	1/2j concertation + 1/2j
PRESERVATION	Simple précaution										
	Préservation d'enjeux écologiques, paysagers forts										
RESTAURATION	Préservation et/ou restauration de l'équilibre morphodynamique				(éventuellement)						
	Grave déficit en débit solide, incision du lit, abaissement de la nappe										

Figure 8 : Grille de choix des méthodes de définition de l'espace de mobilité⁴

La méthode proposée dans cette étude s'applique aux rivières du bassin Seine Normandie, c'est-à-dire aux rivières à méandres. Elle s'inscrit dans une démarche de gestion de l'hydro

⁴ Guide technique n°2 du bassin Rhône Méditerranée Corse, p32.

système. Elle s'inspire de la méthode présentée dans le guide RMC. Deux espaces emboîtés doivent être à minima délimités :

- l'espace de mobilité maximale (EMAX)
- l'espace de mobilité fonctionnelle (EFONC)

6.1 Délimitation de l'espace de mobilité maximal : EMAX

Etape réalisée dans les études suivantes :

- *Etude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée – SOGREAH pour le compte de la DIREN Ile-de-France – Février 2006*
- *Etude géomorphologique de la Marne moyenne*
- *Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau à méandres mobiles – un exemple dans le bassin Seine – Normandie, PRIOU I, 2004*

La définition de l'espace de mobilité maximal (EMAX) d'un cours d'eau doit être envisagée dès l'amont de l'étude, au moins de manière sommaire, puisqu'elle détermine le champ des investigations. Cette enveloppe est la plus vaste et la plus externe. Elle n'est pas entièrement mobilisable à notre échelle de temps. Elle permet de relativiser les processus actuels d'érosion latérale par rapport à leur intensité au cours des derniers milliers d'années (Guide technique n°2 ; RMC). Pour les grands bassins versants sédimentaires de Seine-Normandie, cet espace est l'espace de divagation maximal théorique correspondant à la plaine alluviale à l'échelle des temps géologiques (15 000 ans). Elle correspond à l'espace qu'il conviendrait idéalement de laisser à la rivière pour les processus d'érosion latérale. Lorsqu'aucun fuseau de mobilité n'est délimité, c'est cette enveloppe qu'il conviendrait d'utiliser par défaut.

Cet espace de mobilité maximal peut être apprécié à partir des couches d'alluvions récentes résultant du transport solide récent de la rivière (Fz) et d'alluvions anciennes (Fy) des cartes géologiques. Lorsque ces couches ne pas disponibles, la couche « corridor fluviaux » de la base de données hydro géomorphologiques réalisée sur l'ensemble du bassin Seine Normandie peut être utilisée. Les unités d'alluvions holocènes (Fz et Fzt) et les unités de fond de vallée des cartes géologiques (tourbe, substrat, vallée sèche, dépôt alluvial marin, réservoir) y sont cartographiées.

L'enveloppe identifiée peut être complétée par l'enveloppe des zones inondables historiques, issue de l'Atlas historique des plus hautes eaux connues de la DIREN de bassin.

6.2 Espace de mobilité fonctionnel : EFONC

Cet espace est inclus dans l'espace de mobilité maximal EMAX. Il correspond au corridor à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales.

Il constitue l'espace de mobilité au sens des préconisations du SDAGE. Il est plus complexe à délimiter car les différentes approches nécessaires à cet équilibre font notamment appel au concept d'amplitude d'équilibre, à l'évolution historique, à l'estimation des zones érodables à 50 ans. Il inclut également des considérations écologiques et socio économiques relatives à l'occupation des sols. Certaines des six sous-étapes nécessaires à la délimitation de l'EFONC sont optionnelles (voir figure 8).

6.2.1 Détermination de l'amplitude d'équilibre

Etape réalisée dans les études suivantes :

- Etude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée – SOGREAH pour le compte de la DIREN Ile-de-France – Février 2006
- Etude géomorphologique de la Marne moyenne
- Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau à méandres mobiles – un exemple dans le bassin Seine – Normandie, PRIOU I, 2004

L'amplitude d'équilibre correspond au rapport entre l'amplitude des méandres (A) et la largeur du lit mineur à plein bord (W). Ce paramètre permet de déterminer la largeur de la bande nécessaire à l'équilibre morpho dynamique du cours d'eau dans son évolution naturelle.

