

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I. La Seine, fleuve et voie navigable européenne

- A. Le réseau fluvial européen navigable
- B. La Seine aval
 - 1. La Directive Cadre Européenne, la Seine aval et V.N.F.
 - 2. APSI sur le secteur Paris – boucle de Guernes

II. Problématique particulière de l'envasement des bras secondaires non navigables et de leur impact sur les crues de la Seine

- A. Matériel et méthode
 - 1. Evaluation de la problématique au moyen d'une typologie géomorphologique, hydraulique et sédimentologique.
 - 2. Evaluation de l'impact des activités anthropiques
 - 3. Analyse et modélisation de l'impact d'un bras envasé sur les crues de la Seine
- B. Résultats
 - 1. Eléments de géomorphologie, hydraulique et sédimentologie
 - 2. Eléments de forçages liés aux activités anthropiques
 - 3. Synthèse
 - 4. Modélisation de l'impact de l'envasement sur le bras de Haute-Isle (Val d'Oise)
- C. Solutions à envisager pour les gestionnaires
 - 1. La non intervention
 - 2. L'intervention « durable »

CONCLUSION

RESUME

Le développement d'un mode de transport « propre » et la nouvelle Directive Cadre Européenne sur l'eau nécessitent une nouvelle approche avec plus de considérations écologiques pour les principaux gestionnaires des voies navigables européennes.

En France, Voies Navigables de France (V.N.F.) est responsable entre autres de la restauration et de la modernisation de l'itinéraire navigable de la Seine aval et c'est dans le cadre de l'Avant Projet Sommaire d'Itinéraire qu'a été réalisée la première partie de cette étude sur le potentiel écologique du secteur Paris – boucle de Guernes.

La seconde partie de l'étude est centrée sur la problématique particulière de l'envasement des bras secondaires non navigués de ce secteur. Le Service de Navigation de la Seine doit en effet répondre à de nombreuses demandes de curage de la part des riverains et des collectivités locales et c'est pourquoi cette étude a été lancée. Elle privilégie deux axes d'analyse : la construction d'une typologie physique et le forçage lié aux activités anthropiques, puis la modélisation de l'impact réel de l'envasement d'un bras sur les crues de la Seine.

Ainsi les gestionnaires sont en mesure d'apprécier la faible ampleur du phénomène d'envasement des bras secondaires et peuvent ainsi répondre aux demandes locales et mettre éventuellement au point une stratégie d'intervention adaptée.

ABSTRACT

The development of a « clean way of transport » and the new European Water Framework Directive require a new approach with more consideration for the ecological conditions for the European main management bodies of waterways.

In France, Voies Navigables de France (V.N.F.) is, among others, in charge of the restoration and modernisation of the navigable itinerary « Seine aval » and, in the context of the Avant Projet Sommaire d'Itinéraire, the first part of this study has been realised on the ecological potential of the section Paris – boucle de Guernes.

The second part is focused on the particular issue of the secondary arms non navigated silting. Indeed, the Service de Navigation de la Seine has to face to many complaints from the riverside residents or from the local communities, in particular on the silting problem and its impacts on flood events and that is why this study has been thrown. Two main axes have been privileged : the elaboration of a physical typology and the impacts of anthropic activities. Then, the next stage is to modelise the real impact of a silted arm on the flood of the Seine.

Thus, the management bodies are able to appreciate the poor extent of the sedimentation phenomenon on the secondary arms non naviged and its impact in order to respond to the local complaints and to develop a new intervention strategy.

INTRODUCTION

Le réseau fluvial européen concerne particulièrement quatre pays membres : la France (8500 km), l'Allemagne (7300 km), les Pays-Bas (5000 km) et la Belgique (1500 km).

L'ensemble de ce réseau, avec l'avènement de la directive cadre européenne sur l'eau, doit à la fois se développer et se moderniser car c'est un moyen de transport bon marché, sûr et écologique. Ainsi les rôles des divers gestionnaires des voies navigables européennes sont renforcés et diversifiés, tout ceci dans un souci de meilleure organisation, meilleure coopération et d'amélioration des fonctionnalités écologiques des voies d'eau.

En France, une importante partie du réseau navigable a été confié à Voies Navigables de France et notamment le linéaire Seine aval de l'aval de Paris au port du Havre.

En tant que gestionnaire principal et dans ce nouveau contexte, V.N.F. redéfinit sa stratégie de gestion.

La Seine aval possède un potentiel écologique mal connu et c'est dans un souci de restauration et modernisation de l'itinéraire respectueuse de l'environnement que V.N.F. a lancé un Avant Projet Sommaire d'Itinéraire, dont la partie concernant les zones naturelles remarquables en lien avec le fleuve sur le secteur Paris – boucle de Guernes a été réalisé lors de ce stage.

La Seine aval présente également de nombreux bras secondaires sur son linéaire. Or le S.N.S. ne réalise pas d'opération de dragage sur les bras non navigués. Il n'est en effet tenu d'assurer la navigation que sur le chenal navigable. Ce qui ne l'empêche pas d'être confronté à la demande de nombreux riverains et collectivités locales de s'occuper des problèmes d'envasement des bras ou des mouvements de sédiments lors des crues.

La problématique de l'envasement des bras secondaires étant également peu connu, le S.N.S. lance donc une étude sur l'envasement des bras secondaires non navigués qui a été confiée au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Blois. La présentation du laboratoire est détaillée dans le rapport critique du stage.

Ce stage porte sur le secteur Paris- boucle de Guernes, le reste du tronçon Seine aval, en aval de la boucle de Guernes a été traité sur les même problématiques dans le cadre d'un autre stage.

I. La Seine, fleuve et voie navigable européenne

A. Le réseau fluvial européen navigable

Le réseau fluvial de l'Union Européenne est très étendu et représente 25 000 kilomètres de voies navigables qui sont concentrées principalement dans quatre pays : la France, la Belgique, les Pays-Bas et l'Allemagne. Ainsi ce réseau donne accès à de nombreuses grandes régions industrielles de la communauté (cf. figure 1).

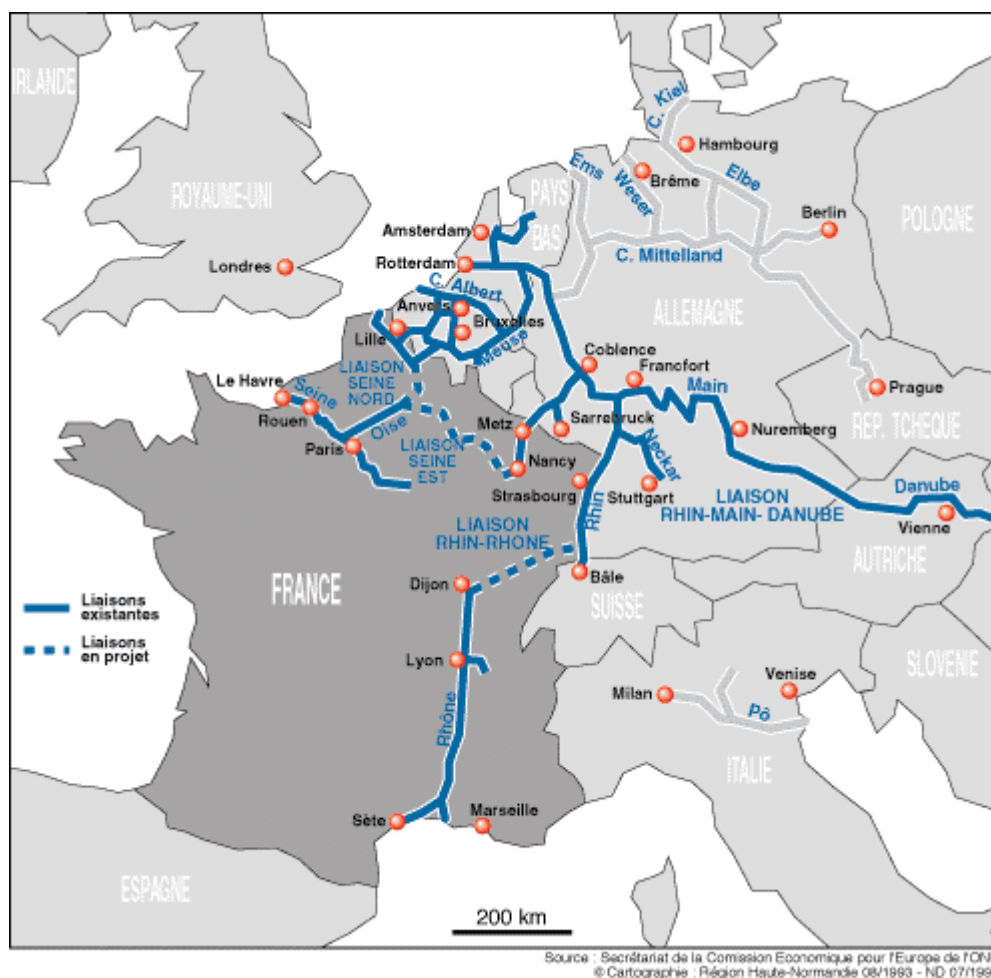


Figure 1: le réseau fluvial navigable européen

La flotte européenne comprend 10 000 bateaux, elle transporte chaque année plus de 430 millions de tonnes de marchandises et avec le canal Rhin-Main-Danube ouvert en 1992, les possibilités de transport sont encore accrues vers les pays de l'Est nouvellement membres de l'Union Européenne.

Dans une association route-rail-eau, la voie fluviale peut jouer un rôle essentiel dans les transports européens et actuellement, partout en Europe, de nombreuses initiatives sont prises pour renforcer ce réseau.

La Belgique

La Belgique est, du point de vue de la densité, l'un des pays européens le mieux équipé, avec plus de 1500 km de voie d'eau pour une surface de 31 000 km². Ce réseau fluvial est constitué de trois grands axes verticaux, est, centre et ouest et de deux grandes transversales nord et sud. Il présente l'avantage d'être un carrefour de par sa localisation au centre de l'Europe ; des centres économiques importants et de grands ports maritimes et intérieurs (Anvers, Bruges, Bruxelles, Charleroi, Gand, Liège,...) peuvent être atteints par des bateaux de gabarit de type européen.

De plus, des travaux sont en cours afin d'améliorer plus encore ce réseau fluvial étendu qui s'est développé en grande partie sur la base des cours d'eau naturels existants : la Meuse, la Sambre, l'Escaut et la Lys.

L'Allemagne

Environ 20% du fret allemand, soit plus de 300 millions de tonnes empruntent la voie fluviale. Celle-ci a été particulièrement bien mise en valeur par un réseau très dense et très moderne de canaux (Mittellandkanal, Dortmund-Ems, canal latéral à l'Elbe, Oder-Spree,...). Le réseau fluvial allemand, qui comprend aujourd'hui près de 7000 km de voies d'eau navigables dont 2000 km de canaux, est relié à la France, aux Pays-Bas et à la Belgique, et, depuis l'achèvement de la liaison Rhin-Main-Danube, à l'Autriche et à l'Europe de l'Est. Sa rentabilité lui assure une grande importance économique ; Duisbourg, sur le Rhin, est le plus grand port fluvial du monde.

Les Pays-Bas

Avec trois grands fleuves, le Rhin, la Meuse et l'Escaut, les Pays-Bas disposent d'un réseau de voies navigables qui offre une connexion parfaite avec les ports maritimes d'Amsterdam, de Rotterdam et d'Anvers. Le transport par voie fluviale est bon marché, sûr et écologique et la navigation intérieure constitue par conséquent un maillon essentiel de la distribution, un domaine dans lequel les Pays-Bas sont les leaders en Europe. Ils disposent en effet

aujourd'hui d'un réseau de 5000 km et assurent la moitié du transport international de marchandises par voie navigable.

De plus les pouvoirs publics néerlandais ont orienté leur politique sur une amélioration de ce secteur avec de nombreux encouragements et subventions. Grâce à ces mesures, 7 millions de tonnes de marchandises ont été transportées par voie fluviale au lieu de la route au cours des trois dernières années.

La France

la France possède le plus long réseau de voies navigables d'Europe, mais elle ne l'utilise pas suffisamment, notamment pour le transport des marchandises car tout le réseau n'est pas adapté au gabarit et aux normes européennes et parce qu'il manque des canaux de liaison entre certaines parties du réseau. Les voies à grand gabarit (plus de 1000 t) représentent une longueur de 1800 km, mais sont constituées par des tronçons en impasse, non reliés entre eux. Le Projet Seine-Nord vise à relier le bassin parisien au réseau fluvial du Nord et du Benelux par un canal à grand gabarit. Le projet Rhin-Rhône a été abandonné en juin 1997 par Dominique Voynet, Ministre de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement de l'époque. La liaison Seine-Est a fait l'objet d'études dans les années 1990, sans suite concrète. La plus grande partie du réseau, soit 6 800 km a été confiée par l'État à VNF (Voies navigables de France).

Outre ces quatre pays principalement concernés par la navigation intérieure, le Danube représente aujourd'hui une voie de transport attractive pour les échanges avec les pays de l'Est puisqu'il constitue un axe majeur, véritable colonne vertébrale qui unit pas moins de dix Etats du continent européen.

Une voie de communication émergente en Europe, le Danube

Parallèlement aux changements politiques, un important processus de développement économique débute dans les pays de l'Europe Centrale et de l'Est. Ces liens économiques vont avoir des conséquences sur le trafic et les voies de transport dont les voies d'eau.

Le Danube est utilisé depuis des siècles comme voie navigable, et présente donc d'importants aménagements pour la navigation. Ainsi il existe d'ors et déjà une forte capacité de transport sur le Danube mais elle est à l'heure actuelle peu utilisée. Quoi qu'il en soit, le Danube ne nécessite pas de très gros investissements supplémentaires pour augmenter son gabarit.

Récemment, une plus grande attention a été portée à la navigation, à la fois au niveau international et national, les discussions portant essentiellement sur les facteurs économiques. Malgré la Directive Cadre Européenne sur l'eau et son approche écologique, il manque toujours un plan d'évaluation et de gestion durable de la voie navigable et de l'écosystème du fleuve.

Or, le Danube, sur ces 2780 km de long, est un écosystème unique et désormais rare en Europe qui traverse de nombreux climats, paysages et habitats naturels et qu'il est capital de préserver.

C'est pourquoi le Danube est à l'heure actuelle au cœur de nombreux conflits entre les intérêts des populations locales et les intérêts écologiques comme par exemple autour des nombreux canaux de liaison ou autour des demandes de « totale navigabilité » pendant les périodes de basses eaux. Ces projets de sur-aménagement du fleuve conduiront inévitablement à une destruction immédiate du milieu et à une détérioration progressive des ressources naturelles, et c'est pourquoi les ministres européens du transport se sont entendus sur la priorité de préserver le milieu et sur une navigation respectant les limites naturelles du Danube.

C'est donc actuellement une importante étape de la politique environnementale de l'Union Européenne avec ses objectifs de développement durable qui se joue autour du Danube.

Dans le cadre de la nouvelle Directive Cadre Européenne sur l'eau, la coopération est aussi à l'ordre du jour, au travers par exemple de conférence comme celle de Rotterdam en septembre 2001 qui a réuni les ministres des transports européens sur la navigation intérieure. Les objectifs actuels sont tout d'abord d'encourager la coopération internationale et de lever les obstacles existants qu'ils soient techniques (équipements, ponts, écluses,...), juridiques (différences de réglementation sur les bateaux ou les équipages) ou d'ordre commercial.

Enfin, il s'agit de promouvoir la navigation comme une alternative plus économique et plus écologique pour les transports européens.

Les gestionnaires de la Seine aval se doivent donc de restaurer et de moderniser le réseau navigable qui leur a été confié tout en considérant le potentiel écologique des voies d'eau ; c'est au travers de la Seine aval et plus particulièrement du secteur Paris – boucle de Guernes pour ce stage que leurs nouvelles orientations et préoccupations sont présentées.

B. La Seine aval

1. La Directive Cadre Européenne et la Seine aval

L'état des lieux, première étape de la DCE, doit être validé en 2004 et conduire à la révision du SDAGE Seine – aval en 2009.

La Seine aval est une masse d'eau superficielle aux caractéristiques particulières et considérée comme fortement modifiée.

En effet, une masse d'eau 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 de cette situation.

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.

Or, l'objectif des masses d'eau fortement modifiées pour la DCE n'est pas d'atteindre le bon état écologique mais le bon potentiel écologique d'ici 2015. Le référentiel n'est pas assoupli, il est différent et tient compte d'impossibilités physiques ou économiques à un retour à un bon état écologique.

C'est dans ce cadre que les actions développées auparavant pour le SDAGE par les gestionnaires vont être révisées et sans doute confortées voir même renforcées. En effet d'après l'état des lieux il apparaît que la Seine aval risque de présenter un écart aux objectifs fixés par la DCE.

2. APSI sur le secteur Paris – boucle de Guernes

V.N.F a lancé un Avant Projet Sommaire d'Itinéraire (APSI) pour lequel a été réalisé un état des lieux des potentiels, enjeux et vulérabilités des zones naturelles remarquables liées à la Seine aval.

C'est le secteur Paris –boucle de Guernes qui est présenté ici. Il est particulièrement artificialisé ; il présente de lourds aménagements et a été « dressé » pour la navigation et les activités humaines. La Seine sur ce secteur est donc soumise à de nombreuses pressions en tant que voie navigable importante et la préoccupation environnementale étant grandissante,

le gestionnaire principal du fleuve doit aujourd'hui considérer son fonctionnement écologique.

Dans un premier temps il s'agit donc de recenser et diagnostiquer l'état des zones naturelles remarquables en lien avec la Seine et de cerner les principales causes de leur vulnérabilité puis, dans un deuxième temps de déterminer précisément l'impact de la navigation sur la Seine.

a) Fleuve présentant des zones naturelles remarquables

(a) Recensement

Depuis les années 70, l'environnement bénéficie d'une reconnaissance politique. La protection des cours d'eau et des zones naturelles est appuyée par des outils réglementaires divers et variés qui permettent d'adapter les statuts aux valeurs et à la vulnérabilité des zones à protéger.

❖ **Les zones d'inventaire**

(i) 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. Elles peuvent être de type I ou II en fonction de leur superficie et de l'intérêt du patrimoine naturel qu'elles présentent.

Les ZNIEFF doivent être prises en compte lors des études d'impact et il revient ensuite aux décideurs ou projeteurs d'amender leur projet pour corriger et/ou compenser d'éventuelles atteintes, et à défaut, il revient à la police de l'eau de censurer les projets selon la gravité des atteintes à l'environnement.

Sur notre secteur, 11 ZNIEFF de type I répondent au titre de « milieu aquatique » au sens large du terme selon la typologie ZNIEFF. Les plus intéressantes sont les anciens sites d'extraction comme les ballastières de Montesson, les sablières de Mantes la Jolie, les plans d'eau d'Elisabethville et des Mureaux, les zones agricoles des Flageaux et d'Achères, ainsi que l'île d'Herblay. La boucle de Guernes présente de nombreuses ZNIEFF de type I mais elles concernent essentiellement des forêts ou côteaux calcaires à forte biodiversité.

De même, l'essentiel des ZNIEFF de type II concerne de grandes forêts comme celle de Saint-Germain-en-Lay, les zones humides étant principalement représentées par d'anciennes

zones d'extraction comme les ballastières et zone agricole de Carrieres-sous-Poissy. Cette dernière zone présente en effet un fort potentiel écologique, floristique (plusieurs espèces rares) et ornithologique (hirondelles de rivage, anatidés, espèces en migration et en hivernage).

(ii) Les ZICO

Les ZICO (Zone d'Importance Communautaire pour les Oiseaux) sont issues de la directive européenne n° 79/409/CEE. Elles ont pour objectif de protéger les habitats permettant la survie et la reproduction des oiseaux sauvages, rares ou menacés et de protéger les aires de reproduction, de mue, d'hivernage et de relais pour l'ensemble des espèces migratrices.

Les ZICO sont à l'heure actuelle des zones d'inventaire ne bénéficiant d'aucune protection réglementaire mais elles sont destinées à être intégrées dans les périmètres Natura 2000.

La ZICO de la boucle de Moisson et de Guernes présente différents types de milieux favorables à l'avifaune. Elle profite également du couloir de migration d'espèces que constitue la vallée de l'Epte située à quelques kilomètres au nord. Les falaises intérieures crayeuses de la Roche-Guyon sont favorables à des espèces rupicoles comme le faucon pèlerin. Les terrasses alluvionnaires ont permis le développement de pelouses et de landes sur le secteur de Moisson qui abritaient des espèces nicheuses rares et très vulnérables comme l'Oedicnème criard ou l'Engoulevent d'Europe (CORIF, 2001) mais les zones qui ont échappé aux extractions de granulats sont désormais très rares et doivent être protégées. Les zones humides diversifiées (plans d'eau, mares, ...) accueillent quant à elles les espèces aquatiques nicheuses telles que les canards, vanneaux ou petits gravelots ainsi que les espèces migratrices hivernantes.

❖ 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 et scientifiques.

En Ile-de-France, l'Agence des Espaces Verts est gestionnaire de sites naturels. Elle participe entre autre au réaménagement d'une ancienne gravière à Bois de Flicourt dans la boucle de Guernes en accord avec l'ancien exploitant (AEV, 1999).

❖ Les protections réglementaires non obligatoires

Ce type de protection privilégie les incitations ou les moyens contractuels. Elles peuvent être à l'initiative de la Communauté Européenne (Natura 2000) ou à l'initiative des collectivités locales (Parcs Naturels Régionaux).

