

Les bras secondaires de la Seine aval :
évaluation des potentialités écologiques et sédimentaires.



Rapport de stage en vue de l'obtention du D.E.S.S.
« Ingénierie des Hydrosystèmes Continentaux en Europe »



Présenté par Priscille LE MASSON



Octobre 2004

REMERCIEMENTS

Je remercie M. BONNY, Directeur du CETE Normandie Centre, et M. DUPONT, directeur du LRPC, pour m'avoir accueillie dans le Centre.

Mes remerciements vont aussi à David GOUTX, mon responsable de stage, qui m'a confié ces études, a partagé ses nombreuses idées quant à la réalisation de la typologie, et qui apporte toute sa bonne humeur aux mécanismes hydro-sédimentaires.

Je pense aussi à chaque membre de « l'équipe bathymétrie », à l'ambiance de travail qu'ils offrent, et plus particulièrement Alain LEGRAND et Maxime pour les missions sur la Seine.

Je tiens à remercier Karine LEROY, agréable partenaire de bureau, et Frédérique BERGE, étudiant IMACOF, dont les conseils m'ont été très utiles.

~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~

SOMMAIRE

RESUME FRANÇAIS	3
SUMMARY	5
Introduction	5
Context	5
Results	6
ABREVIATIONS	10
INTRODUCTION.....	11
CHAPITRE 1/Le LRPC/CETE	12
1. Présentation de l'organisme d'accueil.....	12
1.1. Les Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement.....	12
1.2. Le CETE Normandie Centre	12
1.3. Le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées.....	13
2. Objectifs du stage	13
CHAPITRE 2/ LE BASSIN DE LA SEINE	15
1. Hydrologie.....	15
1.1. Bassin versant.....	15
1.2. Géologie	15
1.3. Pluviométrie	15
1.4. Occupation du sol.....	15
2. Hydraulique	16
2.1. Débit	16
2.2. Crues.....	16
2.3. Etiage.....	16
2.4. Transport solide.....	17
3. Usages	20
3.1. Prélèvements	20
3.2. Rejets.....	20
3.3. Navigation	21
4. La Directive Cadre Européenne	21
CHAPITRE 3/POTENTIEL ECOLOGIQUE DE LA SEINE AVAL	23
1. La Seine aval et l'APSI VN	23
1.1. Contexte	23
1.2. Recensement des zones naturelles dans le lit majeur	24
2. Les bras secondaires : annexes hydrauliques valorisables	27
2.1. Matériel et méthodes	27
2.2. Résultats	29
2.3. Discussion	33

CHAPITRE 4/ APPROCHE TYPOLOGIQUE DE LA SEDIMENTATION DES BRAS SECONDAIRES	34
1. Présentation des bras secondaires	34
2. Analyse préliminaire : entrées et sorties d'eau.....	37
3. Tendance sédimentaire globale du bras	39
3.1. Choix des paramètres descriptifs.....	39
3.2. La section contraignante.....	40
3.3. Résultats	42
4. Singularités.....	43
4.1. Types de singularités.....	43
4.2. Résultats	47
5. Conditions de hautes eaux.....	50
5.1. Choix des paramètres	50
5.2. Résultats	54
6. Croisement des indices intermédiaires	55
7. Résultats finaux	58
8. Discussion	59
8.1. Représentativité de la typologie	59
8.2. Résultat d'Ile de France et de Haute Normandie	60
8.3. Perturbations anthropiques	61
CHAPITRE 5/MODELLISATION DE L'IMPACT DE LA SEDIMENTATION SUR LES CRUES	62
1. Choix des bras modélisés.	62
2. Données	62
3. Modélisation.....	64
3.1. Le modèle 1D maillé	64
3.2. Résultats	65
CHAPITRE 6/DISCUSSION GENERALE.....	66
CONCLUSION	67
BIBLIOGRAPHIE	68
TABLE DES MATIERES	71
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	74
ANNEXES	75

RESUME FRANÇAIS

Le commerce par voie d'eau a depuis toujours représenté l'une des activités majeures liées au fleuve et au développement des sociétés à proximité. La préoccupation environnementale étant grandissante dans tous les secteurs économiques, les gestionnaires de la Seine doivent aujourd'hui considérer le fonctionnement de ce milieu. Aujourd'hui, l'emploi de la Seine en tant que voie navigable d'une part et la production de particules fines par le bassin versant d'autre part lui confèrent une forte turbidité. Le transport de particules fines a des conséquences à plusieurs niveaux : envasement du chenal principal, des bras non navigués, perturbation de la qualité biologique des milieux aquatiques.

Ce stage rassemble plusieurs aspects importants du fonctionnement de la Seine. Le premier volet, à portée écologique, comprend le recensement des zones naturelles en relation avec la Seine dans la région Haute Normandie. La conclusion de cette partie montre d'une part, des effets marquants de la domestication de la Seine sur les milieux et les espèces, notamment par la déconnection du fleuve de sa plaine alluviale. Les zones humides sont très rares, et les milieux les plus riches sont en Haute Normandie comme en Ile de France, concentrés dans les boucles de Seine. D'autre part, certaines annexes fluviales demeurent riches en termes de biodiversité. Cette richesse est illustrée par la comparaison de l'inventaire des invertébrés aquatiques dans le chenal principal et dans un bras secondaire. Les prélèvements d'invertébrés montrent une différence significative en terme de diversité entre le chenal principal et un bras secondaire d'apparence équivalente, avec 17 et 22 familles présentes respectivement.

Le deuxième volet, décrit la mise en place d'une typologie de sédimentation des bras secondaires à partir de critères morphologiques simples : courbure, largeur... La construction de la typologie est validée pas à pas, par l'observation des phénomènes sur les données bathymétriques. Les trois axes d'analyse sont :

- la tendance globale à l'envasement, exprimée par l'analyse de la section contraignante,
- la présence de singularités : ponts, virages...
- le phénomène de chasse en période de hautes eaux.

Le pronostique d'évolution sédimentaire établi est alors confronté à l'envasement effectif mesuré à partir des bathymétries de 1980 et 2004. Lors de cette dernière étape, 5 cas sur 6 montrent des comportements correspondant qualitativement aux pronostiques. Quantitativement, et contrairement à nos attentes, la sédimentation de ces 25 dernières années s'est avérée relativement faible en Haute Normandie : maximum de 30 cm d'exhaussement.

La troisième partie, aboutissement de la typologie, présente les résultats de la modélisation de différentes crues. Un bras secondaire à fort enjeu a été sélectionné. L'impact des crues est modélisé pour différents scénarii d'envasement. Les résultats de cette modélisation montrent que le curage fort du bras secondaire permet d'abaisser la ligne d'eau de 5 à 6cm à l'amont, et la sédimentation forte induit un exhaussement de 1 à 2cm selon la crue. Dans la dynamique actuelle de sédimentation, il n'est pas recommandé de curer de manière lourde. En effet, le bras aura tendance à retrouver la section qu'il a actuellement.

Mots clefs : voie navigable, écologie, typologie, sédimentation, hydraulique, modélisation.

SUMMARY

Introduction

The river Seine is one of the most important waterways in France. In 2000, 35.8 million tonnes were transported, in other words, nearly of 50% of the weight transported in France on waterways is concentrated on the Seine river bassin. Under those conditions, it is obvious that the ecosystem is not free from perturbations. The exploitation of the waterways needs some fitting out. And for example, the Seine river from Paris to Rouen counts 6 dams, and the use of the waterway by 1000 tonnes weight boats needs conservation of a channel 4 m deep and 80 m wide. Like the river; the bassin is intensively exploited. The Seine drainage basin is mostly composed of an agricultural landscape, and dense urbanised areas. This composition produces fine particles that are carried to the river by overland flows. As a result, the waters of Seine are very roiliness. So, the frame of the study is written in a highly transformed environment.

Context

The geographical limits of the study come from Vernon to the dam of Poses, in the Haute Normandie. The dam of Poses is the limit between the maritim influence and the strict fluvial river. The global context of the two parts presented here is the management of natural areas, with a first global approche asked by “Voies Navigables de France” (Waterways of France) and a second study targeted on secondary non navigable channel to “Service Navigation de la Seine” (Seine navigation department).

The first part of the stage consists in the inventory and the diagnostic of naturals areas in relation with the Seine river. This diagnostic will be integrated in a bigger project, which could be traduced as “itinerary primery project of waterways”. This project is composed of several parts: hydraulic perspective of management, analysis of landscape, fish migration, recommendation of the “SDAGE”, application of the Water Frame Directive; and diagnostic of natural areas... All these parts form a tool of decision for VNF, an organism which has a

favourable position on the management of waterways, but in fact, no real obligations about the ecological potential. The diagnostic of natural areas was entrusted to myself and Mrs. M. Deviers.

The **second part of the stage** was a typologic construction in order to predict sedimental behaviour of secondary channels. Those associated arms are a subject of discordance between local communities and VNF. Local communities assert that these arms accumulate sediments and cause worsening of flood. VNF wants to measure the real evolution of sedimentation. Because we don't dispose of bathymetric longitudinal section, the typology is a tool to predict sedimentation. Those pronostics are confirmed by the study of bathymetric longitudinal section we dispose.

A short **third part** is an example of gestion of secondary channel. A modellisation allows to predict the impact of sedimentation or dredging on the flows.

Results

Ecologic potential

This rapport presents diagnostic of Haute Normandie natural areas. The complete study is presented in the join report. As many organisms as possible were contacted: DIREN; Conservatoire des Espaces Naturels, Agence Régionale de l'Environnement de Haute Normandie, Ligue de Protection des Oiseaux... Most of those tentatives where positive, showing the interest of public organisms and citizens. The diagnostic shows first, the bird diversity in the loop of Poses. This site is composed of lakes resulting of the extraction of sand, and is declared as several ZNIEFF, one ZICO: "loop of Poses", and bird reserve: "la Grande Noë". This concentration of water composes the focal point of diversity in aquatic ecosystem of Seine in Haute Normandie. The diagnostic shows a second point. Almost all the persons investigated agrees to say that habitats and species are unknown along the river. Other areas are scattered along the river. Few sites are known by the "Conservatoire des Espaces Naturels" between Vernon and the loop of Poses, and are composed of willows. Nowadays, this habitat is rare in spite of his bank stabilisation capacity and the diversity of fauna it can accomodate.

At present, the state of downstream Seine (approximatively from Paris to Poses) is near the state of an artificial channel. Wetlands are disconnected of the river. Moreover, this state is aggravated by the hydraulics of Seine. This river is a calm one and overflowing floods are rare. However, some typical and very biogenic areas persist. In Haute Normandie as in Ile de France, loops are the most biogenic areas, because of the concentration of water.

In the context of the evaluation of the Seine ecological potential, a study on invertebrates was performed. I hypothesize that the secondary channel can represent a better ecological potential than the main channel. To valid this supposition, I tried to give an inventory of invertebrates. The usual methodology: "IBGN", isn't applicable to such a wild river. So, I began to work on habitats to build an habitat/speed grid of prelevement adapted to Seine river. The prelevements were done on the 23rd of July in the secondary channel and the 18th of August in the main channel.

Habitats in the main channel are mostly composed of clay, maybe nearly of 80% of the banks are excusively made of clay, and this is a non biogenic substratum. In the secondary channel, banks are more varied, clay is present but mud is dominant, rarely as a pure substratum but more often mixed with another substratum. Moreover, banks in secondary channel are irregular and offer calm areas.

The determination under the grade of familly shows differences between the two stations. Secondary channel is composed of 22 families of invertebrates and main channel of 17 famillies. Moreover, the population of secondary channel is more equilibrated. The habitat differences are an important explanatory criteria of the fauna biologic diversity. Moreover, the disturbance of navigation is another explanation criteria. The swell can reach more than one meter. Under those conditions, it is evident that the secondary channel is more favourable to invertebrate colonisation.

This simple study has shown a better biologic potential in the secondary channel, in spite of his apparent similarity with the main channel.

Typology of sedimentation

The second and major part of the stage consists in the creation of a typology. This typology has been created in order to predict the sedimentation behaviour. So, we tried to find analysis criteria that are representative of hydraulics and sedimentation. We show that the evolution of sedimentation can be summarized in three criterions.

First, **global sedimentation tendency** is related by the restricted section, assimilated to the surface width. We consider that a reduction of the river section slows down the flow. And this slowing can cause the fall of the suspended loads. The hypothesis is confirmed by the observation of the bathymetric longitudinal section that shows the elevation of the bottom upstream the reduction. An impact value is attributed according to the section pourcent of reduction.

Secondly, the bottom heterogeneity is taken into consideration. **Peculiarities** or local perturbations along the bief are studied. Courbure, strong bend, insertion angle, bridge pier, wide variation and shoal are denominated and attributed an impact indice. The local effect of each peculiarity is confirmed by the bathymetric study. Eventually, a global peculiarity value is attributed to each arm.

Thirdly, the behaviour during flood can resuspend fine matters. This approach is related as **flush potential**. The quality of flow is analysed by three criterions. First, the insertion angle is considered. If the angle is smaller than 25° , we can consider that water has a good penetration in the arm. Then, the curve of the secondary channel is considered comparatively to the main channel. In fact, if the arm is longer than the main channel, the arm slope will be smaller. Under those conditions, the water speed is higher in the main channel and form an obstacle to the arm water penetration in the main channel. To finish, the reception capacity is evaluated in the main channel by measuring the width variation before and after confluence. This last factor is predominant in water circulation. A global value of flush potential is determined.

Eventually, the global sedimentation tendency, peculiarities and flush potential are gathered in order to present a sedimentation pronostic. The global sedimentation tendency is confronted to the potential. For example, a small or medium sedimentation tendency has no evolution if the arm presents a good flush potential. This comportement is qualified of auto cleaning. But

a small sedimentation tendency will be evolutive if the flush potential is bad. After this consideration, the evolution of peculiarities is confronted to flush potential. Small ones can be cleaned by small or medium flush event. Important peculiarities can only be cleaned by high flush events. However, the disturbance of bottom is still present, but does not evolve.

The pronostics proposed are confronted to bathymetric longitudinal section evolution between 1980 and 2004. In Haute Normandie, datums do not allow easy and precise analyses. However, six arms of different categories are analysed. 5 of them presents an evolution in concordance with the pronostics. High sedimentation is represented by 20 or 30 cm raise, pronostic of medium sedimentation is traduced by a raise under 10cm.

To complete the observations done in the last step, a modeling on HEC RAS is performed. A secondary arm is chosen because of his sedimentation tendency. It is the arm of Roule island, which presents a medium sedimentation tendency. Two designed floods are choose: 1910 and 1982. The first one is a 100 years flood, and the second one is a 10 years flood. Three scenarios are tested: the present situation, the situation of dredging until 3m altitude, and the situation of sedimentation until 6m. Whatever the flood, the different situations show no important impact upstream, only local impact near 5cm better in the case of dredging until 3m. Under this conditions, dredging is useless.

This study has shown different points. To begin with, the river Seine is fitted out but some natural areas still remain. Secondary arms represent an important potential which could be valorized by the diversity of those arms themselves. On the second part, the quantification of sedimentation in the secondary arms has been done and this phenomenon is restricted to less than 30cm on a period of 25 years. Moreover, sedimentation has a negligible effect on floods. So, these results constitute management tools to SNS. This organism has to respect the rules of the Water Frame Directive, precisely about the biologic potential; and now, they dispose of an inventory of these areas. Furthermore, secondary arms have vocation to be under the responsibility of local communities. SNS is now able to evaluate the sedimentation and the cost of gestion it can represent to local communities. SNS wants to begin a detailed study concerning ecological potential of secondary arms.

Keywords: waterway, ecology, typology, sedimentation, hydraulics, modeling.

ABREVIATIONS

AESN : Agence de l'Eau Seine Normandie
APSI VN: Avant Projet Sommaire d'Itinéraire Voies Navigables
AREHN : Agence Régionale de l'Environnement de Haute Normandie
CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
CSN : Conservatoire des Sites Naturels
DCE : Directive Cadre Européenne
DIREN : DIrection Régionale de l'Environnement
GONm : Groupe Ornithologique Normand
HEC RAS : Hydrologic Engineering Center River Analysis System
IBGA : Indice Biologique Global Adapté
IBGN : Indice Biologique Global Normalisé
LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LPO : Ligue de Protection des Oiseaux.
LRPC : Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
MES : Matières En Suspension
PSIC : Proposition de site d'Intérêt Communautaire
PIREN : Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement
PK : Point Kilométrique
PNR : Parc Naturel Régional
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
SNS: Service Navigation de la Seine
TE : Tirant d'Eau
VNF: Voies Navigables de France
ZICO : Zone d'Intérêt Communautaire pour les Oiseaux
ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique
ZPS : Zone de Protection Spéciale

INTRODUCTION

Comme d'autres fleuves français, la Seine est naviguée. Cependant, le bassin qu'elle dessert est particulièrement peuplé, doté d'industries lourdes, et occupe une position stratégique pour la navigation car il est connecté vers le Nord par l'Oise puis le canal du Nord. Ces conditions imposent une pression de navigation importante. Dans le cas de la Seine, un fleuve de débit relativement faible, la navigation implique nécessairement des aménagements de grande ampleur. Aujourd'hui, Voies Navigables de France met en place l'Avant Projet Sommaire d'Itinéraire Voies Navigables, cette planification de gestion sur 15 ans rassemble toutes les composantes du fleuve : hydraulique, paysagère, environnementale... Par ailleurs, dans un contexte plus local de gestion, le Service Navigation de la Seine entreprend une phases de diagnostic des bras secondaires non navigués en vue d'en céder la gestion.

La première partie de ce rapport présente un recensement des zones naturelles d'intérêt écologique dans le lit majeur de la Seine. Ce travail de diagnostic est complété par une comparaison du potentiel écologique des bras secondaires au chenal principal par une étude des invertébrés aquatiques. Le deuxième volet présente une approche typologique de la sédimentation des bras secondaires. Suite à cette typologie, des bras à fort potentiel d'envasement seront plus particulièrement traités, une modélisation sous HEC-RAS d'un bras secondaire présentera l'impact de la sédimentation sur les crues selon différents scénarii d'envasement.

Le cadre de l'étude est limité à la Seine aval c'est-à-dire de l'aval de Paris au barrage de Poses en amont de Rouen, barrage qui constitue la frontière avec la zone estuarienne. La zone étant très étendue, le tronçon Ile de France sera traité par Mélanie DEVIERS et le tronçon Haute Normandie par moi-même.

CHAPITRE 1/Le LRPC/CETE

1. Présentation de l'organisme d'accueil

1.1. Les Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement

Les CETE constituent un réseau d'organismes publics d'ingénierie technique, au service de l'Etat, des collectivités territoriales, des établissements publics et des réalisateurs d'ouvrages publics. Il y a 8 CETE en France y compris la DREIF (Direction Régionale de l'Equipement de l'Ile de France).

1.2. Le CETE Normandie Centre

Le CETE Normandie Centre compte plus de 500 employés. Les activités sont concentrées vers l'assistance à maîtrise d'ouvrage, la méthodologie et la gestion des patrimoines. En effet, 58% des activités 2003 sont de type ingénierie-conseil, puis près de 20% sont représentées par des travaux de recherche et méthodologie.

Les secteurs prioritaires sont les suivants : sécurité routière, renouvellement urbain, habitat, risques naturels, et des domaines techniques traditionnels : recherche, développement, action européenne. Les technologies nouvelles prennent une part grandissante dans les productions : analyse de données numériques, modélisation...

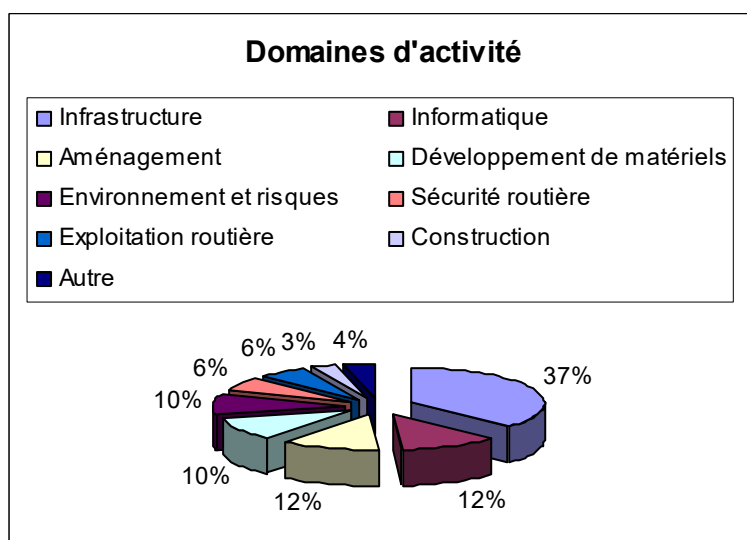


Figure 1: Domaines d'activité du CETE Normandie Centre, rapport d'activité 2003.

1.3. Le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées

Le laboratoire a été créé en 1951, sous le statut de Laboratoire Départemental et en 1959, il devient Laboratoire Régional. En 1971, le LRPC devient une division du CETE Normandie Centre tout en restant sous la tutelle du SETRA et du LCPC (Champion, Directeur du LRPC, 1984). En 2003, six des onze divisions ont reçu la certification ISO 9001.

Les activités sont réparties dans quatre départements :

- Département géotechnique,
- Département des chaussées,
- Département ouvrages d'art,
- Département sciences de l'environnement.

Ce dernier département, créé en 1991, comprend quatre unités dont l'unité Hydraulique-Sédimentologie au sein de laquelle j'ai réalisé mon stage. Cette unité est composée de 2 ingénieurs, 1 expert technique des services techniques, 1 contrôleur principal et 2 techniciens. Certaines de ses activités portent sur

- la détermination des zones inondables : atlas de zone inondable, PPR Inondation, PPR Ruissellement,
- la reconnaissance des fonds aquatiques (bathymétrie),
- l'impact hydraulique et la surveillance des ouvrages.