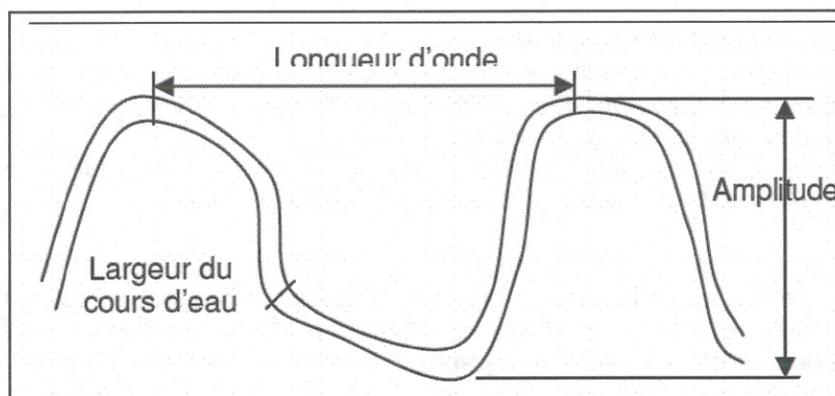


Figure 9: amplitude d'équilibre des méandres

La méthode de calcul de la largeur du lit présentée dans le paragraphe « 4.3 » n'est pas adaptée à des études locales. La largeur du cours d'eau peut être mesurée sur des sections représentatives lors de reconnaissances de terrain. L'amplitude des méandres peut être mesurée lors de reconnaissance de terrain ou à partir des cartes IGN au 1/25 000^{ème}. L'amplitude d'équilibre du cours d'eau peut ensuite être calculée sur les différents tronçons représentatifs du linéaire étudié. Toutefois, il a été mis en évidence que l'estimation de ce paramètre peut être difficile : le coefficient A/W peut se révéler très hétérogène. D'autre part, l'amplitude des méandres semblera d'autant plus floue que l'évolution des méandres aura été influencée par des interventions humaines, dans des proportions souvent difficiles à cerner.

Dans le cas d'une trop grande dispersion des résultats, on propose d'adopter une valeur de $A/W=10$. Cela conduit ainsi à définir un fuseau d'amplitude d'équilibre, situé de part et d'autre du lit actif, d'une largeur totale égale à 10 fois la largeur du lit mineur à plein bord :

$$A = 10 W.$$

Le coefficient de 10 est justifié par les travaux de différents auteurs (Inglis 1949, Zeller, Leopold et Wolman).

6.2.2 Evaluation des capacités de transport

Etape réalisée dans l'étude suivante :

- *Etude géomorphologique de la Marne moyenne*

Cette phase a pour objectif de délimiter et cartographier les surfaces et donc les volumes nécessaires pour fournir au cours d'eau la charge solide nécessaire à son équilibre. Nous réitérons les recommandations du guide RMC, à savoir que cette approche demande beaucoup de moyens : elle nécessite des données hydrologiques, un modèle hydraulique ou au moins des lois hauteur-débit fiables, et une bonne connaissance de la granulométrie.

Aussi l'application de cette méthode devra être limitée aux cas où la nécessité d'une recharge alluviale est démontrée et à ceux où un risque de capture par les gravières en lit majeur est avéré.

6.2.3 Espace de divagation historique

Etape réalisée dans les études suivantes :

- *Etude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée – SOGREAH pour le compte de la DIREN Ile-de-France – Février 2006*
- *Etude géomorphologique de la Marne moyenne*
- *Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau à méandres mobiles – un exemple dans le bassin Seine – Normandie, PRIOU I, 2004*

Cette délimitation plus fine permet de rendre compte des surfaces remaniées par le cours d'eau et de sa vitesse de déplacement. Elle donne des indices quant à l'activité dynamique récente (100 ans environ). Le cours d'eau est digitalisé à différentes dates à partir des cartes d'Etat Major et des cartes IGN (voir paragraphe 5.8.1). Cette méthode ne peut être réalisée que sur les grands cours d'eau d'une largeur supérieur à 15m. L'espace de divagation historique est délimité par la couche la plus externe de ces différents tracés. Il faut superposer au moins trois séries de tracés historiques.