(i) Natura 2000

Le réseau Natura 2000 est un réseau européen de sites naturels élaboré à partir des directives « Habitat » et « Oiseaux » définissant respectivement des ZSC (Zone Spéciale de Conservation) et des ZPS (Zone de Protection Spéciale). Ces désignations impliquent pour les états membres une obligation de résultats mais non une obligation de moyens.

Sur notre secteur, le site « Boucles et coteaux de la Seine » est proposé et susceptible s'être intégré au réseau Natura 2000 : il correspond pour l'essentiel à la boucle de Moisson et de Guernes qui est l'un des plus grand méandre de la Seine et présente une grande richesse d'entités écologiques originales fortement contrastées (coteaux, landes et pelouses, boulaies à sphaignes, forêts alluviales et formations à Buis,...). Il découle de cette grande diversité d'habitats naturels une grande variété d'espèces animales et végétales avec un grand nombre d'espèces protégées (26 espèces végétales protégées). Il est à noter que ce site bénéficie déjà d'un grand nombre de protections réglementaires comme les sites classés et inscrits au titre de la loi de 1930 et un projet de Réserve Naturelle en cours d'instruction pour les coteaux de la Roche-Guyon (DIREN IDF).

(ii) Les Parcs Naturels Régionaux

Crée en 1995 à l'initiative des régions et des collectivités locales, le Parc Naturel du Vexin Français a pour objectif, entre autre, de sauvegarder et enrichir les espaces naturels menacés à l'intérieur du territoire (par l'occupation des sols et les activités humaines) et à ses portes (par la poussée d'urbanisation de la région Ile-de-France). Il s'appuie pour cela sur le Syndicat Mixte d'Aménagement et de Gestion du Parc en relation avec les communes et les organismes intercommunaux existants dans leur différents domaines de compétences (Charte du Parc Naturel Régional du Vexin Français, 1995). Les sites liés à la Seine et appartenant au parc sont principalement les coteaux de la Roche-Guyon et les zones humides, marais et prairies de fond de vallée.

❖ **Les protections obligatoires**

Les protections obligatoires interdisent ou limitent certaines activités. Elles peuvent être à l'initiative de l'Etat (site classé, site inscrit, réserve naturelle, arrêté de protection de biotope) ou à l'initiative des propriétaires publics ou privés (réserves naturelles volontaires).

Sur notre secteur il existe un arrêté de protection de biotope sur la commune d'Epône : « le bout du monde à Elisabethville ». Cette ancienne sablière en eau de 50 ha présente surtout un intérêt pour l'avifaune et un fort potentiel écologique du à sa faible hauteur d'eau qui permet un marnage important et une grande diversité des milieux humides. C'est une propriété du département des Yvelines qui doit servir à terme d'outils pédagogique et qui bénéficie pour l'instant d'une très forte protection (interdiction au public, chasse et tout autre prélèvement également interdit).

(b) Diagnostic et vulnérabilités

Sur le secteur Paris – boucle de Guernes, outre la pression de la navigation développée ci-après, il existe de nombreuses atteintes à l'environnement liées entre autre aux extractions de granulats alluvionnaires mais surtout à la forte urbanisation, particulièrement entre l'aval de Paris et Chatou, qui empiète sur les espaces naturels. La demande croissante en logements, en zone de loisirs et espaces verts de proximité accentue cette pression urbaine. On retrouve par ailleurs de gros problèmes de qualité des eaux (malgré une nette amélioration ces dernières années) surtout au niveau de la station d'épuration d'Achères qui présente de fréquents épisodes d'anoxie du milieu.

Selon l'Observatoire National des Zones Humides et l'Agence de l'eau Seine-Normandie, la Seine de Paris à Rouen ne comprend pas de « zone humide majeure ». En effet le cloisonnement de la Seine par la construction de digues et l'augmentation du mouillage garanti dans le chenal de navigation ont contribué à déconnecter de longue date le fleuve et les milieux environnants. Cependant les boucles de Carrières-sous-Poissy et de Moisson présentent encore un potentiel très fort, l'île de Mantes ou encore la plaine de Guernes sont également des zones humides reconnues.

Ainsi les zones naturelles remarquables et particulièrement les zones humides sont constamment menacées et outre les diverses zones protégées vues précédemment il existe de nombreux milieux riches qui ne sont pas pris en considération de façon réglementaire et qui sont pourtant très vulnérables sur la Seine (cf. figure 2).

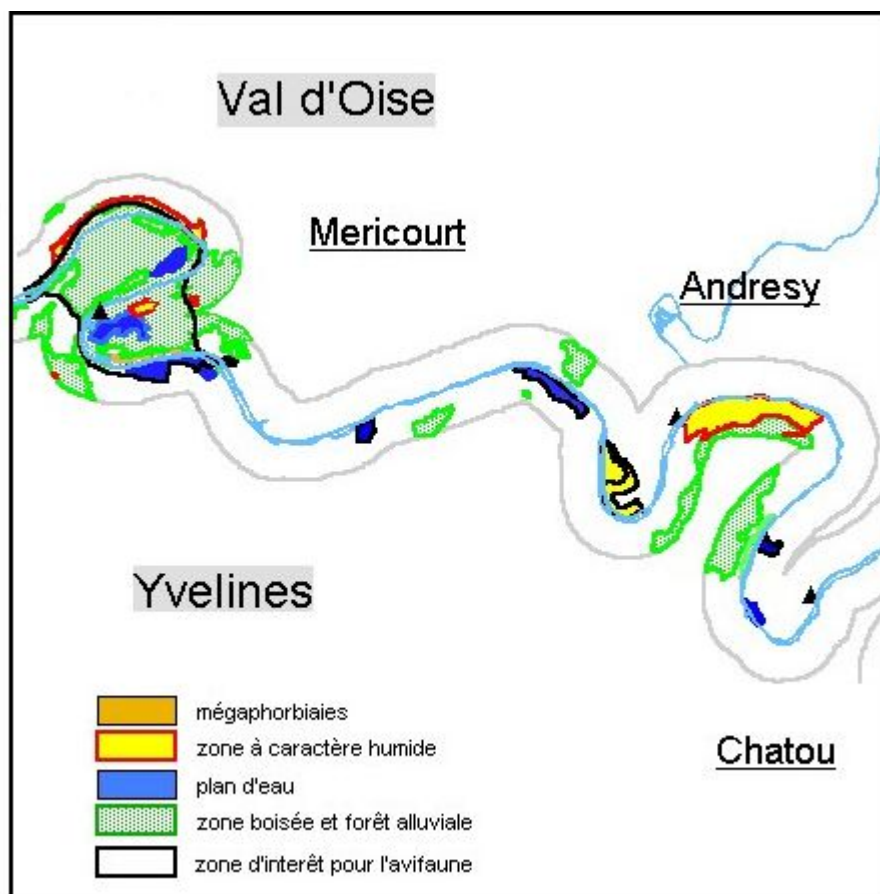


Figure 2:

synthèse

des zones naturelles remarquables en lien avec la Seine
entre Paris et la boucle de Guernes

En effet, les mégaporbiaies présentent un intérêt tant pour la diversité des espèces qui y vivent et qui y sont inféodées, que pour l'auto épuration qu'elles favorisent ou leur fonction annexe de protection contre l'érosion des berges. Elles nécessitent une gestion simple mais régulière permettant d'éviter la fermeture du milieu par l'envahissement des arbres et arbustes.

D'autres zones humides telles que les forêts alluviales ou les bras secondaires assurent encore des fonctions primordiales pour le fleuve. D'une part, les bras secondaires avec un faible

courant et des herbiers aquatiques sont les sites de reproduction de nombreuses espèces de poisson, d'autre part les forêts alluviales sont quant à elles des sites de production primaire, de biodiversité et un repère paysager pour les espèces migratrices. Or les bras secondaires subissent un phénomène de comblement et d'envasement par le transport de fines et les forêts alluviales sont coupées pour les besoins de l'urbanisation ou de la mise en culture.

Nous avons donc une vision plus précise de l'état et des enjeux écologiques liés à la Seine sur le secteur Paris – boucle de Guernes, il s'agit donc dans un second temps de définir plus précisément les impacts liés à la navigation et aux actions d'entretien de la Seine comme importante voie de communication.

b) Voie navigable soumise à d'importantes pressions

(a) Historique des aménagements de la Seine

La Seine est un axe de navigation très ancien, probablement depuis l'antiquité. Les premiers aménagements sur les cours d'eau d'Ile de France datent du Moyen Age avec la construction de nombreux moulins. En revanche il faut attendre la moitié du 19ème siècle pour que commencent de véritables campagnes de travaux sur la Seine avec le creusement du chenal, l'endiguement et la construction de barrages mobiles et d'écluses. Progressivement et surtout dans le cadre du programme Freycinet (ministre des travaux publics) les travaux aboutissent à une mise en cohérence des gabarits et à des liaisons inter-bassins efficaces.

Afin de parvenir à la régulation des débits de la Seine d'important barrages réservoirs ont également été construits.

Plus récemment, dans les années 80, l'essentiel des travaux a permis une amélioration de la navigation par l'agrandissement des écluses ou le dragage du chenal principal.

(b) Trafic de navigation

❖ **La navigation commerciale**

Le réseau navigable de la Seine aval présente un trafic de navigation commerciale important lié tout d'abord aux nombreux intérêts qu'il représente :

- desservir la région parisienne pour ses approvisionnements en matériaux de construction (26 % du trafic en Ile-de-France en 2000) ou pour l'évacuation de ses déblais.

- desservir les sites industriels riverains installés dans les départements du Val d'Oise et des Yvelines ainsi que la grande plate-forme portuaire de Gennevilliers dans les Hauts-de-Seine.
- Assurer une fonction d'échanges avec les ports maritimes de Rouen et du Havre et également avec le Nord (Nord-Pas-de-Calais, pays du Benelux)

De plus le trafic est d'autant plus important que la Seine est une voie d'eau à grand gabarit, c'est à dire qu'elle peut être empruntée par des bateaux d'un tonnage de 3000 tonnes et plus et que cet axe de navigation ne nécessite pas de grandes mesures de développement.

Les trafics fluviaux devraient croître dans le futur grâce au développement de politique visant à limiter l'engorgement des axes routiers et à favoriser un axe de transport plus écologique, grâce à une nette progression des investissements pour l'aménagement et l'entretien de la voie navigable, ou encore grâce à l'ouverture de nouveaux marchés comme les pays de l'Est et le développement d'autres trafics encore marginaux mais prometteurs tels que les déchets ou boues d'épuration.

❖ **La navigation de plaisance**

La navigation de plaisance sur le secteur Paris – boucle de Guernes, présente une nette dichotomie entre l'important trafic touristique et le reste de la plaisance qui regroupe les coches de location, les bateaux-logement et la plaisance privée.

En effet, Paris et la vallée de la Seine accueillent plus de 7 millions de passagers chaque année dans les bateaux-mouches et autres bateaux à passagers, ce qui en fait le premier site mondial du tourisme fluvial.

Pour évaluer le trafic de plaisance sur notre secteur, on se réfère aux comptages effectués aux écluses. Il ressort que l'attraction de Paris se ressent jusqu'à l'écluse d'Andrésy qui compte le passage de plus de 2000 bateaux de plaisance par an et que cette affluence se réduit au niveau de l'écluse de Notre Dame de la Garenne qui n'en compte plus que 1500 par an.

En ce qui concerne l'évolution de la plaisance, il ressort que les projets de développement de la voie d'eau portent peu sur le tourisme fluvial et la plaisance qui sont le plus souvent le fait des collectivités locales. Pourtant depuis quelques années les retombées économiques liées à la plaisance ont poussé à l'élaboration du schéma directeur du tourisme fluvial dans le bassin parisien (1997) et de contrats plan Etat-Région (2000-2006).

Il est donc probable que le trafic des bateaux-passagers reste à son niveau de plafonnement essentiellement destiné à une clientèle étrangère mais que les croisières courtes continuent leur progression ainsi que la plaisance privée qui s'inscrira dans les nouvelles formes de tourisme vert qu'affectionne de plus en plus la clientèle française.

Globalement il est donc important de considérer les impacts et les pressions sur l'environnement causés par les différentes formes de trafic de navigation qui ne sont pas négligeables et destinées à s'amplifier dans le futur.

(c) Pressions exercées par l'exploitation de la voie navigable

L'exploitation et la gestion de la Seine en tant que voie navigable a été confiée à un gestionnaire principal : Voies Navigables de France.

Voies Navigables de France, fondée en 1991, est un Etablissement Public Industriel et Commercial placé sous la tutelle du ministère de l'Equipeement. Dans le cadre de politiques générales dans le domaine de la protection de l'environnement, de l'eau et des milieux naturels aquatiques, VNF s'est vu confié diverses missions sur la Seine (compte rendu d'interview, novembre 2003):

- La gestion de la ligne d'eau pour permettre la navigation toute l'année
- Le curage du lit en fonction des sondages réalisés chaque année à la fin de l'hiver
- L'enlèvement d'embâcles
- La coupe d'arbres penchés jugés dangereux pour la navigation
- Le rôle de consultant auprès des collectivités pour les aménagements de berges ou les problèmes d'érosion
- Le rôle de maître d'ouvrage pour la réalisation de passes à poisson

Ces diverses actions et aménagements ont différents impacts selon leur type et leur ampleur ; de manière générale on peut distinguer les effets directs physiques (sur la morphologie de la Seine, son hydraulique et ses écoulements) et les effets induits sur les milieux aquatiques naturels.

❖ Les effets physiques directs

La présence de digues le long du lit mineur déconnecte le fleuve de sa plaine alluviale. La restriction de la section d'écoulement et la réduction des zones d'expansion de crue

augmentent le débit et la vitesse d'écoulement. En général, les effets s'en ressentent à l'aval par une aggravation de la crue. Cependant, ces effets sont à nuancer en fonction de la localisation de ces digues par rapport au lit mineur et à leur agencement entre elles, de plus, dans le cas de la Seine aval, la plupart des digues sont en fait des murettes ou merlons anti-bruit (comme à Achères) et ce ne sont en général que des ouvrages ponctuels de taille et longueur réduites. Seule la digue de Guernes se prolonge sur 6 km. Ainsi l'effet de déconnexion et d'amplification des crues du à l'endiguement est négligeable sur la Seine aval. La présence d'ouvrages tels que seuils, écluses et barrages mobiles rompt la continuité amont/aval et affecte le transport de matières solides. Cet aspect sera développé ci après dans la problématique d'envasement des bras secondaires.

Les actions de dragage, curage et mise en forme du chenal navigable affectent la morphologie du fond des portions aménagées. On assiste principalement à une homogénéisation du fond et de la vitesse d'écoulement sur de grandes distances et cela se traduit par une perte d'habitats et de leurs fonctionnalités écologiques associées.

Les différents types de protection de berges comme les palplanches, les enrochements ou les protections végétales n'ont pas le même impact. En effet, les protections végétales, plus légères, ne sont pas appropriées dans le cas de fortes érosions mais permettent à la berge de garder un aspect et une fonction naturelle. Les enrochements sont une protection efficace mais dégradant l'aspect paysager et limitant les fonctions écologiques des berges. Les palplanches sont très efficaces mais leur implantation en profondeur déconnecte le fleuve de sa nappe alluviale.

❖ **Les effets induits sur les milieux aquatiques naturels**

La présence d'ouvrages transversaux crée en amont une plus grande hauteur d'eau, le niveau de la nappe alluviale souterraine étroitement lié à cette hauteur d'eau est modifié dans l'avant-pays jusqu'au pied de la retenue. Le relèvement du niveau des nappes affecte le lit majeur et a des conséquences particulières sur l'équilibre de la faune et flore terrestre en inondant les habitats terrestres pour les remplacer par des habitats humides. Dorénavant, ces zones humides sont donc tributaires du maintien de cette hauteur d'eau dans les biefs.

La réduction de la vitesse d'écoulement en amont des barrages crée des zones d'eaux calmes qui peuvent avoir comme conséquences la multiplication de plantes aquatiques, l'apparition de foyers de reproduction d'anophèles et autres insectes, la dégradation de la qualité de l'eau et des problèmes de désoxygénation néfastes aux poissons.

Les effets du dragage et du curage sont très controversés, ils restent néanmoins indispensables pour la navigation. En effet, l'absence de curage peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement : envahissement du lit par la végétation, divagation du cours d'eau et surtout une aggravation des inondations à cause de l'envasement et du comblement du lit.

Mais le curage a également des conséquences négatives, notamment par la remobilisation dans le fleuve de sédiments pollués (matière organique, métaux lourds, hydrocarbures,...) et par leur mise en remblai le long du fleuve.

Les variations de l'hydrodynamique du fleuve, l'action des vagues éoliennes et le batillage sont trois phénomènes qui jouent un rôle dans le processus d'érosion mais dont la contribution reste à déterminer.

D'après le Service de Navigation de la Seine, l'action du vent et du batillage sont moindres et ce sont les crues qui constituent la cause principale de l'érosion.

En effet, il faut nuancer l'aspect destructeur du batillage en fonction de la largeur du cours d'eau ; la Seine est relativement large et il serait intéressant de mesurer l'impact réel du batillage sur ses berges. Les vagues peuvent s'enfler près des bords et devenir destructrices surtout si elles agissent sur des berges limoneuses ou terreuses et provoquer de nombreuses dégradations sur la faune et la flore (œufs d'oiseaux nicheurs, roselières,...). Enfin la vague se charge sur le pied de la berge de fines et cela entraîne une augmentation brutale du taux de matières en suspension qui asphyxie la microfaune.

Les ouvrages de correction des berges ont des conséquences importantes sur la flore et la faune qui sont généralement évincées de ces zones , il y a souvent destruction de frayères ou de sites de reproduction de batraciens et ce sans compter sur la phase de chantier qui peut être très néfaste selon le cycle de vie des espèces présentes.

De même les actions sur la végétation comme l'enlèvement des encombres ou l'entretien de la ripisylve. En effet, de nombreuses études et notamment le Conseil Supérieur de la Pêche démontrent que les encombres, si elles sont fixées et ne présentent pas de danger pour les infrastructures, les bateaux et les populations, sont très favorables aux poissons, qu'elles contribuent au ralentissement des eaux lors des crues et qu'elles peuvent selon leur taille constituer une protection de berge naturelle. De même, dans le cas où la ripisylve est fournie, il est possible d'enlever les arbres penchés en procédant à un recepage permettant la

régression progressive du système racinaire et évitant ainsi de graves problèmes d'érosion. Par ailleurs il est préférable de limiter le débroussaillage et de préserver les arbustes, sources de nourriture et d'abri pour de nombreux animaux.

Enfin, la gestion de la ligne d'eau a causé la perte de nombreux milieux typiques de la dynamique fluviale. La végétation des berges n'étant plus soumise aux variations hydrologiques, les populations stabilisées persistent sur les grèves. Les espèces arborées à bois durs (chêne, hêtre, orme) stabilisent le sol et favorise la rétention des sédiments. Ces deux facteurs, amplifiés par la faiblesse du courant, participent au développement des îles et à l'assèchement des bras secondaires .

Conclusion

Ainsi dans le cadre de l'Avant Projet Sommaire d'Itinéraire sur la Seine aval , V.N.F. est désormais plus à même, sur le secteur Paris – boucle de Guernes, de définir les actions nécessaires à la restauration de la fonctionnalité écologique du fleuve, notamment en prenant en compte les objectifs de la directive cadre européenne sur la politique communautaire dans le domaine de l'eau.

Il est néanmoins apparu lors de cette étude que les rives de la Seine aval sont mal connues. Les différents organismes contactés regrettent les lacunes importantes quant à la connaissance du linéaire Seine aval dans son ensemble. Malgré les grandes surfaces inventoriées au travers des zones remarquables protégées ou non, aucun gestionnaire n'a, à l'heure actuelle, une vision complète et patrimoniale de ce linéaire. La carte présentée comme synthèse des zones d'intérêt écologique ne peut être considérée comme un outil finalisé et exhaustif.

Ce constat positionne donc V.N.F, en tant que gestionnaire principal, comme une alternative à ce manque de connaissances et d'organisation sur la Seine aval ; il pourrait en effet être envisagé de positionner V.N.F. (et le Service de Navigation de la Seine pour les missions régaliennes) comme centralisateur des attentions autour de la Seine aval.

II. Problématique particulière de l'envasement des bras secondaires non navigables et de leur impact sur les crues de la Seine

Etat des lieux de la problématique

La Seine est un fleuve d'une puissance relativement modeste, sur l'ensemble des fleuves européens elle présente parmi les débits moyens les plus faibles (environ 450m³/s à l'embouchure).(R. Zumbiehl, 1999)

Par rapport à la Loire qui partage la même classe climatique, la Seine a un bassin plus « sec » mais surtout une pente moyenne plus faible (1/10 000 alors que la Loire a une pente de 5 à 10 pour 10000), d'où une différence de morphologie avec, pour la Seine un style à larges méandres et une charge sédimentaire plus fine (matières en suspension rendant l'eau trouble). Les mécanismes de transport solide/sédimentation sur la Seine sont particuliers et fortement dépendants de la fraction fine en suspension, et bien peu de la fraction lourde en charriage (stoppée dès les premiers obstacles amont de la Seine, tels que grands barrages et barrages de navigation).

La Seine est aujourd'hui confrontée à d'importants problèmes d'envasement qui sont commandés par, d'une part les faibles vitesses d'écoulement en eaux moyennes et, d'autre part, l'influence du régime hydraulique et de la morphologie du fleuve qui entraînent des temps de séjours longs et favorables à une chute des matières en suspension (MES). La présence des barrages de navigation qui maintiennent une ligne d'eau au-dessus de la ligne d'énergie des eaux d'étiage ou moyennes accentuent la sédimentation en ralentissant encore les écoulements naturellement lents.