2. Objectifs du stage

L'objectif du stage était de répondre à deux commandes. La première pour Voies Navigables de France, était non comprise initialement dans le sujet de stage. Dans un contexte de mise en application de la DCE, le travail pour VNF consistait à recenser les zones « naturelles » ou à potentiel écologique du lit majeur, présenter leurs atouts et leurs vulnérabilités. Cette présentation s'est soldée par des propositions ciblées de gestion du chenal navigable dans l'objectif de préserver, améliorer ou limiter l'impact de la navigation sur l'écosystème aquatique. Le contenu de ce travail est présenté en totalité dans un rapport annexe et il servira

de base à la rédaction de l'Avant Projet Sommaire d'Itinéraire Voies Navigables réalisé par VNF.

La deuxième commande pour le Service Navigation de la Seine, concerne les bras secondaires. Dans un contexte de décentralisation, les bras secondaires non navigués ont vocation à être gérés par les collectivités. Afin d'évaluer le potentiel de ces annexes fluviale, deux études visent à préciser certains points. La première, confiée au LRPC de Blois, est menée en trois étapes :

- mise au point d'une grille d'analyse typologique de la sédimentation à partir de critères morpho-hydrauliques,
- validation cette typologie à travers l'étude de profils bathymétriques,
- chiffrer l'impact de la sédimentation sur les crues à travers la modélisation de plusieurs bras où l'enjeu était déterminé comme fort.

Cette première étude permettra d'informer les collectivités sur les campagnes de dragage éventuelles à réaliser. Leur décision pourra être éclairé à la vue d'un éventuel enjeu écologique qui pourrait être déterminé pas la seconde étude, prévue pour l'année prochaine.

CHAPITRE 2/ LE BASSIN DE LA SEINE

1. Hydrologie

1.1. Bassin versant

La Seine, fleuve de 776 Km, doté de 11 affluents (annexe 1), draine un bassin de 78 650 Km². La Seine est, sur les 160 derniers kilomètres de son cours, un fleuve à marée, avec une amplitude de 7 mètres à Honfleur, 3 mètres à Rouen. Le barrage de Poses est la limite de la zone soumise à marée. Sur 12% du territoire national le bassin de la Seine concentre 25% de la population française, 33 % de la production agricole et industrielle et 50% du trafic fluvial.

1.2. Géologie

La grande majorité du bassin est supporté par des tables calcaires plus ou moins fissurées (annexe 2), ce qui correspond à un substrat poreux. La partie amont du bassin, de Paris à la Champagne crayeuse est constituée de quelques affleurements de sable tertiaires, de quelques zones entaillées par les cours d'eau, permettant aux argiles et aux calcaires d'affleurer sur de courtes distances (PIREN Seine, 1994). La couverture limoneuse des formations superficielles du bassin de Paris fournit la majorité des éléments minéraux : silts ou limons de taille comprise entre 5 et 30µm (Programme scientifique Seine aval, 2001).

1.3. Pluviométrie

Les précipitations sont moyennes à faibles : autour de 700 mm/an (annexe 3). Le coefficient de drainage ($0,006\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$) est assez faible, en comparaison avec la Loire (0,008) (Zumbiehl, 1999).

1.4. Occupation du sol

L'occupation du sol est principalement agricole autour de Paris, et urbain pour la région Ile de France (annexe 4). La culture de céréales et d'oléoprotéagineux occupe une surface importante du bassin qui contraste avec la forte densité de l'agglomération parisienne qui atteint parfois 15 000 hab. /Km².

2. Hydraulique

2.1. Débit

Le débit moyen de la Seine est de $450 \text{ m}^3/\text{s}$ et son débit le plus fréquent $250 \text{ m}^3/\text{s}$ environ. La pente moyenne de la Seine est 10 fois plus faible que celle de la Loire : 1/10 000 contre 1/1 000 respectivement.

2.2. Crues

Ce fleuve relativement tranquille ne serait pas problématique si son bassin ne s'étendait pas sur la région la plus peuplée et la plus riche de France. A Paris, son débit a atteint très exceptionnellement $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ mais les crues sont une constante de son bassin. On dénombre une soixantaine de crues majeures depuis le 6^{ème} siècle, soit une tous les 26 ans en moyenne.

Ce sont des crues lentes qui sont la conséquence directe de précipitations importantes sur les bassins versant de la Seine et de ses affluents. La période la plus risquée s'étend de novembre à mai, et plus particulièrement entre décembre et mars. Les débits débordants sont de $800 \text{ m}^3/\text{s}$ aux environs de Paris et $1\,100 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'amont de Rouen.

Les crues majeure sont dues à la concomitance de l'arrivée de plusieurs ondes aux zones de confluence, et pour l'Île de France à la concomitance des crues lentes mais puissantes de l'Aube, de la Seine, de la Marne amont avec celles rapides et brutales de l'Yonne et des affluents de la Marne, le Petit et le Grand Morin. Conjuguée à de fortes précipitations étalées dans le temps cette concomitance a conduit aux crues de 1924, 1955 et surtout celle de 1910. Les cotes observées font de la crue 1910 la deuxième plus importante de l'histoire de Paris. La première connue est celle de 1658, avec une cote restituée à l'échelle d'Austerlitz de 8 m 96.

2.3. Etiage

Le débit d'étiage moyen mensuel de période de retour 5 ans (Q_{MNA5}) de la Seine est de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ au niveau de Paris et $170 \text{ m}^3/\text{s}$ au niveau de Poses (Communication personnelle W. THOMAS, SNS-Cellule Qualité Police de l'Eau). Les conditions estivales de faible débit sont critiques pour la qualité de l'eau. Les débits et les vitesses faibles conduisent à une dilution moindre des apports polluants ponctuels, ainsi qu'à des temps de séjour plus longs, permettant

le développement des populations de microorganismes, de blooms algaux ou compromettant la survie des poissons.

Les grands barrages réservoirs ont pour vocation principale de réguler par stockage et restitution différée le débit de la Seine en amont de Paris. Les grands ouvrages de retenue du bassin de la Seine ont une capacité totale de 830 Mm³ permettant d'écarter les crues hivernales ou printanières. On peut citer notamment les barrages réservoirs des « trois lacs de Champagne », d'une capacité totale de 730 Mm³, en dérivation sur la Marne, sur la Seine et sur l'Aube.

2.4. Transport solide

Les caractéristiques d'écoulement décrites (débits et vitesses réduites, présence de barrages...) confèrent à la Seine un transport sédimentaire particulier. Les particules de plus gros diamètre, qui de façon générale proviennent de la tête du bassin, sont retenues à l'amont des barrages. Malgré un transport de MES faible en comparaison aux autres moyennes mondiales-400mg/L comparé à 20 à 50mg/L en moyenne annuelle pour la Seine à Poses (PIREN Seine, 1995a)-la charge solide de la Seine est fine et dissoute ce qui lui donne un aspect turbide.

Le schéma ci-dessous présente les apports relatifs de MES par le bassin versant.

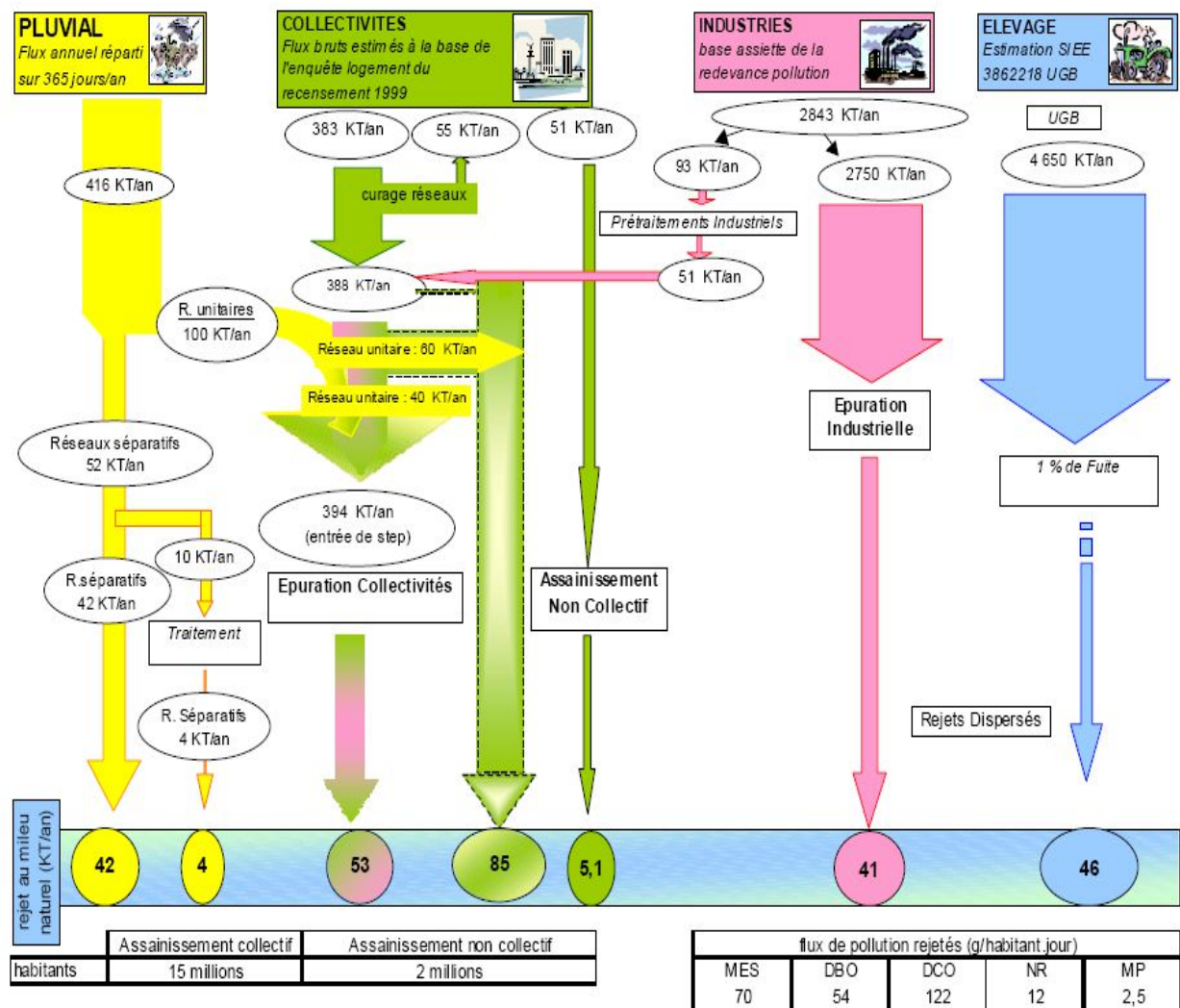


Figure 2: Production et transfert des matières en suspension dans le bassin Seine Normandie, AESN-DIREN, 2003a.

Dans le contexte du stage, il me semble important de s'arrêter sur quelques phénomènes liés aux MES. Ce sont des particules organo-minérales de taille généralement inférieure à 100µm (Programme Seine aval, 2001). Leurs propriétés colloïdales favorisent l'adsorption de contaminants sur leur surface (Carpentier *et al.*, 2002). Elles sont ainsi polluantes à deux titres : par les contaminants qu'elles transportent (pesticides, bactéries...) et par la turbidité qu'elles confèrent au cours d'eau.

Pour une vitesse donnée, le cours d'eau a une capacité de transport solide liée à l'énergie de l'eau. La capacité de transport tend vers la saturation : si l'eau n'est pas assez chargée en matière solides, elle aura tendance à éroder les berges ou le fond (Degoutte, 2002). La capacité de transport saturée décroît avec la vitesse : si la vitesse chute, les matières en suspension les plus grossières tombent vers le fond, si la vitesse continue de chuter, des

particules plus fines pourront se déposer. En période d'étiage, il existe un gradient vertical de MES dans la colonne d'eau qui peuvent varier de 25 à 15mg/L entre 50 et 5m au dessus du fond et atteindre 75mg/L à l'interface eau sédiment (PIREN Seine, 1995a).

La Seine, voie navigable, est constamment soumise au trafic fluvial. Le jet d'hélice est suffisamment puissant pour qu'une part des sédiments déposés sur le fond soit remise en suspension (Martin, 2001). Une fois cette énergie dissipée par le mouvement de l'eau, les particules se redéposent. Ainsi, les sédiments fins du chenal principal de la Seine sont perpétuellement agités et ils se déposent de façon « définitive » lorsqu'ils atteignent des zones calmes : les bras secondaires non navigués.

Des sédiments se déposent néanmoins chaque année dans le chenal de navigation de la Seine lors des crues hivernales. La Seine ne nécessite pas de dragage annuel sur 90 à 95 % de sa longueur. Les points à draguer de façon régulière sont généralement en amont ou en aval de barrages ou d'ouvrages de franchissement ainsi que dans certaines courbes et confluences. En 2002, les opérations de dragage sur la Seine aval ont concerné environ 90 000 m³ de matériaux et se sont chiffrées à 2,2 millions d'euros.

En résumé :

Le contexte géomorphologique et le climat de type tempéré sont à l'origine

-du faible débit spécifique, comparativement à d'autres fleuves français,

-du débit solide faible,

-d'un rapport charge particulaire/charge dissoute faible.

Fleuve	Superficie (10 ⁶ Km ²)	Débit liquide (Km ³ .an ⁻¹)	Débit solide (10 ⁶ t.an ⁻¹)	Taux d'érosion (t.Km ⁻² .an ⁻¹)
Rhône	0.1	53.6	3.3	33
Loire	0.12	27	1.5	12.5
Garonne+ Dordogne	0.08	24.1	2.2	27.5
Seine	0.08	13	0.65	8.1

Tableau 1: Caractéristiques générales des fleuves français, Programme Scientifique Seine -Aval, 2001.

3. Usages

Outre les activités de loisirs : sport nautique chasse ou pêche, certains usages méritent d'être exposés.

3.1. Prélèvements

La Seine fait l'objet de **prélèvements d'eau** : 1825 Mm³ en 2001 pour l'ensemble du bassin (AESN-DIREN, 2003a). Ces prélèvements sont destinés à l'alimentation en eau potable de la population, au fonctionnement des industries ou dans une moindre mesure à l'irrigation agricole.

3.2. Rejets

Les **rejets** dans la Seine demeurent problématiques pour la qualité de l'eau. L'assainissement des **collectivités locales** est globalement insuffisant et peu fiable : taux de collecte et de dépollution insuffisants, mauvaise prise en compte de la pollution par temps de pluie. L'objectif de qualité des rejets est peu contraignant pour les collectivités : les flux admissibles sont théoriquement élevés. Mais la multiplicité des rejets peu traités sur une même section de cours d'eau conduit à la dégradation globale de sa qualité. La pollution brute produite par les **industries** est très importante. Malgré les efforts de dépollution entrepris, la pollution nette résiduelle peut affecter la qualité biologique de la Seine. C'est le cas notamment des industries de traitement de surface. Les activités **agricoles** engendrent des pollutions de natures diverses et souvent diffuses : matières en suspension, résidus de traitement phytosanitaires, excédants de fertilisants entraînés par le ruissellement superficiel.

Le SDAGE préconise un exercice renforcé de cette police de l'eau, exercée par le SNS. Cet objectif de réduction des rejets est un enjeu fort pour la préservation et l'amélioration de la qualité des eaux de la Seine.

3.3. Navigation

La navigation sur la Seine a toujours été présente puisqu'on a retrouvé à Rouen une pirogue datant sans doute de l'âge de fer. Cependant, jusqu'au milieu du XIX^e siècle, la navigation en Seine est très hasardeuse. Elle ne peut se faire qu'à certaines conditions : à marée haute et en vives eaux. C'est en 1950 que le nouveau chenal est dessiné. Ouvert en 1960, le chantier s'achève dans les années 80. Le chenal a été tracé sur le principe d'une largeur constante de 80m sur tout le long du cours d'eau et un tirant d'eau de 4m. L'essentiel de la marchandise correspond à du vrac, des matériaux de construction, des céréales, du pétrole et du charbon (Bacot, directrice inter Voies Navigables de France, 2003). En 2003, 18,27 Millions de tonnes ont été transportées sur la bassin de la Seine (Tous en Seine, Février 2004).

4. La Directive Cadre Européenne

La DCE conduira à la révision du SDAGE Seine-aval en 2009. Les actions développées auparavant dans le cadre du SDAGE vont déjà dans le sens de l'atteinte du bon état écologique. Il est difficile de préjuger à l'heure actuelle quelles seront les modifications apportées au SDAGE, l'état des lieux ne fixant pas d'orientations à suivre. Le Comité de Bassin a mis en place une approche territoriale à l'échelle de districts hydrographiques (identiques aux périmètres des groupes de travail pour la rédaction du SDAGE) au travers de 6 commissions géographiques (annexe 5).

L'état des lieux doit être terminé en décembre 2004. Il est actuellement en cours de rédaction et de validation. On peut déjà affirmer que les masses d'eau de la Seine seront désignées comme suit (annexe 6).

La Seine aval est une masse d'eau superficielle aux caractéristiques particulières : elle est **fortement modifiée**, **alluvionnaire**, et en partie une masse d'eau de **transition** sous l'effet des marées (DIREN AESN, 2003a).

La Seine aval est concernée par la navigation, la gestion hydrologique et l'occupation urbaine. A ce titre, l'ensemble du linéaire de la Seine aval est classé en **masse d'eau fortement**

modifiée. Une masse d'eau de surface est classée « fortement modifiée » lorsque l'on peut montrer que les modifications à apporter aux caractéristiques hydromorphologiques actuelles pour obtenir un bon état écologique auraient des incidences négatives importantes sur l'environnement ou les usages qui bénéficient en l'état de cette situation.

La **masse d'eau alluvionnaire** est à enjeu important (alimentation en eau potable actuelle et future, prélèvements industriels ou agricoles, enjeu écologique, pollution connue...). Les alluvions sont en général un filtre en relation dans la plupart des cas avec des nappes de grande extension (exemple : la craie) dont elles contribuent à assurer le drainage vers la rivière. La Seine aval se situe sur des terrains de l'ère quaternaire : il s'agit de sédiments déposés par le cours d'eau dans le fond de vallée. Suivant la nature géologique du bassin et la vitesse des eaux qui les ont transportées puis déposées, la finesse des alluvions varie depuis les argiles jusqu'aux galets, en passant par les limons, les sables et les graviers.

Les masses d'eau profondément modifiées par l'activité humaine doivent atteindre comme objectif, non pas le bon état écologique, mais le **bon potentiel écologique**. Le référentiel n'est pas assoupli, mais il tient compte d'impossibilités physiques ou économiques à un retour à une qualité morphologique ou d'habitat du milieu permettant d'atteindre un bon état biologique. Les objectifs de bon état physico-chimique et chimique restent cependant inchangés.

La masse d'eau de la Seine aval est une masse d'eau qui risque de présenter un écart aux objectifs environnementaux. En ce cas, il sera procédé à la caractérisation plus approfondie de la masse d'eau : conduite d'une analyse plus poussée des pressions et mise en place de réseaux de surveillance adaptés (DIREN-AESN, 2003a).

CHAPITRE 3/POTENTIEL ECOLOGIQUE DE LA SEINE AVAL

1. La Seine aval et l'APSI VN

1.1. Contexte

La Seine aval désigne le fleuve depuis l'aval de Paris (pont du périphérique) jusqu'à la pointe de l'île Legarée à Cléon à l'amont de Rouen, soit une distance de 216 km. Il s'agit d'un découpage administratif formulé par VNF. Le secteur exposé dans ce rapport sera retreint à l'aval par le barrage de Poses. Celui-ci marque le limite avec la masse d'eau de transition soumise à l'influence de la marée. Le premier volet du stage portant sur le recensement et le diagnostic des « zones naturelles en relation avec le fleuve » dans le tronçon Seine aval, je présenterai dans ce paragraphe les résultats présentés pour le secteur Haute Normandie.

Dans un premier temps, cette démarche nécessite de faire l'inventaire des zones naturelles remarquables protégées en relation avec le fleuve. Dans un deuxième temps, il faut identifier l'état actuel de ces zones protégées et des autres zones à fort potentiel et mettre en avant leurs interactions avec la Seine. Suite à cette approche du fonctionnement de ces écosystèmes et de leurs vulnérabilités, le dernier volet exposé dans le rapport annexe, consistera à mettre en relation les pressions exercées par les besoins de la navigation et les réponses de l'environnement. En outre, cette dernière partie comprend quelques propositions de gestion favorables à l'environnement et compatibles avec la navigation.

Il est nécessaire d'aborder cette étude en prenant en compte le caractère particulièrement artificialisé de la Seine aval qui présentent de lourds aménagements et a été « dressée » pour la navigation et les activités humaines. De plus sa position en aval d'une importante zone urbanisée réduit encore considérablement les marges de manœuvre sur ce secteur.

La liste des personnes ou organismes contactés pour cette étude est présentée en annexe 8 et une carte simplifiée en annexe 9 permet de situer les principaux sites dont il sera question dans cette partie.

1.2. Recensement des zones naturelles dans le lit majeur

Les zones d'inventaire : ZNIEFF, ZICO

Les ZNIEFF

Les ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique ou Floristique) sont des zones d'inventaire, ce qui ne leur confère aucune protection réglementaire.

La Seine aval en Haute Normandie est bordée de 13 ZNIEFF de type I et 3 ZNIEFF de type II (annexe 10 et 11). Leur composition est variée, certaines sont constituées

- de bois humides (bois de Merderelles, les Perelles, la grande île –les marais, bois Hubert, la grande Noë, les longues raies, la prairie sous l'église, la grande île-l'île gribouillard-l'île Vadeney-la Seine). Ces bois sont à proximité de la Seine ou sont inondés en crue.
- de mégaphorbiaies (l'île Emient, les Perelles, la grande île –les marais, la grande Noë, la grande île-l'île gribouillard-l'île Vadeney-la Seine),
- de prairies humides (bois de la fontaine, la remise et l'hippodrome, la garenne, les longues raies, la prairie sous l'église),
- d'étang ou cours d'eau (les Perelles, la grande Noë, le radier, la grande île-l'île gribouillard-l'île Vadeney-la Seine, la boucle de Tosny).