6.2.4 Espace de divagation résiduel ou restreint

Etape réalisée dans les études suivantes :

- *Etude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée – SOGREAH pour le compte de la DIREN Ile-de-France – Février 2006*
- *Etude géomorphologique de la Marne moyenne*

Cet espace sera défini en croisant la zone d'espace de mobilité maximale et l'ensemble des aménagements humains (protections de berges, digues, ponts, infrastructures, gravières,...) qui conduisent à rabattre ce fuseau fonctionnel théorique en bloquant la dynamique latérale. L'objectif est uniquement de mettre en évidence ce qui est actuellement mobilisable.

6.2.5 Zones d'érosion à 50 ans

Cette démarche prospective est délicate à réaliser et ne peut s'opérer qu'à moyen terme. Elle est cependant intéressante pour apprécier la poursuite de la mobilité du lit mineur. La définition des zones d'érosion à 50 ans sera réalisée par recoupement des approches théoriques précédentes (taux d'érosion latéral annuel) et des évolutions historiques qui auront été mises en évidence en comparant les plans des différentes époques. Ainsi, un fuseau des « zones d'aléa érosion » pourra être délimité (zone d'érosion probable à horizon 50 ans).

L'analyse pourra être précisée en travaillant empiriquement sur le risque de recoupement de méandre et/ou la cohésion des berges.

Cette délimitation, du domaine de l'expertise, est très délicate. Elle demande beaucoup de rigueur donc beaucoup de temps. Elle ne devra être effectuée que lorsqu'un enjeu « restauration » aura été mis en évidence.

6.2.6 Zone d'intérêt écologique actuel ou potentiel

Etape réalisée dans l'étude suivante :

- *Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau à méandres mobiles – un exemple dans le bassin Seine – Normandie, PRIOU I, 2004*

Les espaces à haute valeur écologique situés à l'extérieur mais à proximité des enveloppes définies précédemment sont intégrés à l'espace de mobilité des cours d'eau. On peut distinguer les zones d'intérêt écologique actuel reconnues comme les ZNIEFF, les ZICO, les zones NATURA 2000, et les zones d'intérêt écologique potentiel extrapolées des prévisions faites des zones d'érosion à 50 ans.

Cette approche permet de réaliser un état des lieux au sein de l'enveloppe fonctionnelle en identifiant :

- les zones d'intérêt écologique actuel
- les zones d'intérêt écologique potentiel si l'espace de mobilité était restauré.

6.2.7 Enveloppe minimale fonctionnelle

Elle correspond à la superposition de l'enveloppe de l'amplitude d'équilibre et de l'enveloppe de divagation historique. On peut y intégrer les zones d'érosion probables à 50 ans.

6.2.8 Détermination de l'espace de mobilité fonctionnel

Etape réalisée dans les études suivante :

- *Etude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée – SOGREAH pour le compte de la DIREN Ile-de-France – Février 2006*
- *Etude géomorphologique de la Marne moyenne*
- *Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau à méandres mobiles – un exemple dans le bassin Seine – Normandie, PRIOU I, 2004*

Il pourra être déterminé en croisant les différents résultats précédents (mobilité maximale, enveloppe historique de la divagation du cours d'eau, approche prospective sur l'érosion à 50 ans), et en rabattant de l'enveloppe de ces différents fuseaux les zones à enjeu socio-économiques et les aménagements fixant la position du lit. La prise en compte des contraintes socio-économiques permet de fixer la limite externe définitive de l'espace de mobilité fonctionnel.

Les enjeux à prendre en compte sont les suivants :

- les zones d'activités et les zones d'habitat, à l'exclusion des petits habitats isolés qui ne constituent pas une contrainte anthropique majeure
- les voies de communication : routes nationales, départementales, voie ferrées, canaux
- les ouvrages : ponts, écluses, barrages et les « points d'eau »
- pylônes EDF
- Protection de berges, affleurements rocheux
- les gravières en cours d'exploitation, les projets de gravières (autorisation ou extension) connus des services de l'état, les plans d'eau des gravières dont l'exploitation est achevée
- les puits de captage non déplaçables pour des raisons techniques (hydrogéologiques)

On peut considérer que lorsque le lit du cours d'eau est navigué, l'espace de mobilité peut être réduit à la valeur minimale réglementaire définie dans l'arrêté du 24 janvier 2000, c'est à dire à un recul de 50m par rapport aux berges pour les cours d'eau d'une largeur supérieure à 7.5m.