A. Matériel et méthode

Les bras secondaires non navigables de la Seine de part leur morphologie et leurs conditions d'écoulements plus lents sont donc des sites privilégiés pour la chute des particules en suspension et pour un envasement progressif.

C'est donc à cette problématique particulière que le Service de Navigation de la Seine doit faire face et c'est pourquoi cette étude se propose de construire une typologie permettant d'analyser et de pronostiquer la tendance à l'envasement des bras secondaires.

C'est pourquoi il est important dans un premier temps de considérer la morphologie générale des bras secondaires dont on souhaite évaluer le potentiel d'envasement (cf. annexe 1).

Il ressort de cette analyse générale que le tronçon de la Seine Paris – boucle de Guernes présente des bras simples ou complexes (avec plusieurs îles) connectés à la Seine en amont et en aval mais que certains autres bras ne sont connectés qu'à l'amont, ou bien qu'à l'aval ou encore uniquement par la nappe alluviale.

En effet, si le tracé général de la Seine n'a pas beaucoup changé en raison de sa faible puissance, en revanche la carte de Cassini nous permet de constater la perte de bras secondaires entre aujourd'hui et le XVIIIème siècle (cf. figures 3 et 4).



Figure 3: extrait de la carte de Cassini au niveau d'Achères



Figure 4: morphologie actuelle de la Seine au niveau d'Achères

Ainsi, certains bras secondaires se sont vus totalement déconnectés de la Seine suite aux grandes phases d'aménagement et de travaux sur le fleuve : le bras de Mousseaux ne subsiste que par sa connexion à la nappe alluviale, les bras de Marly et de Puteaux n'ont pas d'écoulement (ni d'envasement) car l'amont est fermé par des ouvrages et le bras de Guernes quant à lui s'envase forcément puisqu'il n'a pas d'issue à l'aval.

Il n'y a donc pas lieu d'intégrer ces bras dans la typologie.

En revanche les bras connectés amont/aval sont étudiés selon différentes approches (moyennes eaux/hautes eaux) et selon différents critères (tendance globale/singularités locales) afin de constituer une typologie fonctionnelle.

L'ensemble des bras sont présentés en annexe 15.

1. Evaluation de la problématique au moyen d'une typologie géomorphologique, hydraulique et sédimentologique.

Il est nécessaire d'envisager dans un premier temps les critères morphologiques de la Seine et de ses bras secondaires afin d'en tirer une tendance globale à la sédimentation. Cette approche générale est donc dépendante de l'eau qui entre et de son écoulement dans le bras.

Nous verrons que selon la complexité de la morphologie des bras secondaires notamment liée à la présence de plusieurs îles, il faut prendre en compte les entrées ou sorties d'eau intermédiaires.

Puis, l'analyse des relevés bathymétriques des bras secondaires va permettre de discuter l'intérêt de cette approche globale et de la confronter à l'importance des phénomènes sédimentaires locaux et aussi aux conditions hydrauliques de hautes eaux qui, par leur caractère érosif, sont prépondérantes dans les mécanismes de transport solide.

L'ensemble de ces considérations morphologiques, sédimentaires et hydrauliques va permettre d'aboutir à la construction d'une typologie dégageant le potentiel du bras à l'envasement ou au contraire à l'auto curage.

La fonctionnalité de cette typologie sera alors discutée grâce à la comparaison des tendances réellement observées sur sept bras secondaires entre 1980 et 2003.

L'intérêt de cette typologie est alors de pouvoir faire des pronostics sur les bras ne possédant pas de données bathymétriques concernant leur tendance à l'envasement et, éventuellement de décider de mesures à prendre.

2. Evaluation de l'impact des activités anthropiques

Outre la première approche typologique liée pour l'essentiel aux éléments de géomorphologie, hydraulique et sédimentologie du système Seine et bras secondaires, il ne faut pas négliger l'impact des activités humaines sur les problèmes d'envasement des bras secondaires non navigables de la Seine.

Il apparaît en effet que le caractère fortement aménagé et navigué de la Seine et que la forte urbanisation de ce tronçon de la Seine aval (Paris - boucle de Guernes) aient un rôle important pour le transport des matières particulaires.

L'impact de la navigation est analysé grâce aux diverses sources biobibliographiques, en revanche l'impact des rejets urbains est spécifié sur le tronçon Paris- boucle de Guernes grâce aux données fournies par le programme PIREN-Seine sur les rejets de STEP et les rejets industriels (cf. annexes 2 et 3). Les données ont été traitées sur la période 1999/2002 notamment pour limiter les complications dues aux changements fréquents de raison sociale des entreprises mises en cause et pour avoir une analyse homogène sur les dernières années. Les données sur les Rejets Urbains par Temps de Pluie sont malheureusement indisponibles et seules les grands déversoirs d'orage ont été pris en compte.

Le traitement de ces données sur les rejets urbains est cartographié pour faciliter l'analyse.

3. Analyse et modélisation de l'impact d'un bras envasé sur les crues de la Seine

La synthèse des conditions physiques (géomorphologie, hydraulique et sédimentologie) et des conditions liées aux activités humaines (navigation et rejets) permet ainsi de pronostiquer l'envasement d'un bras secondaire.

Reste désormais à analyser l'impact de cet envasement sur les crues de la Seine.

C'est sur le bras de Haute-Isle qui présente un des envasements les plus importants (70 cm en moyenne sur 23 ans) que cet impact est analysé grâce à une étude hydraulique et à une modélisation de la ligne d'eau de la Seine en crue.

La première étape nécessite une phase de terrain permettant de connaître la géométrie du bras et du fond afin de l'intégrer dans le logiciel de modélisation. Pour cela une campagne de bathymétrie a été organisée sur le bras de Haute-Isle les 21 et 22 juillet 2004 avec un zodiac équipé d'un sondeur vertical bifréquence, un GPS et un géodimètre robotisé à visée laser pour

avoir précisément l'altitude du plan d'eau dans le bras. Les caractéristiques de ces appareils sont précisées en annexe 4.

Les relevés ainsi obtenus (cf. annexe 5) sont ensuite traités pour intégrer la géométrie du bras dans le logiciel de modélisation hydraulique HEC-RAS.

La géométrie de la Seine est modélisée grâce aux relevés réalisés par le S.N.S. et présentés sous cette forme :

BRANCHE No 96 - P.K.: 788.250

cote (m.IGN.69) 8.700 12.330 15.000 15.000 15.000 15.000

largeur (m) 20.0 45.0 50.0 50.0 50.0 50.0

Une fois les géométrie des bras (lit mineur et lit majeur) intégrées au logiciel (cf. annexes 11 et 12 et 13), on modélise l'écoulement en injectant le débit de la crue centennale de 1910, référence sur la Seine, soit 2700 m³/s et la cote atteinte par la crue à Haute-Isle, soit 18.73 m à l'aval du bras et en répartissant les débits entre chaque biefs modélisés : bras, Seine amont, Seine aval et Seine entre la diffluence et la confluence (cf. annexe 14).

L'ajustement des coefficients de Strickler et des répartition de débits se fait grâce à la crue de 1910 qui sert ici de crue de calage du modèle ; on modifie ces données pour atteindre la cote amont du bras qui doit être de 18.97 m.

Dès lors il s'agit de chercher à déterminer l'impact de l'envasement sur la ligne d'eau de la Seine en crue en y incluant trois scénarii différents :

- la situation d'envasement actuelle
- une situation de comblement total du bras, au niveau de la retenue normale du bief soit 12.37 m
- une situation où le bras est dragué à un niveau proche du chenal de la Seine, soit 8m

B. Résultats

Pré-diagnostic

Le pré-diagnostic de l'état et de la dynamique d'envasement des bras secondaires non navigués de la Seine est appréhendé selon deux axes principaux : tout d'abord un axe purement physique faisant intervenir les caractéristiques géomorphologiques, hydrauliques et sédimentaires du système Seine + bras. Ensuite l'importance des activités humaines liées à la Seine a fondé la prise en compte comme deuxième axe principal d'étude les éléments de forçages anthropiques sur l'envasement des bras secondaires.

D'autres approches ont pu être négligées, la principale reste la nature granulométrique des berges qui n'a pas été prise en compte dans cette étude par manque de temps puisque cela aurait nécessité des prélèvements et analyses systématiques sur chaque bras.

1. Eléments de géomorphologie, hydraulique et sédimentologie

a) Construction de la typologie

*(a) **Tendance globale à la sédimentation***

Afin d'évaluer la tendance sédimentaire globale d'un bras secondaire, il faut considérer la quantité d'eau entrant dans le bras et ses conditions d'écoulement les plus contraignantes pour en sortir.

En effet le différentiel entre ces deux notions conditionne le temps de séjour et le volume de sédimentation dans le bras.

Le critère de l'entrée d'eau a été écarté car il ressort qu'en conditions normales de moyennes eaux, quelque soit l'angle d'entrée, l'écoulement de la Seine est suffisamment lent et homogène pour que l'eau pénètre dans le bras secondaire.

Ne sont retenus donc pour évaluer la tendance sédimentaire globale que les critères liés à la section la plus contraignante, et donc le potentiel d'évacuation de l'eau qui n'est pas confrontée au phénomène de stagnation.

Comme les sections exactes ne sont pas connues, dans le cadre de l'approche typologique, on assimile la section contraignante du bras à la largeur au miroir la plus étroite.

❖ La section contraignante :

Le rapport largeur de la section contraignante/largeur de la section d'entrée

Ce rapport permet de rendre compte de l'ampleur de la diminution de section et donc de la proportion d'eau entrée qui passe facilement et coule sans subir de perturbation.

Plus il est grand , plus l'écoulement est homogène et sans gêne et donc la tendance à la sédimentation est moindre.

Le rapport distance de la section contraignante par rapport à l'aval du bras/ longueur totale du bras

La Seine est en régime fluvial et, en terme d'hydraulique, elle subit un « contrôle aval », c'est pourquoi il est important de situer cette section contraignante par rapport à l'aval : plus elle est proche de l'aval du bras, plus son impact se ressent sur une part importante du bras.

Ainsi, plus ce rapport est grand, plus la section contraignante est située en amont et moins son impact contraignant se fait ressentir sur l'ensemble du bras.

L'indice se base sur la première section contraignante : si la longueur d'action est supérieure à 25% du bras elle est prise en considération pour en tirer une tendance globale.

Pour les bras qui présentent une section contraignante avec une longueur d'action inférieure à 25%, c'est à dire avec une section contraignante n'induisant pas une tendance généralisée, on localise la seconde section contraignante et on recalcule le rapport pour déterminer si une tendance généralisée se profile ou non (cf. figure 5).

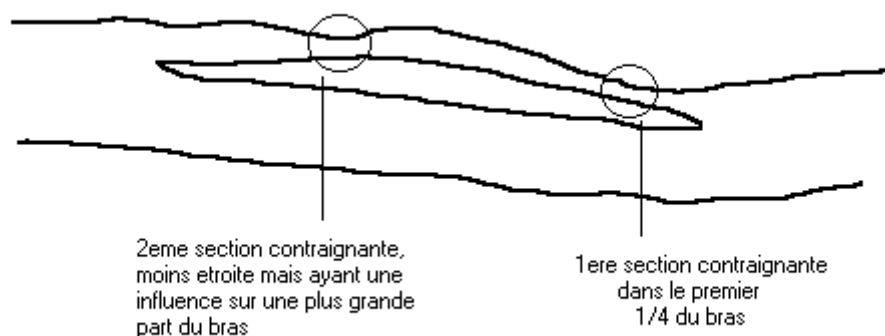


Figure 5: méthode d'évaluation de l'impact des sections contraignantes

Cette méthode d'évaluation est suffisante dans le cas de bras simples, constitués par une seule île, tels que les bras de Saint-Germain, de Garenne, de Vaux, etc.... En revanche certains bras présentent plusieurs îles et il y a selon les cas, des sorties ou entrées d'eau supplémentaires

qu'il est nécessaire de prendre en compte afin d'évaluer la tendance à la sédimentation globale du bras.

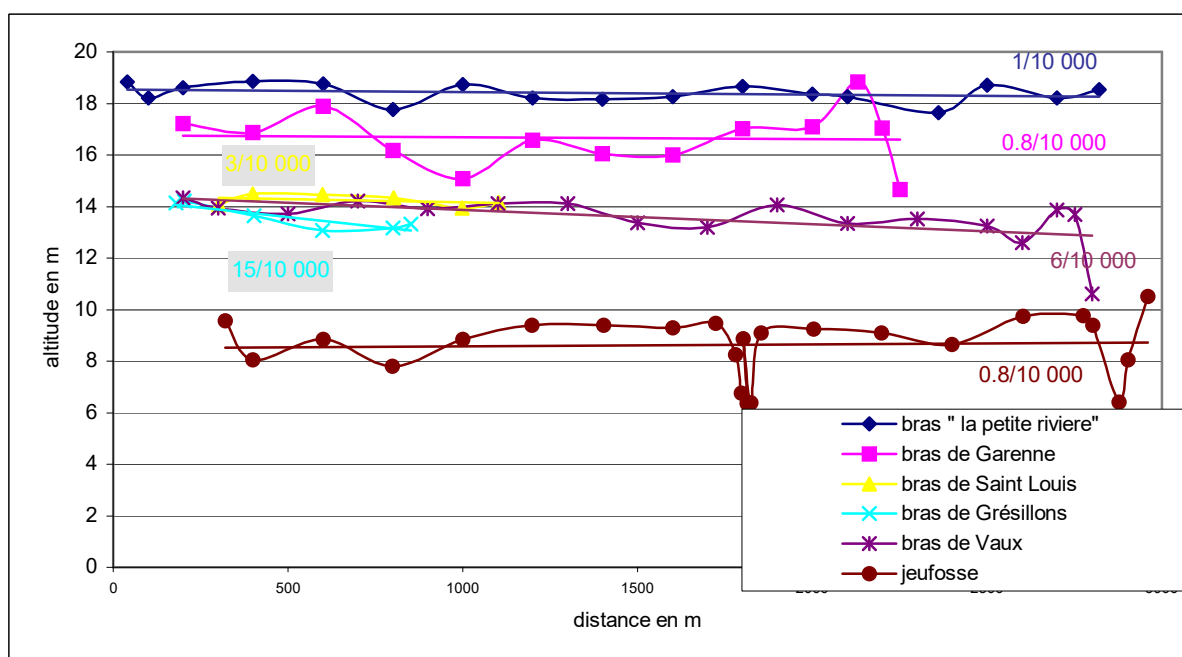
C'est pourquoi afin de définir une tendance sédimentaire globale à partir des critères liés à la section contraignante il est préférable de raisonner sur les bras simples.

Comparaison bras simples

Une première approche est de considérer les pentes des courbes de tendance du fond des bras secondaires simples afin de dégager une éventuelle distinction (cf. graphique 1).

Il apparaît que les pentes sont relativement proches de la pente moyenne de la Seine, soit entre 0,8 et 1 pour 10 000, sauf pour trois bras que sont les bras de Saint-Louis, Vaux et Grésillons avec de fortes pentes de, respectivement, 3, 6 et 15 pour 10 000.

Ce graphique permet également d'évaluer l'hétérogénéité du fond des bras en considérant l'écart de la bathymétrie par rapport à leur courbe de tendance. En effet le bras de Garenne et dans une moindre mesure le bras de Jeufosse présentent le plus d'écart par rapport aux autres bras relativement homogènes.



graphique 1: comparaison des pentes des courbes de tendance du fond
des bras secondaires simples

Néanmoins, même si ces premières analyses sont corrélées à de réelles différences entre les bras, ces pentes n'indiquent pas de tendances suffisamment marquées pour être exploitées en tant que telles.

De plus il est contre indiqué de comparer ces indices de pente entre tous les bras car ils appartiennent à des biefs différents d'une part et d'autre part leur position à l'intérieur des biefs peut entraîner des variations importantes de la bathymétrie (proche ou en aval du barrage).

Il est cependant possible de réaliser une comparaison efficace entre le bras de Garenne et le bras « la petite rivière » : en effet ils appartiennent tous deux au même bief entre les barrages de Bougival et d'Andrésy et sont situés à proximité dans ce bief. Ils présentent un classement identique quant à l'indice considérant la diminution de section imposée par la section contraignante mais il y a une différence pour la position de cette section (cf. figure 6).

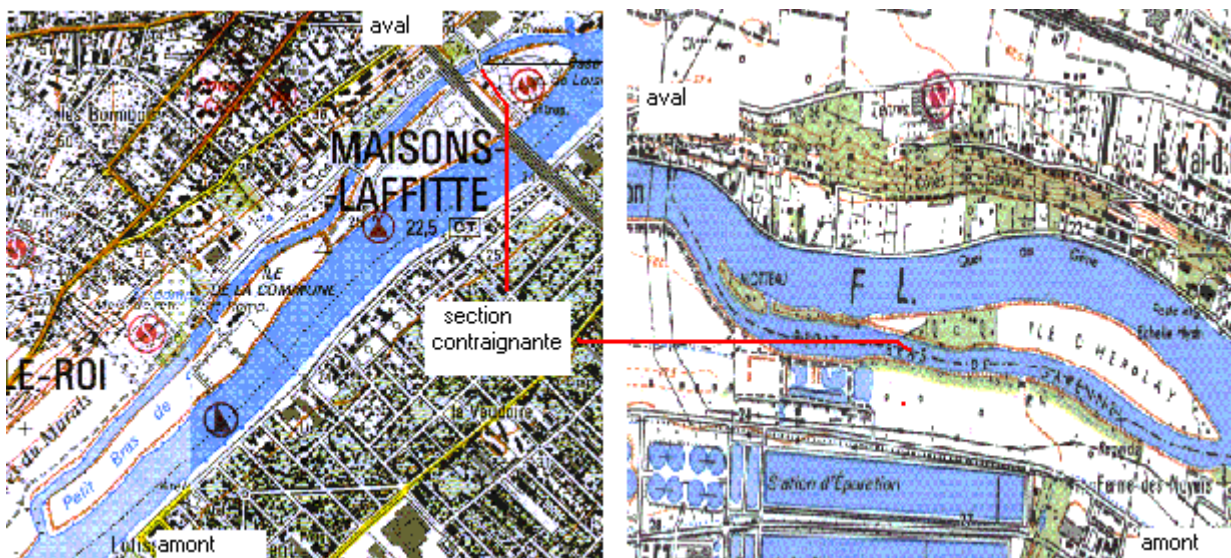
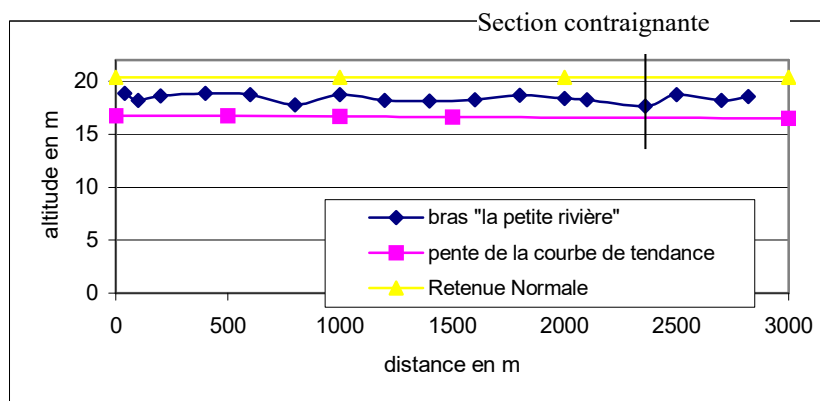


Figure 6: comparaison des morphologie du bras "la petite rivière" et du bras de Garenne

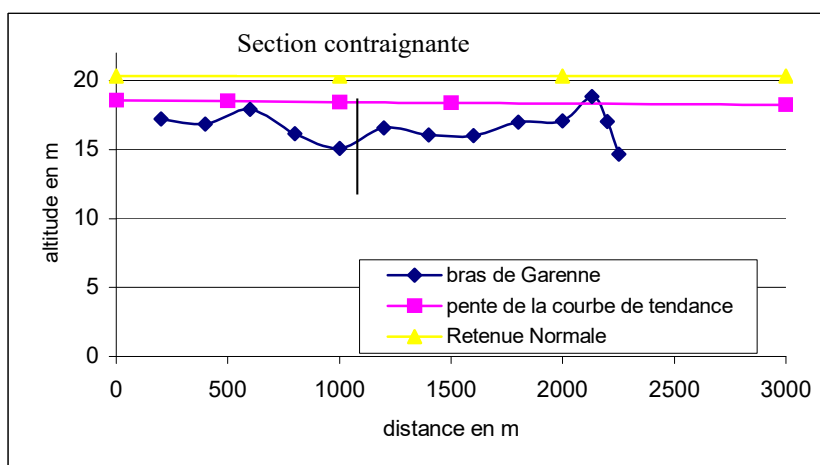
A partir de la bathymétrie et, connaissant les distances des sections contraignantes et de l'amont et aval des bras, il est dès lors possible de comparer l'allure des fonds des bras de Garenne et « petite rivière » en les situant par rapport à la Retenue Normale du bief (soit ici de 20.35 m) et à la pente de leur courbe de tendance calculée précédemment. (cf. graphique 2 et 3)

Bras « la petite rivière » : $y = -0.0001x + 18.546$

Bras de Garenne : $y = -8^E-05x + 16.756$



graphique 2 : analyse de la bathymétrie du bras "la petite rivière"



graphique 3 : analyse de la bathymétrie du bras de Garenne

Sur les graphiques, on constate bien l'influence de la position des sections contraignantes : pour le bras « la petite rivière », la position aval de la section contraignante entraîne une ligne de cote du fond relativement régulière jusqu'à cette section.

