



## Réhabilitation d'écosystèmes estuariens: Deux applications pratiques de Génie Ecologique

Luc Hamm<sup>1</sup>, Eric Lagroy de Crouette<sup>2</sup>, Sébastien Ledoux<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Directeur Technique, SOGREAH Maritime, 6 rue de Lorraine, 38130 Echirolles. Tél : 0 7633 4188, mël : luc.hamm@sogreah.fr*

<sup>2</sup> *Ingénieur en chef, SOGREAH Maritime, 6 rue de Lorraine, 38130 Echirolles. Tél : 04 7633 4125, mël : eric.lagroydecrouette@sogreah.fr*

<sup>3</sup> *Ingénieur d'Affaires, SOGREAH Maritime, 8, av. des Thébaudières, 44815 Saint-Herblain Cedex. Tél : 02 2809 1849, mël : sebastien.ledoux@praud.sogreah.fr*

### Résumé

Deux études de programmes expérimentaux de réhabilitation d'écosystèmes estuariens sont présentées ici. Le premier cas concerne la remise en eau de l'anse de Moidrey, située dans la rivière du Couesnon à l'aide d'une structure digitée. Le second cas concerne l'arrêt de la régression de l'estran de la grande vasière nord de l'estuaire de la Seine et la remise en eau de terrains situés dans la roselière grâce à une série d'aménagements incluant notamment une nouvelle brèche amont dans la digue basse nord. Des modélisations hydrosédimentaires ont été utilisées dans les deux cas pour valider et optimiser les options prises.

### Abstract

This article presents two studies of experimental programmes aimed at rehabilitating estuarine ecosystems. The first case concerns the re-flooding of Moidrey cover situated on the Couesnon river, by means of a digitate structure. The second case concerns the halting of foreshore regression in the large area of mudflats along the northern Seine estuary by means of a series of development works including in particular a new breach upstream in the low northern dike. Hydro-sedimentary models were used in both cases to validate and optimise the options chosen.

### 1. Introduction

La prise de conscience de la nécessité de réhabiliter un certain nombre de zones humides en France s'est développée récemment à partir de quelques expériences pilotes comme la vasière expérimentale de l'estuaire de la Seine en 1990 (Bessineton, 1997), le marais d'Orx en 1993 (Baron-Yellès, 2000) et la publication d'un rapport d'évaluation des zones humides (Bernard, 1995).

Un point récent sur les expériences menées en zone côtière a été effectué à l'occasion des journées de réflexion sur la restauration des écosystèmes côtiers organisées à Brest les 8 et 9 Novembre 2000 par L'IFREMER (Drévès et Chaussepied, 2000).

Ces nouvelles manières de réfléchir à l'aménagement littoral font appel à des techniques et expertises de génie écologique appliquées aux écosystèmes côtiers (regroupement d'équipes de spécialistes en hydrosédimentaire et en écologie des écosystèmes côtiers). SOGREAH a développé depuis quelques années un savoir-faire dans le domaine de l'ingénierie écologique côtière et en particulier en domaine estuarien que nous nous proposons d'illustrer ici par les démarches mises en œuvre et les résultats obtenus dans le cadre de deux programmes expérimentaux récents concernant :

- D'une part, l'examen de la faisabilité de la remise en eau de l'Anse de Moidrey en rive gauche du Couesnon dans le le cadre des études concernant le rétablissement du caractère maritime du Mont-St-Michel,
- D'autre part, une étude de restauration des fonctionnalités biologiques de la partie aval de l'estuaire de la Seine dans le cadre du projet Port 2000 .

## **2. Remise en eau de l'anse de Moidrey**

### **2.1 Introduction – Objectifs de l'étude**

Les études hydrosédimentaires réalisées dans le cadre du projet de rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel ont montré la nécessité d'utiliser le lit du Couesnon pour réaliser des chasses hydrauliques permettant de dégager les sédiments aux abords du Mont. Il est prévu dans ce contexte d'utiliser l'anse de Moidrey comme réservoir hydraulique. Il s'agit d'un ancien méandre du Couesnon qui était régulièrement rempli et vidangé à chaque marée et constituait un piège naturel à sédiments fins. Un temps exploitée, l'anse s'est colmatée puis asséchée notamment après la réalisation du barrage de la Caserne en 1969. Aujourd'hui, l'anse de Moidrey, qui n'est plus atteinte par la mer, constitue une prairie permanente assez peu diversifiée du point de vue écologique.

La Mission Mont St Michel a confié à un groupement de bureaux d'études conduit par SOGREAH une étude de faisabilité de la remise en eau de l'anse de Moidrey et l'analyse des incidences du projet avec le souci d'une valorisation environnementale du site. Des contraintes hydrauliques, hydrogéologiques, hydrosédimentaires, biologiques, de gestion globale des déblais et de coordination des travaux avaient été introduites dans le cahier des charges.