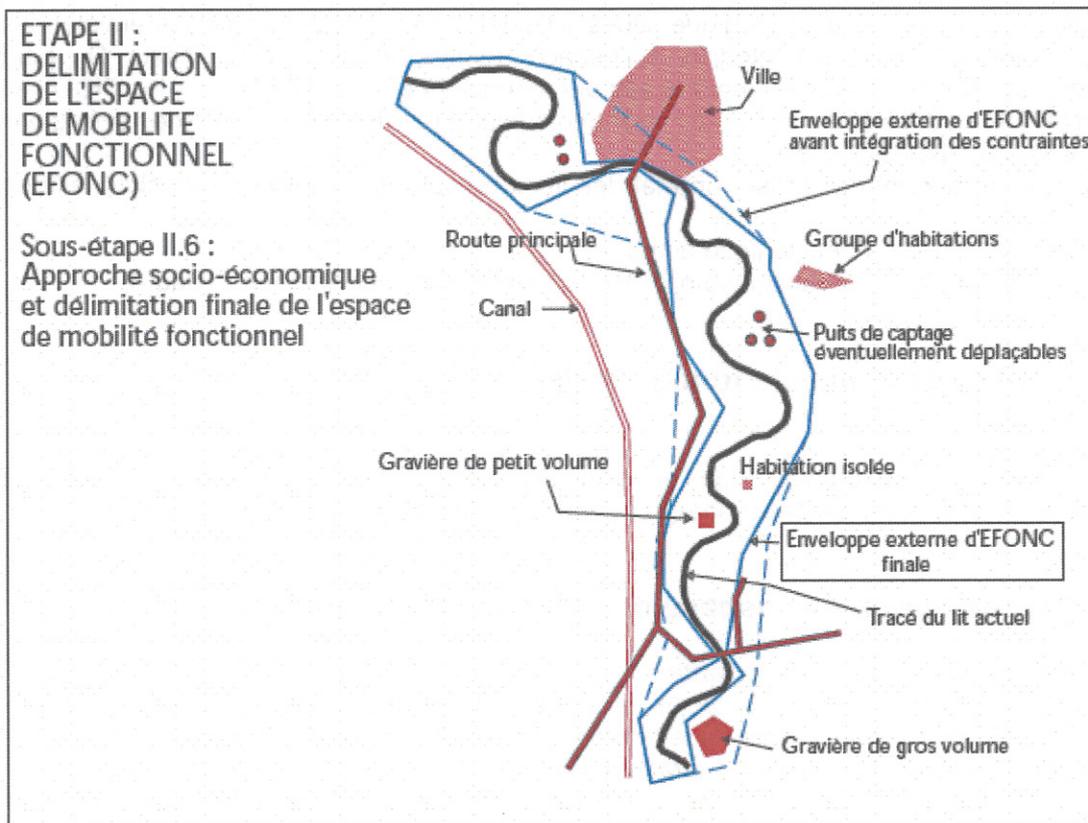


Figure 10 : Délimitation de l'EFONC⁵

⁵ Guide technique n°2 du bassin Rhône Méditerranée Corse, p28.

6.3 Recueil des données : bilan

Type de données	Accès
Occupation du sol	Corine Land Cover, SCAN25
Voies de communication	BD carto, BD TOPO, BD CARTO,SCAN25
Voies navigables	BD Carthage
Gravières	DRIRE, Corine Land Cover, BD TOPO
Digues	BARDIGUES
Captages	Données Agence de l'eau
Protection de berges	Visites de terrain
Barrages	AREA

7 Conclusion :

Cette étude est la première réalisée à l'échelle du bassin Seine-Normandie. Les résultats obtenus sont donc à utiliser avec prudence et devront être validés par les acteurs locaux puis par la réalisation d'études locales. La mobilité réelle des cours d'eau est probablement surestimée car certaines contraintes anthropiques n'ont pas pu être considérées (merlons de curage, voies de chemin de fer, digues et les protections de berges). La méthode proposée ici pour déterminer la mobilité potentielle et la mobilité réelle pourra être optimisée par l'acquisition de données homogènes sur l'ensemble du bassin versant (données « granulométrie », données « largeur de fond de vallée » pour les petits cours d'eau, données « contraintes anthropiques »...). L'acquisition de la BD Topo permettrait de pallier certains de ces manques.