Tandis que pour le bras de Garenne où la section contraignante se situe vers le centre du bras , on observe bien une cassure de la ligne de fond à ce niveau , il y a même inversion de la tendance après la section contraignante. (il y a tendance à la sédimentation après la section contraignante, ce qui traduit soit une redéposition de surcharge sédimentaire liée à l'accélération dans la section contraignante, soit, les deux pouvant se cumuler, le remous solide lié à la butte aval du bras secondaire).

❖ Les entrées ou sorties d'eau du bras

Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'analyse de la contrainte des écoulements ne suffit pas pour les bras complexes présentant deux ou même plusieurs îles et donc des entrées ou sorties d'eau intermédiaires qu'il est nécessaire de prendre en compte.

La première étape est de déterminer si l'on a une entrée ou une sortie d'eau, pour cela on considère l'angle intermédiaire (cf. annexe 6) :

Pour une sortie d'eau, cet angle est supérieur à 90° , pour une entrée il est inférieur à 90° .

On considère ensuite la section du bras après cette confluence/difflue pour définir s'il y a une tendance au report de la masse d'eau du bras secondaire vers le bras principal. En effet si l'angle est à priori favorable à une sortie d'eau, il faut encore prendre en compte cette section car si elle diminue (c'est ce qui se produit dans la plupart des cas) alors la masse d'eau est gênée et elle suivra l'axe préférentiel de sortie du bras. En revanche si la section après la difflue reste aussi large ou même augmente, la masse d'eau non contrainte poursuivra alors son axe d'écoulement et peu d'eau sortira du bras.

De même il faut prendre en considération la capacité d'accueil du bras principal car si les sections et angles du bras secondaire poussent l'eau à sortir, les sections de la Seine ne sont pas forcément favorables à un surplus d'eau.

Dans la majorité des cas la morphologie s'est adaptée à ces sorties et entrées d'eau, soit naturellement, soit par des aménagements plus ou moins lourds et donc elle compense leurs effets

Sortie d'eau : exemple du bras d'Andrésy et dérivation de Carrières (cf. figure 7)

La bathymétrie à Andrésy permet de confirmer qu'il y a bien une sortie d'eau liée à l'angle, à la nette diminution de section dans le bras secondaire (80 à 40 m) et également favorisée par l'accueil de la Seine qui passe de 126 à 165 m. Ainsi il se dessine nettement un chenal d'écoulement au niveau de la sortie (point jaune), tandis que le bras de la dérivation s'envase (point bleu).

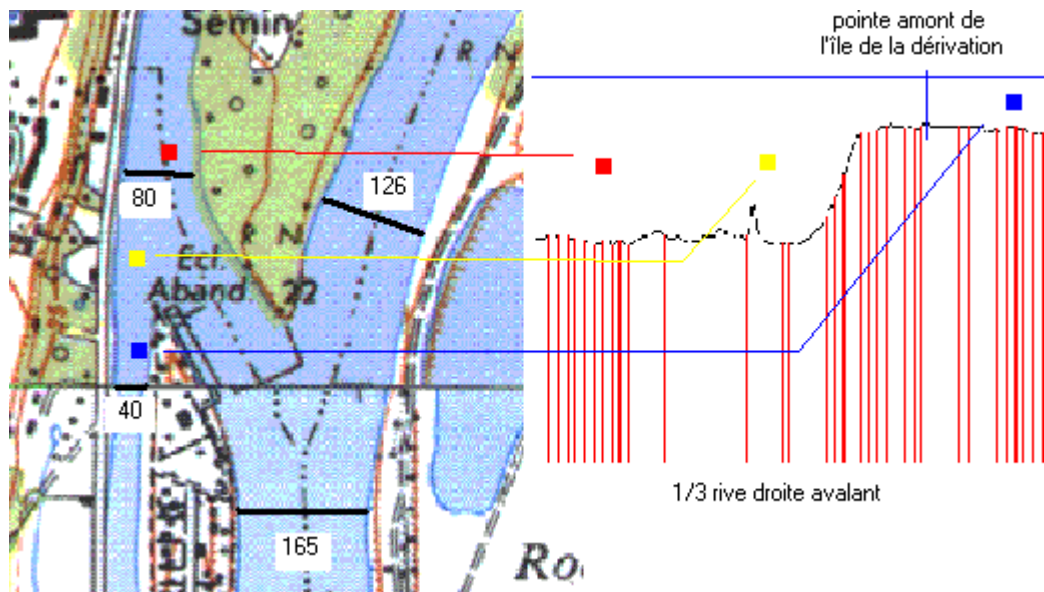


Figure 7: comparaison de la morphologie de la sortie d'eau
du bras d'Andrésy et du relevé bathymétrique

Entrée d'eau : exemple du bras de Haute-Isle (cf. figure 8)

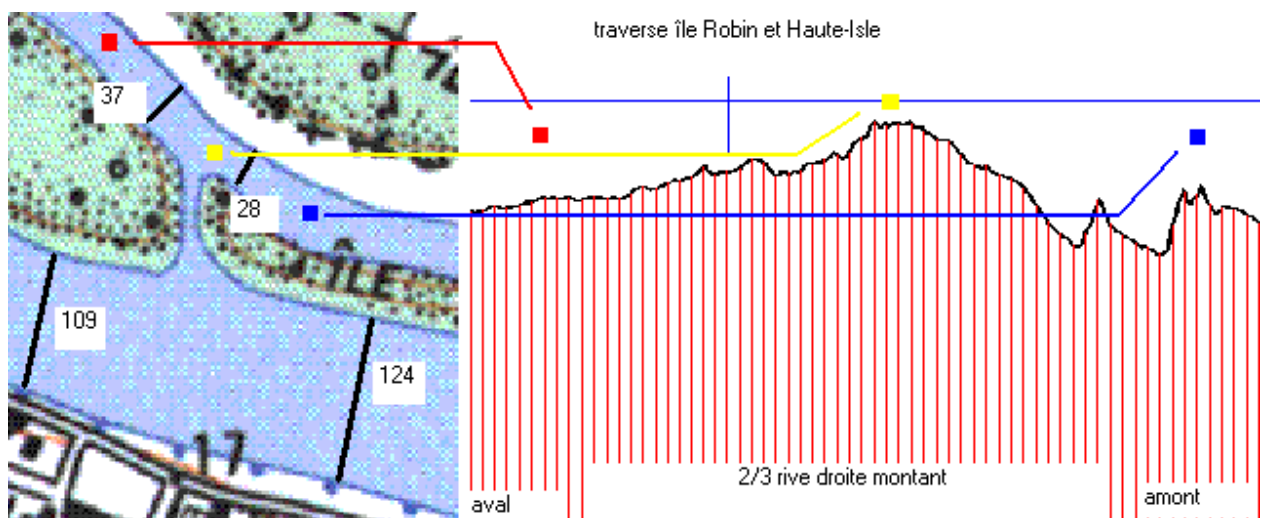


Figure 8: comparaison de la morphologie de l'entrée d'eau du bras
de Haute-Isle et du relevé bathymétrique

Dans ce cas il y a bien une entrée d'eau mais l'angle d'insertion et les faibles variations de sections de la Seine (pour le report) et du bras secondaire (pour l'accueil) font que l'écoulement est peu dynamique, lent et homogène. C'est pourquoi sur la bathymétrie on constate une sédimentation importante au niveau de la traverse entre les deux îles avec tout de même un écoulement puisque les sédiments sont étalés vers l'aval.

Ces critères de section contraignante et d'entrées/sorties d'eau semblent donc bien refléter la réalité mais pour de nombreux bras, la tendance globale est contrariée par différents événements locaux ou par des conditions de hautes eaux. Pour une meilleure définition il serait intéressant de recueillir plus de données bathymétriques, notamment sur des bras ayant des critères semblables et permettant de bonnes comparaisons, ce qui fait parfois défaut pour l'interprétation.

C'est pourquoi cette notion de tendance sédimentaire globale doit servir d'indication de base mais être complétée par les singularités et les conditions de hautes eaux.

(b) Singularités

Ce terme regroupe toutes les particularités locales du bras secondaire susceptibles de modifier ponctuellement la vitesse d'écoulement des eaux chargées en MES et donc d'induire une éventuelle chute ou reprise des sédiments, selon qu'il y a diminution ou augmentation de la vitesse. La somme de ces conditions locales et ponctuelles est importante et ne doit pas être négligée à l'échelle du bras.

❖ La courbure du bras :

Courbure du bras secondaire : rapport des distances concaves sur distances convexes

Les valeurs varient entre 1 et 1.096. Par inter-comparaison des valeurs , cette courbure est considérée comme une singularité négligeable pour des valeurs inférieures à 1.032, moyenne entre 1.032 et 1.064 et forte pour des valeurs supérieures à 1.064. C'est à dire que pour un bras moyen d'une distance de 3 km, pour une courbure forte, il y a une différence de 200 m entre la berge concave et convexe , soit 7% du bras.

❖ Présence de virages marqués :

Sont considérées comme singularités fortes les virages, décrochements et sinuosités importantes. Afin de les caractériser on utilise le rayon de courbure du virage sur les cartes IGN au 25 000ième qui doit être inférieur à 2 cm (ce qui correspond à 500 m sur le terrain).

Ces deux valeurs nous donnent une indication sur les phénomènes de ralentissement des eaux dans le bras dus à des forces de frottements sur les berges et à des forces de cisaillement entre les lignes d'eau.

En effet il existe un phénomène de sédimentation longitudinale où selon la courbure du bras on retrouve des dépôts en rive convexe (car plus abritées) et des érosions en rive concave (car plus exposées à la puissance de l'eau qui est entraînée par la courbure du bras). Malgré ces différences il ressort néanmoins une tendance globale sur le bras et les courbes provoquant un ralentissement sont à interpréter dans le sens de la faveur de la chute des sédiments.

❖ L'angle d'insertion :

L'angle d'insertion du bras par rapport à la ligne d'eau du chenal principal de la Seine est pris en compte ici comme une singularité à l'entrée du bras qui va entraîner ou non un premier ralentissement des eaux et une sédimentation locale.

Les valeurs limites permettant de classer cette singularité comme moyenne ou forte ne sont pas établies statistiquement mais selon un critère d'entrée des lignes d'eau détaillé en annexe 7. C'est à partir d'un angle de 25° que l'angle d'insertion est considéré comme une singularité moyenne et à partir de 50° comme forte.

En effet c'est à partir d'un angle de 25° que l'on constate un effet butoir de la ligne d'eau entrante sur la berge opposée qui implique donc une zone morte à l'entrée du bras et un début d'atterrissement. Cette sédimentation à l'entrée de bras va s'amplifier à mesure que l'angle d'insertion augmente et à partir de 50° il se forme un véritable atterrissement comme pour le bras de Jeufosse qui, avec un angle de 83° , présente un haut fond de 2 m au niveau de la pointe de l'île (cf. figure 9).

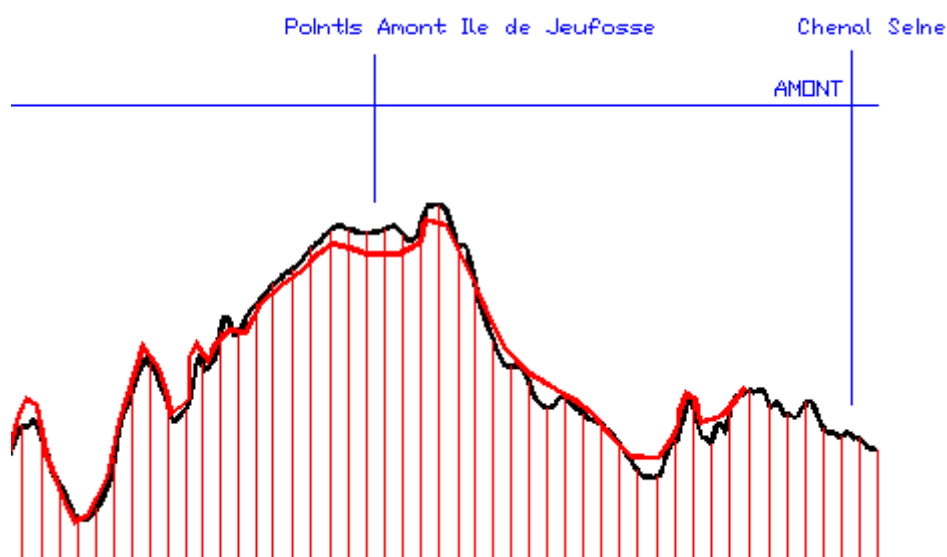


Figure 9: formation d'un atterrissement à l'entrée du bras de Jeufosse

❖ **Les ouvrages :**

La présence d'ouvrages dans le lit du bras secondaire est une particularité importante pour l'hydraulique du bras car cela entraîne de fortes perturbations locales des lignes d'eaux et des phénomènes de dépôt/érosion complexes. En effet les ouvrages induisent un obstacle à l'écoulement donc un ralentissement et une chute des MES en amont mais cet obstacle induit également une reprise locale des sédiments donc la formation d'un affouillement en aval suivi de nouveau d'un dépôt de ces fines remises en suspension plus en aval encore. Ces oscillations locales qui se suivent sont donc caractéristiques d'un obstacle local important. (cf. graphique 4 sur les singularités du bras de Limay).

Globalement on considère la simple présence d'ouvrages d'art tels que les piles de ponts ou les anciennes écluses comme une singularité forte, ralentissant l'écoulement et donc favorable à la chute des MES.

❖ **Les changements brutaux de la section du bras :**

Ces réductions ou élargissements brutaux de la section sont également significatifs pour l'hydraulique du bras. En revanche ces deux particularités sont à interpréter tout à fait différemment.

(i) L'élargissement brutal de la section :

Un élargissement brutal, c'est à dire sur une distance d'environ 200 à 300 m, provoque un ralentissement également brutal de la vitesse d'écoulement et donc une chute locale des fines transportées dans le courant ; c'est une singularité favorable à l'envasement du bras.

Dans le cas du bras de Bennecourt où le bras s'élargit de 50% en 150 m, sur les relevés bathymétriques on observe un haut fond très localisé d'environ 5 m.

Sur le bras de Haut-Isle, il y a à l'aval un élargissement brutal où la section passe de 75 m à 122 m en une centaine de mètre (soit 38%), cela se retrouve sur les profils en long où il y a en effet un haut fond qui passe respectivement de 8.42 m à 11.83 m , soit de plus de 3m. Pour un élargissement brutal d'environ 25% le haut fond est rarement supérieur à 2m.

Ainsi les élargissements sont toujours pris en compte comme des singularités moyennes mais considérées comme fortes lorsque l'augmentation ou la réduction dépasse les 50%, c'est à dire quand les hauts fonds atteignent au minimum 5 m ce qui est très significatifs à l'échelle du bras, au contraire des hauts fonds de 2 ou 3 m qui sont plus courants.

(ii) La réduction brutale de la section :

C'est tout au contraire une condition qui va entraîner une accélération de l'écoulement (même débit, plus faible section : la vitesse augmente) et donc non seulement une singularité favorable à l'entraînement des MES mais également favorable au décollement des vases, à leur remise en suspension et donc à l'érosion du bras. En effet pour des réduction de section de 30 à 40% on observe sur les relevés bathymétriques des fosses de 2 à 3 m qui sont relativement étalées en longueur. Ceci s'explique par le phénomène de remise en suspension et de transport des sédiments qui se re-déposent sur une plus longue distance et atténue ainsi l'effet de l'érosion. C'est pourquoi une fosse de 2 ou 3 m dans le cas d'une réduction brutale de section est ici considéré comme significatif et représente une singularité moyenne. On considère également une fosse de 2 à 3 m comme plus significative car la tendance naturelle de la Seine est à la sédimentation, ainsi même quand le niveau du fond reste stable, c'est une situation d'auto curage. On conserve le critère de 50% de réduction pour parler de singularité forte.(la seule réduction brutale de plus de 50% concerne le passage du bras d'Andrésy à la dérivation de Carrières, mais la sortie d'eau intermédiaire fait qu'il n'y a pas de phénomène d'érosion au niveau de cette réduction).

❖ Les atterrissements

Ce terme d'atterrissement concerne en fait les situations de sédimentation telles qu'il y a affleurement des sédiments et même formation d'îlots. En effet, on ne considère pas les atterrissements qui se forment dans des zones d'élargissement ou de décantation naturelle car il y a un chenal d'écoulement qui est maintenu et on considère ce système dépôt/érosion en équilibre.

En effet cette situation se retrouve nettement sur le bras de Haute-Isle dans sa partie aval, il y a deux atterrissements localisés dans les parties convexes du bras. Or la comparaison des relevés bathymétriques de 1980 et 2003 montre qu'en 23 ans ces zones de moindre profondeur ne se sont exhausées que d'une trentaine de cm en moyenne (bien visible sur le profil 2/3 rive droite), tandis que le chenal d'écoulement s'est maintenu (visible sur le profil 1/3 rive droite).

En revanche les îlots peuvent être assimilés à des ouvrages et leur impact est très favorable à la chute des sédiments. Malheureusement le profil effectué sur le bras des Migneaux qui est le

seul à présenter de tels îlots commence en aval de ces îlots et il n'est donc pas possible d'en tirer une interprétation quantitative.

Dès lors la seule présence d'un îlot est interprétée comme une singularité forte.

bilan : calcul d'un indice permettant de qualifier l'impact des singularités dans le bras

L'indice synthétisant l'impact des singularités est en fait une somme des singularités favorisant l'envasement du bras en attribuant un poids plus ou moins important aux singularités moyennes et fortes et en retranchant les singularités favorisant l'érosion.

Exemple du bras de Moisson :

Nombre de singularités fortes : $2 * 2 = 4$

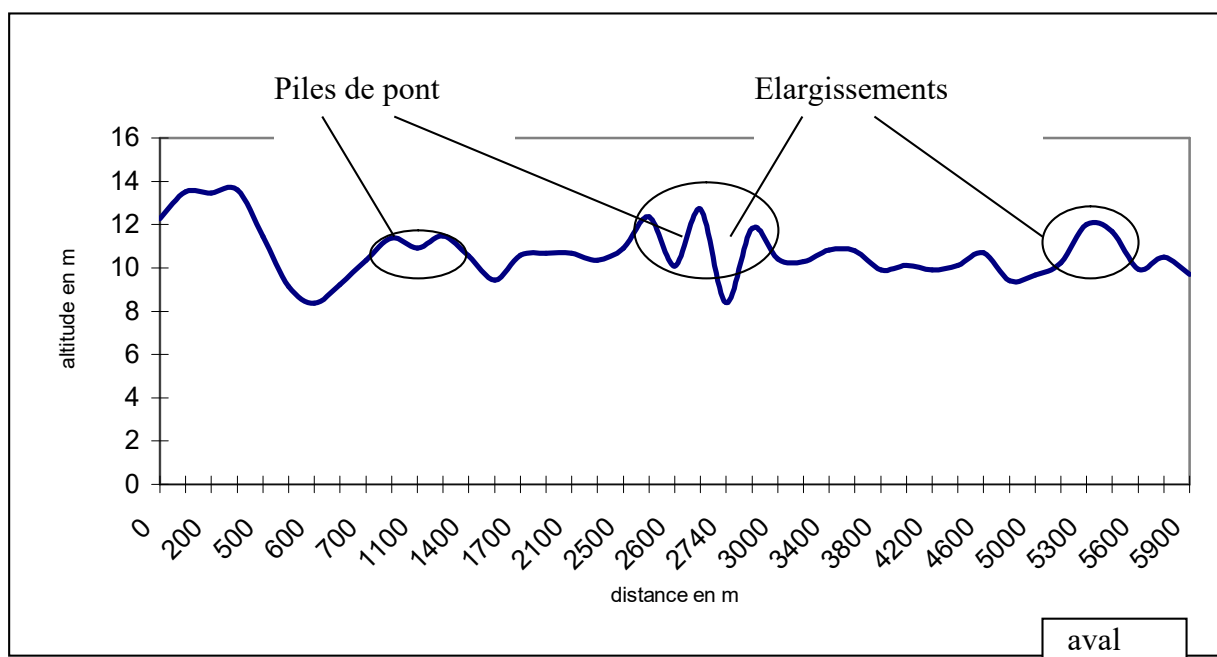
Nombre de singularités moyennes : $3 * 1 = 3$

Nombre de singularités érosives : 2

Indice de synthèse : $4+3-2= 5$

Comparaison des indices de synthèse « singularités » sur trois bras (cf. graphiques 4, 5 et 6 et figures 10, 11 et 12)

Le bras de Limay à un indice de synthèse élevé de 10, le bras de Jeufosse de 6 et enfin le bras de Saint-Louis de 0.