L'énumération ci-dessus montre que la majorité des ZNIEFF présente plusieurs types d'habitats. Les ZNIEFF englobent souvent une mosaïque de milieux favorables à la réalisation du cycle de vie de certaines espèces. Des oiseaux notamment trouvent des plans d'eau bordés de roselières ou de buissons qui constituent des abris pour la période de reproduction.

Les ZICO

Comme les ZNIEFF, les ZICO (Zones d'Intérêt Communautaire pour les Oiseaux) sont à l'heure actuelle des zones d'inventaire ne bénéficiant d'aucune protection réglementaire. Elles sont en revanche destinées à être désignées en ZPS (voir Natura 2000) après redéfinition du périmètre.

La région Haute Normandie présente une ZICO en bordure de Seine, elle englobe la boucle de Poses. Cette ZICO comprend elle même une réserve ornithologique (la Grande Noë) qui est par ailleurs composée de plusieurs ZNIEFF de type I. Dans ce cas, les oiseaux ont conquis un habitat totalement artificiel, car il s'agit d'une sablière encore en activité (annexe 12). La présence de cette mosaïque de lacs à la confluence de la Seine et de l'Eure constitue une étape pour beaucoup d'oiseaux migrateurs (source : Samuel Lothon, garde-animateur de la réserve la Grande Noë). La boucle de Poses a été ajoutée à la liste initiale des zones humides d'importance nationale déterminée par le Plan d'Action Zones Humides (Zones Humides Info, 1995).

Les conventions

L'objectif est de sauvegarder les milieux naturels et conserver leur richesse biologique soit par maîtrise foncière des Conservatoires d'Espaces Naturels, soit en établissant des conventions pour la mise en œuvre de gestion adaptée, d'animation locale et de suivis techniques.

Le Conservatoire des Sites Naturels de Haute Normandie est particulièrement actif dans la région, il est gestionnaire de plusieurs sites :

- Tosny, au niveau des Andelys, sur la rive gauche, comprenant une prairie alluviale et une mégaphorbiaie;
- Saint Just, en aval de Vernon, comprenant une mégaphorbiaie.

D'autres sites sont en projet d'acquisition mais il s'agit dans un premier temps d'identifier les propriétaires fonciers. Il s'agit par exemple d'un site entre Courcelles-sur-Seine et Boifles (Communication personnelle, M. FRODELLOT, Conservatoire Régional des Sites Naturels).

Les protections réglementaires non obligatoires : Natura 2000 et PNR

Les protections réglementaires non obligatoires privilégient les incitations ou des moyens contractuels. Ces protections sont donc non obligatoires mais lorsqu'elles sont contractualisées, sont assorties de prescriptions réglementaires contraignantes. Elles peuvent être à l'initiative de la Communauté Européenne : Natura 2000, Zone de Protection Spéciale (ZPS), Proposition de Site d'Intérêt Communautaire (pSIC) ; ou à l'initiative des collectivités locales : Parc Naturels Régionaux.

La région Haute Normandie ne comprend pas de PNR à proximité de la Seine, mais plusieurs sites Natura 2000, notamment sur les coteaux calcaires. Notons la présence de deux espèces endémiques inféodées à ces coteaux calcaires : la violette de Rouen (*Viola hispida* Lam.) et la Biscutelle de Neustrie (*Biscutella neustriaca*). Seul le site « la vallée de l'Epte » présente une relation avec le fleuve dans sa partie la plus basse, à la confluence de l'Epte et de la Seine. Une partie de cette zone comprend une forêt alluviale. Ce site présente une forte diversité d'espèce et de stades évolutifs, cependant, sa surface est limitée.

Conclusion

Aujourd'hui le recensement exhaustif de ces bandes rivulaires n'est pas effectué. Les différents organismes contactés regrettent tous les lacunes importantes quant à la connaissance du linéaire Seine aval dans son ensemble. La carte présentée en synthèse des zones d'intérêt écologique (annexe 13) est donc loin d'être exhaustive mais rassemble les données collectées auprès des différents acteurs de la Seine. L'ensemble des zones statuées sont indiquées mais d'autres non moins intéressantes peuvent être absentes.

Pour ce qui est de la faune, la Seine aval présente notamment des atouts importants au niveau des populations d'oiseaux, cependant, les batraciens ou les insectes présentent très probablement des populations riches tant sur le plan de la diversité que sur le plan patrimonial, mais ces groupes sont moins connus. La qualité du chenal est en lente progression puisqu'on est passé à Paris de 3 espèces de poisson il y a 30 ans à 33 espèces aujourd'hui (Roche, Directeur de l'Agence de l'Eau Seine Normandie, 2003). Le « Fish Based Index » attribue une valeur de plus de 34 à l'amont de Poses, ce qui correspond à un peuplement pauvre en abondance, en espèces, avec des espèces pour la plus part tolérantes et avec peu de classes d'âge (Réseau Hydrobiologique et Piscicole, 2001).

En revanche, des habitats des milieux humides sont encore présents sur le linéaire malgré les différentes pressions : urbanisation, exploitation de carrières, populiculture, agriculture... On peut notamment citer les bras secondaires, les bras morts (connectés à la Seine par la nappe alluviale), quelques zones humides, forêts alluviales, et des mégaphorbiaies dont la localisation précise n'est pas connue. En définitive, le constat est contrasté entre les potentialités importantes de la Seine et l'état actuel des milieux et des populations.

2. Les bras secondaires : annexes hydrauliques valorisables

Aujourd'hui, les bras secondaires non navigués sont surtout considérés comme piège à sédiment, même si leur dynamique d'envasement est assez mal connue. Cependant, dans l'objectif de connaître ou valoriser les annexes fluviales, souvent riches biologiquement, une étude simple des invertébrés a été menée.

2.1. Matériel et méthodes

Choix des sites

Des bras tels que les bras de Giverny ou de Moulin et Muides présentent sans conteste des potentiels forts. Leur largeur est réduite, les habitats sont diversifiés et les courants sont lents. Dans ces cas, l'intérêt de la préservation n'est pas à démontrer. Ce sont les bras peu différents du chenal principal qui sont aujourd'hui peu considérés, peut être à tort. Il me semblait important de choisir un bras qui présente des relations étroites avec la Seine. Ainsi, les habitats sont peu différents entre le bras secondaire et le chenal navigable.

Un bras secondaire a été choisi pour ses caractéristiques morphologiques : le bras de l'île du Roule. Il présente une courbure modérée, une largeur variant de 60 à 80m. Les caractéristiques morphologiques du bras choisi laissent conclure que le débit hydraulique est relativement important. Par ailleurs, le bras de l'île du Roule peut constituer une référence pour d'autres bras de morphologie semblable sur la Seine (bras de Pampou, bras de Port Pinché...). Le tronçon de **chenal principal** échantillonné est situé à hauteur du bras de l'île du Roule afin de rassembler des conditions équivalentes. Il est échantillonné sur un linéaire de même taille.

Choix de la méthode de prélèvement

Le calcul d'un indice type IBGN n'est pas réalisable dans le bras secondaire (Ministère de l'environnement, Agences de l'eau, CSP, Guide technique de l'IBGN). En effet, la profondeur et la turbidité de l'eau ne permettent pas de reconnaître les habitats au centre du bras, même

en sondant manuellement avec une perche. Les prélèvements seront donc réalisés sans suivre de méthode existante mais de façon à échantillonner les habitats les plus biogènes afin d'obtenir une population la plus riche possible.

Dans sa thèse, M. Bacchi présente une comparaison de l'IBGN, de l'IBGA et d'une série de 20 prélèvements. Il montre que sur la Loire, 13 à 16 prélèvements sont nécessaires pour stabiliser l'échantillonnage. La grille des habitats à prélever (annexe 14) présentée dans sa thèse n'est pas applicable directement à un échantillonnage de la Seine. Les galets et débris organiques ne sont pas présents sur la Seine. Par ailleurs, les vitesses sont plus réduites et s'échelonnent de 0 à 50cm/s aux abords des berges. De même, la grille de prélèvement substrat vitesse de l'IBNG ne peut être appliquée à la Seine, les bryophytes et les spermaphytes émergents n'étant pas présents sur les tronçons parcourus. Une grille de prélèvement sera établie en fonction des conditions du milieu. Les vitesses étant assez réduites sur la Seine, les habitats de toutes les classes de vitesses pourront être prélevés. En revanche, le potentiel biogène des différents types d'habitats sera à prendre en compte. La grille ci-dessous présente les habitats rencontrés sur les deux sites, par ordre décroissant de potentiel biogène.

habitat/vitesse	0 à 5cm/s	5 à 10cm/s	10cm/s<
spermaphytes			
graviers			
vase			
branches			
tronc			
racine			
blocs			
sable			
argile			

Tableau 2: Grille de prélèvements substrat/vitesse établie pour la Seine aval.

Prélèvements

Une série de prélèvement dans le bras de l'île du Roule a été réalisé le 23 juillet. Pour des raisons logistiques, le prélèvement dans le chenal principal de la Seine n'a pu être réalisé en

même temps, et a été repoussé au 18 août, soit 26 jours plus tard. A cette période de l'année, on estime que les populations d'invertébrés varient peu.

Les invertébrés sont prélevés à l'aide d'un filet Surber de vide de maille 500µm. Pour les zones peu profondes, le prélèvement se fait sur une surface de 1/20^{ème} de m². Pour les zones plus profondes, jusqu'à 2,5m, une perche est fixée au Surber. Dans ce cas, les prélèvements se font depuis le bateau, le filet Surber est disposé sur le fond et enfoncé dans le substrat autant que possible, depuis l'arrière du bateau. Un second opérateur situé à l'avant du bateau ramène le montage vers lui grâce à une corde tendue à l'avant du Surber, en prenant soin de laisser le filet racler le fond. L'échantillon est conservé si le volume prélevé est estimé représentatif de l'habitat, soit environ 1l de matériel.

Les habitats prélevés sont conservés humides puis se voient administrer une solution de Formol ou d'alcool de concentration proche de 5%. Au laboratoire, les prélèvements sont conservés au réfrigérateur avant la détermination. Pour procéder au tri, les échantillons sont lavés à l'eau courante, les graviers sont retirés et le reste de l'échantillon est tamisé à 500µm. Les invertébrés sont prélevés puis identifiés sous loupe binoculaire d'après le guide « Invertébrés d'eau douce » (TACHET *et al.*, 2002).

2.2. Résultats

Données de terrain

La recherche des différents habitats lors de la campagne de terrain a mis en avant certaines différences qui peuvent contribuer à expliquer les résultats des échantillonnages.

- Le linéaire des berges du bras secondaire est assez irrégulier et bénéficie ainsi de zones de **faible courant**, ce qui est moins fréquent dans le cas du chenal principal.

- Les rives du chenal principal de la Seine sont constituées à 80% d'habitats totalement **argileux** alors que dans le chenal secondaire, c'est la **vase** qui prédomine (70% des habitats sont au moins en partie composés de vase).

- Les habitats **graveleux** sont plus représentés dans le chenal secondaire que dans le chenal principal.

- Les autres habitats sont représentés dans les mêmes proportions sur les deux sites.

En définitive, les habitats du chenal principal sont donc très peu biogènes et assez monotones.

Analyse faunistique

Les résultats détaillés sont reportés en annexe 15.

Bras secondaire	
TAXON	EFFECTIF
TURBELLARIES	
Dugesidae	65
Planariidae	2
OLIGOCHETES	561
ACHETES	
Glossiphoniidae	14
Erpobdellidae	22
GASTEROPODE	
Valvatidae	1
Bithyniidae	13
Hydrobiidae	3
Ferrissidae	2
Lymnaeidae	4
Physidae	17
BIVALVE	
Dreissenidae	1
Sphaeriidae	1
Corbiculidae	15
CRUSTACES	
Asellidae	10
ODONATES	
Lestidae	1
Coenagrionidae	4
Aeshnidae	1
TRICHOPTERES	
Polycentropopidae	493
Economidae	236
DIPTERES	
Chironomidae	1501
Tipulidae	2

effectif total	2969
variété taxonomique	22
Groupe Indicateur	4
	Polycentropopidae

Chenal principal	
TAXON	EFFECTIF
NEMATHELMINTHES	1
OLIGOCHETES	14
ACHETES	
Glossiphoniidae	9
Erpobdellidae	7
GASTEROPODES	
Valvatidae	30
Bithyniidae	8
Hydrobiidae	2
Planorbidae	1
BIVALVES	
Sphaeriidae	1
Corbiculidae	2
CRUSTACES	
Asellidae	8
Cambaridae	1
TRICHOPTERES	
Polycentropopidae	103
Economidae	20
DIPTERES	
Ceratopogonidae	430
Chironomidae	1636

effectif total	2273
variété taxonomique	17
Groupe Indicateur	4
	Polycentropopidae

Tableau 3: Comparaison des peuplements d'invertébrés du chenal principal et du bras de l'île du Roule.

Espèces invasives

Il faut noter la présence d'espèces allochtones invasives : la **Corbicule** (*Corbicula fluminea*) sur les deux sites et l'**Ecrevisse américaine** (*Oronectes limosus*) dans le chenal principal.



Figure 3: La corbicule et l'écrevisse américaine, deux espèces invasives.

Analyse de la diversité

La diversité taxonomique est faible : 22 familles pour le chenal principal et 17 pour le bras secondaire. De même, le groupe indicateur est de faible valeur ; la qualité physico-chimique de la Seine reste un facteur limitant de la colonisation des milieux. L'abondance, et donc la densité au cm², sont supérieures dans le chenal secondaire.

Pour les deux sites, on retrouve la prédominance écrasante des Diptères **Chironomidae**. Le tableau ci dessous indique que la densité des chironomes est plus de dix fois supérieure à la densité moyenne des autres taxons. Pour ce facteur, la prédominance de cette famille est observée dans les mêmes proportions sur les deux sites.

	Chenal principal	Bras secondaire
densité au cm ²	0,28	0,37
nombre d'individus moyen par taxon	133	134
densité moyenne	0,0167	0,0168
nombre de chironomes	1501	1636
densité chironomes	0,187	0,205

Tableau 4: Comparaison des densités de chironomes dans le chenal principal et dans le bras de l'Ile du Roule.

Le bras secondaire est plus favorable à la diversité. Trois familles d'odonates, 2 familles de turbellariés, 3 familles de gastéropodes et une famille de bivalves ont été déterminées uniquement dans le bras secondaire. Les Odonates sont habituellement présents dans les milieux stagnants. Leur présence uniquement dans les relevés du bras secondaire indique que les perturbations liées au batillage sont probablement un facteur limitant leur colonisation du chenal principal.

Robustesse

En supposant que le décalage de 26 jours dans les prélèvements ait causé la disparition des Odonates des prélèvements du chenal principal, la **variété taxonomique** reste supérieure de deux points en faveur du chenal secondaire.

Le deuxième groupe indicateur est représenté par les mollusques (GI=2) sur les deux sites, ce qui indique un même état physico-chimique limitant sur les deux sites.

Analyse des indices

	Chenal principal	Bras secondaire
Abondance (N)	2273	2969
Variété taxonomique (S)	17	22
Diversité (H en bits)	1.34	2.1
Équitabilité (J)	0.33	0.47
Groupe Indicateur	4 (Polycentropopidae)	4 (Polycentropopidae)
dominance (q)	0.5562	0.3258

Tableau 5: Synthèse des indices représentatifs du peuplement du chenal principal et du bras de l'Ile du Roule.

- L'abondance est supérieure dans le bras secondaire.
- La variété taxonomique présente cinq taxons de plus dans le bras secondaire.
- La diversité est meilleure dans le bras secondaire (2,1 contre 1,34 bits), le milieu présente une meilleure diversité.
- L'équitabilité est supérieure dans le bras secondaire (0,47 contre 0,33), ce qui indique que le peuplement est plus équilibré dans le chenal secondaire alors qu'une ou plusieurs espèces ont tendance à dominer dans le chenal principal.
- Le groupe indicateur est le même pour les deux sites, ce qui indique une même tolérance à la pollution.

-La dominance est supérieure pour le peuplement du chenal principal, ce qui confirme les observations faites à partir de l'indice d'équitabilité.

Analyses complémentaires

- La détermination au genre permet de mieux caractériser le milieu de prélèvement. Ce niveau de détermination n'a pas pu être opéré sur l'ensemble des prélèvements.
- La comparaison des espèces présentes avec celles du biocenotype établi par Verneaux n'est pas réalisable car le répertoire des espèces a été annoncé sous presse (Verneaux 1976, cité dans Wasson, 1989).

2.3. Discussion

Les résultats présentés montrent une moindre richesse faunistique pour le chenal principal. Différents facteurs explicatifs peuvent être mis en avant :

-La différence au niveau des habitats. En effet, les campagnes de terrain m'ont permis d'appréhender les deux sites. La recherche d'habitats particuliers a montré que le bras secondaire comporte plus d'habitats à tendance vaseuse alors que le chenal principal montre une forte prédominance des habitats à composition argileuse. Le milieu vaseux, bien que peu biogène est de meilleure qualité que l'habitat argileux. Par ailleurs, le chenal principal présente des berges plus monotones.

-Les perturbations physiques. Ici encore, les campagnes de terrain m'ont permis d'observer l'ampleur du batillage dans le chenal principal. La navigation de gros gabarit produit un batillage dont l'amplitude peut atteindre plus d'un mètre. Dans ces conditions, il est compréhensible que la perturbation ait des répercussions sur les modes de vie des insectes aquatiques, notamment pour la ponte des adultes ailés ou le maintien des individus à la surface de leur habitat. L'hypothèse de l'influence néfaste du batillage sur les populations d'invertébrés est avancée dans une étude d'AQASCOPE (1999) sur la Marne.

CHAPITRE 4/ APPROCHE TYPOLOGIQUE DE LA SEDIMENTATION DES BRAS SECONDAIRES

Le contexte sédimentaire de la Seine présenté dans le premier chapitre met en avant quelques caractéristiques propres à la Seine :

- occupation du sol favorable à la production de particules fines,
- débit et vitesses faibles,
- présence de barrages qui retiennent les sédiments grossiers.

Dans ce contexte, la construction d'une typologie morpho-sédimentaire ne peut être étendue à d'autres fleuves. L'inverse est vrai aussi : les typologies de ce type déjà existantes sur le Rhône par exemple ne peuvent être appliquées à la Seine. Dans le cas du Rhône, les bras secondaires traités (lônes) sont pour la plus part connectés par l'aval uniquement (Herouin *et al.*, 2001).

1. Présentation des bras secondaires

La toute première phase a consisté à se familiariser avec les nombreux bras secondaires. La définition générale du terme « bras secondaire » veut que toute annexe hydraulique, qu'elles soient connectées par l'amont et/ou l'aval ou par la nappe soit considérée comme bras secondaire. Dans ce sens, un inventaire complet des bras secondaires non navigués en Haute Normandie a été réalisé. Le tableau ci-dessous présente les principaux bras et quelques une de leurs caractéristiques morphologiques : le type de connexion avec le chenal principal, la position, le tirant d'eau indiqué sur le guide de la navigation de VNF, la longueur, la largeur, la courbure relative (longueur du bras secondaire au centre du chenal/longueur du chenal principal), et le nombre d'îles composant le bras. L'angle d'insertion de l'eau par rapport au bras secondaire est déterminé en traçant les lignes présumées des courants, puis en mesurant l'angle dans le sens du courant.



Figure 4: Exemple de la mesure des angles d'insertion sur le bras de Pressagny-l'orgueilleux.

BRAS SECONDAIRES Haute Normandie Amont/aval	MORPHOLOGIE GENERALE								
	connectivité	localisation (pk)	TE (m)	longueur (Km)	largeur moyenne (m)	courbure relative	entrée ou sortie d'eau intermédiaire		
							nombre d'îles	angle d'insertion	entrée ou sortie
Bras de Giverny	amont/aval	146,5-148,5	<1,2	2.530	10	1.20	1		
Bras de l'île Hébert	amont/aval	150,3-150,6	< et > 1.2	0.290	18 à 29	1.28	1		
Bras de l'île Saint Pierre	amont/aval	151-152	<1,2	0.990	25	1.07	1		
Bras de Pressagny-l'orgueilleux	amont/aval	153,5-157,5	2/4	4.275	40 à 100	1.03	3	96 et 117	ND et entrée
Bras de l'île du Roule	amont/aval	165-167	2,8/1,5	1.610	60 à 75	1.13	1		
Bras de Tosny	amont/aval	168-171	1/2,6	2.630	40 à 75	1.02	1		
Bras de l'île Motelle	amont/aval	178-178,5	3	0.460	50 à 63	1.03	1		
Bras de Muids ou du Moulin	amont/aval	178,5-182,5	<1,2	3.710	15 à 20	1.05	1		
Bras de l'île du Port	amont/aval	182,7-183,5	2,2	0.885	110 à 175	1.09	1		
Bras de Venables-Heudebouville	amont/aval	184-188	2,10/3,80	3.530	72 à 225	1.12	2	50	sortie
Bras d'Andé	amont/aval	189,5-193	2,20/5	3.090	30 à 195	1.12	5	33;40;41 et 65	4sorties
Bras de Port-Pinché	amont/aval	194-195,2	ND	1.370	50 à 90	1.07	1		
Bras de Pampou	amont/aval	196,2-196,6	ND	0.500	40 à 95	1.04	1		
Bras de Connelles	amont/aval	194,5-189,5	1/4,40	4.370	45 à 95	1.03	1		
Bras de l'île de la Motelle (Cnl)	amont/aval	199-199,5	1.6/2.2	0.945	30 à 37	1.11	1		
Bras du Mesnil de Poses	amont/aval	199,8-200,5	3,5/6	2.010	38 à 165	1.11	4	47; 147 et 120	sortie; entrée, ND
Bras de l'île d'Amfreville	amont/aval	200-200,5	4/5	0.705	60 à 100	1.02	1		
CAS PARTICULIERS									
Bras du Goulet	amont	157-160,5	<1,2						
Bras de Château neuf	amont/aval centrale	161-161,5	<1,2						
Bras de l'île Besac	amont	160-161,5	> et <1,2						
Bras de la Grande île-île Godefroy	nappe/aval	170,5-172	ND						
Bras de Port Morin	nappe	172,7-173,2	<1,2						
Bras de la Grande île-Poses	amont	201-202	<1,2/10						
Bras de Val Pitant	nappe	200,9-201,2	<1,2						

Tableau 6: Caractéristiques générales des bras secondaires de Haute Normandie.