Les tronçons pour lesquels la mobilité réelle est « forte » peuvent faire l'objet d'une étude de détermination de leur espace de mobilité. Plus les moyens mis en œuvre pour délimiter l'espace de liberté des cours d'eau seront importants, plus la délimitation de cet espace sera précise. Lorsque ces espaces de mobilité seront délimités et cartographiés, des mesures de gestion devront être engagées afin de préserver ou de restaurer ces espaces. Les gestionnaires disposent pour cela de plusieurs outils. Les servitudes instituées par la loi du 30 juillet 2003 dans le code de l'environnement constituent le moyen le plus complet pour la préservation et la restauration de l'espace de mobilité d'un cours d'eau. D'autres dispositifs peuvent également être utilisés. C'est le cas du plan d'occupation des sols (classement des terrains en zone à vocation agricole ou à vocation de zone naturelle, classement en espace boisés, utilisation de l'article R123-18 du code de l'urbanisme), de la maîtrise foncière ou des conventions de gestion des terrains acquis.

Le nouveau SDAGE va devenir un texte opposable aux décisions administratives. Si la carte des rivières mobiles y figure, elle pourra servir aux administrations pour appliquer les autres textes.

La restauration de l'espace de liberté est plus compliquée. Elle impose la réalisation d'études techniques et économiques.

Bibliographie

Arrêté du 24 janvier 2001 modifiant l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières et l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement »

Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement – NOR : ATE0100044A – J.o. n° 38 du 14 février 2001.

Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrière.

Ministère de l'Environnement – NOR : ENVP9430348A – J.o. n°246 du 22 octobre 1994.

Bassin Rhône Méditerranée Corse – Guide technique n°2 – Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau

SDAGE RMC, Agence de l'Eau RMC, DIREN Rhône – Alpes – novembre 1998.

Définition des espaces de mobilité dans le secteur de la Bassée

HYDRATEC pour le compte de l'UNICEM – juillet 2001

Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau à méandres mobiles – un exemple dans le bassin Seine – Normandie.

PRIOU I. – Mémoire de maîtrise de géographie – Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes – 2004

Etude de la dynamique fluviale et des potentialités de régulation hydrologique de l'Armançon – HYDRATEC pour le compte du SIRTAVA - 2007

Etude du fuseau de mobilité de la Seine dans la plaine alluviale de la Bassée – SOGREAH pour le compte de la DIREN Ile-de-France – Février 2006

Etude préliminaire à la détermination des fuseaux de mobilité des cours d'eau dans le bassin Seine Normandie, Gaillard S., Naturalia Biologia Univ de Nantes, pour l'AESN, 2004

La gestion des rivières : transport solide et atterrissements – Etude des Agences de l'eau n°65 – 1999.

La dynamique fluviale et le bilan sédimentaire de la Marne Moyenne – P. Charrier pour le compte du Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement Hydraulique de la Marne Moyenne – Novembre 2005

Malavoi J.R, Souchon Y., Dynamique fluviale et dynamique écologique, 1996

Réalisation de la cartographie des espaces de mobilité des rivières de Franche-Comté, valorisation et communication de l'étude et du concept en France et en Europe – Rapport technique - Dubau Nicolas pour le compte de la DIREN Franche-Comté - 2005

Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du Bassin Seine – Normandie
Préfecture de la Région d'Ile de France – Direction Régionale de l'Environnement d'Ile de France – Agence de l'Eau Seine – Normandie – 20 septembre 1996.

Annexe 1 : Equations utilisées pour le calcul de la largeur des cours d'eau

La largeur des cours d'eau a été approximée à partir d'équations de la forme :

$$w = a.T_{bv}^b$$

Nous avons utilisé les données « largeur de plein bord » et « taille du bassin versant » issues des données terrain. Des régressions linéaires sur ces données regroupées par hydro-écorégions ont permis d'obtenir une relation liant la valeur de la largeur de plein bord à la taille du bassin versant.