graphique 4 : bathymétrie du bras de Limay

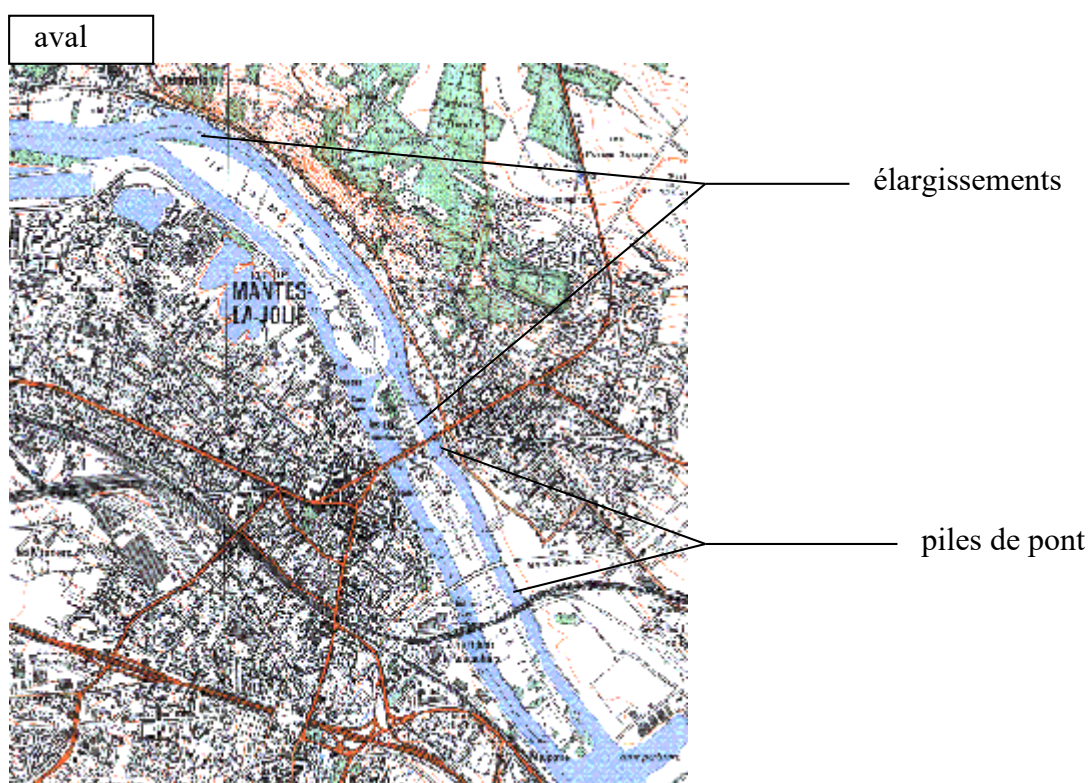
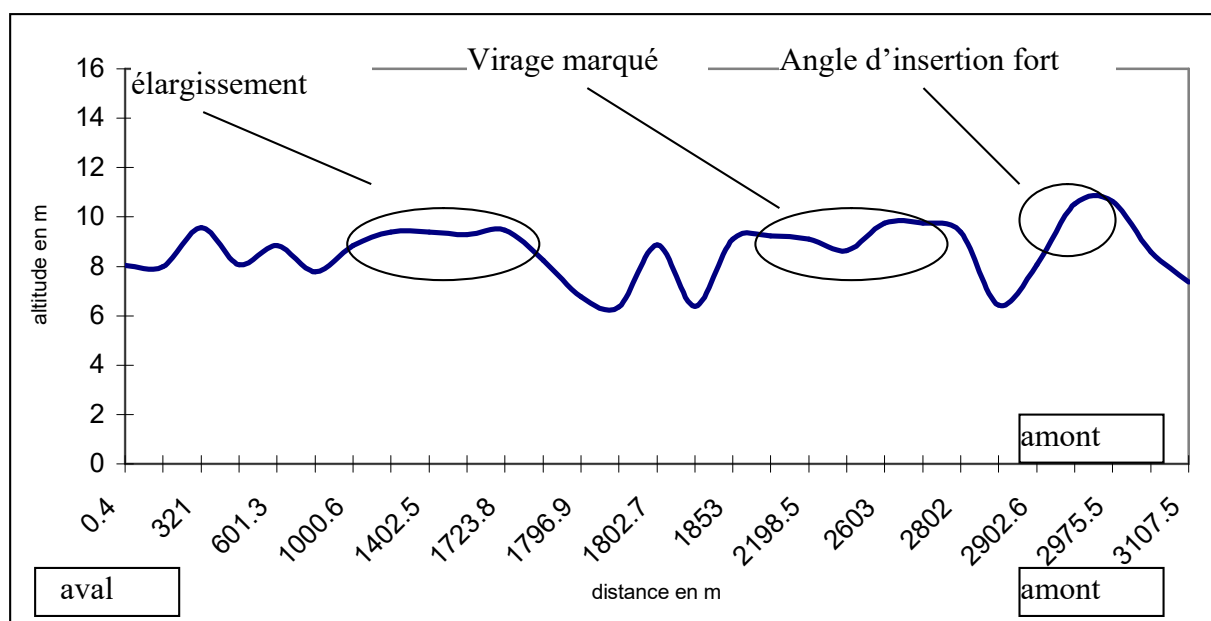


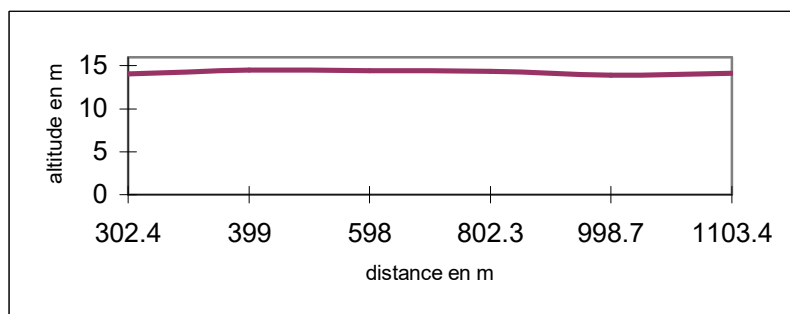
Figure 10: morphologie et singularités du bras de Limay



graphique 5 : bathymétrie du bras de Jeufosse



Figure 11 : morphologie et singularités du bras de Jeufosse



Aucune singularité

graphique 6 bathymétrie du bras de Saint-Louis



Figure 12: morphologie et singularités du bras de Saint-Louis

Les singularités clairement établies se retrouvent très nettement sur les relevés bathymétriques

En revanche certaines particularités locales ne trouvent pas d'explication a priori ou bien concernent des événements qui ne sont pas répertoriables sans une étape d'identification sur le terrain (certains de riverains réalisés de façon anarchique, l'empiétement de pontons qui forment des épis, les fondations d'anciens ouvrages d'arts...) ou des observations régulières (événements particuliers survenant à la crue ou à la décrue).

Il arrive parfois également que les singularités soient accentuées ou bien au contraire totalement masquées par une zone s'ensaisant ou s'érodant fortement.

Il est également intéressant de prendre en compte l'évolution de ces singularités. Les exhaussements ou affouillements importants liés à ces singularités restent-ils stables, en équilibre ou bien y-a-t-il au final une homogénéisation du fond ?

Visiblement ces singularités n'ont pas présentées d'évolution sensibles sur une période de 23 ans (1980 – 2003), il apparaît donc que si les causes ne sont pas traitées, les mêmes phénomènes sédimentaires se reproduisent et qu'ils atteignent un état d'équilibre.

(c) Conditions en hautes eaux

L'intérêt de cette typologie est de déterminer si les bras ont un fort potentiel d'ensaisement ou non. Pour cela il est nécessaire de considérer les facteurs géomorphologiques et hydrauliques en conditions normales mais il ne faut pas négliger l'impact des conditions de hautes eaux sur ce phénomène d'ensaisement. En effet, c'est pendant les hautes eaux et les crues que l'on assiste à un effet maximal de chasse des sédiments qui se sont déposés et qui obstruent le bras. Au contraire quand les conditions d'écoulement sont mauvaises, on assiste alors à un dépôt maximal de sédiments. Il faut alors évaluer les conditions qui permettent une chasse optimale des sédiments.

Les critères retenus pour la détermination des conditions de hautes eaux sont donc liés à la quantité d'eau et à la charge entrant dans le bras, au transport de cette eau chargée et des sédiments remis en suspension et enfin aux conditions aval du bras permettant ou non une bonne chasse des sédiments transportés.

Ces notions sont respectivement caractérisées par l'angle d'insertion du bras secondaire, par la courbure relative du bras secondaire par rapport à la Seine et par la capacité d'accueil de la Seine en aval.

❖ **L'angle d'insertion et la charge importée**

Sur la Seine qui est un fleuve contraint, présentant une pente faible et des vitesses d'écoulement également faibles (avec un débit de l'ordre de 270 m³/s), l'eau pénètre toujours dans le bras dans des conditions hydrologiques normales quelque soit l'angle d'entrée. En revanche, en conditions de hautes eaux et de crue, la vitesse d'écoulement de la Seine est nettement supérieure (avec un débit de l'ordre de 1500 m³/s) et la pénétration de la masse d'eau accélérée dans le bras est alors liée à l'angle d'insertion du bras.

Plus l'angle est petit, mieux l'eau pénètre dans le bras et plus la charge importée est importante. On utilise à nouveau les limites de catégories d'angle d'insertion de 25° et 50° pour qualifier la charge amenée comme faible, moyenne ou forte.

❖ **La courbure relative du bras par rapport à la Seine et le transport de la charge importée**

Plus le bras est courbé par rapport à la Seine, plus la distance à parcourir est importante et donc, à dénivelé amont/aval imposé par l'écoulement de la Seine, la vitesse d'écoulement est moindre dans le bras par rapport à celle dans la Seine. Ainsi cette courbure relative permet d'évaluer la capacité de transport de la charge importée et des sédiments remis en suspension par les hautes eaux.

Les limites de valeurs ont été déterminées par inter comparaison des bras. Il ressort un groupe de bras avec des valeurs de courbure inférieures à 1 donc la distance dans le bras est inférieure à celle de la Seine et les MES sont bien transportées, un groupe avec des valeurs proches de 1 et donc le transport est limité et un dernier groupe avec des valeurs proche de 1.15 et dans ce cas on considère que le transport des MES est faible.

Exemples des bras de Saint-Germain (figure 13) et de la Grande Jatte (figure 14) qui ont des courbures relatives de 1.15 et 0.96 :

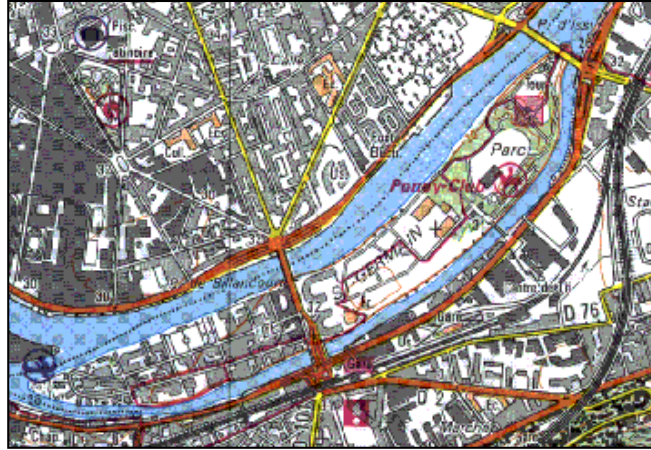


Figure 13: courbure du bras de Saint-Germain par rapport à la Seine



Figure 14: courbure du bras de la Grande Jatte par rapport à la Seine

❖ La capacité d'accueil de la Seine et l'insertion des eaux à l'aval du bras

La situation de contrôle aval de l'hydraulique de la Seine fait que la différence des vitesses à la sortie du bras par rapport à la vitesse d'écoulement dans la Seine va conditionner l'insertion plus ou moins facile des eaux du bras secondaire dans la Seine. Pour quantifier cette situation,

on regarde la tendance à l'accueil du bras principal et on compare la largeur du bras principal à la somme de la largeur du bras principal en amont de la confluence et de la largeur du bras secondaire en amont de la confluence.

Exemple de différence de capacité d'accueil des hautes eaux de la Seine (cf. figures 15 et 16) :

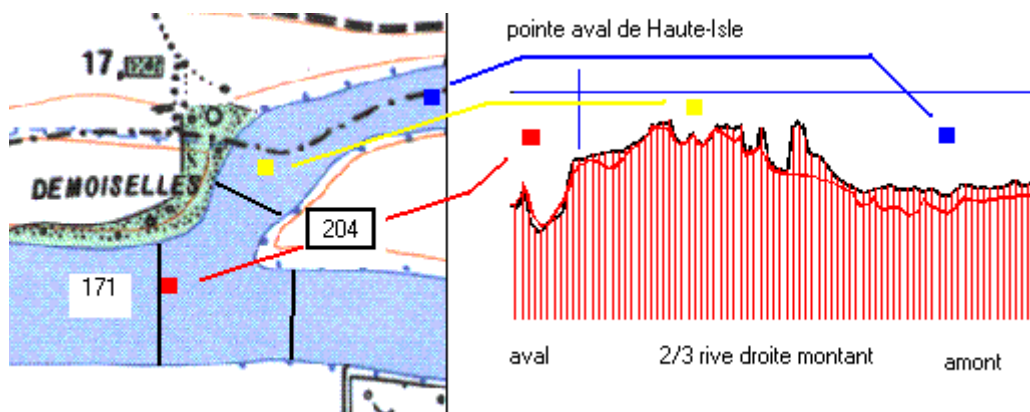


Figure 15 : bras de Haute-Isle , la Seine a une faible capacité d'accueil

Pour le bras de Haute-Isle, la largeur de la Seine, de 171 m, en aval de la confluence est moins large que la somme des deux sections amont (Seine + bras) de 204 m. La Seine présente donc une faible capacité d'accueil, les hautes eaux chargées sont donc bloquées et il se forme un atterrissement.

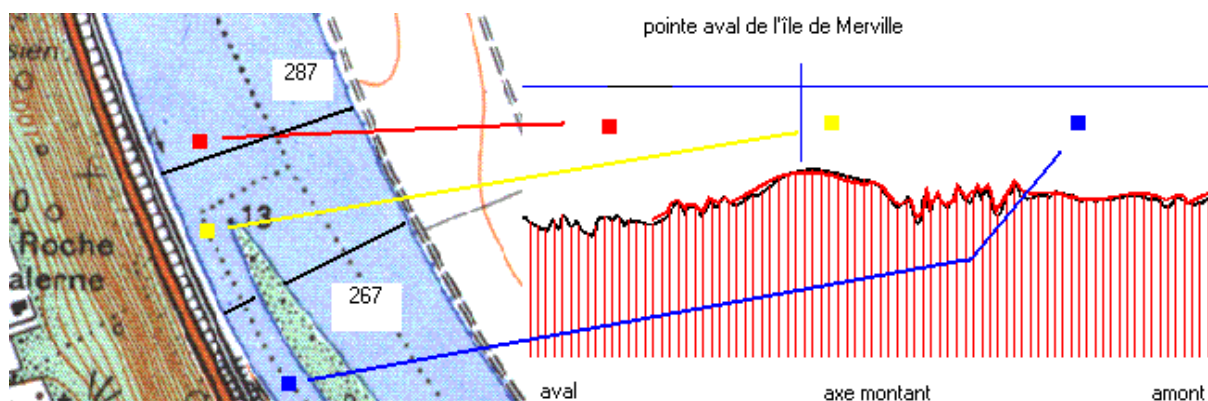


Figure 16: bras de Jeufosse, la Seine a une bonne capacité d'accueil

Tandis que pour le bras de Jeufosse, la Seine accueille bien les hautes eaux car sa largeur aval de 287 m est plus large que la somme des deux autres de 267 m. Le phénomène de chasse des sédiments en hautes eaux est efficace et il ne se forme pas d'atterrissement.

(d) Synthèse

Pour les singularités : classement des bras par inter-comparaison

Pour la tendance sédimentaire globale

Classement par inter-comparaison pour l'indice ration des sections (contraignante/entrée)

Classement par inter-comparaison pour l'indice part du bras influencé par la section contraignante

Puis moyenne des classements

Pour les entrées et sorties d'eau : selon la morphologie, on qualifie l'influence que peuvent avoir sur la sédimentation des entrées ou sorties d'eau, basée sur l'angle, la tendance au report et la capacité d'accueil

Pour les conditions en hautes eaux : Il faut prendre en compte l'ampleur du phénomène de chasse des sédiments basé sur l'angle, la facilité de transport et la capacité de la Seine à accueillir la masse d'eau chargée.

La synthèse prend en compte tous ces éléments pour arriver à une évaluation finale du potentiel d'envasement du bras.

Les tableaux présentant les différents calcul d'indice et la typologie finale sont présentés en annexe 8.

Il ne s'agit pas de donner des valeurs limites de classe précises mais d'intégrer ces indices et ces éléments dans un scénario final afin de limiter les erreurs d'interprétation.

b) Validation de la typologie

La première étape de description et d'analyse de la géomorphologie, des conditions hydrauliques et de la sédimentologie des bras secondaires a donc permis de construire une typologie qui traduit la tendance à l'envasement de ces bras.

Afin de valider cette méthode d'analyse, il est nécessaire de procéder à une vérification des tendances pronostiquées grâce aux données bathymétriques. Pour cela nous disposons de données bathymétriques sur plusieurs bras sur la période 1980-2003.

(a) Méthode d'analyse de l'évolution des tendances entre 1980 et 2003

Calcul de l'évolution des hauteurs moyennes

Afin d'obtenir une indication globale de la tendance sédimentaire du bras sur 23 ans, il est possible dans un premier temps de mesurer les distances qui sont en érosion et leur hauteur moyenne d'érosion, de même pour les distances en sédimentation. On obtient donc au final le pourcentage du bras qui est en érosion, en sédimentation et qui reste stable avec les hauteurs moyennes d'évolution des bras.

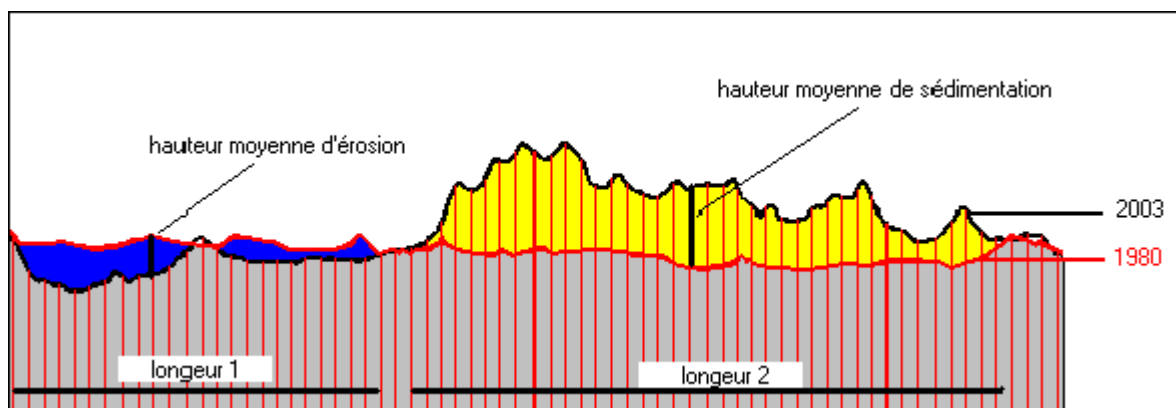


Figure 17: méthode de calcul des hauteurs moyennes de sédimentation

Ceci est possible grâce aux relevés bathymétriques permettant de comparer les différentes aires de sédiments entre la ligne des cotes du fond de 1980 et celle de 2003, en se bornant au limite amont et aval des îles délimitant les bras (cf. figure 17).

Pour certains bras, les profils ont été levés le long des bras à 1/3 et 2/3 de la rive droite, ce qui permet d'évaluer aussi la tendance sédimentaire globale en différenciant la rive concave et convexe.

Ce calcul d'évolution des hauteurs moyennes permet d'ors et déjà de différencier les bras qui ont sédimenté de ceux qui se sont érodés.

Les résultats obtenus sont reportés sur la page suivante dans le tableau 1.

Les bras pour lesquels on possède des données sur les deux rives (1/3 et 2/3 rive droite) permettent de mieux cerner les mécanismes de transport et de dépôt ou érosion.

Cette analyse peut se réaliser sur les bras de Haute-Isle et Bennecourt car leur courbure est constante sur la longueur du bras, contrairement au bras de Limay où il y a une inversion de la concavité.

Ainsi le bras de Haute-Isle voit sa rive concave (1/3 rive droite), donc la plus exposée, subir une érosion de 6% tandis que sa rive convexe plus « abritée » une érosion de 2 %. La rive convexe présente logiquement plus de sédimentation (68 % contre 65 % sur la rive concave).