Remarque : deux îles portent le nom d'île de la Motelle. L'une est située dans le bras de Connelles, elle est nommée « Motelle (Cnl) », l'autre est localisée dans le chenal principal, elle sera simplement nommée « Motelle ».

Cette présentation met en avant certaines particularités qu'il faudra adapter à la typologie :

- la diversité des bras recensés est importante. Les bras classés comme « cas particuliers » sont écartés de l'analyse typologique car d'une part, ils ont un fonctionnement hydraulique particulier qui mériterait une autre approche et d'autre part, leur comportement sédimentaire peut d'emblée être défini comme tendant vers la sédimentation et même le comblement en raison du peu de courant dans ces bras;

- les bras de Giverny et Muids représentent des cas extrêmes par leur faible largeur. Ces deux bras seront aussi écartés de l'analyse typologique et peuvent eux aussi être défini comme tendant vers le comblement.

Par ailleurs, le recensement des bras secondaires pose d'emblée le problème du traitement des bras composés de plusieurs îles. Afin de simplifier leur classement typologique, l'impact sédimentaire et hydraulique des connexions intermédiaires sera préalablement analysé à travers le critère « **entrées et sorties d'eau** ». Par la suite, les bras composés seront traités en considérant autant de sections que d'îles composant le bras.

Enfin, la construction de la typologie par des critères morphométriques aboutit à un pronostique sédimentaire. Ce pronostique est validé d'une part par l'observation de la variation de la ligne de fond et d'autre part par comparaison des profils en long de 1980 et 2004. La possibilité de disposer de deux relevés séparés de 25 ans permet d'évaluer si la tendance sédimentaire a atteint l'équilibre.

La bathymétrie du tronçon de la Seine en Haute Normandie est assez bien renseignée pour les années 1980 et 2004. Cependant, le format des données ne permet pas une exploitation facile de celles-ci. Le biais provoqué par la comparaison d'un profil papier et d'un profil informatisée peut provoquer des approximations peu importantes en termes de profondeur mais importantes en définitive sur le volume sédimenté dans toute la longueur du bras. Dans ces conditions, nous avons jugé préférable de valider les principales étapes de la typologie principalement par l'étude bathymétrique des bras secondaire de l'Ile de France qui est renseignée par des profils en long sous format autocad.

La carte qui suit présente la localisation des bras sur le linéaire, deux extraits de cartes de Cassini sont présentés à l'annexe 16.

2. Analyse préliminaire : entrées et sorties d'eau

Afin d'éviter les confusions dans les entrées et sorties d'eau en amont et aval du bras avec celles qui sont intermédiaires, les chenaux au sein du bras seront appelés « connexions ». Le paramètre des apports ou reports intermédiaires est assez complexe à analyser. Il faut tout d'abord déterminer s'il s'agit d'une entrée ou d'une sortie et si celle-ci est effective ou si l'eau est stagnante dans la connexion. Pour cela, deux paramètres morphologiques sont pris en compte :

- l'angle de connexion, qui représente le sens de circulation éventuel de l'eau dans la connexion,
- les capacités d'accueil du bras secondaire et du chenal principal.

Prenons un exemple : si l'angle de la connexion indique une sortie (angle inférieur à 90°), le report d'eau depuis le bras secondaire vers le chenal principal devrait impliquer un changement de section lié au changement de débit. Dans ce cas, la section, assimilée à la largeur au miroir, augmente dans le chenal principal et diminue dans le chenal secondaire en aval de la connexion. Si les trois conditions sont réunies (angle, morphologie bras principal et secondaire), alors la sortie d'eau est effective.

Une hypothèse est émise : dans les cas où l'entrée ou la sortie n'est pas effective, la tendance est à la sédimentation dans la connexion car les vitesses sont quasiment nulles. L'exhaussement du fond tend à se répandre localement, et à obstruer la section dans cette zone du bras secondaire.

Le tableau ci-après détaille le pronostique sédimentaire de la connexion.

ENTREES ET SORTIES D'EAU												
	angle connection (degrés)	sortie/ entrée dans le bras	capacité accueil bras secondaire			capacité accueil chenal principal			morphologie du bras secondaire favorable à la circulation	morphologie du chenal ppal favorable à la circulation	comportement de la connexion	tendance sédimentaire dans la connexion
			largeur amont confice (m)	largeur aval confice (m)	tendance	largeur amont confice (m)	largeur aval confice (m)	tendance				
Pressagny	96.0	sortie	48	39	repport	136	133	nulle	oui	nulle	pas de circulation d'eau	forte
	117.0	entrée	47	90	accueil	140	182	accueil	oui	non	faible entrée d'eau	moyenne
Venables	50.0	sortie	129	93	repport	95	110	accueil	oui	oui	sortie effective	faible
Andé	33.3	sortie	172	124	repport	80	114	accueil	oui	oui	sortie effective	faible
	40.5	sortie	137	120	repport	113	140	accueil	oui	oui	sortie effective	faible
	41.5	sortie	119	81	repport	166	164	nulle	oui	nulle	sortie faible	moyenne
	65.0	sortie	82	60	repport	150	175	accueil	oui	oui	sortie effective	faible
Mesnil de Poses	47.0	sortie	135	47	repport	118	205	accueil	oui	oui	sortie effective	faible
	147.0	entrée	47	85	accueil	147	99	report	oui	oui	entrée effective	faible
	119.0	entrée	89	80	repport	226	227	nulle	non	nulle	pas de circulation d'eau	forte

Tableau 7: entrées et sorties d'eau, pronostique d'une tendance sédimentaire.

L'étude bathymétrique démontre des effets très locaux :

- les connexions ont toujours une profondeur moindre que le bras secondaire, même lorsque les entrées ou sorties sont effectives,
- l'effet d'atterrissement dans la connexion s'étend au maximum sur quelques mètres dans le bras secondaire,
- le centre du chenal du bras secondaire ne montre pas de variation particulière.

Seule la 3^{ème} connexion du bras d'Andé est accompagnée d'un atterrissement important dans le centre du bras secondaire. L'analyse précédente allait bien dans le sens d'une sédimentation moyenne de cette connexion.

Dans ces conditions, les effets des entrées et sorties d'eau peuvent être négligés dans le comportement sédimentaire des bras secondaires de Haute Normandie.

3. Tendance sédimentaire globale du bras

3.1. Choix des paramètres descriptifs

Pour les bras retenus, nous avons essayé de représenter la tendance générale à la sédimentation. A priori, cette dernière est tributaire de deux paramètres :

- la quantité d'eau entrant dans le bras
- les conditions d'écoulement favorables à la sédimentation.

Après étude de la bathymétrie par M.DEVIERS sur les bras secondaires d'Ile de France, le critère « **entrée d'eau** »-défini à travers l'angle d'entrée-ne semble pas discriminant sur le comportement sédimentaire. Aucune différence notable n'est mise en avant dans la comparaison de bras présentant des angles d'entrée très différents. En effet, les écoulements sont suffisamment lents et homogènes dans le chenal principal pour que les entrées d'eau et donc de charge sédimentaire ne soient pas restreintes par l'angle de connexion.

Pour ce qui concerne les conditions d'écoulement favorables à la sédimentation, le raisonnement a été le suivant : le fleuve présente une certaine capacité de transport solide qui tend vers la saturation (si l'eau n'est pas assez chargée en matière solides, elle aura tendance à éroder les berges). La capacité de transport saturée décroît avec la vitesse : si la vitesse chute, les matières en suspension les plus grossières tombent vers le fond. La chute des vitesses dans

un chenal de pente et de débit constants peut être provoquée par l'augmentation de la section : $Q=V*S$.

Le tronçon concerné par cet élargissement de section se comporte comme un bassin de décantation. Dans le cas de la Seine, les écoulements sont de type fluvial, donc les masses d'eau sont contrôlées par les conditions aval. Un bassin de décantation peut être considéré comme tel si la masse d'eau qu'il contient est retenue, ou tout du moins freinée par des conditions contraignantes aval. Ainsi, les réductions de section dans un bras définissent des zones de sédimentation à l'amont. Ce facteur est pris en considération dans la typologie à travers le critère « **largeur de la section contraignante** ».

La construction d'une typologie exacte aurait exigé d'exprimer la réduction de section par l'étude des profils en travers. Etant donné le nombre de bras à traiter, l'obtention de ces données par des campagnes de terrain est irréalisable d'un point de vue opérationnel. Les critères se rapportant aux sections des bras seront évalués par la mesure de la largeur au miroir.

3.2. La section contraignante

La **largeur de la section contraignante** est mesurée sur SCAN 25 sous MapInfo, en traçant un segment perpendiculaire aux lignes d'écoulement présumées. La largeur de la section contraignante est rapportée à **la largeur d'entrée du bras** : on exprime ainsi la section contraignante de façon relative, et cela permet de comparer l'impact de la section contraignante entre différents bras secondaires. Afin de quantifier le potentiel sédimentaire global du bras, il faudra prendre en considération la proportion du bras qui est composée par ce bassin de décantation. La position de la longueur de la section contraignante par rapport à l'amont est rapportée à la **longueur totale** du bras.

La section la plus contraignante n'est pas prise en compte si elle est située dans le premier quart du bras. Dans ce cas, une seconde section moins contraignante-en terme de largeur-sera prise en compte plus en aval dans le bras.

Après analyse des relevés bathymétriques de 1980 de la région Haute Normandie, j'ai mis en évidence que l'effet de la réduction de largeur n'était pas visible dans tous les cas attendus.

bras	réduction de section	longueur bassin décantation	observation de la bathymétrie 1980 à l'amont de la réduction
Pressagny	0%		fond régulier
Roule	25%	30%	pas d'effet sensible
Motelle	26%	76%	pas d'effet sensible
Port Pinché	28%	75%	exhaussement de 50 à 80cm de la ligne de fond
Pressagny	28%	52%	fond irrégulier, difficile de dégager une tendance
Pressagny	35%	61%	exhaussement de 2m de la ligne de fond
Motelle (cni)	40%	32%	atterrissement en amont mais l'ensemble du bassin n'est pas concerné
Venables	40%	46%	exhaussement de 50cm
Pampou	48%	40%	atterrissement de 1.5m sur les 200m d'entrée du bras
Tosny	55%	52%	atterrissement d'1m en amont

Tableau 8: Réduction de section et impact observé à l'amont sur la bathymétrie de 1980.

L'analyse des données bathymétriques ne dégage pas de limite franche du comportement sédimentaire en fonction de la réduction de section. L'analyse est limitée par le manque de données sur certains bras et la diversité des cas ne couvre pas toute la gamme de réduction de section. Le tronçon Haute Normandie ne présente pas de bras dont la réduction soit comprise entre 28 et 35%. On dégage cependant les tendances suivantes :

- pas de variation de la ligne de fond pour les réductions inférieures à 28%,
- un comportement très léger de sédimentation pour une réduction atteignant 28%,
- un exhaussement de la ligne de fond assez généralisé à partir de 48% de réduction (Pampou, Tosny, Pressagny).

L'impact de la section contraignante sera considéré comme **d'intensité moyenne** (couleur orange) pour le bras si les deux conditions suivantes sont réunies :

- réduction de section de 25% minimum,
- au moins 25% de la longueur du bras subit l'influence de cette réduction (c'est-à-dire que la réduction doit être localisée après le premier quart du bras).

L'impact de la section contraignante sera considéré comme **d'intensité forte** (couleur rouge) pour le bras si :

- la réduction de section atteint 35%,
- concerne au moins 25% du linéaire du bras.

3.3. Résultats

	TENDANCE GLOBALE A LA SEDIMENTATION							
	largeur section contg (m)	largeur section entrée (m)	ratio contg/ entrée	pourcentage de réduction	distance contraction/ amont (Km)	longueur bras (Km)	pourcentage du bras en décantation	potentiel sédimentaire
Ile Hébert	17	28	0.61	39	0.16	0.290	55	fort
Saint Pierre	25	29	0.86	14	0.26	0.990	26	faible
Pressagny	50	77	0.65	35	0.71	1.160	61	fort
	sup à 37	37						faible
	68	95	0.72	28	0.92	1.778	52	moyen
Ile du Roule	51	68	0.75	25	0.485	1.610	30	moyen
Tosny	32	73	0.44	56	1.363	2.630	52	fort
Ile Motelle	50	68	0.74	26	0.353	0.460	77	moyen
Ile du Port	111	154	0.72	28	0.245	0.885	28	moyen
Venables	140	140						faible
	62	104	0.60	40	0.692	1.512	46	fort
Andé	177	210	0.84	16	0.39	0.390	100	faible
	122	140	0.87	13	0.697	0.817	85	faible
	120	120						faible
	80	85	0.94	6	0.45	0.450	100	faible
	56	58	0.97	3	0.742	0.950	78	faible
Port-Pinché	58	80	0.73	28	1.025	1.370	75	moyen
Pampou	48	93	0.52	48	0.2	0.500	40	fort
Connelles	45	50	0.90	10	2.183	4.370	50	faible
Motelle (Cnl)	30	50	0.60	40	0.3	0.945	32	fort
Mesnil de Poses	130	130						faible
	35	35						faible
	95	95						faible
	95	95						faible
Amfreville	64	97	0.66	34	0.455	0.705	65	moyen

Tableau 9: Tendance sédimentaire globale.

4. Singularités

Après l'analyse de la tendance globale à la sédimentation, nous avons considéré les événements localisés, définis sous le terme de singularités. Ces singularités représentent les perturbations locales de l'écoulement, en faveur ou en défaveur de la sédimentation.

4.1. Types de singularités

Courbure du bras

Pour le calcul de cet indice, des tronçons ont été définis en prenant comme limite les points d'inflexion des courbures. Les longueurs de toutes les rives courbes ont été mesurées sur Scan 25 sous MapInfo, la somme des rives concaves est rapportée à la somme des rives convexes.

Pour tout le tronçon Seine aval, les valeurs varient de [1 à 1,28]. La valeur la plus importante est attribuée à un bras particulier, il s'agit des bras de l'île Hébert, le bras le plus amont dans le tronçon de la Haute Normandie. Ce bras n'entrera pas en compte dans la modalité de calcul d'attribution de l'indice sédimentaire qui suit. Il est très court, le guide de navigation de VNF indique des hauts fonds sur la deuxième moitié du bras. De par sa courbure et sa position dans le chenal, il adopte un comportement de déflecteur et l'eau ne pénètre peu dans le bras. La comparaison avec la carte de Cassini montre que le fleuve est devenu rectiligne dans ce secteur, les nombreuses îles ont disparu, ce qui sera sans doute le cas du bras de l'île Herbert. En effet, la suite de la typologie accordera à ce bras une tendance forte à la sédimentation, malgré la sous estimation de l'impact de sa courbure forte.



Figure 5: Evolution des îles dans le secteur de Vernon, cas de l'île Hébert.

L'analyse de l'influence de la courbure demandant un important travail d'analyse bathymétrique, on décide d'attribuer un indice sédimentaire de courbure sans valider les classes par observation de la bathymétrie. L'étendue des valeurs obtenues : de 1 à 1,13 est simplement divisée par trois afin de définir autant de classes sédimentaires :

- de 1 à 1,043 ($1+0,13/3$) : singularité négligeable,
- de 1,043 à 1,086 : singularité moyenne,
- au delà de 1,086 : singularité forte.

Les classes d'Ile de France sont comprises entre 1,005 et 1,05

Virages marqués

Les virages et les courbures représentent des perturbations de l'écoulement. Les forces de cisaillement sont importantes et entraînent le ralentissement de l'eau. La présence de virages marqués est tout d'abord repérée sur carte au 1/25 000. Le virage sélectionné se voit attribuer un cercle passant par le centre du bras et sur toute la longueur du virage. Si le rayon du cercle est inférieur à 1,5cm (ou 380m taille réelle), le virage est considéré comme marqué et sera comptabilisé comme singularité forte. Ce seuil a été déterminé comme significatif d'un atterrissement sur les bras de Haute Normandie.

Angle d'insertion

L'angle d'insertion est établi comme étant l'angle entre les lignes de courant estimées du chenal navigable et du bras secondaire. Pour des angles faibles, des quantités importantes d'eau pourront pénétrer dans le bras sans être freinées par des phénomènes de pertes de charge. Il peut constituer une singularité au même titre qu'une courbure forte. L'indice sédimentaire de cette singularité est établi comme suit :

- de 0 à 25°: pas de singularité
- de 25 à 50 : singularité moyenne
- au delà de 50 : singularité forte.

Ouvrages dans le lit mineur

La présence d'une ou plusieurs piles dans le lit mineur du bras secondaire entraîne une réduction de section qui est considérée comme une singularité forte. La présence de piles de pont dans le lit mineur aura un impact complexe sur le profil du fond. La tendance est à la

sédimentation juste en amont, une fosse aura tendance à se former sous le pont sous l'effet de l'accélération de l'eau, et les sédiments arrachés sur cette zone se déposent ensuite plus loin, en aval, soit sous forme d'un atterrissement étendu, soit selon une courbe oscillatoire.

Réductions et élargissements de la section

Ces perturbations de la largeur au miroir ont un impact sur le dépôt des MES. La prise en compte de la réduction brutale de la section peut paraître redondante avec l'analyse de la section contraignante menée dans la première partie cependant, ce n'est pas le même phénomène qui est mis en avant ici. La première partie a pour objectif de mettre en avant la tendance généralisée du bras à la sédimentation par obstruction des écoulements par l'aval. Ici, on considère les effets de la réduction ou de l'élargissement de section comme ayant des conséquences au niveau du tronçon lui-même.

➤ Une **réduction** de la section provoque l'accélération des écoulements qui sont concentrés dans une section plus réduite. Cette augmentation de capacité de charge (ou puissance hydraulique) liée à la vitesse tend à se dissiper. Progressivement le fond du chenal se creuse afin de rétablir une section de surface équivalente à celle du tronçon qui la précède.

	pourcentage de réduction	impact
Tosny	7	pas d'impact
Connelles	29	pas d'impact
Venables	39	léger impact érosif
Tosny	55	impact érosif
Tosny	54	impact érosif

Tableau 10: Pourcentage de réduction de section et impact bathymétrique local.

-les réductions de section de inférieures à 30% n'ont pas d'impact. Il s'agit de phénomènes d'auto curage, c'est-à-dire que les vitesses dans la section réduite s'opposent à la tendance sédimentaire attribuable à l'ensemble de la Seine. Ces réductions ne seront pas considérées comme singularité.

-les réductions de section supérieures à 30% montrent des abaissments de la ligne de fond, ces conditions sont qualifiées **d’anti-sédimentaires**. Ces réductions seront comptabilisées comme singularité anti sédimentation.

➤ Les **élargissements** de section provoquent la chute des vitesses et des MES. L’étude de la bathymétrie montre pour plusieurs cas les comportements résumés dans le tableau suivant.

	pourcentage d'élargissement	impact
Ile du Roule	18	non significatif
Connelles	22	impact faible
Pressagny-l'orgueilleux	24	atterrissement de 50cm
Connelles	29	impact faible
Pressagny-l'orgueilleux	35	atterrissement d'1.5m
Ile du Roule	40	atterrissement d'1m
Connelles	43	atterrissement de 2 à 3 m sur 150m
Connelles	47	atterrissement marqué

Tableau 11: Pourcentage d'élargissement et impact bathymétrique local.

Les résultats montrent une bonne corrélation entre le pourcentage de réduction et l’atterrissement qui lui est lié. Les classes suivantes sont déterminées :

- les réductions inférieures à 20% ne seront pas prises en compte,
- entre 20 et 30%, la singularité est qualifiée de moyenne,
- au delà de 30% de réduction de largeur, la singularité est qualifiée de forte.

Atterrissements localisés

Les atterrissements identifiés sur le guide de la navigation sont représentatifs d’une tendance sédimentaire déjà établie. En Ile de France, dans plusieurs cas, ces atterrissements sont localisés dans des élargissements ou des convexités, dans ces cas, ils sont souvent stables d’après comparaison des bathymétries de 1980 et 2004 (M. DEVIERS). Dans le secteur Haute Normandie, deux bras présentent des atterrissements importants : le bras de l’Ile Hébert et la

bras de l'Ile du Roule. Cependant, les données bathymétriques sont insuffisantes pour observer l'évolution ou la stabilité des bancs de convexité.

Calcul d'un indice « singularités »

L'ensemble des singularités recensées doit être compilées pour permettre leur intégration au futur indice global de potentiel sédimentaire. Le choix arbitraire suivant a été fait car il nous semblait conserver la valeur relative des singularités :

- les singularités fortes pro-sédimentation se voient affecter un coefficient 2,
- les singularités moyennes pro-sédimentation, un coefficient 1,
- les singularités anti-sédimentation, un coefficient -1.

Le total de cet indice varie de 0 à 12. L'impact des singularité est considéré comme

- faible pour un indice de 0 à 3 ;
- moyen pour un indice de 4 à 7 ;
- important pour un indice de 8 à 12.