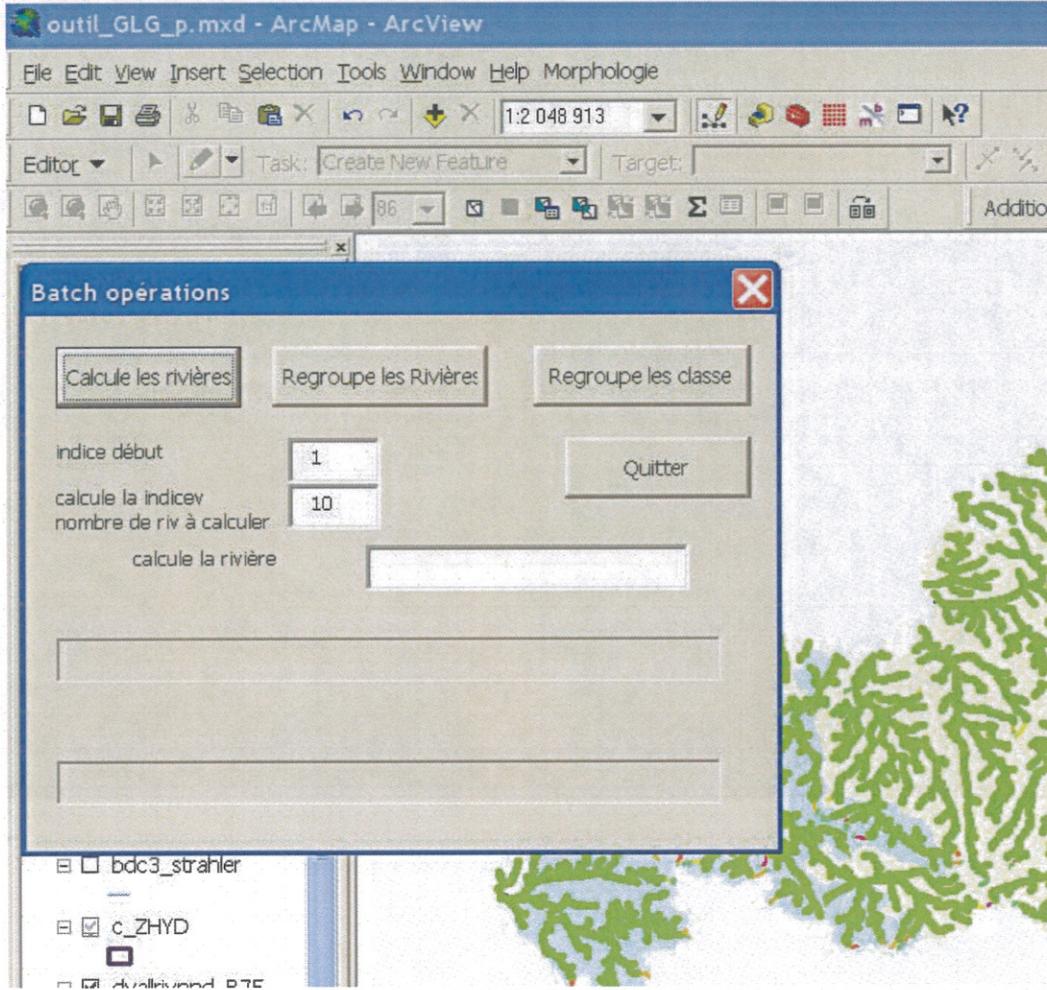
Hydro-écorégion	Largeur w	R ²
Bassin Parisien – ile de France (HR36)	$0.2636.T_{bv}^{0.5982}$	0.96
Tables calcaires – Auréole Crétacé (HER 38)	$0.2027.T_{bv}^{0.6126}$	0.92
Les autres hydro-écorégions du bassin	$0.4729.T_{bv}^{0.5261}$	0.92

Annexe 2 : Equation utilisée pour le calcul du débit biennal

Les valeurs de débit biennal ont été approximées à partir d'équations de la forme : $w = a.T_{bv} + b$. Des régressions linéaires ont été réalisées sur les données « débits » et « taille du bassin versant » de la banque hydro. Elles ont permis d'obtenir les valeurs de a et b pour les hydro-écorégions du bassin Seine-Normandie.