Pour le bras de Bennecourt, c'est la rive 2/3 rive droite qui est plus concave avec une plus forte exposition et qui subit une plus forte érosion (21 % au lieu de 12%) mais elle sédimente également plus (25 au lieu de 16%), peut être est-ce dû à certaines singularités sur cette rive. C'est pourquoi le critère de courbure du bras est important mais pas suffisant pour expliquer les phénomènes sédimentaires qui ont lieu dans les bras.

	distance totale en érosion en m	hauteur moyenne d'érosion en cm	distance totale en sédimentation en m	hauteur moyenne de sédimentation en cm	longueur du bras prise en compte en m	distance totale stable en m	% du bras en érosion	% du bras en sédimentation	% du bras stable	vérification
bras de vaux	720	37	272	25	2504	1512	29	11	60	100
bras des Migneaux	1360	67	30	1	2727	1337	50	1	49	100
bras de Lorionne	120	73	230	33	518	168	23	44	32	100
bras de Jeufosse	348	17	394	19	2637	1895	13	15	72	100

profils 1/3 rive droite	distance totale en érosion en m	hauteur moyenne d'érosion en cm	distance totale en sédimentation en m	hauteur moyenne de sédimentation en cm	longueur du bras prise en compte en m	distance totale stable en m	% du bras en érosion	% du bras en sédimentation	% du bras stable	vérification
bras de Limay	1674	48	1682	46	5027	1671	33	33	33	100
bras de Haute-Isle	128	48	1470	70	2270	672	6	65	30	100
bras de Bennecourt	406	18	480	29	1920	1034	21	25	54	100

profils 2/3 rive droite	distance totale en érosion en m	hauteur moyenne d'érosion en cm	distance totale en sédimentation en m	hauteur moyenne de sédimentation en cm	longueur du bras prise en compte en m	distance totale stable en m	% du bras en érosion	% du bras en sédimentation	% du bras stable	vérification
bras de Limay	1838	42	2066	49	4998	1094	37	41	22	100
bras de Haute-Isle	50	35	1610	64	2352	692	2	68	29	100
bras de Bennecourt	248	26	320	29	1911	1343	13	17	70	100

Tableau 1: calcul d'évolution des hauteurs moyennes de sédimentation et d'érosion sur la période 1980 - 2003

(b) Validation de la typologie

Bras de Jeufosse :

Il présente le plus grand pourcentage de stabilité : 72%. Les zones en érosion ou sédimentation sont identiques en part du bras représentées (13 et 15 %) et aussi en hauteur moyenne d'évolution (17 et 19 cm en moyenne).

Au vu de la typologie : ce bras a une tendance à la sédimentation limitée avec quelques singularités locales et un effet de chasse des sédiments en hautes eaux faible mais présent.

Tout dans ce bras tend à une grande stabilité.

Validité : le pronostic typologique coïncide avec le diagnostic bathymétrique.

Bras de Bennecourt :

En moyenne, le bras de Bennecourt présente 61% de son profil relativement stable. Mais il y a plus de 20% du bras qui s'est exhaussé d'une trentaine de cm en moyenne, alors que 17% du bras ne s'est érodé que de 20 cm. C'est donc un bras stable mais avec une légère tendance à l'envasement.

Au vu de la typologie : le bras de Bennecourt est classé de manière identique au bras de Jeufosse, si ce n'est qu'une plus grande quantité d'eau chargée pénètre dans le bras en hautes eaux. C'est pourquoi il y a bien une stabilité mais certaines zones s'ensavent, probablement à l'aval car la chasse des sédiments décroît en efficacité à mesure que l'on s'éloigne de la forte entrée d'eau.

Validité : le pronostic typologique coïncide avec le diagnostic bathymétrique.

Bras de Lorionne :

Le bras de Lorionne présente 44% de son linéaire en sédimentation avec une hauteur moyenne de 33 cm. Mais les 23% qui se sont érodés correspondent à un abaissement de 73 cm en moyenne. Sur la globalité du bras il y a donc une relative stabilité avec une nette zone en érosion au centre du bras et une zone de sédimentation bien distincte plus modérée en aval. En revanche la zone de sédimentation en amont ne trouve à priori pas d'explication.

Au vu de la typologie : il n'y a pas de tendance globale, ni locale à l'envasement et en hautes eaux il y a un important phénomène de chasse des sédiments à l'entrée qui se ralentit vers l'aval. On peut donc confirmer une stabilité globale mais avec sans doute un net gradient amont/aval.

Bras de Vaux :

60% du bras de Vaux est stable mais 30% présente un abaissement moyen de 37 cm. Il y a donc une stabilité avec une nette tendance à l'érosion.

Au vu de la typologie : ce bras a une faible tendance à la sédimentation globale et locale. Il bénéficie d'un effet de chasse des sédiments limité mais non négligeable, plus efficace à l'amont. La typologie fait donc apparaître la stabilité du bras mais les érosions importantes sont négligées.

Validité : le pronostic typologique coïncide avec le diagnostic bathymétrique.

Bras de Haute-Isle :

En moyenne 66% du bras de Haute-Isle s'est ensasé de 65 cm, avec quelques zones de faible érosion couvrant moins de 4% du bras. C'est donc un bras qui présente une nette évolution vers l'ensasement, surtout en amont et en aval .

Au vu de la typologie : Ce bras présente une tendance limitée à la sédimentation mais subit l'importante influence de singularités locales et d'une entrée d'eau intermédiaire qui provoque un haut fond qui se répercute sur tout l'amont du bras. De plus il y a un bon effet de chasse des sédiments en hautes eaux mais bloqué à l'aval par la faible capacité d'accueil de la Seine. D'où un ensasement important et particulièrement à l'amont et à l'aval du bras.

Validité : le pronostic typologique coïncide avec le diagnostic bathymétrique.

Bras des Migneaux :

La partie du bras des Migneaux présentant des données sur 23 ans ne concerne que la partie amont et révèle une forte tendance à l'érosion : 50% du bras s'est abaissé de 66 cm en moyenne. Mais la typologie, afin de mener une réflexion sur l'ensemble des éléments conditionnant les transports solides dans cette zone prend également en compte la partie aval au niveau de l'île de Vilennes qui est moins large et subit un fort ensasement. La comparaison n'est donc pas possible.

Une étude a d'ailleurs démontrée que plus de la moitié du débit transitant pas le bras des Migneaux retourne en Seine par la traverse des Bigochets sans rentrer dans le bras de Vienne qui s'ensase (Association pour la Restauration et la Protection des Rives de Seine).

Bras de Limay

38% du bras s'est exhausé de 48 cm en moyenne et 35% s'est abaissé de 45 cm : on peut donc conclure à une stabilité du bras avec une légère tendance à la sédimentation. En

revanche la typologie conclue à un envasement moyen du bras avec une tendance globale limitée mais de fortes singularités locales et surtout un faible capacité d'accueil de la Seine et un transport limité des hautes eaux qui limitent considérablement le phénomène de chasse des sédiments. Il est probable que la typologie, qui ne prend en compte que les conditions du bras entre les pointes amont et aval des îles qui le délimitent, soit faussée par la particularité de la zone juste en amont du bras de Limay.

En effet, la typologie analyse les conditions de hautes eaux en fonction d'un angle favorisant une forte entrée d'eau chargée, puis un ralentissement de cette masse chargée et enfin un blocage entraînant un fort dépôt vers l'aval. Pourtant la zone portuaire située juste en amont entraîne la formation de deux atterrissements importants qui prolongent et amplifie l'effet de gêne de la bonne pénétration de la Seine déjà imposée par la langue de terre amont (cf. figure 18).

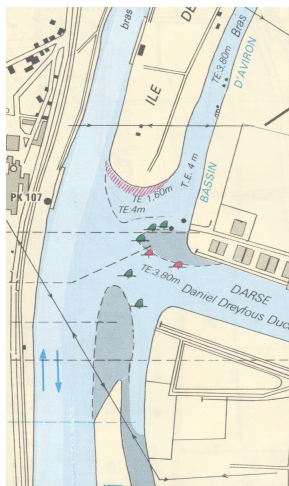


Figure 18: morphologie de l'amont

du bras de Limay

C'est pourquoi cette analyse liée à un important dépôt en hautes eaux dans la partie aval semble être surévaluée. Il est probable que dans la réalité le bras reste stable car il a une faible tendance à la sédimentation globale et un effet de chasse des sédiments qui se trouve être limité.

Il n'est malheureusement pas possible dans le cadre de la construction d'une typologie générale d'intégrer toutes les situations rencontrées et ici, en l'occurrence, les conditions particulières situées à l'extérieur du bras n'ont pas été prises en considération.

Globalement les prévisions basées sur la typologie des bras secondaires se vérifient sur les analyses des relevés bathymétriques de 1980 à 2003.

Bilan

La typologie doit être considérée comme un outil de base servant à une première approche de la tendance évolutive des bras secondaires de la Seine. Comme on l'a vu, si globalement les prévisions basées sur des éléments de géomorphologie, hydraulique et sédimentologie aboutissent à une interprétation fiable de l'évolution de ces bras, il reste des situations particulières qui ne peuvent pas rentrer dans cette typologie et qui doivent faire l'objet d'analyses plus approfondies.

De plus la typologie conclut à une tendance évolutive, ce qui parfois ne reflète pas la situation à moment t. Il existe par exemple des bras dans un état résultant antérieurement d'une sédimentation ou d'une érosion importante et qui semblent donc être en situation pouvant entraîner des difficultés de gestion alors qu'ils présentent un profil en long dont l'évolution est stabilisée et qu'ils sont en situation d'équilibre. Dans ce cas, il ne sera pas nécessaire d'intervenir.

Néanmoins la typologie actuelle permet de faire des pronostics sur des bras ne possédant pas ou peu de données bathymétriques et sert également d'outil de gestion pour faire des propositions de gestion de type curage ou au contraire de non intervention.

(c) Pronostics et conclusion

Pour les bras suivants on ne dispose pas de données bathymétriques ou bien seulement des relevés établis en 2003, c'est pourquoi il est intéressant de pronostiquer leur évolution probable.

Bras de Garenne :

Le bras de Garenne ne présente pas une forte tendance à la sédimentation globale, ni locale. Il y a un phénomène de chasse non négligeable qui doit entraîner une stabilité du bras.

Bras de l'île Saint Louis :

Le bras de l'île Saint Louis n'est pas influencé par des singularités locales mais présente une section contraignante en aval qui entraîne une sédimentation régulière sur tout le bras. Globalement il présente une sédimentation moyenne car la tendance à l'envasement est contrariée par un effet de chasse des sédiments en hautes eaux lui-même atténué par la section étroite en aval.

Bras de Maison Laffitte, dit « la petite rivière » :

La tendance générale du bras est à une sédimentation moyenne, peu influencé par des singularités locales mais présentant en période de hautes eaux un effet de chasse des sédiments limité tant par la charge entrante que par le transport de cette masse d'eau chargée. Ainsi « la petite rivière » est considérée comme un bras avec une tendance à la sédimentation.

Bras d'Andrésy et dérivation de Carrière :

Les phénomènes locaux sont limités mais la tendance générale du bras est à la sédimentation, surtout dans la partie à section restreinte du bras de Carrière à l'aval de la sortie d'eau. Cette sortie d'eau est limitée par le seuil de Denouval mais en période de hautes eaux le seuil s'efface et il existe un bon effet de chasse des sédiments sur le bras d'Andrésy. Il doit donc y avoir une situation amont stable et une situation aval envasée. Ceci se traduit dans la typologie par une sédimentation moyenne sur l'ensemble du bras.

Bras de Mézy et de Meulan :

La tendance générale est à une sédimentation moyenne avec d'importantes singularités locales. La section aval du bras de Meulan relativement étroite entraîne une sédimentation plus marquée dans le bras de Meulan. Le bras de Mézy présente une sédimentation moyenne et régulière car son élargissement est compensé par une entrée d'eau et l'effet de transport et de chasse des sédiments en hautes eaux est limité.

Bras de Moisson :

La tendance générale et locale est à une sédimentation moyenne et le transport limité des hautes eaux chargées dans le bras doit conforter cette situation de sédimentation moyenne.

Bras de l'île Saint Germain :

Les conditions de hautes eaux et donc la chasse des sédiments dans ce bras sont assez limitées, c'est pourquoi le bras présente une certaine stabilité avec tout de même une tendance globale à la sédimentation.

Bras de la Grande Jatte :

Ni la tendance globale, ni les singularités ne vont dans le sens de l'envasement. De plus il y a un important phénomène de chasse des sédiments en hautes eaux qui doit aboutir à une érosion globale du bras.

Ce bras est le seul pour lequel la typologie conclut à une érosion globale et il serait utile de faire un relevé de la bathymétrie pour valider définitivement et sans ambiguïté la typologie.

Il serait désormais intéressant de se servir de cette typologie afin de mettre au point une stratégie d'échantillonnage et de mesure efficace et ciblée permettant de mener à bien une politique de gestion optimale de ces bras secondaires.

2. Eléments de forçages liés aux activités anthropiques

a) Les aménagements de la Seine et la navigation

La Seine est un fleuve domestiqué, fragmenté en une succession de biefs contrôlés par les barrages mobiles qui imposent une ligne d'eau constante, appelée retenue normale, pour les besoins de la navigation commerciale. (cf. profil en long de la Seine aval en annexe 9).

En période de hautes eaux les barrages s'effacent progressivement, ce qui crée à l'intérieur d'un bief un gradient longitudinal de la hauteur d'eau et des conditions d'exondations différentes (dans la fréquence et la durée) selon la position des bras dans le bief.

Mais surtout la présence des barrages entraîne de fortes variations en matière de sédimentologie puisqu'ils sont responsables d'un phénomène de rétention des sédiments. En effet la présence d'ouvrages tels que seuils, écluses et barrages rompt la continuité amont/aval. La charge solide transportée par le courant, transite majoritairement sur le fond et la présence d'un obstacle stoppe ce transit. C'est donc une « eau claire », en déficit sédimentaire qui passe en surverse et qui présente une plus grande force érosive sur le fond et les berges. Il y a donc une plus grande collecte et remise en suspension des sédiments provoquant un surcreusement à l'aval des barrages et au contraire un phénomène d'accumulation de sédiments en amont. Concernant la problématique de l'envasement des bras, ces considérations sont à atténuer car les matières en suspension passent plus facilement en surverse, mais globalement les bras secondaires sont soumis à différentes conditions favorables à la sédimentation ou à l'érosion selon leur position dans le bief.

La navigation commerciale, par définition, n'intervient pas directement dans les conditions d'envasement des bras secondaires non navigables mais elle peut avoir un impact indirect non négligeable lié à l'importance du trafic sur la Seine et à sa constante progression (« Tous en Seine, Journal interne du SNS » Février 2004 : plus 80% sur le trafic des conteneurs, plus 16% sur le trafic international). En effet dans le cas de passage de péniches, barges et autres convois dans le sens montant (il ne doit pas y avoir de conséquences dans le sens avalant), il y a un phénomène important de remise en suspension des sédiments qui vont alors pénétrer en

plus grande quantité dans les bras secondaires (cette hypothèse sera démontrée ci après dans l'étude extraite du programme PIREN Seine).

En ce qui concerne l'impact de la navigation de plaisance et du tourisme fluvial, il est difficile d'obtenir des chiffres précis. Il apparaît néanmoins que la navigation de plaisance qui représente environ 2000 bateaux sur la Seine aval (étude AESN/DIREN IDF, 2003) soit en progression et les nouveaux bateaux de type «hors bord » avec des moteurs puissants peuvent provoquer des vagues et des érosion du fond liée à la puissance de leur jet d'hélice et avoir ainsi un impact non négligeable sur les mécanismes de remise en suspension des fines et de l'envasement des bras secondaires. D'autant avec le trafic important sur la Seine, les bras secondaires sont des sites privilégiés pour la plaisance et les sports nautiques.

b) Les rejets urbains

Le bassin de la Seine qui comprend plus de 17 millions d'habitants est particulièrement soumis à la dégradation de la qualité de l'écosystème aquatique. De plus la Seine n'est pas un fleuve présentant une taille et une puissance suffisante pour assimiler l'impact d'un tel développement démographique et industriel.

❖ Les différents types de rejets urbains

L'ampleur de l'impact des rejets urbains est étroitement liée au type d'assainissement utilisé.

En effet pour un réseau séparatif, les eaux usées séparées des eaux pluviales sont traitées en station d'épuration, alors que ces dernières sont rejetées directement en Seine.

Dans le cas d'un réseau unitaire, les deux sont mélangées et transitent par les stations d'épuration.

Sur Paris et son agglomération, le système est mixte. Il subsiste dans le vieux Paris l'ancien réseau unitaire mais les zones modernes et les nouvelles banlieues sont assainies en séparatif.

La qualité médiocre de la Seine a en effet poussé à la construction de nombreuses stations pour une amélioration sensible ces dernières années. De plus la directive européenne de 1991 sur les eaux résiduaires urbaines impose d'ici à 2006 un rendement épuratoire devant atteindre 65 %. C'est pourquoi de gros efforts doivent encore être menés sur la région parisienne.

Les stations d'épuration (cf. figure 19)

Dans le tronçon Paris – boucle de Guernes, il y a la station « Seine aval » au niveau d'Achères qui est une grosse station à forte charge de 7 millions d'équivalent habitants et qui collecte 85% des eaux usées de l'agglomération parisienne. Elle rejette chaque jour près de 60 tonnes de MES mais depuis quelques années le Conseil Général d'Ile-de-France s'est engagé à réduire la taille de la station et d'en diminuer les nuisances.

Les rejets urbains par temps de pluie (RUTP)

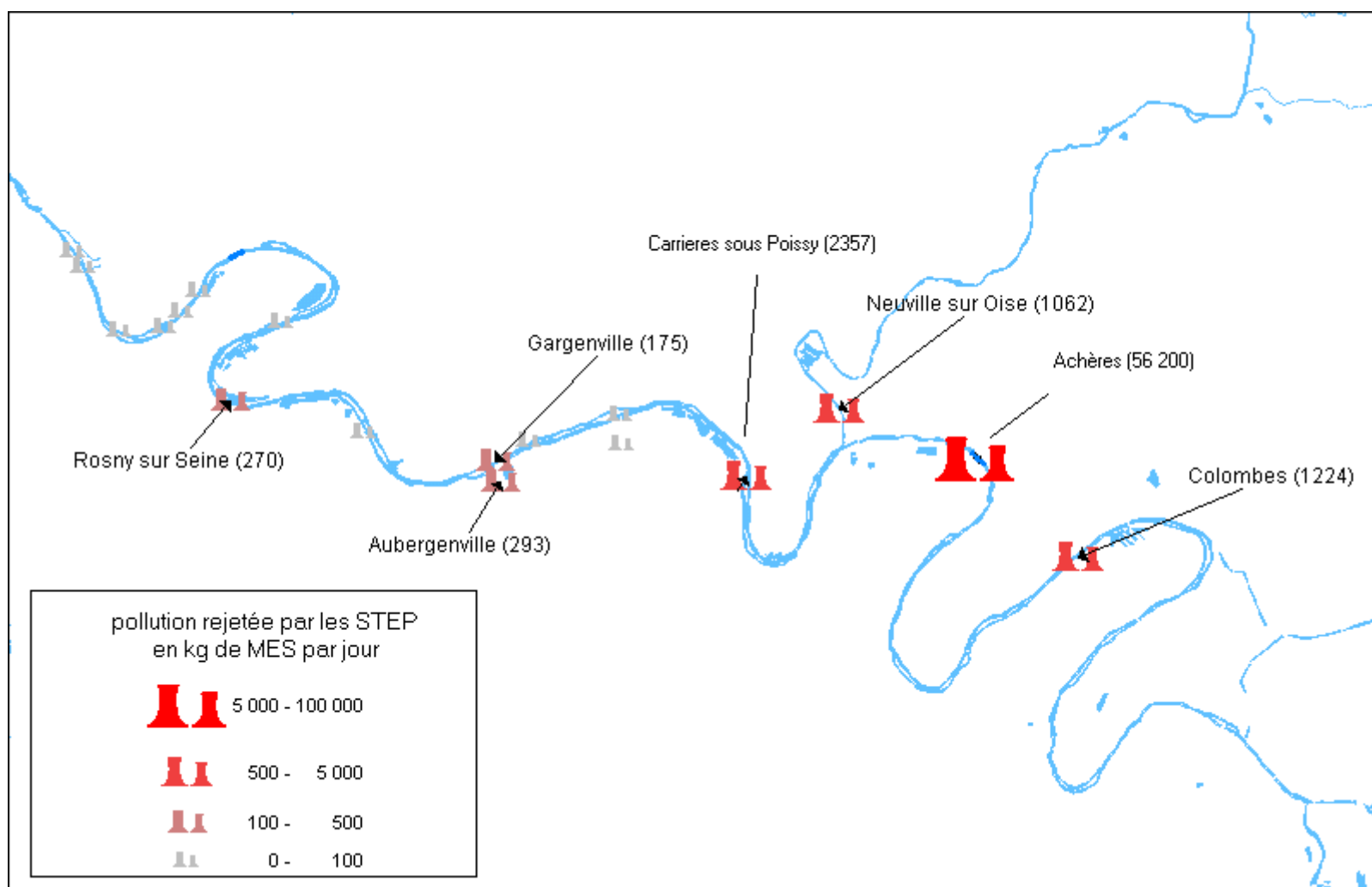
Il en existe plusieurs centaines dans l'agglomération parisienne ; dans le secteur qui nous intéresse on recense principalement le rejet de Clichy qui représente 10% des volumes déversés en Seine par temps de pluie. Le rejet de la Briche, au niveau de la boucle de Gennevilliers, est également très important.

Il n'y a pas une souplesse suffisante dans le fonctionnement des stations d'épuration pour accueillir les gros débits de temps de pluie et on estime que le volume d'eau rejeté sans traitement dans la Seine est quasiment équivalent au volume d'eau ruisselé, soit 200 millions de m³ par an et plus de 60 000 tonnes de MES par an.

Les rejets industriels (cf. figure 20)

Les rejets industriels sont reliés au réseau d'assainissement ou bien doivent être traités antérieurement en fonction de leurs particularités polluantes. Ils transitent donc également par les stations d'épuration. Néanmoins, ils sont analysés ici au vu de l'importance des activités industrielles installées en bord de Seine (agroalimentaire, automobile, métallurgie, énergie,...) comparé aux effluents d'origine agricole et également car ils sont de gros producteurs de matières particulières.

En effet sur ce tronçon sont recensées de nombreuses industries présentant de forts rejets en MES, notamment EDF et la Lyonnaise des Eaux mais surtout les industries de construction automobile que sont Renault Flins à Flins-sur-Seine et les usines Peugeot Citroën de Poissy. Ces dernières représentent à elles seules 32% des MES rejetées en moyenne sur la période 1999/2001.