Une équipe pluridisciplinaire incluant des hydrauliciens, sédimentologues et modélisateurs, des hydrogéologues, des botanistes, des spécialistes des invertébrés terrestres, un ornithologue, un spécialiste de faune benthique et des spécialistes de faune piscicole a donc été mise en place pour ce projet.

## 2.2 Analyse de l'état initial – Comparaison des variantes – Définition d'une solution technique

Dans un premier temps, un état initial très fin a été réalisé sur plusieurs thématiques, incluant un inventaire de la faune invertébrée terrestre (Odonates, Orthoptères, Rhopalocères, Gastéropodes terrestres, Carabiques, Araignées, Coléoptères) et benthique, un inventaire batracologique (mise en évidence de la présence du pélodyte ponctué) et herpétologique ainsi qu'un inventaire floristique et avifaunistique.

Dans un second temps, trois esquisses ont été réalisées : Elargissement du Couesnon, Structure demi-circulaire (bassin de 21 ha), et différentes structures digitées. Elles ont été soumises à une analyse multicritères intégrant l'ensemble des contraintes technico-économiques et environnementales liées au projet, et qui a montré que la solution en structure digitée (figure 1) présentait en terme de volume de stockage et de valorisation environnementale la meilleure synthèse dès lors qu'elle n'est pas développée dans les parties les plus hautes de l'anse (gain en terme de volume de matériau à draguer).

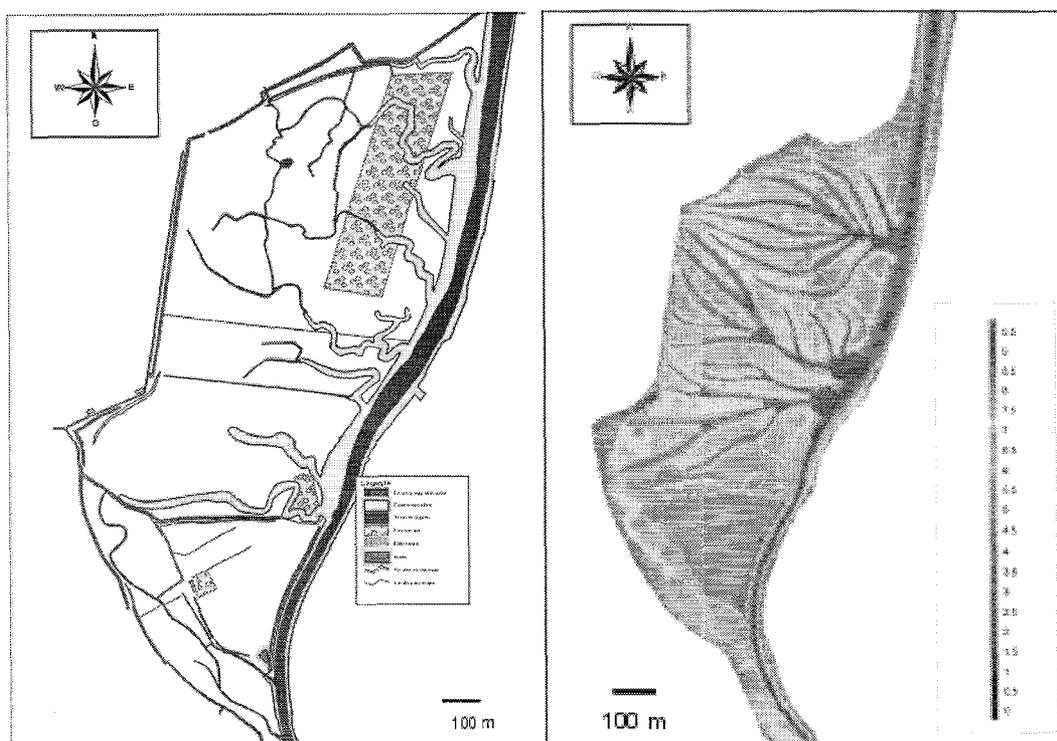


Figure 1 : Anse de Moidrey. gauche : état actuel et droite : projet d'aménagement (Moidrey site. Left : present situation and right : proposed development)

Ce type de solution technique consiste à reconstituer un système de chenaux (ou criches), présentant un certain nombre de caractéristiques communes avec des morphologies naturelles de chenaux en milieu tanguier.

On peut trouver de telles structures dans la Baie du Mont Saint-Michel, dans certains havres de la côte du département de la Manche et dans d'autres milieux de type fluvio-maritime (estuaire de la Seine en particulier).

Cette solution permet de conserver un système de pentes favorisant un meilleur écoulement des eaux et un entretien minimisé par rapport aux autres solutions proposées. Du point de vue biologique, elle permet de créer un système d'étagement des milieux, propice à une augmentation de la biodiversité du site.