Hydro-écorégion	Q _{2j}	R ²
Massif Armoricaïn Nord-est	$0.0801.T_{bv} + 4.0576$	0.9677
Morvan Charollais	$0.0882.T_{bv} + 6.2149$	0.9154
Les autres hydro-écorégions du bassin	$0.0222.T_{bv} + 18.97$	0.9404

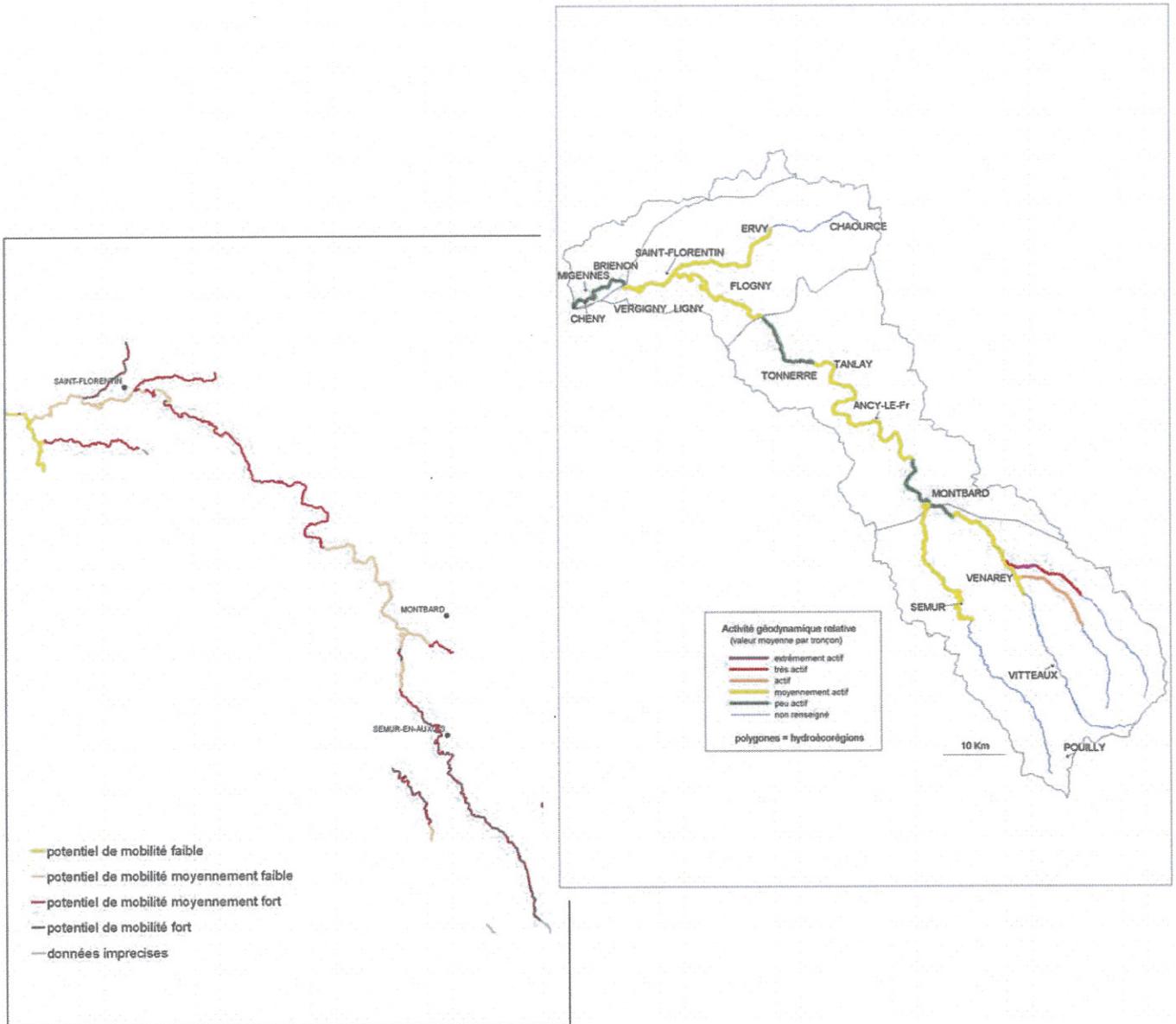
Annexe 3 : Application GEOTER sous ArcGIS



Annexe 4 : détail des buffers réalisés pour calculer la taille du bassin versant



Annexe 5 : comparaison de la mobilité potentielle obtenue avec l'outil GEOTER et de l'évaluation de la dynamique fluviale réalisée par J-R Malvoi sur l'Armançon



Annexe 5 : comparaison de la mobilité réelle obtenue avec l'outil GEOTER et de l'évaluation de la dynamique fluviale réalisée par J-R Malavoï sur l'Armançon