Figure

carte des rejets en MES issus de STEP

19:

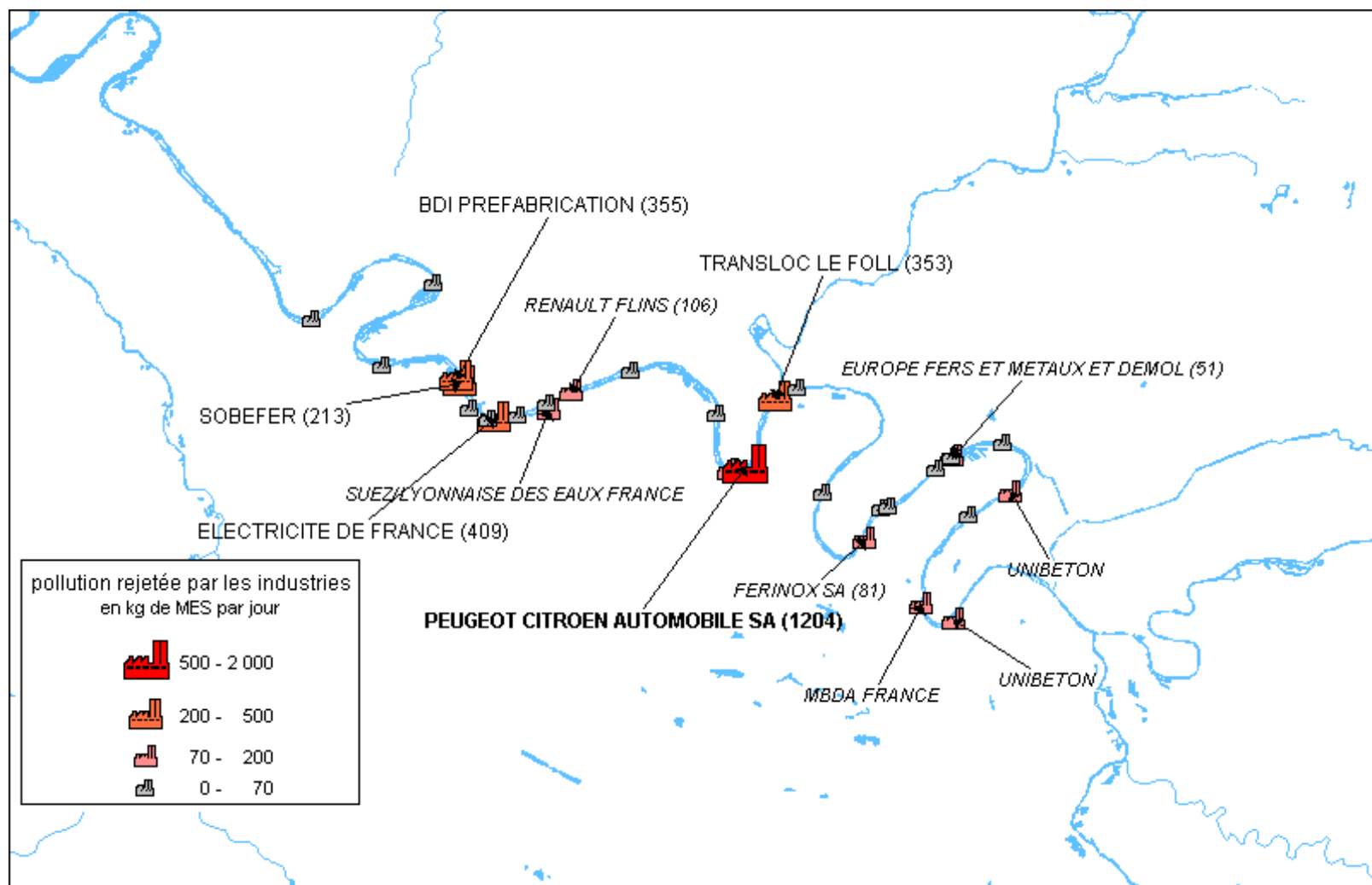


Figure 20 : carte des rejets en MES issus de l'industrie

❖ impacts des rejets urbains

Pour considérer le forçage qu'exercent les rejets urbains sur l'envasement des bras secondaires de la Seine, il faut envisager dans un premier temps les impacts de ces rejets sur l'hydrodynamique du système puis, dans un second temps, sur le transport et le dépôt des MES.

Pour cela une étude très complète a été réalisée par Laurent Martin dans le cadre du programme PIREN Seine : « Fonctionnement écologique de la Seine à l'aval de la station d'épuration d'Achères : données expérimentales et modélisation bidimensionnelle ». En voici les principaux résultats permettant de dégager des conclusions sur la problématique de l'envasement des bras secondaires.

Impact sur l'hydrodynamique du système

Les rejets des tranches 1, 2,3 et 4 de la station d'épuration d'Achères arrivent en rive gauche avec des vitesses bien supérieures à celles de la Seine qui est à l'étiage : 0,15 m/s.

Pourtant ces rejets s'écoulant à des vitesses allant de 0,35 à 0,8 m/s n'entraînent qu'un léger différentiel du champ de vitesse en rive gauche sur quelques dizaines de mètres en aval.

Impact sur le transport des MES et la localisation des dépôts

L'eau des rejets d'Achères est beaucoup plus turbide que celle de la Seine, avec des concentrations en MES plus fortes. Les modélisations réalisées dans cette étude ont permis de délimiter le panache des effluents fortement chargés issus de la station , de suivre le transit des particules et de localiser leur dépôt. Il apparaît que la concentration en MES chute très rapidement dans la colonne d'eau ; la puissance hydraulique de la Seine n'est pas suffisante pour remobiliser les MES et il y a sédimentation. Les principales zones de dépôt sont (cf. figure 21) :

- à l'aval immédiat des rejets
- dans le bras gauche de l'île d'Herblay : c'est un bras secondaire non navigable avec de faibles vitesses d'écoulement et peu de perturbations donc propice à la sédimentation.

De plus, la navigation dans la Seine remet en suspension les particules sédimentées et augmente ainsi le flux des MES qui pénètrent dans le bras (ceci confirme les hypothèses émises précédemment)

- dans le bras droit de Dénouval (bras d'Andrésy) .Ici encore les vitesses sont faibles et il n'y a pas de perturbation liée à la navigation.

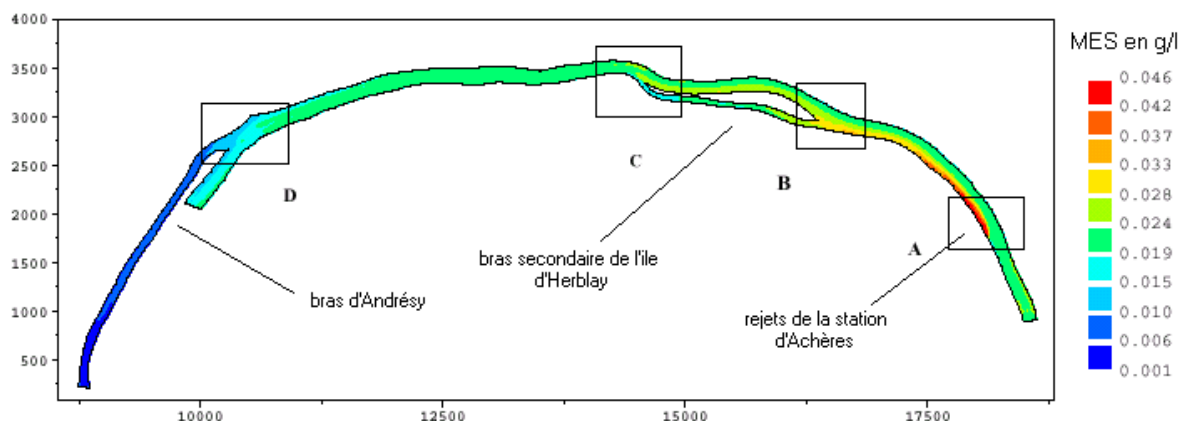


Figure 21 : localisation des dépôts de MES après quatre jours d'étiage

Conclusion

Globalement les caractéristiques générales de l'écoulement ne sont pas modifiées et les masses d'eau sont conservées. La typologie « physique » réalisée précédemment reste donc fonctionnelle même pour des bras situés en aval de rejets urbains importants.

Il ressort également que l'important apport en MES des rejets urbains ne sédimentent pas totalement à l'aval immédiat de ces rejets mais que leur dépôt se retrouve sur plusieurs kilomètres. De plus ; ces résultats confirment bien l'influence des rejets urbains sur l'envasement des bras secondaires puisque comme on l'a vu , ce sont les bras non navigables qui, par leur faible vitesse et leur absence de perturbation majeure, se comportent comme des pièges à sédiments.

Il apparaît donc concernant l'envasement des bras secondaires, que les zones les plus affectées par les rejets urbains sont situées principalement dans la partie amont du secteur, entre la boucle de Gennevilliers et celle d'Achères, où se concentrent les principales sources de MES : STEP d'Achères, RUTP et industries.

3. Synthèse

Comme nous l'avons vu précédemment la prise en compte de la problématique d'envasement des bras secondaires non navigués selon deux axes principaux d'analyse que sont la typologie physique et les forçages anthropiques permet d'aboutir à un état des lieux et à des pronostics fiables sur l'avenir.

En effet la première constatation est que le phénomène d'envasement n'est pas très important sur la Seine et que, malgré les termes utilisés dans la typologie de « sédimentation

importante » qui n'ont leur place que dans cette étude spécifique à la Seine, les hauteurs moyennes de sédimentation rencontrées n'excèdent pas les quelques centimètres par an, ce qui est dérisoire par rapport aux 60 cm par an de l'embouchure du Rhône (MAILLET G. & BEAUDOUIN C., 2002).

Il vient ensuite une deuxième constatation qui est qu'il existe deux catégories de bras secondaires : ceux pour lesquels il est relativement facile de statuer à grands traits où l'écoulement et la chasse des sédiments est efficace et qui évoluent très peu, et ceux qui présentent des situations particulières nécessitant une attention renforcée : les bras à connectivité partielle, les bras très fins et les situations complexes où l'on rencontre de grands changements de morphologie sur la longueur du bras (souvent dus à d'anciens aménagements).

Ainsi, même si de nombreux points peuvent encore être affinés comme la nature granulométrique des berges, la localisation précise des rejets notamment des déversoirs d'orage, il ressort que le gestionnaire principal de la Seine peut s'appuyer sur cette analyse pour établir une stratégie de gestion à long terme de l'envasement des ces bras et donc de l'impact sur les crues de la Seine.

Il est donc désormais important de quantifier cet impact sur les crues et d'envisager les interventions possibles pour le S.N.S.

4. Modélisation de l'impact de l'envasement sur le bras de Haute-Isle (Val d'Oise)

a) Présentation des enjeux

Les inondations représentent pour la France le principal risque naturel en termes économiques et les dégâts dont elles sont responsables sont chiffrés à près de 2 milliards de francs par an en moyenne sur les 15 dernières années (PPRI Val d'Oise, 1999).

Les inondations survenues en France lors de l'hiver 1993/1994 ont, quant à elles, causé une vingtaine de morts et plus de trois milliards de francs de dégâts aux biens des particuliers, des collectivités locales et de l'État. Le département du Val d'Oise, touché de façon moins dramatique que d'autres, a cependant été fortement affecté par des inondations survenues sur le bassin de l'Oise.

Cette crue n'est cependant pas à considérer comme exceptionnelle puisque son temps de retour a été évalué à moins de 50 ans. L'année suivante, le Val d'Oise a été à nouveau touché par les inondations en janvier/février 1995, plus durement encore puisqu'il s'est produit cette fois une crue de temps de retour supérieur à 60 ans.

La commune de Haute-Isle, située dans le Vexin, fait partie de l'entité paysagère dite de la "Boucle de Moisson", caractérisée localement par le site des falaises de craie. Ce sont des communes rurales, encore peu urbanisées, où le champ d'expansion des crues reste relativement naturel. Une pression foncière ne s'en fait pas moins sentir dans ce site particulièrement pittoresque, recherché notamment pour l'établissement de résidences secondaires.

Au cours du XX^{ème} siècle, cette commune a été inondée plusieurs fois par les crues de la Seine dont la plus importante fut celle de 1910 qui provoqua des dommages considérables, et, dans une moindre mesure, plus récemment par celle de l'hiver 1994/1995, comparable à celle de 1988.

Voici les niveaux atteints par la Seine dans cette commune pour certaines de ces crues :

<i>Cotes NGF 69 (= NGF Normal)</i>	<i>Haute-Isle</i>
Retenue normale	12,37
Plus hautes eaux navigables	17.22
Janvier 1910 (PHEC)	18.87
Janvier 1924	18.32
Janvier 1955	18.05
Février 1970	17,53
Janvier 1982	17.47
Février 1995	17.26

C'est dans ce contexte que la Direction Départementale de l'Équipement du Val d'Oise et le Service de Navigation de la Seine ont initié en septembre 1999 un Plan de Prévention des Risques d'Inondations sur les communes de la Roche-Guyon, de Haute-Isle et de Vetheuil dont la carte des principaux aléas est présentée en annexe 10.

b) Etude hydraulique et modélisation

Comme nous l'avons vu précédemment le phénomène de l'envasement des bras secondaires est mal connu. Les collectivités locales subissant des problèmes d'inondation désirent que le S.N.S. assure le dragage de ces bras en affirmant que l'envasement de ces zones entraîne un manque de stockage en eau qui se répercuterait selon elles sur les crues en les aggravant.

Or le bras de Haute-Isle s'est envasé de 70 cm en moyenne sur la période 1980-2003, ce qui même si cela reste relativement faible, est un des envasement les plus importants reconnu sur la Seine aval dans le cadre de notre étude.

Pour déterminer cet impact nous avons donc réalisé une étude hydraulique qui semble à l'heure actuelle la solution la plus fiable.

Seuls les résultats de la modélisation sont présentés ici (cf. annexe 16).

- Situation actuelle : cote amont atteinte par la crue de 1910 est bien de 18.97, le modèle est donc calé. (cf. figure 22)
- Situation de comblement du bras de Haute-Isle au niveau de la retenue normale du bief, soit 12.37 m : la cote amont atteinte par le seine est de 19.01 m, soit un exhaussement de la ligne d'eau de 4 cm.(cf. figure 23)
- Situation où le bras est dragué à un niveau proche du chenal de la Seine, soit 8 m : la cote amont atteinte est de 18.91 m, soit un abaissement de la ligne d'eau de 6 cm.(cf. figure 24)

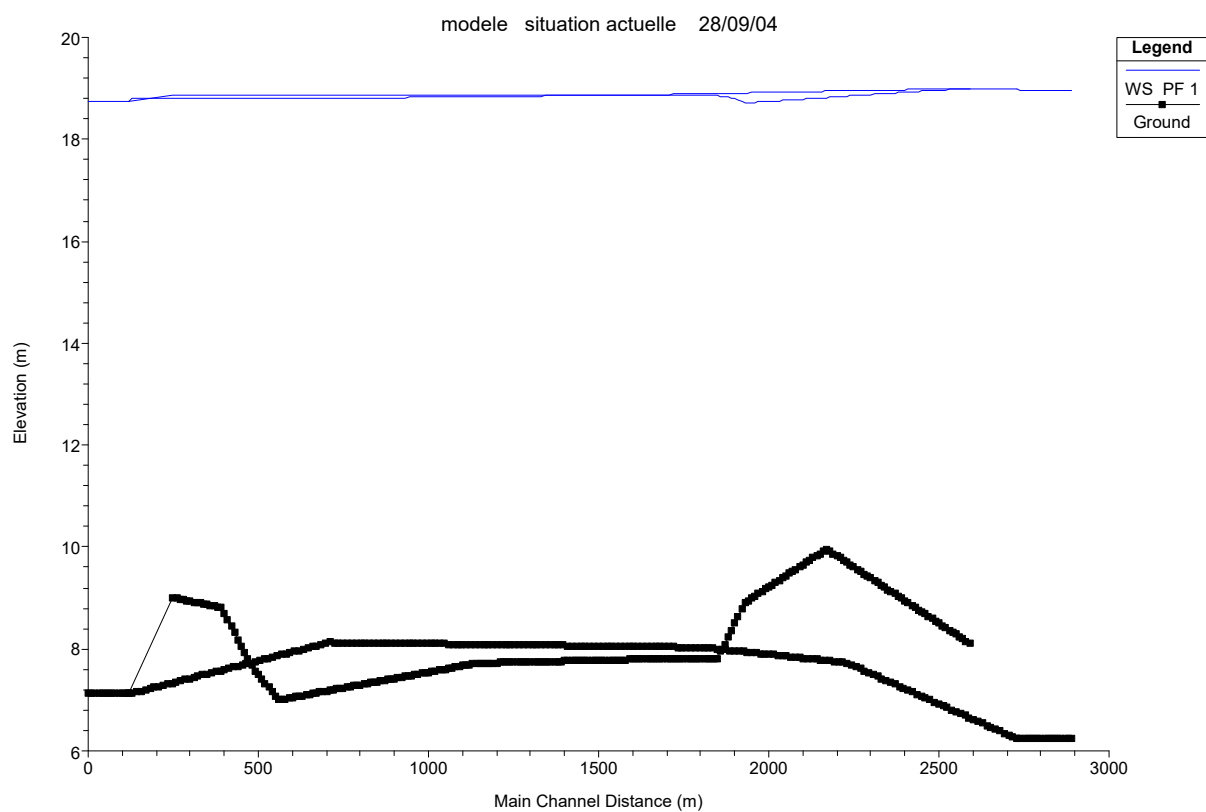


Figure 22 : ligne d'eau et cote de fond de la Seine et du bras de Haute-Isle dans la situation actuelle

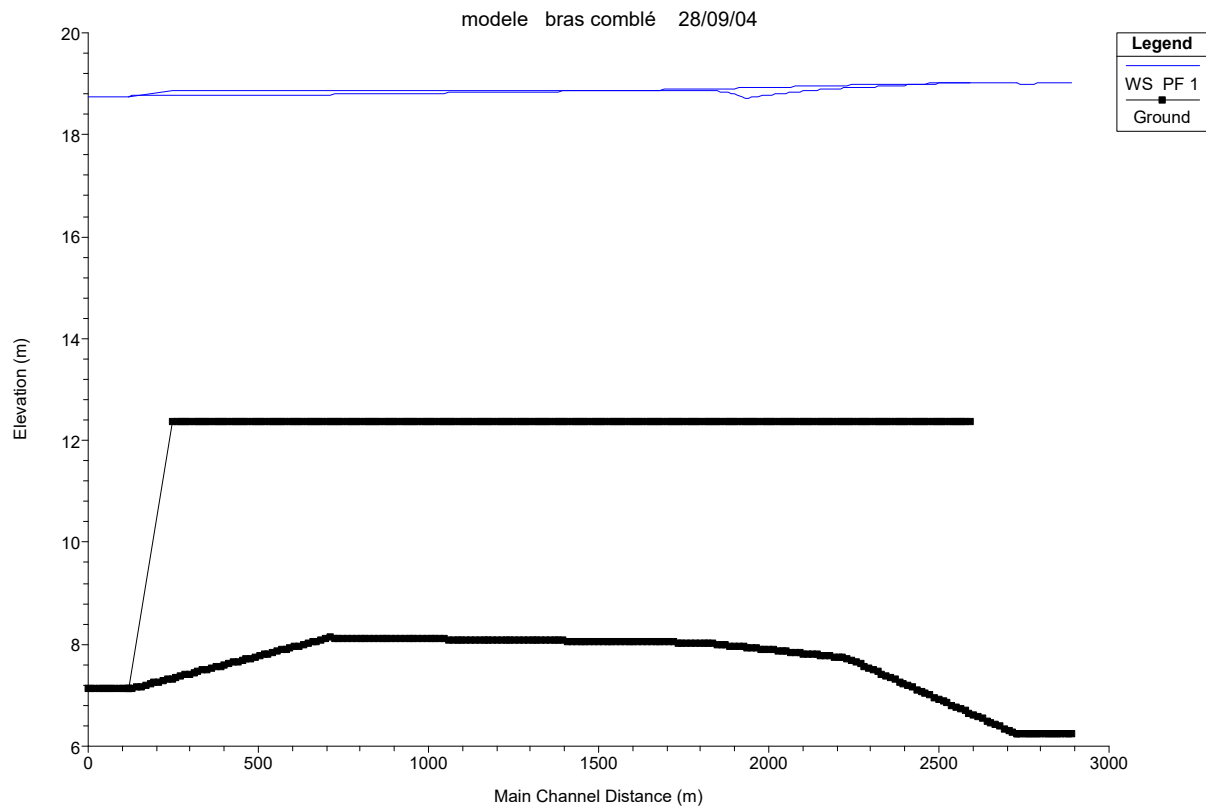


Figure 23 : ligne d'eau et cote de fond du bras de Haute-Isle et de la Seinedans la situation de comblement du bras

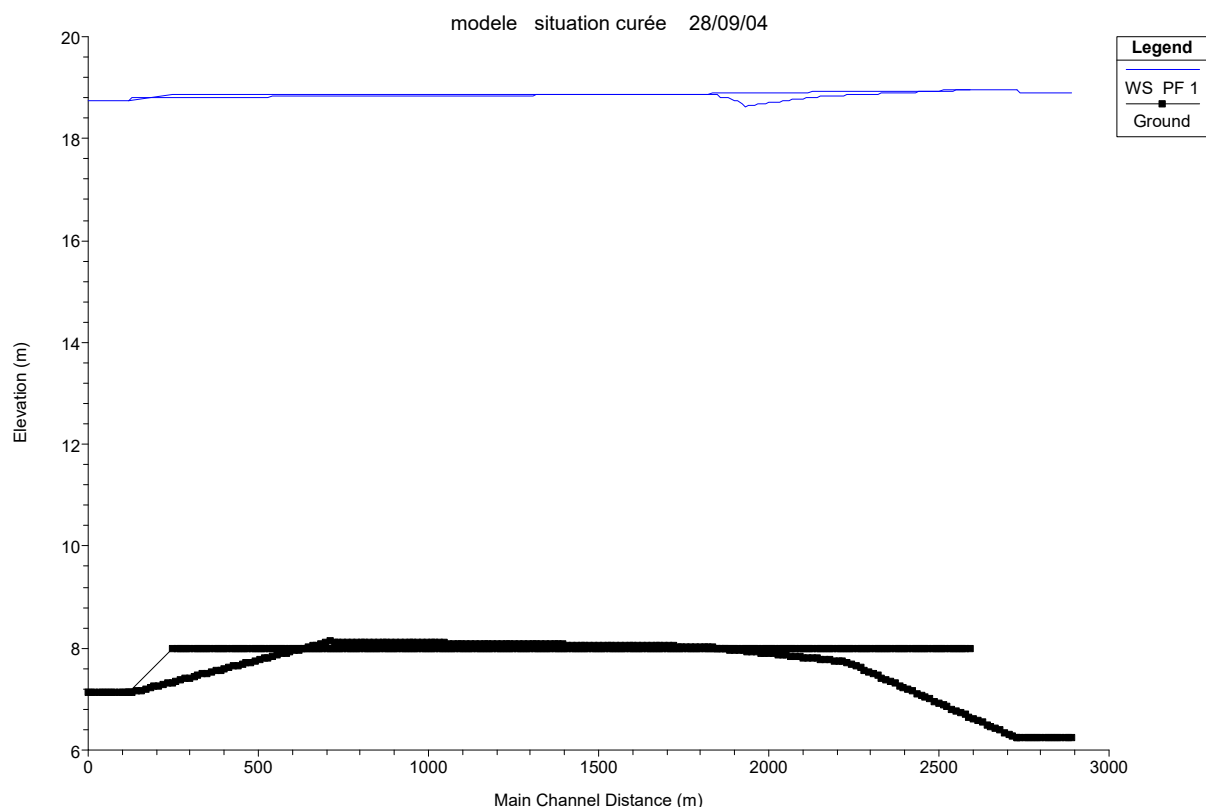


Figure 24 : ligne d'eau et cote de fond du bras de Haute-Isle et de la Seine dans la situation de dragage du bras

Il y a donc dans une situation de comblement maximal du bras un impact de 4 cm sur la crue la plus haute connue sur la Seine, ce qui est très faible. De même un dragage maximal du bras où le niveau serait ramené à celui du chenal navigable de la Seine n'abaisserait le niveau de la crue centennale que de 6 cm.