4.2. Résultats

BRAS	INVENTAIRE DES SINGULARITES										calcul de l'indice singularités				
	courbure		angle insert	ouvrage	réduction de la section		élargissement		atterrissements	connexion	nb sing	nb sing F(*2)	nb sing moy (*1)	nb sing erosi (-)	indice synthèse
	courbe (concave/convexe)	présence de virages marqués			largeur	%	largeur	%							
Ile Hébert	1.281	le bras entier est assimilable à un virage marqué	26	non	30 à 17	44	17 à 30	44	atterrissement dans toute la deuxième moitié		6	4	1	1	8
Ile Saint Pierre	1.072		61	non	30 à 25	17			non		2	1	1	0	3
Pressagny-l'orgueilleux	1.032	à la pointe aval de la première ile	23	non	77 à 40	48	37 à 49	24	non	oui	4	2	1	1	4
					95 à 68	28	68 à 105	35							
Ile du Roule	1.127		43	non	79 à 54	32	65 à 79	18	oui, le long de la digue immergée en aval		5	3	1	1	6
							54 à 90	40							
Tosny	1.023		37	non	83 à 37	55	57 à 72	21	non		4	0	2	2	0
					72 à 33	54									
					47 à 44	7									
Ile Motelle	1.028		12	non	68 à 50	27	50 à 78	36	non		1	1	0	1	2
Ile du Port	1.087		29	non	154 à 111	28	111 à 175	37	non		3	2	0	1	3
Venables	1.123		20	non	211 à 130	39	141 à 211	34	non	oui	5	2	1	2	3
					104 à 62	40	62 à 80	22							
Andé	1.115	virage dans le dernier quart	10	pont à trois piles au metre 180 du bras	210 à 177	16			non	oui	3	3	0	0	6
					140 à 122	13									
					85 à 80	6									
Port-Pinché	1.070		42	non	80 à 58	28	58 à 83	30	non		3	1	2	0	4

BRAS	INVENTAIRE DES SINGULARITES										calcul de l'indice singularités				
	courbure		angle insert	ouvrage	réduction de la section		élargissement		atterrissements	connexion	nb sing	nb sing F(*2)	nb sing moy (*1)	nb sing erosi (-)	indice synthèse
	courbe (concave/convexe)	présence de virages marqués			largeur	%	largeur	%							
Pampou	1.043		43	non	93 à 45	52			non		2	0	1	1	0
Connelles	1.029	3 virages	31	non	70 à 50	29	40 à 70	43	non		9	5	3	1	12
					93 à 55	41	50 à 93	47							
							55 à 70	22							
							45 à 63	29							
Ile de la Motelle (Cnl)	1.110	virage d'entrée du bras	68	non	50 à 34	32	34 à 44	23	non		5	3	1	1	6
Mesnil de Poses	1.109		55	non	non		non		non	oui	2	2	0	0	4
ile d'Amfreville	1.023		22,5	non	97 à 75	23	75 à 94	21	non		3		2	1	1
					94 à 64	32									

Tableau 12: Inventaire des singularités et calcul de l'indice de singularités.

5. Conditions de hautes eaux

5.1. Choix des paramètres

La variation des conditions hydraulique est à prendre en considération dans l'évaluation de la sédimentation à long terme. L'augmentation du débit en période hivernale et les fortes crues perturbent régulièrement les fonds, ce qui est d'autant plus important que le matériel se déposant sur le fond est constitué de particules fines ($<100\mu\text{m}$) non consolidées (crème de vase).

L'ampleur de la chasse des sédiments sera tributaire du débit circulant dans le bras.

- Le débit entrant est dépendant de l'**angle d'insertion** de bras par rapport au chenal principal ;

- le bon transit de l'eau dans le bras est dépendant de la **courbure relative** (courbure bras secondaire/courbure chenal navigable),

- la sortie de l'eau est surtout dépendante de la **capacité d'accueil**.

Angle d'insertion

A l'inverse des conditions hydrauliques précédentes, les épisodes de hautes eaux présentent des débits et vitesses élevées. Dans ces conditions, le vecteur vitesse impose sa direction à la masse d'eau du chenal principal qui se comporte de façon homogène. Lors de ces événements, l'entrée d'eau sera fortement tributaire de l'angle que fait le bras secondaire avec le chenal navigable.

Le débit en hautes eaux dans le bras secondaire est considérée comme

- fort si l'angle d'insertion est inférieur à 25° ;
- moyen si l'angle est compris entre 25° et 50° ,
- faible si l'angle est supérieur à 50° .

Plus le débit entrant est important, plus le potentiel de chasse des sédiments fins est important. Le débit entrant par les connexions intermédiaires est négligé dans cette analyse.

Courbure relative

Dans les conditions de hautes eaux, les effets des singularités (courbure, obstacles) et de la section contraignante perdent de l'ampleur face aux forces mises en jeu par le débit. Même dans le cas où les singularités causent des ralentissements, les vitesses restent assez élevées pour que les MES ne se déposent pas (vitesse supérieure à 0.3m/s). Le transit de l'eau dans le bras est alors surtout dépendant de la pente. La courbure relative est une expression de la pente relativement à celle du chenal principal. Si le bras secondaire est plus courbe-donc plus long-que le chenal principal, la pente sera plus faible et les conditions d'écoulement moins favorables à la chasse des sédiments.

Le transit de l'eau et surtout l'évacuation des sédiments sont considéré comme :

- importants pour les courbures inférieures à 1, c'est à dire dans le cas où le bras secondaire est plus linéaire que la Seine, cas rencontré uniquement sur la région Ile de France ;
- moyens pour les courbures comprises entre 1 et 1,1 ;
- faibles pour les courbures supérieures à 1.

Capacité d'accueil

En régime fluvial, les conditions aval conditionnent l'écoulement. La possibilité de sortie de la masse d'eau du bras est un paramètre important de l'expression du transit de l'eau dans le bras secondaire. La sortie d'eau est exprimée par le paramètre principal « **capacité d'accueil** » qui est établi par comparaison des largeurs du bras et de la Seine en amont de la confluence avec la largeur en aval de la confluence. Des facteurs secondaires peuvent entrer en compte, il s'agit du différentiel de vitesse chenal principal/bras secondaire et de l'angle de sortie. Ils seront discriminants pour la sortie d'eau si la capacité d'accueil est insuffisante mais ne seront pas traités ici.

Attribution d'un indice « chasse des sédiments »

Les trois paramètres descriptifs ci-dessus sont compilés en un indice « **chasse des sédiments** ». Le schéma suivant résume le mode d'attribution de cet indice. Dans un premier temps, si la capacité d'accueil du chenal principal est limitante, il n'y aura pas de phénomène

de chasse. Dans un second temps, si la vitesse et l'entrée d'eau appartiennent tous les deux aux meilleures classes (courbure inférieure à 1 et angle d'insertion inférieur à 25°), alors la chasse des sédiments est considérée comme bonne. Pour tous les autres cas intermédiaires, la chasse des sédiments est moyenne.

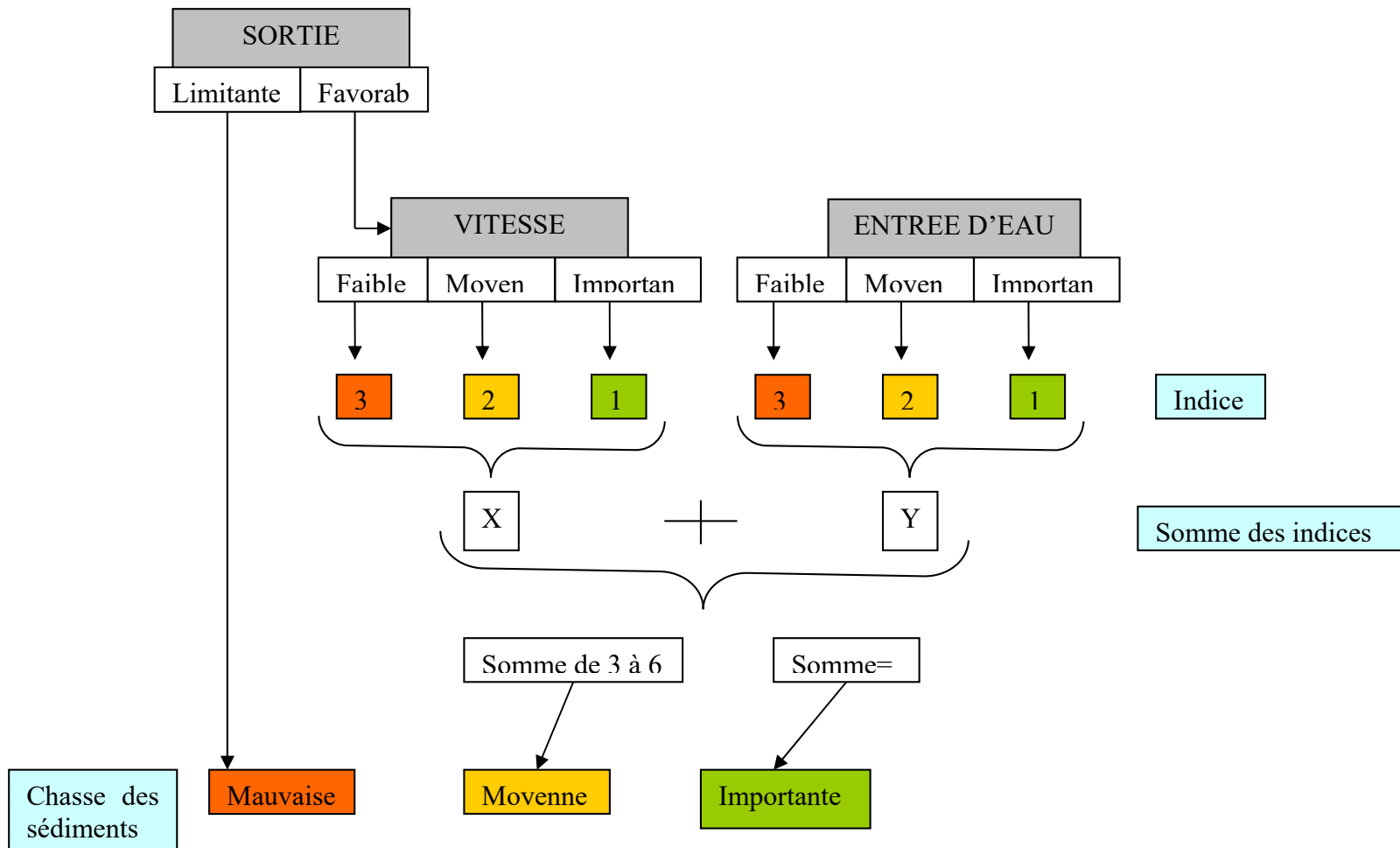


Figure 6: Schéma récapitulatif du mode d'attribution d'un indice "chasse des sédiments en période de hautes eaux".

5.2. Résultats

	CONDITIONS DE HAUTES EAUX							potentiel de chasse des sédiments
BRAS SECONDAIRES	entrée d'eau		transit	sortie de l'eau				
	angle insertion	entrée d'eau/ charge sedim	courbure relative	largeur seine aval	seine+bras secondaire (amont)	ratio amont/aval	tendance à l'accueil du bras ppal	
Bras de l'île Hébert	26	moyenne	1.281	223	251	1.13	non	mauvais
Bras de l'île Saint Pierre	61	faible	1.072	242	236	0.98	oui	moyen
Bras de Pressagny- l'orgueilleux	23	forte	1.032	233	224	0.96	oui	moyen
Bras de l'île du Roule	43	moyenne	1.127	222	212	0.95	oui	moyen
Bras de Tosny	37	moyenne	1.023	196	164	0.84	oui	moyen
Bras de l'île Motelle	12	forte	1.028	243	275	1.13	non	mauvais
Bras de l'île du Port	29	moyenne	1.087	298	283	0.95	oui	moyen
Bras de Venables- Heudebouville	20	forte	1.123	250	219	0.88	oui	moyen
Bras d'Andé	10	forte	1.115	186	213	1.15	non	mauvais
Bras de Port- Pinché	42	moyenne	1.07	188	182	0.97	oui	moyen
Bras de Pampou	43	moyenne	1.043	173	227	1.31	non	mauvais
Bras de Connelles	31	moyenne	1.029	178	201	1.13	non	mauvais
Bras de l'île de la Motelle (Cnl)	68	faible	1.11	61	73	1.20	non	mauvais
Bras du Mesnil de Poses	55	faible	1.109	108	158	1.46	non	mauvais
Bras de l'île d'Amfreville	22.5	forte	1.023	208	170	0.82	oui	moyen

Tableau 13: Détermination d'un potentiel de chasse.

Les résultats montrent qu'aucun bras de la région Haute Normandie ne présente de bon potentiel de chasse des sédiments. En effet, les courbures relatives sont toujours supérieures à 1, ce qui implique que les vitesses dans les bras secondaires restent toujours inférieures à celles du chenal navigable.

6. Croisement des indices intermédiaires

Trois approches ont été menées sur les bras afin de cerner tous les facteurs entrant en jeu dans la sédimentation :

- la **tendance générale**, dépendante de la section la plus contraignante,
- la présence de **singularités**, qui représentent des perturbations locales, mais qui, si elles sont importantes en nombre, constituent autant de pièges à sédiments,
- la possibilité de **chasse périodique** des sédiments accumulés.

En définitive, ces indices intermédiaires doivent être rassemblés afin de dégager un pronostique simple de comportement sédimentaire. Le schéma ci-dessous présente la démarche de synthèse des trois paramètres. La démarche théorique présentée est assez détaillée, mais le pronostique final qui est présenté regroupera les classes de même couleur.

La tendance générale impose un niveau sédimentaire de base symbolisé par une couleur. A ce critère se greffe le paramètre « singularités ». Les singularités n'influencent pas la caractéristique générale d'envasement mais constituent des sites de sédimentations qui sont représentés par une étoile orange si l'indice singularité est moyen, ou une étoile rouge si l'indice singularité est important. En dernier lieu, l'influence de la chasse périodique des sédiments est considérée :

L'exemple de la démarche dans le cas de la sédimentation généralisée faible est présenté :

- sédimentation généralisée faible +chasse importante = érosion
- sédimentation généralisée faible + chasse moyenne = auto curage

- sédimentation généralisée faible + pas de chasse = envasement léger du bras.

Dans un contexte sédimentaire assez faible dans le bras (mai non nul), la présence de singularités se traduit par des atterrissements.

- une chasse importante aura raison de la sédimentation sur tous les types de singularités = disparition des étoiles orange et rouges ;

- une chasse moyenne fera disparaître les atterrissements des singularités moyennes = disparition des étoiles oranges ; mais les singularités fortes conserveront peut être une part du matériel sédimentaire accumulé = l'indice singularité diminue de rouge à orange ;

- une chasse négligeable laisse les atterrissements persister (atterrissements qui évoluent à long terme vers la sédimentation étant donné le contexte général de la Seine) = les étoiles sont conservées.

Attention, lorsque la sédimentation est qualifiée de faible, elle est équivalente à la sédimentation moyenne de la Seine.

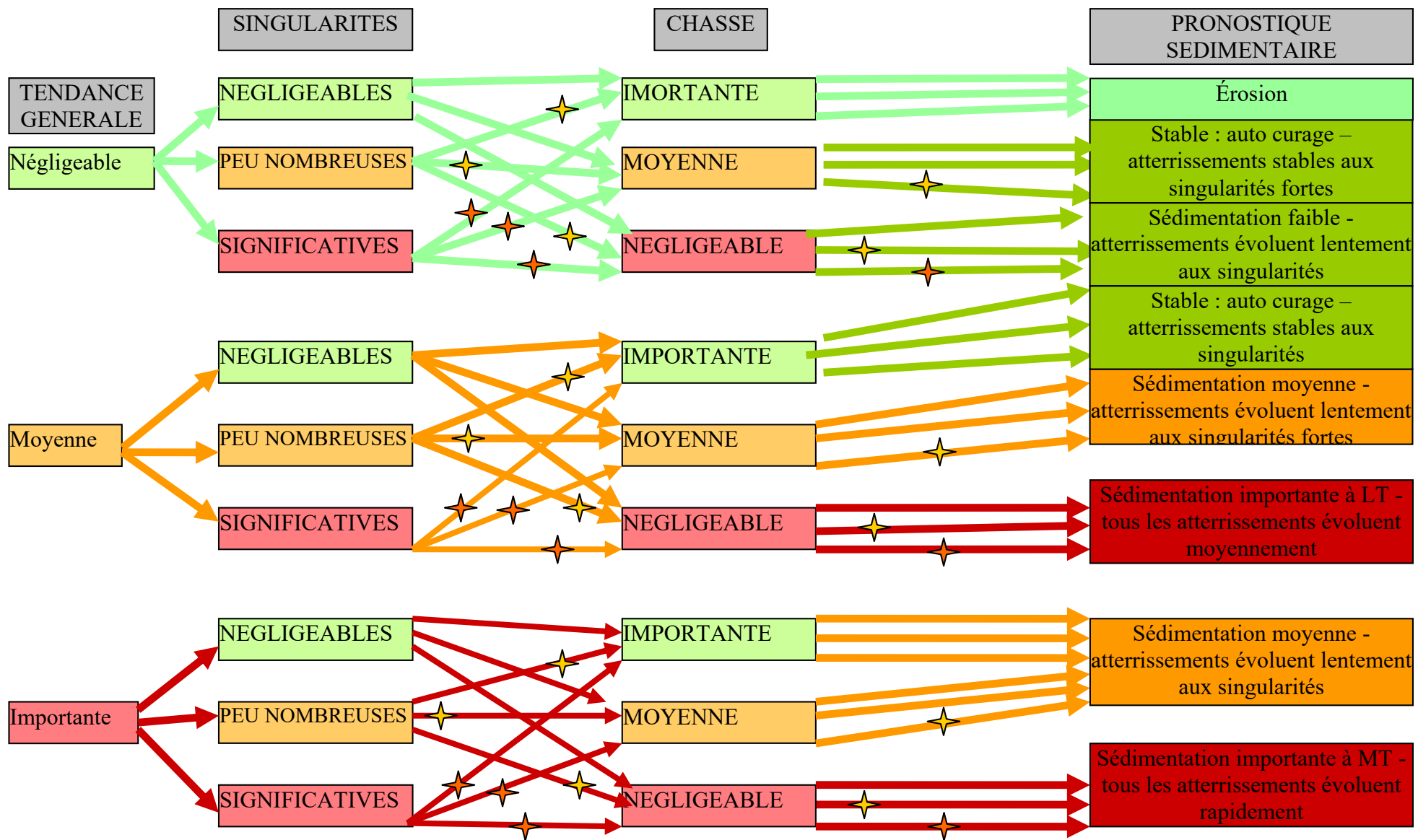


Figure 7: Schema récapitulatif de l'attribution d'un indice global de sédimentation.

7. Résultats finaux

Le tableau ci-dessous présente la synthèse des trois indices, le pronostique sédimentaire et dans quelques cas, la validation par la bathymétrie.

	PRONOSTIQUE SEDIMENTAIRE ET DIAGNOSTIC BATHYMETRIQUE				
	tendance globale	singularité	potentiel de chasse des sédiments	pronostique sédimentaire	diagnostic bathymétrique
Bras de l'île Hébert	fort	8	mauvais	sédimentation importante à LT - singularités évoluent rapidement	
Bras de l'île Saint Pierre	faible	3	moyen	auto curage général et aux singularités	
Bras de Pressagny-l'orgueilleux	moyen	4	moyen	sédimentation moyenne - singularités fortes évoluent lentement	
Bras de l'île du Roule	moyen	6	moyen	sédimentation moyenne - singularités fortes évoluent lentement	
Bras de Tosny	fort	0	moyen	sédimentation moyenne - singularités évoluent lentement	8cm
Bras de l'île Motelle	moyen	2	mauvais	sédimentation importante à LT - singularités évoluent moyennement	16cm
Bras de l'île du Port	moyen	3	moyen	sédimentation moyenne - singularités fortes évoluent lentement	
Bras de Venables-Heudebouville	moyen	3	moyen	sédimentation moyenne - singularités fortes évoluent lentement	
Bras d'Andé	faible	6	mauvais	sédimentation faible - atterrissements évoluent lentement	
Bras de Port-Pinché	moyen	4	moyen	sédimentation moyenne - atterrissements évoluent lentement aux singularités fortes	
Bras de Pampou	fort	0	mauvais	sédimentation importante à MT - atterrissements évoluent rapidement	26cm
Bras de Connelles	faible	12	mauvais	sédimentation faible - atterrissements évoluent lentement	moins de 5 cm
Bras de l'île de la Motelle (Cnl)	fort	6	mauvais	sédimentation importante à MT - singularités évoluent rapidement	20cm
Bras du Mesnil de Poses	faible	4	mauvais	sédimentation faible - atterrissements évoluent lentement	
Bras de l'île d'Amfreville	moyen	1	moyen	sédimentation moyenne - atterrissements évoluent lentement aux singularités fortes	33 cm

Tableau 14: Pronostique sédimentaire et évolution es profils bathymétriques

L'analyse de la bathymétrie confirme les pronostiques établis par la typologie.

-pronostique de sédimentation importante : île Hébert, Pampou, mes deux îles de la Motelle, vérification pour Pampou : 26cm de moyenne sur l'ensemble du profile en long.

-pronostique de sédimentation moyenne : Pressagny-l'orgueilleux, île du Roule, Tosny, île du Port, Venables –heudebouville, Port-pinché, Amfreville. Vérification pour Tosny : 7,6 cm en moyenne.

-pronostique de sédimentation faible : île Saint Pierre, Andé, Connelles, Mesnil de Poses. Vérification sur Connelles : inférieur à 5 cm.

Cas particulier :

Le bras d'Amfreville

La typologie prédit un comportement sédimentaire moyen, alors que la comparaison des bathymétries indique plus de 30 cm d'atterrissements. La position de ce bras vis à vis du barrage aurait pu être un facteur explicatif. Les profondeurs importantes sont un facteur de diminution du courant, et donc favorables au dépôt des particules. Cependant, l'analyse des bathymétries du bras du Mesnil de Poses situé dans la même zone ne montre pas la même tendance. Ce cas particulier reste inexpliqué.

8. Discussion

L'approche typologique est un outil de classification des bras secondaires de la Seine, dans le but de pouvoir prédire le comportement sédimentaire des tronçons analysés. On tiendra compte des aspects généraux (courbure du bras, élargissement de la section), des aspects ponctuels (ouvrages dans le lit mineur du bras, atterrissement...), et des composantes perturbatrices : les épisodes de hautes eaux.

8.1. Représentativité de la typologie

Trois classes pour représenter l'ensemble des comportements

Dans un souci de simplification de la lecture de ces données morphométriques, seules **trois classes** ont été créées pour chacun des paramètres. Il en résulte une certaine approximation. Cependant, les résultats montrés par l'analyse bathymétrique montrent que d'avantage de précision n'aurait pas été nécessaire.