On peut donc d'emblée conclure que l'intervention sur un bras tel que celui de Haute-Isle qui présente pourtant le plus fort envasement reconnu sur ce secteur serait sans effet significatif sur le niveau de crue de la Seine.

Il est néanmoins être intéressant de visualiser sur la modélisation que ces 4 cm d'exhaussement de la crue se retrouvent à l'amont de la zone étudiée.

Ainsi l'envasement maximal d'un bras secondaire de la Seine aval n'a quasiment pas d'impact sur le niveau de crue de la Seine.

Il est néanmoins difficile de mesurer l'impact hydraulique de chaque situation ou aménagement réalisé sur le linéaire et ce d'autant qu'il est généralement pris individuellement. Ainsi, des études ponctuelles comme celle-ci peuvent conclure à un impact pouvant s'avérer faible voire négligeable au regard des imprécisions des études hydrauliques et des logiciels de

calcul, mais l'accumulation de ces impacts faibles ou apparemment négligeables peut cependant avoir un effet sensible voire important. C'est pourquoi si l'on peut conclure sur un impact local, il faut cependant resté prudent quant à conclure sur l'ensemble de la Seine aval.

C. Solutions à envisager pour les gestionnaires

En fonction des résultats de la présente étude, des demandes plus ou moins pressentes des collectivités locales et des nouvelles orientations du S.N.S., il est possible qu'il leur faille établir une stratégie d'intervention sur les bras secondaires, quels seraient dès lors les points importants à prendre en compte pour établir cette stratégie ?

1. La non intervention

Actuellement, les connaissances scientifiques dans le domaine de l'aménagement et de la restauration des cours d'eau sont loin de permettre une systématisation des interventions. Il est donc nécessaire que l'alternative de non-intervention, c'est à dire de laisser évoluer les situations, soit considérée dans certains cas.

De plus il est souvent nécessaire de mettre en balance l'intérêt de l'intervention sur le plan écologique ou hydraulique et le coût de l'intervention. Il faut donc au préalable évaluer la réversibilité des processus mis en cause et la faisabilité des interventions sur le plan technique, écologique et économique.

Dans le cas de l'envasement des bras secondaires, il est donc primordial de connaître l'évolution des processus sédimentaires de la Seine et des bras afin d'évaluer si certains bras ne sont pas en situation d'auto-curage ou si la nature des dépôts de vase ne sera pas propice à une remobilisation et à un curage du bras lors des prochaines crues. Dans certains cas également il faut considérer l'atteinte d'un état d'équilibre au sein du bras qui fait, que même s'il y a bien eu une situation d'envasement, le bras présente dès lors un fonctionnement en équilibre du point de vue hydraulique et écologique.

De même certaines situations d'envasement pouvant être dues à la proximité d'un rejet important de matières en suspension (station d'épuration ou rejets de temps de pluie) ne s'amélioreront pas grâce au dragage qui aura une efficacité très limitée dans le temps. Dans ce cas il faut prendre le problème à la source et les dépenses de dragage sont inutiles.

Ainsi il existe de nombreux cas pour lesquels un dragage systématique ne présente pas d'intérêt ou alors un coût trop élevé par rapport aux attentes hydrauliques et écologiques.

Toutefois, le choix de la non intervention n'est pas forcément une stratégie passive mais elle doit s'accompagner en premier lieu de mesures de surveillance et de suivi de l'évolution du bras et d'éventuelles autres interventions moins lourdes que le dragage pour améliorer le fonctionnement du bras et son auto-entretien à long terme.

2. L'intervention « durable »

Il est possible dans certains cas d'identifier les situations qui provoquent un envasement et qu'il est possible de changer sans passer par un dragage du bras, c'est à dire qu'une intervention ponctuelle peut amener le bras à une situation d'auto-curage qui en quelques années réglerait le problème d'envasement. Cela peut passer par la rectification de berges, du tracé et de la morphologie, ou encore l'enlèvement ou la modification des ouvrages d'art. L'étude réalisée sur le bras des Migneaux montre par exemple que l'enlèvement d'une pile du pont sur le bras des Migneaux atténuerait le quasi-comblement du bras à ce niveau, que la réalisation d'une tranchée de liaison entre le bras des Migneaux et de Vilenne, que le recalibrage de la double entrée du bras des Migneaux et également le recalibrage de la zone de rejet d'eaux pluviales auraient un coût peu élevé pour une très nette amélioration du courant (Association pour la Restauration et la Protection des Rives de Seine). En effet, il serait souvent suffisant de recréer une tranchée dans les buttes qui bloquent les écoulements pour rétablir une chasse efficace des sédiments et retrouver progressivement un équilibre sédimentaire.

S'il est indispensable de recourir au dragage alors, afin de mettre au point une stratégie d'intervention efficace et durable, il est tout d'abord nécessaire de définir une stratégie d'échantillonnage pour que les prélèvements soient représentatifs de la zone à curer, de la surface et de l'épaisseur de sédiment.

Dans le cas des bras secondaires, il est préférable de réaliser des prélèvements systématiques pour ne pas avoir une vision partielle de la situation d'envasement. Il faut également effectuer un prélèvement en amont et en aval de points particuliers. Ces points peuvent être des rejets importants ou des traverses entre les îles.

Le mode de prélèvement idéal est la carotte qui permet d'analyser la structure de la vase avec en profondeur des vases compactées qui sont très difficilement remobilisables et au contraire en surface la « crème de vase » (avec une très forte teneur en eau) qui est facilement entraînée lors des hautes eaux, ainsi il est possible d'évaluer la nécessité de l'intervention. ces carottes doivent également faire l'objet d'une analyse des substances polluantes renfermées par les vases.

Dans un second temps il faut adapter le mode de curage aux résultats de ces analyses, c'est à dire en fonction de la structure et du compactage des vases et en fonction de la pollution qui risque d'être libérée dans le milieu aquatique puis terrestre lors de la mise en dépôt.

En effet de nombreuses perturbations du milieu aquatique surviennent lors d'une opération de dragage : enfouissement d'organismes benthiques, réduction de la limpidité de l'eau, échange de contaminants entre les sédiments mis en suspension et l'eau, modification physico chimique du milieu, mise en suspension de sédiments susceptibles de migrer dans des zones déjà curées ou non envasées.

Dès lors et surtout en fonction du potentiel écologique du bras il est préférable d'utiliser soit le dragage mécanique fait à partir d'engins à godet qui opèrent depuis les berges (pelle mécanique), ou depuis la surface (pelle sur ponton, drague à godets...), soit le dragage hydraulique pour les fortes contraintes environnementales, fait avec des dragues aspiratrices qui refoulent le mélange eau/sédiments dans une barge ou dans des conduites jusqu'à la zone de dépôt.

La décision d'intervenir et de draguer un bras doit également prendre en compte le devenir des sédiments dragués. Or « l'absence de statut juridique et de définition des notions de pollution, de toxicité des sédiments et de risques liés à leur devenir rend très difficile le suivi réglementaire et pratique des opérations de curage » (C. HENRY, C.AMOROS, 2000). En effet le problème du devenir des sédiments peut vite être un problème majeur en terme de coût et d'impacts. Différentes solutions sont envisageables selon les sédiments dragués.

Les sédiments qui peuvent être réutilisés en agriculture peuvent être recyclés, épandus sur des parcelles agricoles ou encore utilisés pour le régalage des parcelles agricoles adjacentes au bras, c'est à dire disposés sur les berges et creusés de rigoles drainantes qui permettent l'écoulement des eaux de pluie. Ils pourront être utilisés en remblais ou être mis en dépôt.

En ce qui concerne les sédiments ne pouvant être réutilisés il faut alors les stockés en site de confinement c'est à dire dans un site étanche et imperméable. Dès lors une étude d'impact et

une évaluation des risques, notamment pour les mises en dépôt, de migration des polluants dans le sol et dans les nappes phréatiques peut s'avérer indispensable.

Il faut également définir un temps de retour des opérations de dragage : est-il préférable de draguer légèrement mais régulièrement ou bien de manière importante avec un laps de temps plus long ? Il est sans doute à nouveau primordial pour répondre à cette question de connaître le potentiel écologique du bras et de bien cibler les problèmes posés par l'envasement.

Pour conclure il semble qu'afin de définir une bonne stratégie d'intervention sur les bras secondaires de la Seine il faille avant tout une bonne connaissance des différents enjeux qui y sont liés. Il est souvent indispensable de chiffrer le plus précisément possible les différentes options envisageables, de recenser les différents potentiels écologiques présents, d'y confronter les limites techniques des opérations et de justifier ces choix aux collectivités et aux riverains qui peuvent être déroutés par le choix de la non-intervention par exemple.

CONCLUSION

Le principal objectif de ce stage était d'établir un état des lieux général sur les nouvelles problématiques auxquelles doivent faire face les gestionnaires de la Seine aval (Voies Navigables de France et le Service de Navigation de la Seine) dans le cadre de la nouvelle politique communautaire sur l'eau.

En effet, les résultats de l'Avant Projet Sommaire d'Itinéraire et plus particulièrement la partie environnementale a montré que la Seine aval possède un bon potentiel écologique malgré de nombreuses pressions mais surtout, que le linéaire est mal connu et qu'il est nécessaire que les nombreux acteurs locaux s'organisent et coopèrent.

Quant aux résultats de l'étude portant sur l'envasement des bras secondaires non navigués, elle a tout d'abord montré que le phénomène est relativement restreint et que la majorité des bras ne nécessite pas d'intervention particulière. En revanche, il est ressorti que certains bras particuliers devaient être étroitement surveillés et que certaines interventions plus ou moins lourdes pouvaient être envisagées.

Ces premières conclusions permettent donc au S.N.S. de répondre aux demandes répétées de curage émanant des riverains et des collectivités locales.

Globalement, il ressort que les gestionnaires principaux de la Seine aval, doivent certes renforcer et améliorer leur stratégie de gestion mais surtout, s'imposer comme centralisateurs d'une nouvelle coopération efficace et durable entre les divers acteurs du fleuve.

BIBLIOGRAPHIE

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.

Agence des Espaces verts de la région Ile de France et Lafarge, 1999 : Espace écologique de la boucle de Guernes, plaquette d'information, 14p.

AMEZAL A., 1997 : Les zones humides du bassin Seine Normandie : un patrimoine à protéger. Plaquette d'information agence de l'eau Seine Normandie : 36p.

Association pour la Restauration et la Protection des Rives de Seine, Poissy et Vienne. Opération pilote : la réhabilitation des petits bras de Poissy et Vienne-sur-Seine.

Charte du Parc Naturel Régional du Vexin Français, 1995.

Centre Ornithologique Ile de France, 2001 : Pour le classement en ZPS des boucles de la Seine (Normandie et Ile de France), 43p.

Compte Rendu d'interview, novembre 2003. Objet : La connaissance et les pratiques de l'arrondissement [boucles de Seine] dans le domaine de l'environnement.

Document d'objectifs NATURA 2000 du site « coteaux et boucles de la Seine », 1998, 166p.

HENRY C. & AMOROS C, 2000 . Diagnostic des potentialités évolutives : typologie et cartographie des lônes sur l'ensemble du Rhône. Synthèse. 26 p, Université Lyon I.

Les études de l'Agence de l'eau n°65, 1999, 36p.

MAILLET G.& BEAUDOUIN C., 2002. Validité du signal pollinique comme marqueur des dynamiques sédimentaires à l'embouchure des fleuves. Test à l'embouchure du grand Rhône, France. CNRS CEREGE, Université Lyon I.

Martin, 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.

« Tous en Seine » Journal interne du S.N.S., février 2004.

PPRI des communes de Vetheuil, la Roche Guyon et Haute-Isle, D.D.E. du Val d'Oise, septembre 1999.

ZUMBIEHL R., 1999 : un fleuve dans sa traversée péri-urbaine, le cas de la Seine aval. Rapport de DEA, université Paris Sorbonne.57p.

Personnes ressource

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

DIREN Ile de France : M. J-P SIBLET.

Agence des Espaces Verts de la Région d'Ile de France : M. N. BOULARD, Chargé de Mission Environnement.

Conseil Général Yvelines: M. A. FORTIN., responsable environnement.

Les subdivisions du SNS

Office National des Forêt d'Ile de France: Mr BRUNEVAL, responsable de l'unité Etudes et Développement.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	2
ABSTRACT.....	2
INTRODUCTION.....	4
<u>I. La Seine, fleuve et voie navigable européenne.....</u>	<u>5</u>
A. Le réseau fluvial européen navigable.....	5
La Belgique	6
L'Allemagne.....	6
Les Pays-Bas	6
La France.....	7
B. La Seine aval	9
1. La Directive Cadre Européenne et la Seine aval.....	9
2. APSI sur le secteur Paris – boucle de Guernes	9
a) Fleuve présentant des zones naturelles remarquables	10
(a) Recensement.....	10
❖ Les zones d'inventaire.....	10
(i) Les ZNIEFF	10
(ii) Les ZICO	11
❖ Les conventions.....	11
❖ Les protections réglementaires non obligatoires.....	12
(i) Natura 2000	12
(ii) Les Parcs Naturels Régionaux	12
❖ Les protections obligatoires	13
(b) Diagnostic et vulnérabilités.....	13
b) Voie navigable soumise à d'importantes pressions	15
(a) Historique des aménagements de la Seine	15
(b) Trafic de navigation	15
❖ La navigation commerciale	15
❖ La navigation de plaisance	16
(c) Pressions exercées par l'exploitation de la voie navigable	17
❖ Les effets physiques directs	17
❖ Les effets induits sur les milieux aquatiques naturels.....	18
<u>II. Problématique particulière de l'envasement des bras secondaires non navigables et de leur impact sur les crues de la Seine</u>	<u>21</u>
A. Matériel et méthode.....	21
1. Evaluation de la problématique au moyen d'une typologie géomorphologique, hydraulique et sédimentologique.	23
2. Evaluation de l'impact des activités anthropiques	24
3. Analyse et modélisation de l'impact d'un bras envasé sur les crues de la Seine.....	24
B. Résultats	26
1. Eléments de géomorphologie, hydraulique et sédimentologie	26
a) Construction de la typologie	26
(a) Tendances globale à la sédimentation	26
❖ La section contraignante :	27
Le rapport largeur de la section contraignante/largeur de la section d'entrée .	27
❖ Les entrées ou sorties d'eau du bras.....	31
(b) Singularités.....	33

❖ La courbure du bras :.....	33
❖ Présence de virages marqués :.....	33
❖ L'angle d'insertion :.....	34
❖ Les ouvrages :.....	35
❖ Les changements brutaux de la section du bras :.....	35
(i) L'élargissement brutal de la section :.....	35
(ii) La réduction brutale de la section :.....	36
❖ Les atterrissements.....	36
(c) Conditions en hautes eaux.....	40
❖ L'angle d'insertion et la charge importée.....	41
❖ La courbure relative du bras par rapport à la Seine et le transport de la charge importée.....	41
❖ La capacité d'accueil de la Seine et l'insertion des eaux à l'aval du bras ...	42
(d) Synthèse.....	44
b) Validation de la typologie.....	44
(a) Méthode d'analyse de l'évolution des tendances entre 1980 et 2003.....	45
Calcul de l'évolution des hauteurs moyennes.....	45
(b) Validation de la typologie.....	48
(c) Pronostics et conclusion.....	51
2. Eléments de forçages liés aux activités anthropiques.....	53
a) Les aménagements de la Seine et la navigation.....	53
b) Les rejets urbains.....	54
❖ Les différents types de rejets urbains.....	54
❖ impacts des rejets urbains.....	59
3. Synthèse.....	60
4. Modélisation de l'impact de l'envasement sur le bras de Haute-Isle (Val d'Oise) .	61
a) Présentation des enjeux.....	61
b) Etude hydraulique et modélisation.....	63
C. Solutions à envisager pour les gestionnaires.....	66
1. La non intervention.....	66
2. L'intervention « durable ».....	67
CONCLUSION.....	70
BIBLIOGRAPHIE.....	71
TABLE DES MATIERES.....	73
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX.....	75
ANNEXES.....	76

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1: le réseau fluvial navigable européen	5
Figure 2: synthèse des zones naturelles remarquables en lien avec la Seine	14
Figure 3: extrait de la carte de Cassini au niveau d'Achères.....	22
Figure 4: morphologie actuelle de la Seine au niveau d'Achères.....	23
Figure 5: méthode d'évaluation de l'impact des sections contraignantes	27
Figure 6: comparaison des morphologie du bras "la petite rivière" et du bras de Garenne	29
Figure 7: comparaison de la morphologie de la sortie d'eau	32
Figure 8: comparaison de la morphologie de l'entrée d'eau du bras	32
Figure 9: formation d'un atterrissement à l'entrée du bras de Jeufosse	34
Figure 10: morphologie et singularités du bras de Limay.....	38
Figure 11 : morphologie et singularités du bras de Jeufosse	39
Figure 12: morphologie et singularités du bras de Saint-Louis	40
Figure 13: courbure du bras de Saint-Germain par rapport à la Seine.....	42
Figure 14: courbure du bras de la Grande Jatte par rapport à la Seine	42
Figure 15 : bras de Haute-Isle , la Seine a une faible capacité d'accueil	43
Figure 16: bras de Jeufosse, la Seine a une bonne capacité d'accueil.....	43
Figure 17: méthode de calcul des hauteurs moyennes de sédimentation.....	45
Figure 18: morphologie de l'amont du bras de Limay	50
Figure 19: carte des rejets en MES issus de STEP.....	57
Figure 20 : carte des rejets en MES issus de l'industrie	58
Figure 21 : localisation des dépôts de MES après quatre jours d'étiage	60
Figure 22 : ligne d'eau et cote de fond de la Seine et du bras de Haute-Isle dans la situation actuelle	64
Figure 23 : ligne d'eau et cote de fond du bras de Haute-Isle et de la Seine dans la situation de comblement du bras	64
Figure 24 : ligne d'eau et cote de fond du bras de Haute-Isle et de la Seine dans la situation de dragage du bras.....	65
graphique 1: comparaison des pentes des courbes de tendance du fond.....	28
graphique 2 : analyse de la bathymétrie du bras "la petite rivière"	30
graphique 3 : analyse de la bathymétrie du bras de Garenne	30
graphique 4 : bathymétrie du bras de Limay.....	37
graphique 5 : bathymétrie du bras de Jeufosse.....	38
graphique 6 : bathymétrie du bras de Saint-Louis	39
Tableau 1: calcul d'évolution des hauteurs moyennes de sédimentation et d'érosion sur la période 1980 - 2003.....	47

ANNEXES