L'état d'équilibre

Il aurait été possible de rencontrer des cas où malgré un pronostique de forte sédimentation, la tendance ne soit pas vérifiée par la comparaison des bathymétries de 1980 et 2004. En effet, certains bras auraient pu atteindre leur **état d'équilibre**. L'état d'équilibre du bras est atteint lorsque les sections présentent approximativement les mêmes surfaces. La morphologie du bras s'adapte aux puissances hydrauliques mises en jeu, ainsi une section qui présente une largeur au miroir importante ira souvent de pair avec une profondeur moindre. Ainsi, l'eau circule avec des forces de cisaillement minimales et les phénomènes de sédimentation ne pallient pas les réductions de vitesse. Dans le cadre de la typologie, le pronostique de sédimentation forte n'implique pas la sédimentation jusqu'à l'état de comblement.

Dans les cas vérifiés, les pronostiques de sédimentation moyenne ou forte ont été mis en évidence. Aucun de ces bras n'a donc atteint son équilibre. Les berges et le fond sont encore dans une phase d'adaptation au débit. Il est vraisemblable que l'évolution observée soit la conséquence d'un transport solide (même sous forme de particules fines) en expansion. D'un autre côté, il est possible que la période hydrologique observée présente des faibles débits, ce qui irait en faveur de phénomènes de chasse de faible ampleur, de l'énergie hydraulique et une capacité de transport saturée réduite, et donc en faveur de la sédimentation.

Les singularités

La présence de **singularités**, est difficile à prendre en compte car c'est un facteur bivalent. D'une part, ces perturbations ont une influence locale (atterrissement, fosse de dissipation, bancs de convexité...), mais d'autre part, si elles sont importantes en nombre, constituent autant de pièges à sédiments qui peuvent aboutir à une tendance généralisée. Cependant, ce cas n'a pas été rencontré. La prise en compte des singularités aurait pu être accompagnée de l'étendue de la zone d'influence.

8.2. Résultat d'Ile de France et de Haute Normandie

Les ordres de grandeur sont très différents entre les différents biefs. En Haute Normandie, seuls des bras du bief de Poses ont été traités finement. Le bief de Poses présente des

exhaussements de 0 à 35 cm. En Ile de France, les exhaussements peuvent atteindre plusieurs mètres. Différentes hypothèses sont exposées mais n'ont pas pu être validées :

- la pratique qui consistait il y a quelques années à déposer les produits de dragage sur les îles dans la région Ile de France a pu prodiguer le matériel sédimenté aujourd'hui dans les bras secondaires de cette région,
- la pédologie des tronçons est plus ou moins sensible à l'érosion,
- la présence de rejets dans les biefs notamment au niveau de la station d'épuration d'Achères, la situation à l'aval de Paris ou encore de l'Oise produit un apport important de particules fines.

8.3. Perturbations anthropiques

Les perturbations anthropiques n'ont pas été exposées dans la typologie. Les **rejets** sont le plus souvent situés dans le chenal principal et non dans les bras secondaires. Cependant, des rejets importants pourraient avoir un impact sur toute la largeur du chenal et sur plusieurs Km en aval. La concentration maximale observée à Poses est de 300mg/l (PIREN Seine, 1995b), alors que des concentrations de 1700mg/L ont été relevées face à des rejets urbains de temps de pluie (Saget *et al.*, 1993). Devant de tels déséquilibres, la localisation des rejets aurait pu apporter des explications sur des phénomènes locaux inexplicables.). De même, les effets de la station d'épuration d'Achères (Ile de France), se font ressentir sur les bras secondaires de la Garenne ou d'Andresy (Martin, 2001).

La situation des bras par rapport au **barrage** n'a pas été traitée en détail. En période de basses eaux, lorsque les barrages sont en fonctionnement, la profondeur augmente dans le bief à mesure qu'on se rapproche du barrage. Les vitesses sont irrégulières dans cette zone, et dépendante des éclusées. Les phénomènes mis en jeu sont donc complexes, même si généralement, la tendance est au dépôt de fines en amont du barrage (Etude de l'Agence de l'Eau n°65, 1999). En amont du barrage de Poses, aucune tendance particulière n'a été relevée puisque le bras d'Amfreville et celui du Mesnil de Poses ne présentent pas les mêmes évolutions des profils en long. Le bras d'Amfreville sédimente relativement fortement alors qu'il est naviguée et parcouru par de forts courants en période de hautes eaux (il génère des courants traversiers qui perturbent la navigation). Le Mesnil de Poses ne sédimente pas dans de telles proportions.

CHAPITRE 5/MODELLISATION DE L'IMPACT DE LA SEDIMENTATION SUR LES CRUES

Une modélisation hydraulique a été menée afin d'estimer l'impact de différents scénarios d'envasement sur la hauteur d'eau lors de crues.

1. Choix des bras modélisés.

Dans un premier temps, deux bras de notre choix ont été modélisés, l'un en Ile de France et l'autre en Haute Normandie. Le premier, à forte tendance d'envasement, a été choisi pour le tronçon Ile de France. Ce rapport présentera la modélisation d'un bras à tendance moyenne d'envasement localisé en Haute Normandie. Le choix de ce bras s'est fait d'une part pour sa tendance à la sédimentation, et d'autre part en fonction du temps disponible sur le terrain, il n'était pas possible de réaliser les profils en travers sur un second bras très long.

D'autres bras seront modélisés suite à ce stage, le choix des bras se fera aussi en fonction des enjeux locaux. Certains secteurs se voient attribuer une demande forte d'étude sédimentaire car ils sont localisés en zone fortement urbanisée.

2. Données

Une campagne de bathymétrie a été menée par nos soins sur une durée de trois jours afin de disposer des profils en travers des bras secondaires.

Le **niveau d'eau** amont et aval du bras ont été mesurés par cheminement au geodimètre robotisé (théodolithe Trimble 5600 et ATS) sur la rive gauche de la Seine, à la hauteur de l'île du Roule. Les côtes obtenues sont de 8,62m à l'amont et 8,53m à l'aval, soit une pente de 9cm sur un linéaire de 1,6 Km environ. Pour les profils en travers du bras, la profondeur indiquée par le relevé bathymétrique sera ajustée avec la cote de l'eau.

6 profils en travers sont réalisés aux points de variation de section par un sondeur vertical bifrèquence (ODOM ecotrac MK3) selon un cheminement rive gauche-rive droite-rive gauche. La localisation de chaque profil est repérée au GPS (Magellan Sport trachmap) à proximité de chaque rive. La cote du fond est ensuite déterminée par la moyenne des deux cheminements (annexe 17).

Les données bathymétriques pour le chenal principal sont extraites d'un Scan de points fourni par le SNS. Les profils sont choisis préalablement sur Scan 25, pour chaque profil, je relève environ 15 coordonnées planimétriques X et Y exprimées en Lambert I Nord, puis je relève la cote du fond (IGN 69) dans le Scan de points. Le problème d'ajustement à la cote de l'eau ne se pose pas car les données sont exprimées en IGN 69.

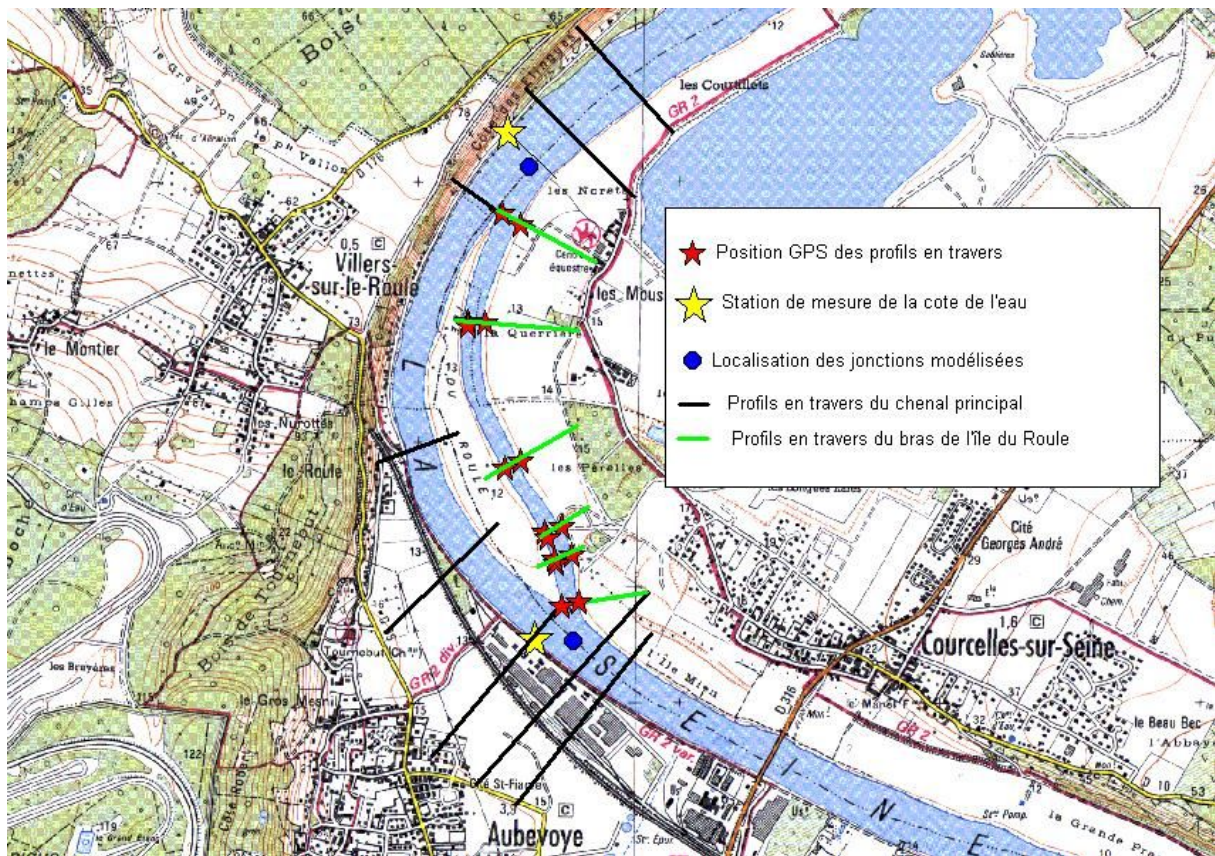


Figure 8: Localisation des profils en travers, des jonctions et stations de mesure.

3. Modélisation

3.1. Le modèle 1D maillé

Principe

Le bras secondaire et le chenal principal sont représentés dans le modèle. Le logiciel HEC RAS prend en compte les jonctions des différents biefs. Le modèle est donc composé de 3 biefs dans le chenal principal, 1 bief dans le bras secondaire et 2 jonctions.

Les crues

Les crues choisies pour la modélisation sont les crues de 1910 et 1982. La première est une crue centennale de débit $3150\text{m}^3/\text{s}$ à Poses, la seconde est une crue décennale qui a atteint un débit de $2000\text{m}^3/\text{s}$ à Poses. Ce choix a été fait par le SNS.

Scénarios

Pour chacune des deux crues, on réalisera trois scénarios :

- situation actuelle,
- scénario de curage à la cote 3m,
- scénario d'envasement à la cote 6m.

Calage du modèle

Le modèle 1D maillé doit être calé en tenant compte des différents biefs. Une première étape consiste à répartir le débit de la crue dans les deux biefs tout en faisant varier les coefficients de Manning. Une fois ces coefficients déterminés pour une crue, il faudra réajuster les débits lors des différents scénarii.

D'après une étude récente réalisée par HYDRATEC (2004), le lit de la Seine présente les coefficients de Manning suivants :

- de 0,029 à 0,022 pour le chenal navigué,
- de 0,04 à 0,029 pour le lit non navigué,

- de 0,14 à 0,066 pour le lit majeur.

Les ajustements du calage resteront dans ces différentes fourchettes.

Les coefficients de Manning et la répartition des débits selon les différents scénarios sont présentés en annexe 18.

3.2. Résultats

L'impact des différents scénarios est observé à l'amont car il s'agit d'un écoulement fluvial. Les résultats sont indiqués au niveau du profil amont, 360m avant la pointe de l'île.

	crue de 1910			crue de 1982		
	situation actuelle	entretien à la cote 3m	sédimentation à la cote 6m	situation actuelle	entretien à la cote 3m	sédimentation à la cote 6m
cote de l'eau à l'amont	14.36	14.31	14.37	13.10	13.04	13.12

Tableau 15: Impact du bras secondaire sur la crue.

Le curage du bras à la cote 3m implique un abaissement de la ligne d'eau à l'amont : 5cm pour la crue de 1910 et 6cm pour la crue de 1982. En cas de forte sédimentation, jusqu'à la cote 6m, l'impact est plus réduit avec une augmentation de la ligne d'eau à l'amont de 1cm pour la crue de 1910 et 2cm pour la crue de 1982. Les résultats plus nuancés dans le cas de la crue la plus forte sont conformes à nos attentes. En effet, la contribution du lit mineur devient négligeables à mesure que le débit de crue augmente.

En définitive, l'envasement du bras de l'île du Roule ne porte pas préjudice aux riverains en cas de crue. Dans ce secteur, peu d'habitations sont soumises au risque d'inondation en crue centennale. Le curage du bras à la cote 3m présente un abaissement de la ligne d'eau qui n'est pas négligeable. Cependant, la tendance de comblement de la section curée est importante car le bras évolue vers un état d'équilibre qui est proche de celui d'aujourd'hui. Malgré l'impact positif du curage, la faible vulnérabilité de cette zone et la probabilité qu'une crue survienne jouent en la défaveur d'une décision de curage du bras de l'île du Roule.

CHAPITRE 6/DISCUSSION GENERALE

La première partie de ce stage établi un diagnostic écologique de la Seine aval. L'accent a été mis sur la méconnaissance du linéaire de la Seine. Malgré le caractère anthropisé de la Seine, les associations (AREHN, CSN, GONm) contribuent à dynamiser la gestion des milieux naturels et portent à la connaissance du public des sites patrimoniaux, à forte diversité. L'approche plus fine des annexes hydrauliques montre aussi un potentiel qu'il est important de ne pas négliger. Dans l'état de perturbation de la Seine, il me semble important de valoriser ces annexes, derniers reliquats de zones humides dans un environnement domestiqué.

Une autre particularité des ces bras secondaire est leur tendance à l'envasement. Malgré les épisodes de crues et de hautes eaux, les particules fines déposées s'accumulent dans certains bras. Ce comportement, de faible ampleur, semble problématique aux collectivités locales. Cependant, la modélisation des crues dans ces bras, en supposant un comblement important, ne présente pas d'impact important sur la hauteur d'eau à l'amont. Le curage des bras montre une amélioration à l'amont. La gestion des bras secondaire par des actions lourdes de curage permet d'obtenir un avantage léger, de l'ordre de 5 cm. Cependant, des actions lourdes de ce type peuvent avoir un impact limité dans le temps car le bras curé aura une forte tendance à retrouver un équilibre entre charge solide et charge liquide, et à se combler rapidement.

CONCLUSION

Ce travail de diagnostic de la Seine aval sur les aspects de l'environnement et de la sédimentation a produit des outils de gestion pour le Service Navigation de la Seine. Cet organisme en tant que gestionnaire principal de la voie d'eau est concerné par la prise en compte des masses d'eau définies par la Directive Cadre Européenne, et par le respect du potentiel écologique de la Seine et de ses bras secondaires. Les contacts avec les acteurs de l'environnement et les visites de terrain ont permis de mettre en avant quelques zones remarquables encore non protégées et une diversité supérieure des invertébrés dans les bras secondaires. Ces considérations sont positives pour la Seine qui, malgré les améliorations de la qualité de l'eau depuis 30 ans, jouit encore d'une mauvaise réputation sur le plan de l'environnement.

Les conclusions apportées par la typologie sédimentaire et la modélisation des crues informent aussi le SNS sur la gestion à mener sur ces bras secondaires. En effet, la demande actuelle des collectivités est au dragage des bras secondaires. Cependant, l'étude montre que les bras s'envasent peu ou pas ; dans le cas de forte sédimentation, l'impact sur la ligne d'eau est négligeable et un dragage important réduit peu le risque d'inondation.

Ces deux axes menés pendant le stage conduisent donc à des conclusions positives. Dans le cadre de la D.C.E., les organismes gestionnaires de la Seine devront prendre en considération de potentialités écologiques qui sont bien présentes sur le linéaire Seine aval. Et d'autre part, le contexte de la décentralisation qui transmet la gestion des bras secondaires aux collectivités, pourra se faire à l'avantage de tous : intérêt écologique valorisable pour les collectivités, sans être lié à des contraintes de gestion importantes.

BIBLIOGRAPHIE

AGENCE DE L'EAU, 1999. Les études de l'agence de l'eau n°65. La gestion des rivières, transport solide et atterrissements. Guide méthodologique : 92p.

AESN-DIRENa, 2003. Etat des lieux du bassin Seine et cours d'eaux côtières normands. Version de travail : 123p.

AESN/DIREN IDF, 2003. La navigation commerciale et de plaisance sur le district Seine et Côtiers normands. Analyse économique pour la caractérisation du district (article 5 de la Directive Cadre). Rapport final : 111p.

AQUASCOPE-Agence de l'Eau Seine Normandie, 1999. Evaluation IBGA en trois stations du cours aval de la Marne : 12p.

BACCHI M., 2000. Structure et dynamique des peuplements macrobenthiques en Loire. Thèse à l'université de Tours.

BACOT M.A., Directrice générale du Port Autonome de Paris, directrice inter Voies Navigables de France et chef du Service Navigation de la Seine, 2003. Colloque « La Seine en partage - à la reconquête des berges de la Seine en Ile de France ».

CARPENTIER S., MOILLERON R., BELTRAN C., HERVE D., THEVENOT D., 2002. Quality of dredged material in the river Seine basin (France). I/ Physico-chemical properties. The Science of the Total Environment, 295 : 101-113.

CETE Normandie Centre, 2003. Rapport d'activité.

CHAMPION, 1984. Le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées : 4p.

DEGOUTTE G., 2002. Morphologie fluviale : un outil pour l'aménageur et le gestionnaire. Transport solide et évolution des formes des cours d'eau. Session de formation permanente de l'ENGREF : 89p.

Guide de navigation fluviale, 1999. La Seine aval du Havre à Paris. Editions Grafocarte, Issy-les-Moulineaux :168p.

HEROUIN E., LITTERIO A., PIEGAY H., PROUST S., RILOT-BRUNO J., BOUDARD C., POLUZOT Ch., 2001. Détermination du fonctionnement hydraulique et typologie hydrologique des lônes du Rhône, rapport final. Cemagref : 41p.

HYDRATEC, 2004. Fonctionnement hydraulique de la Seine aval, gestion coordonnée. Analyse hydraulique du système de gestion : 77p.

MARTIN L., 2001 : Fonctionnement écologique de la Seine à l'aval de la station d'épuration d'Achères : données expérimentales et modélisation bidimensionnelle. Thèse à l'école nationale supérieure des mines de Paris : 279p.

Ministère de l'Environnement, Agences de l'Eau, conseil Supérieur de la Pêche. Indice Biologique Global Normalisé-Guide technique : 69p.

PIREN Seine, 1994. Rapport 1994/1 : les bassins versants ruraux.

PIREN Seine, 1995a. Rapport PIREN Seine « axe fluvial ».

PIREN Seine, 1995b. Résumé d'étude thème axe fluvial, écologie des milieux aquatiques.

Programme Scientifique Seine aval, 2001. Matériaux fins, le cheminement des particules en suspension : 39p.

Réseau Hydrobiologique et Piscicole, 2001. Nos rivières vues par les poissons

ROCHE P.A., Directeur général de l'Agence de l'Eau Seine Normandie, 2003. Colloque « La Seine en partage - à la reconquête des berges de la Seine en Ile de France ».

SAGET A., CHEBBO G., BACHOC A., 1993. Base de données sur la qualité des rejets urbains par temps de pluie. Document de l'Agence de l'Eau.

TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M., USSEGLIO-POLATERA P., 2002. Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie. CNRS Editions : 587p.

Tout en Seine, Février 2004. Journal interne du service navigation de la Seine.

WASSON J.G., 1989. Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes, I/ revue critique de quelques approches existantes. Bull. Ecol. 20,2 : 109-127.

Zone Humide Info n°8, 1995.

ZUMBIEHL R., 1999. Un fleuve dans sa traversée péri-urbaine – Le cas de la Seine aval. Rapport de D.E.A. Géographie et aménagement, Université Paris Sorbonne.

TABLE DES MATIERES

RESUME FRANÇAIS	3
SUMMARY	5
Introduction	5
Context	5
Results	6
Ecologic potential.....	6
Typology of sedimentation.....	8
ABREVIATIONS	10
INTRODUCTION.....	11
CHAPITRE 1/Le LRPC/CETE	12
1. Présentation de l'organisme d'accueil.....	12
1.1. Les Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement.....	12
1.2. Le CETE Normandie Centre	12
1.3. Le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées.....	13
2. Objectifs du stage	13
CHAPITRE 2/ LE BASSIN DE LA SEINE	15
1. Hydrologie.....	15
1.1. Bassin versant.....	15
1.2. Géologie	15
1.3. Pluviométrie	15
1.4. Occupation du sol.....	15
2. Hydraulique.....	16
2.1. Débit	16
2.2. Crues.....	16
2.3. Etiage.....	16
2.4. Transport solide.....	17
3. Usages	20
3.1. Prélèvements	20
3.2. Rejets.....	20
3.3. Navigation	21
4. La Directive Cadre Européenne	21

CHAPITRE 3/POTENTIEL ECOLOGIQUE DE LA SEINE AVAL	23
1. La Seine aval et l'APSI VN	23
1.1. Contexte	23
1.2. Recensement des zones naturelles dans le lit majeur	24
Les zones d'inventaire : ZNIEFF, ZICO.....	24
Les ZNIEFF.....	24
Les ZICO.....	24
Les conventions.....	25
Les protections réglementaires non obligatoires : Natura 2000 et PNR	25
Conclusion.....	26
2. Les bras secondaires : annexes hydrauliques valorisables	27
2.1. Matériel et méthodes	27
Choix des sites.....	27
Choix de la méthode de prélèvement	27
Prélèvements	28
2.2. Résultats	29
Données de terrain.....	29
Analyse faunistique	30
Espèces invasives	31
Analyse de la diversité	31
Robustesse.....	32
Analyse des indices	32
Analyses complémentaires.....	33
2.3. Discussion	33

CHAPITRE 4/ APPROCHE TYPOLOGIQUE DE LA SEDIMENTATION DES BRAS

SECONDAIRES	34
1. Présentation des bras secondaires	34
2. Analyse préliminaire : entrées et sorties d'eau.....	37
3. Tendance sédimentaire globale du bras	39
3.1. Choix des paramètres descriptifs.....	39
3.2. La section contraignante.....	40
3.3. Résultats	42
4. Singularités.....	43
4.1. Types de singularités.....	43
Courbure du bras	43
Virages marqués.....	44
Angle d'insertion.....	44
Ouvrages dans le lit mineur.....	44
Réductions et élargissements de la section	45
Atterrissements localisés	46
Calcul d'un indice « singularités ».....	47
4.2. Résultats	47
5. Conditions de hautes eaux.....	50
5.1. Choix des paramètres	50
Angle d'insertion.....	50
Courbure relative.....	51
Capacité d'accueil	51
Attribution d'un indice « chasse des sédiments »	51

5.2. Résultats	54
6. Croisement des indices intermédiaires	55
7. Résultats finaux	58
Cas particulier :	59
8. Discussion	59
8.1. Représentativité de la typologie	59
Trois classes pour représenter l'ensemble des comportements.....	59
L'état d'équilibre.....	60
Les singularités.....	60
8.2. Résultat d'Ile de France et de Haute Normandie	60
8.3. Perturbations anthropiques	61
 CHAPITRE 5/MODELLISATION DE L'IMPACT DE LA SEDIMENTATION SUR LES CRUES	62
1. Choix des bras modélisés.	62
2. Données	62
3. Modélisation.....	64
3.1. Le modèle 1D maillé	64
Principe.....	64
Les crues.....	64
Scénarios	64
Calage du modèle	64
3.2. Résultats	65
 CHAPITRE 6/DISCUSSION GENERALE.....	66
 CONCLUSION	67
 BIBLIOGRAPHIE	68
 TABLE DES MATIERES	71
 LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	74
 ANNEXES	75

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1: Domaines d'activité du CETE Normandie Centre, rapport d'activité 2003.....	12
Figure 2: Production et transfert des matières en suspension dans le bassin Seine Normandie, AESN-DIREN, 2003a.	18
Figure 3: La corbicule et l'écrevisse américaine, deux espèces invasives.	31
Figure 4: Exemple de la mesure des angles d 'insertion sur le bras de Pressagny-l'orgueilleux.	34
Figure 5: Evolution des îles dans le secteur de Vernon, cas de l'île Hébert.....	43
Figure 6: Schéma récapitulatif du mode d'attribution d'un indice "chasse des sédiments en période de hautes eaux".....	53
Figure 7: Schema récapitulatif de l'attribution d'un indice global de sédimentation.	57
Figure 8: Localisation des profils en travers, des jonctions et stations de mesure.....	63
Tableau 1: Caractéristiques générales des fleuves français, Programme Scientifique Seine - Aval, 2001.	19
Tableau 2: Grille de prélèvements substrat/vitesse établie pour la Seine aval.....	28
Tableau 3: Comparaison des peuplements d'invertébrés du chenal principal et du bras de l'île du Roule.	30
Tableau 4: Comparaison des densités de chironomes dans le chenal principal et dans le bras de l'île du Roule.	31
Tableau 5: Synthèse des indices représentatifs du peuplement du chenal principal et du bras de l'île du Roule.	32
Tableau 6: Caractéristiques générales des bras secondaires de Haute Normandie.	35
Tableau 7: entrées et sorties d'eau, pronostique d'une tendance sédimentaire.	38
Tableau 8: Réduction de section et impact observé à l'amont sur la bathymétrie de 1980.	41
Tableau 9: Tendance sédimentaire globale.	42
Tableau 10: Pourcentage de réduction de section et impact bathymétrique local.	45
Tableau 11: Pourcentage d'élargissement et impact bathymétrique local.....	46
Tableau 12: Inventaire des singularités et calcul de l'indice de singularités.....	49
Tableau 13: Détermination d'un potentiel de chasse.	54
Tableau 14: Pronostique sédimentaire et évolution es profils bathymétriques	58
Tableau 15: Impact du bras secondaire sur la crue.	65

ANNEXES

ANNEXE 1 : Les affluents de la Seine

ANNEXE 2 : Carte de la géologie

ANNEXE 3 : Carte des précipitations

ANNEXE 4 : Occupation du sol

ANNEXE 5: Commissions géographiques de la DCE

ANNEXE 6 : Masses d'eau

ANNEXE 7: Etat d'avancement des SAGEs sur le bassin Seine – Normandie

ANNEXE 8 : Liste des personnes ou organismes contactés pour l'étude environnement de l'APSI Seine aval.

ANNEXE 9 : Carte simplifiée de la Seine aval, secteur Haute Normandie.

ANNEXE 10 : Carte des ZNIEFF I en relation avec le fleuve, région Haute Normandie

ANNEXE 11 : Carte des ZNIEFF II en relation avec le fleuve, région Haute Normandie

ANNEXE 12 : Lacs de la boucle de Poses.

ANNEXE 13 : Carte de synthèse des zones naturelles en relation avec la Seine.

ANNEXE 14 : Grille de prélèvement substrat/vitesses

ANNEXE 15 : Résultats détaillés des invertébrés.

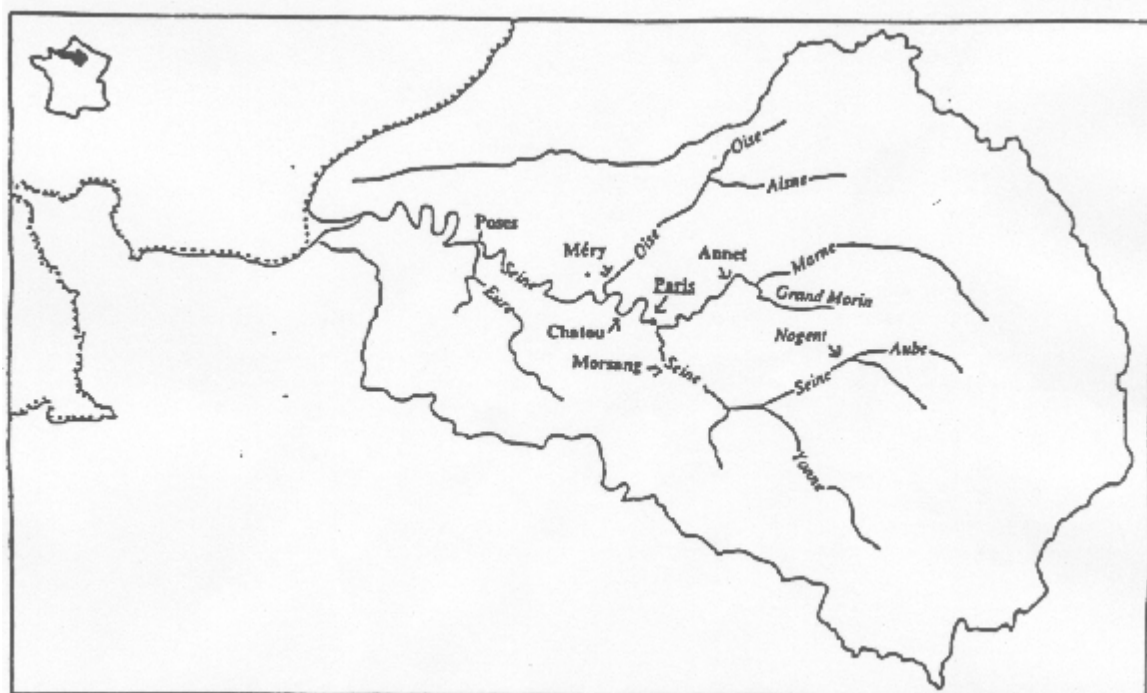
ANNEXE 16 : Extraits des cartes de Cassini de la région de Rouen et la région de Mantes.

ANNEXE 17 : Exploitation des profils en travers du bras de l'île du Roule.

ANNEXE 18 : Résultats du calage du modèle hydraulique.

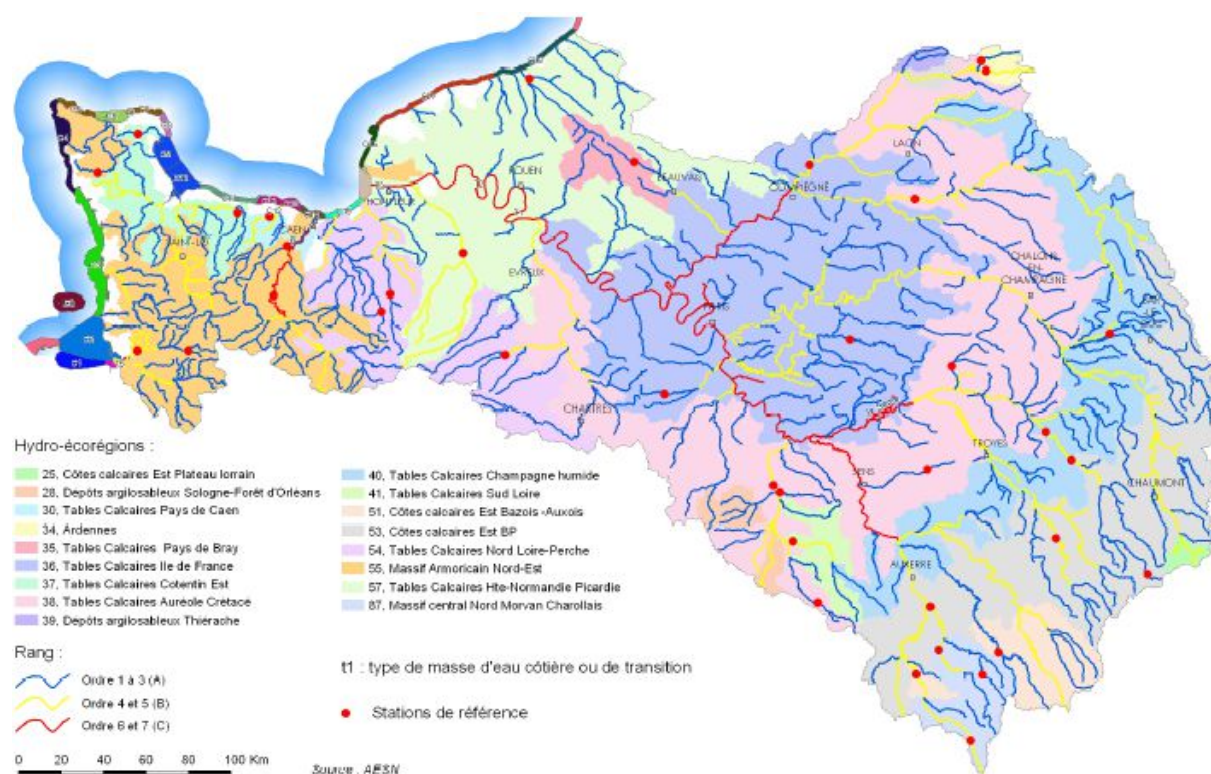
ANNEXE 1 : Les affluents de la Seine

- La Marne : 525 km
- L'Oise
- L'Aube : 248 km
- L'Yonne : 293 km
- L'Eure: 225 km
- Le Loing
- L'Essonne
- L'Andelle
- La Risle



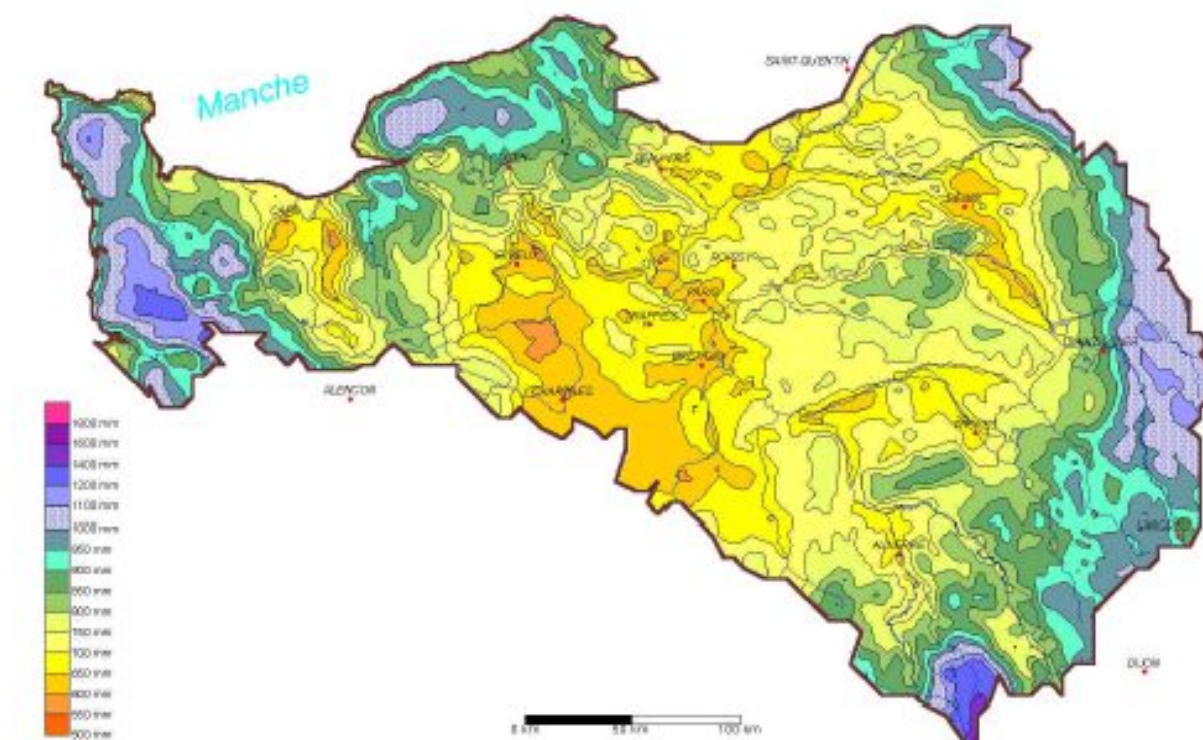
Source : PIREN Seine, 1995b.

ANNEXE 2 : Carte de la géologie



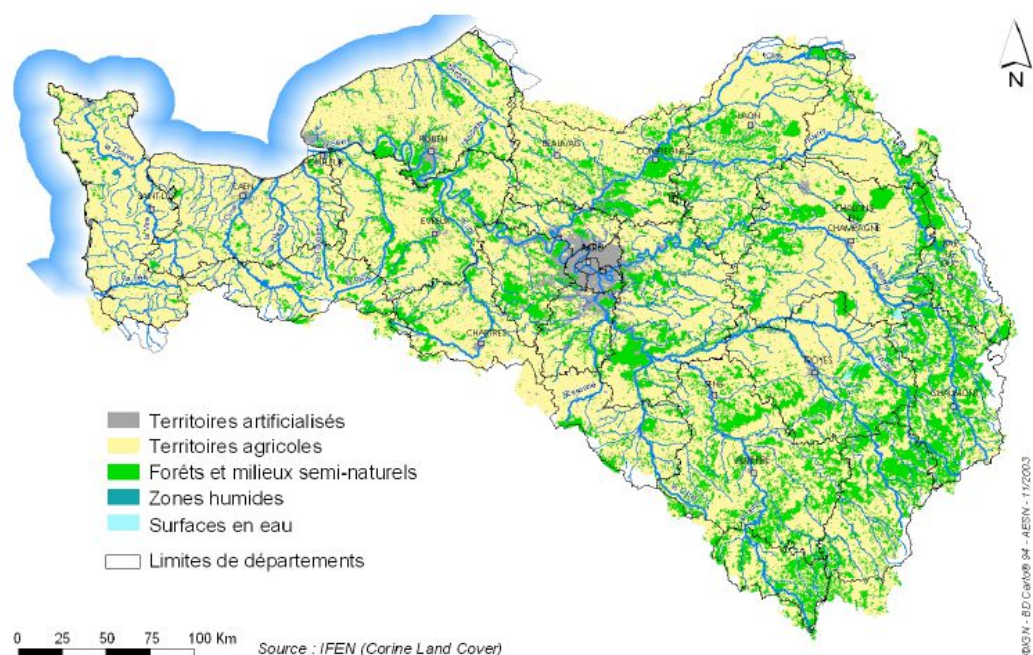
Source : AESN-DIRENa, Etat des lieux du bassin Seine et cours d'eaux normands.

ANNEXE 3 : Carte des précipitations



Source : AESN-DIRENa, Etat des lieux du bassin Seine et cours d'eaux normands.

ANNEXE 4 : Occupation du sol



Source : AESN-DIRENa, Etat des lieux du bassin Seine et cours d'eaux normands.

ANNEXE 5: Commissions géographiques de la DCE

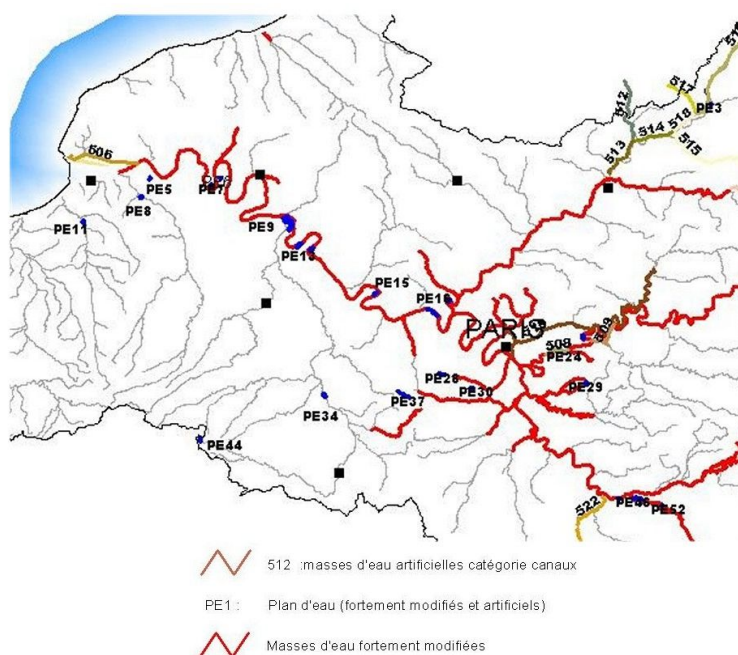
PERIMETRE D'ACTION DES COMMISSIONS GEOGRAPHIQUES DU BASSIN SEINE-NORMANDIE



Source : AESN-DIRENa, Etat des lieux du bassin Seine et cours d'eaux normands.

Remarque : la désignation Seine aval des commissions géographiques de la DCE n'est pas la même que celle du cadre de l'APSI.

ANNEXE 6 : Masses d'eau



ANNEXE 7: Etat d'avancement des SAGEs sur le bassin Seine – Normandie



Source : APSI Seine aval, CETE Nord Picardie

Aucun SAGE n'est actuellement applicable sur l'itinéraire Seine aval et aucun SAGE n'est en cours d'élaboration.

ANNEXE 8 : Liste des personnes ou organismes contactés pour l'étude environnement de l'APSI Seine aval.

Agence de l'Eau Seine Normandie : Mme. AMEZAL.

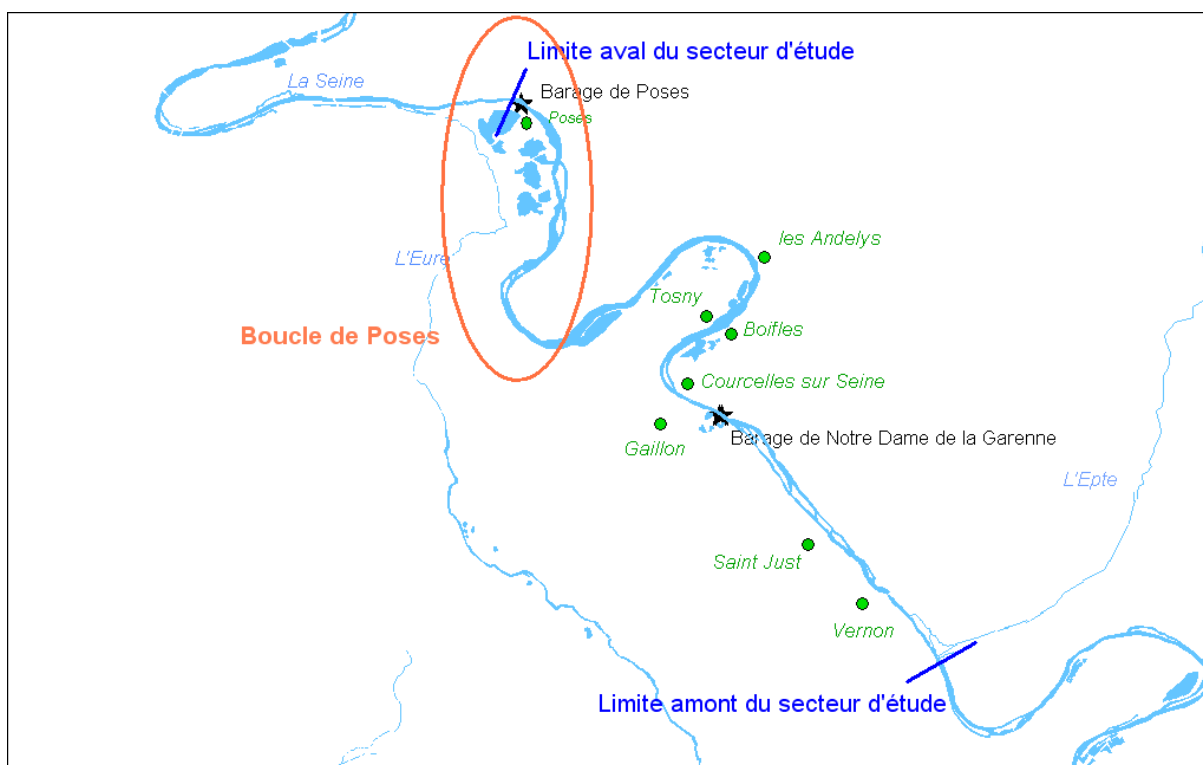
DIREN Haute Normandie : Mme. Ch. LENEVEU.

Conservatoire National Botanique de Bailleul : M. Ph. HOUSSET et M. Th. CORNIER.

Conservatoire des sites naturels de Haute Normandie : M. FRODELLO.

Réserve ornithologique de la Grande Noë : M. S. LOTHON, garde-animateur.

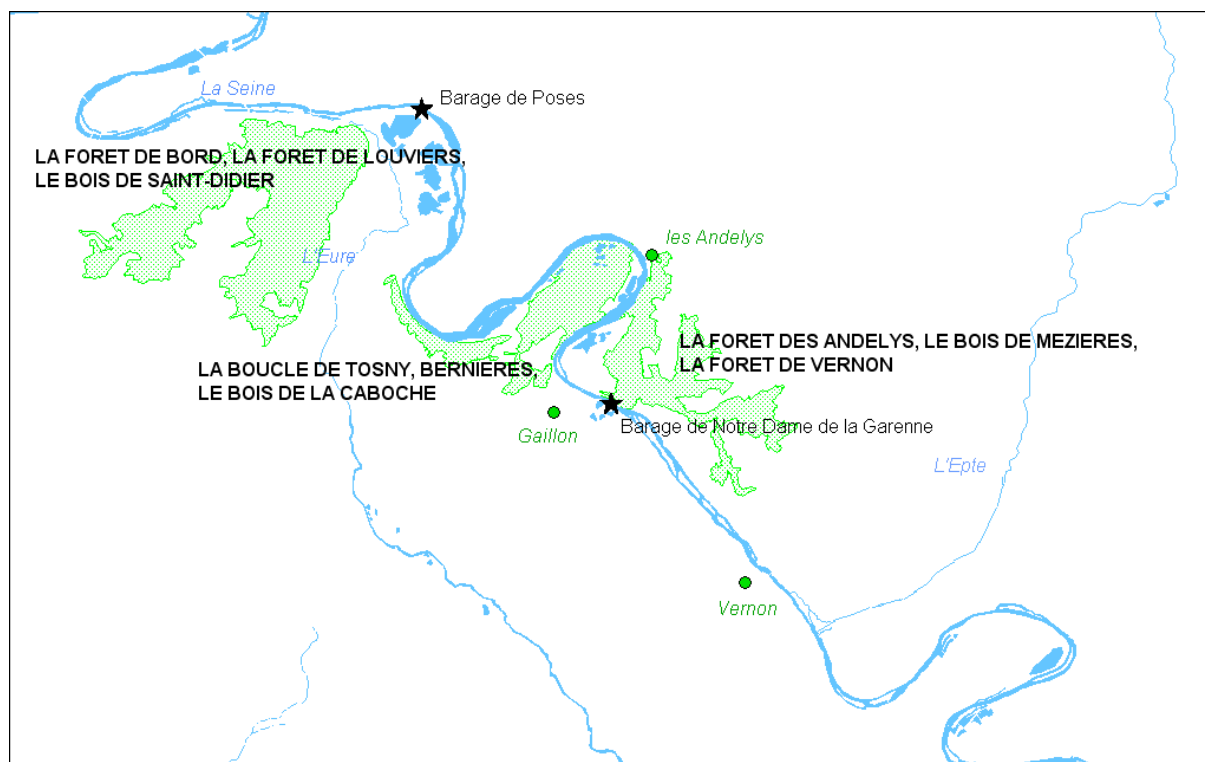
Annexe 9 : Carte simplifiée de la Seine aval, secteur Haute Normandie.



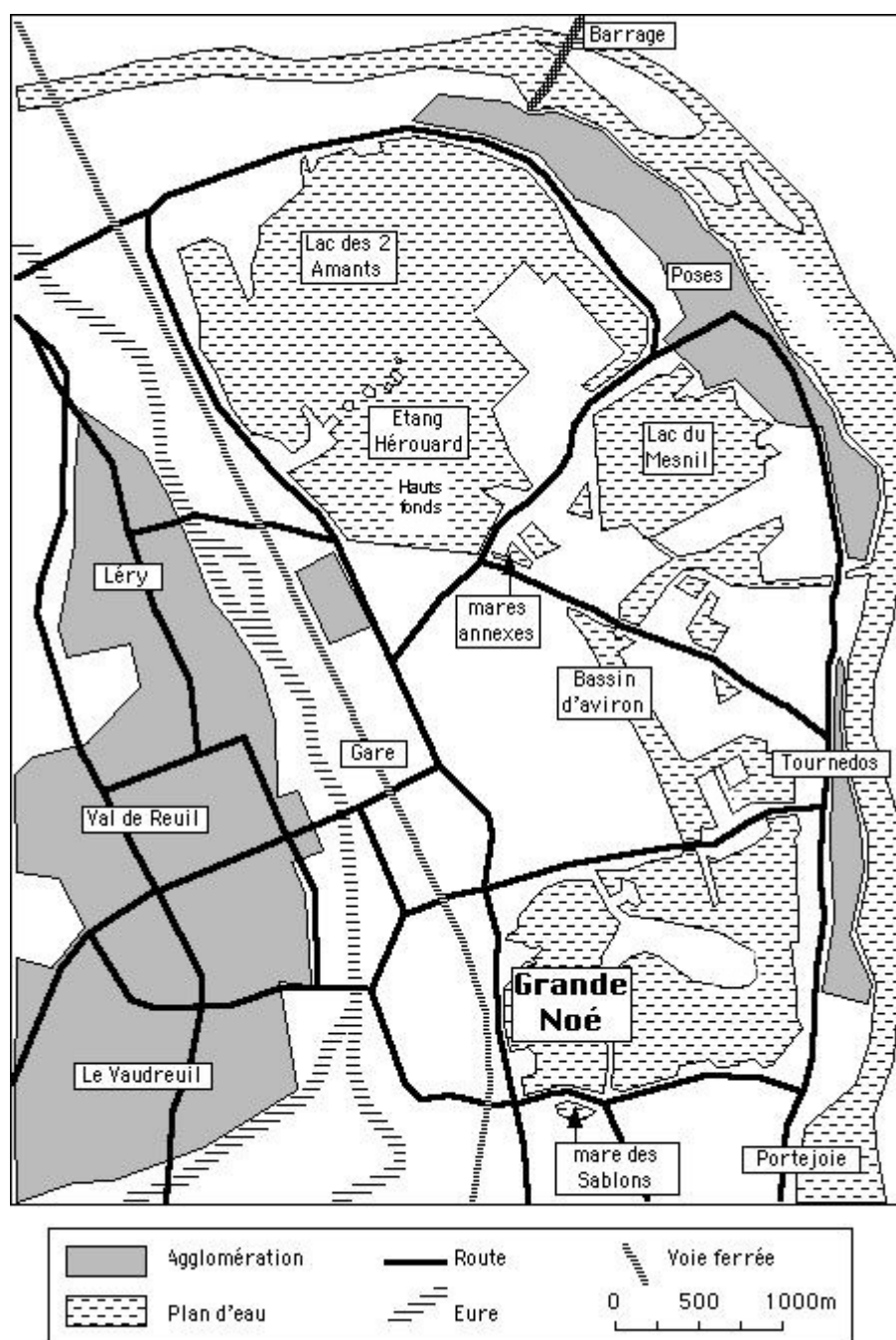
ANNEXE 10 : Carte des ZNIEFF I en relation avec le fleuve, région Haute Normandie



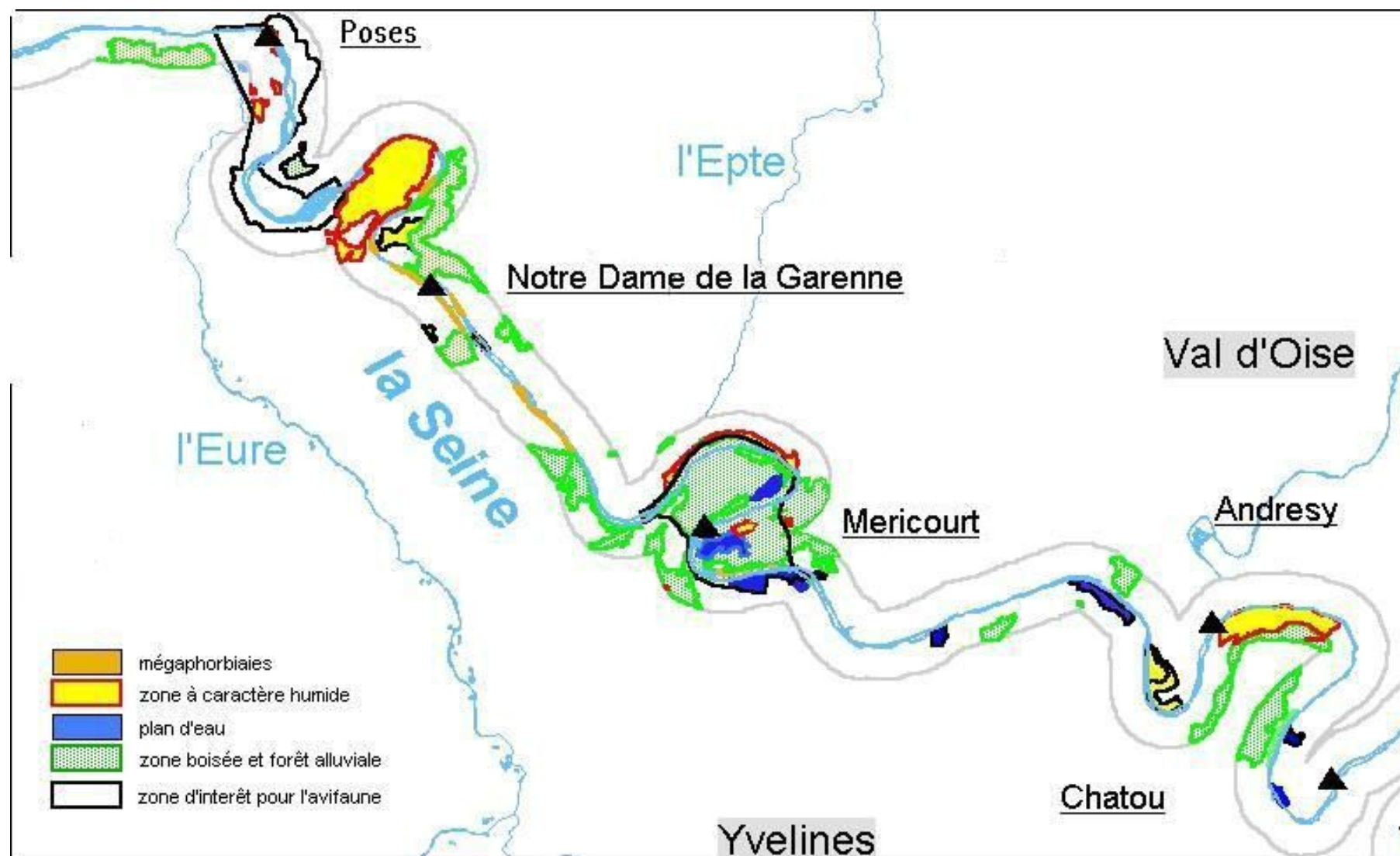
ANNEXE 11 : Carte des ZNIEFF II en relation avec le fleuve, région Haute Normandie



ANNEXE 12 : Lacs de la boucle de Poses.



ANNEXE 13 : Carte de synthèse des zones naturelles en relation avec la Seine.



ANNEXE 14 : Grille de prélèvement substrat/vitesses

Substrat/Vitesse	$V < 20 \text{ cm/s}$	$20 < V < 80 \text{ cm/s}$	$V > 80 \text{ cm/s}$
Racines			
Spermaphytes émergents			
Spermaphytes immergés			
Bois			
Débris organiques			
Blocs			
Galets seuls ou dominants			
graviers seuls ou dominants			
Vase			
Sable A			

Source : Bacchi, 2000.

ANNEXE 15 : Résultats détaillés des invertébrés.

Bras secondaire		vaso limono sableux	tronc	vase	tronc	herbier	racines	argile	blocs	branches	branches	vaso-sablo- argileux	gravelo-vaso- limoneux	vase	sablo-limoneux	gravelo-vaseux	herbier	TOTAL
TAXON	GI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
TURBELLARIES																		
Dugesidae						29				24						1	11	65
Planariidae						2												2
OLIGOCHETES	1*	19		22		6						28	229	2	64	150	41	561
ACHETES																		
Glossiphoniidae	1			2		11				1								14
Erpobdellidae	1					14				3							5	22
GASTEROPODE																		
Valvatidae	2			1														1
Bithyniidae	2					1				12								13
Hydrobiidae	2		1	1		1												3
Ferrissidae	2																2	2
Lymnaeidae	2					2											2	4
Physidae	2		1							4						10	2	17
BIVALVE																		
Dreissenidae	2					1												1
Sphaeriidae	2												1					1
Corbiculidae	2	1		1		1						9		1		2		15
CRUSTACES																		
Asellidae	1*					2				3							5	10
ODONATES																		
Lestidae							1											1
Coenagrionidae											1						3	4
Aeshnidae							1											1
TRICHOPTERES																		
Polycentropopidae	4				8	372	33	1			6						73	493
Economidae					9	97	16			1	60						53	236
DIPTERES																		
Chironomidae	1*	26	48	80	76	66	180	46	97	137	337	141	36	10	48	34	139	1501
Tipulidea												1				1		2

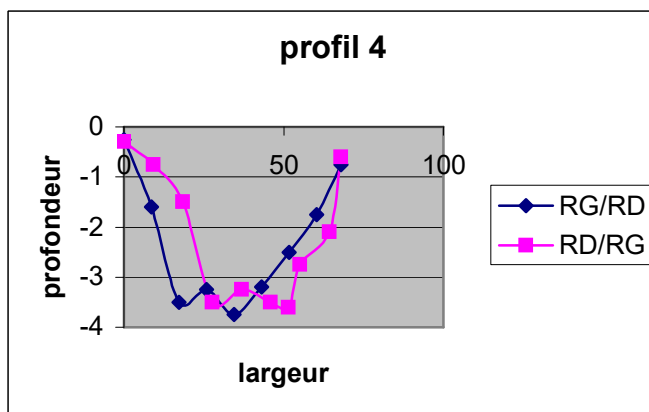
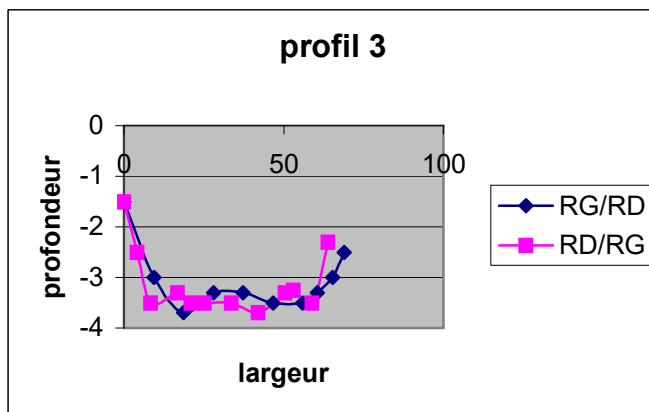
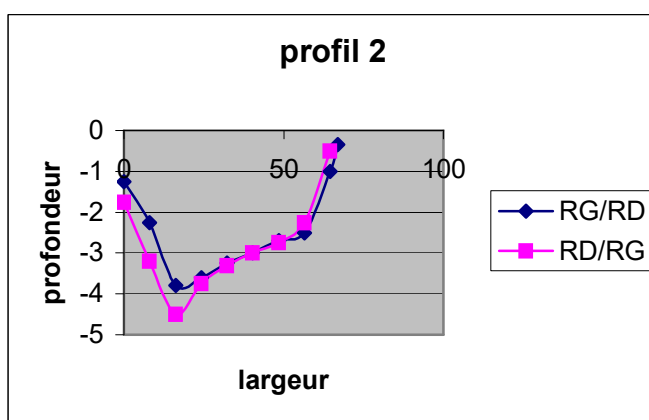
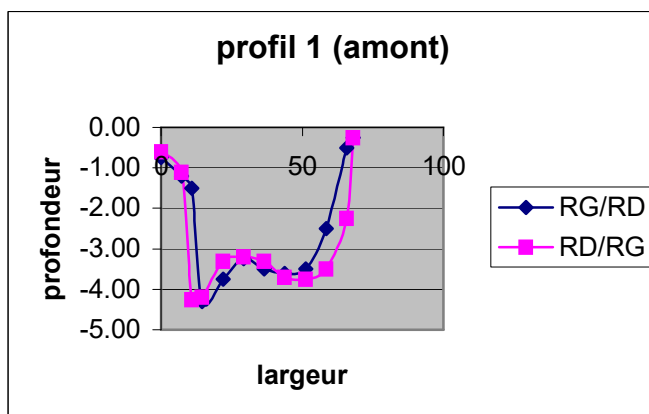
effectif total (N)		46	50	107	93	605	231	47	97	185	404	179	266	13	112	198	336	2969
variété taxonomique (S)		3	3	6	3	14	5	2	1	8	4	4	3	3	2	6	11	22
Groupe Indicateur		2	2	2	4	4	4	4	1	2	4	2	2	2	1	2	4	4
		Mollusque	Mollusque	Mollusque	Polycentropopidae	Polycentropopidae	Polycentropopidae	Polycentropopidae	Chironomidae	Mollusque	Polycentropopidae	Mollusque	Mollusque	Mollusque	Chironomidae	Mollusque	Polycentropopidae	Polycentropopidae

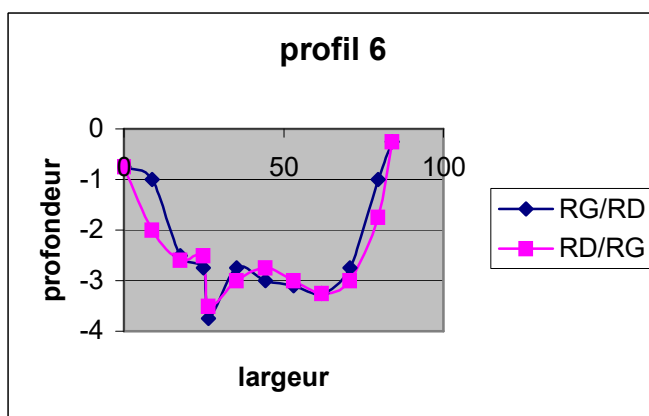
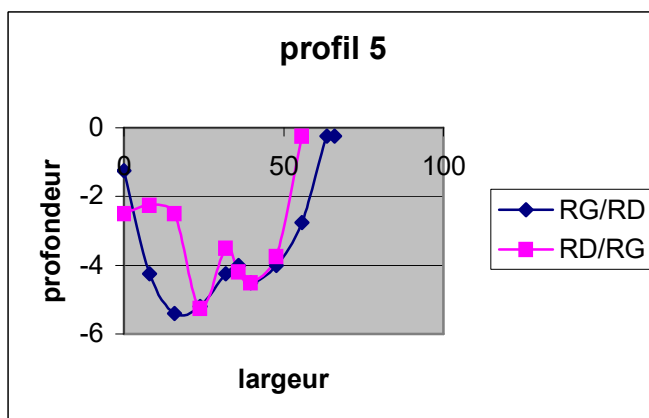
Chenal principal		racines	tronc	herbier	sable	branches	branches	argilo-vaso- limoneux	herbier	herbier	sablo argileux	blocs	graviers	argilo-vaso- graveleux	gravlo-sableux	tronc	racines	TOTAL
TAXON	GI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
NEMATHELMINTHES		1																1
OLIGOCHETES	1*		8								5	1						14
ACHETES																		
Glossiphoniidae	1								1	2					6			9
Erpobdellidae	1	1		4						1			1					7
GASTEROPODES																		
Valvatidae	2												22	1	7			30
Bithyniidae	2									7				1				8
Hydrobiidae	2												2					2
Planorbidae	2											1						1
BIVALVES																		
Sphaeriidae	2														1			1
Corbiculidae	2												1	1				2
CRUSTACES																		
Asellidae	1*		2						1		3					2		8
Cambaridae															1			1
TRICHOPTERES																		
Polycentropopidae	4			28			19		8	48								103
Economidae				1		16	3											20
DIPTERES																		
Ceratopogonidae			430															430
Chironomidae	1*	250	165	212	8	450	110	97	78	17	47	33	21	22	2	8	116	1636
effectif total		252	605	245	8	466	132	97	88	75	55	35	47	25	17	10	116	2273
variété taxonomique		3	4	4	1	2	3	1	4	5	3	3	5	4	5	2	1	17
GI		1	1	4	0	1	4	1	4	4	1	2	2	2	2	1	1	4
		Chironomidae	Chironomidae	Polycentropopidae		Chironomidae	Polycentropopidae	Chironomidae	Polycentropopidae	Polycentropopidae	Chironomidae	Mollusque	Mollusque	Mollusque	Mollusque		Chironomidae	Polycentropopidae

- : Groupe indicateur à partir de 10 individus

ANNEXE 16 : Extraits des cartes de Cassini de la région de Rouen et la région de Mantes.

ANNEXE 17 : Exploitation des profils en travers du bras de l'île du Roule.





ANNEXE 18 : Résultats du calage du modèle hydraulique.

Cotes de calage

	cote profil aval	cote profil amont
1910	14.12	14.36
1982	12.80	13.10

Coefficients de Manning

	1982	1910
lit maj RG	0.14	0.04
lit min	0.032	0.03
lit maj RD	0.14	0.04
lit min bras	0.041	0.03

Répartition des débits

	1910			1982		
	bras sec	chenal ppal	TOTAL	bras sec	chenal ppal	TOTAL
débits scénario actuel	1300	1850	3150	550	1450	2000
débit scénario curé	1550	1600	3150	720	1280	2000
débit scénario sédimenté	1250	1900	3150	500	1500	2000