### **2.3 Examen détaillée de la solution retenue – Analyse des effets du projet**

Après choix et validation par le comité de pilotage de la solution proposée, des analyses plus fines sur le plan hydraulique et hydrosédimentaire ont été effectuées, afin d'optimiser l'aménagement du point de vue de sa conception et de son entretien futur. Pour cela, une expertise sédimentologique des propriétés physiques des matériaux (rhéologie), in situ et des matériaux véhiculés par le flot a été réalisée à partir de données de mesures afin de préciser les rigidités et contraintes de cisaillement des matériaux respectifs et de définir les paramètres de pentes. Des analyses complémentaires ont également été effectuées de manière à évaluer respectivement l'influence des nappes émergentes (alimentation par drainage des nappes), du ruissellement superficiel et des phénomènes de pénétration –réessuyage des tangues dans les chenaux.

Puis l'esquisse retenue de l'aménagement a fait l'objet de simulations hydrauliques et hydrosédimentaires sur un modèle numérique 2DH simulant le système Couesnon-Moidrey-barrage de la Caserne. Ce modèle a été construit à l'aide des modules Telemac2D et Subief du système de modélisation Telemac. Différentes simulations ont permis d'optimiser le plan-masse du projet du point de vue hydraulique (vitesses, salinité) et sédimentologique (apports sédimentaires et dépôts résultants). L'optimisation de la structure a ainsi permis de réduire les dépôts annuels de 25 % (dépôts initiaux de 36 000 tonnes contre 27 000 tonnes après optimisation de la structure) dans l'ensemble du système et de près de 50 % par rapport à la structure circulaire testée dans le cadre des études hydrosédimentaires sur le Couesnon.

Enfin, les incidences possibles du projet ont été évaluées du point de vue :

- Hydraulique : l'aménagement a pour effet d'abaisser la ligne d'eau dans le Couesnon, et d'augmenter la capacité de chasse du Couesnon pour un même niveau de retenue et donc d'avoir une meilleure capacité à faire face aux aléas naturels en Baie.
- Hydrogéologique. les calculs de perméabilité ont démontré que les échanges étaient très faibles sinon quasi nuls. Le projet n'aura donc pas d'effet sur les équilibres hydrologiques et hydrogéologiques en place.

- Hydrosédimentaire : les analyses menées dans le cadre de l'étude ont abouti à une solution de l'aménagement permettant d'atteindre l'objectif d'autocurage. Les phénomènes de sédimentation seront limités et les opérations d'entretien réduites.
- Paysager : le projet n'aura pas d'effet négatif sur l'environnement paysager de l'anse. La solution retenue présente par ailleurs de nombreuses qualités sur le plan paysager (respect de la continuité du Couesnon, dessin de criches à expression naturelle). Elle permet ainsi la reconstitution d'un système de criches s'assimilant à un système naturel de chenaux comme on peut en trouver à l'état naturel en Baie du Mont-St-Michel .
- Biologique : une « vasière », au sens écologique du terme va être créée (recréée), permettant un repeuplement de végétation naturelle stratifiée sur les rives en fonction des hauteurs d'eau et des valeurs de salinité dans les chenaux. Du point de vue des milieux terrestres, cela induit une réduction de certaines espèces inféodées à la prairie permanente, mais de manière relativement limitée. Il s'agit de plus d'un retour à une situation ancienne d'avant mise en service du barrage de la Caserne, avec toutefois une protection contre de rares submersions totales fluviales ou marines qui pourraient être très pénalisantes pour certaines espèces. L'étude a permis de découvrir sur le site une espèce au cycle vital incomplètement connu (pélodythe ponctué), peu capturable et peut-être abondante.

### **3. Restauration des fonctionnalités biologiques de la vasière nord de l'estuaire de la Seine**

#### **3.1 Les origines du projet**

Le projet Port 2000 qui s'implante au Nord-Ouest de l'estuaire est un nouveau développement portuaire majeur qui a fait l'objet d'une procédure de Débat Public en 1998 à la suite duquel un Comité d'Experts sur l'estuaire de la Seine a été mis en place pour rendre compte d'une façon indépendante des conséquences de cet ouvrage sur le milieu et sur les fonctionnalités de l'estuaire. Dans son rapport publié en septembre 1999, ce Comité propose une démarche globale de réhabilitation du système estuarien comprenant dans une première phase un maintien de la situation actuelle principalement dans la vasière Nord et dans une seconde phase le retour à des fonctionnalités équivalentes à celles observées au début des années 1980 (Hamm et al., 2000). Parmi les éléments à prendre en compte pour cette réhabilitation, les vasières intertidales occupent une place centrale. Leur production biologique explique par exemple l'intérêt ornithologique majeur de l'estuaire.

Leur maintien en termes de surface, qualité et accessibilité aux espèces dans la partie Nord de l'estuaire est une priorité pour le Comité. Il passe par une maîtrise de la dynamique hydrosédimentaire de l'estuaire qui modèle le substrat meuble et constitue l'agent forçant de la répartition des courants, de la salinité et de la turbidité qui conditionnent à leur tour les fonctionnalités biologiques de l'estuaire.

C'est pourquoi, le Comité a demandé que des études en ce sens soient réalisées immédiatement en profitant des moyens opérationnels mis en place par le Port du Havre à l'occasion du projet Port 2000.

L'Etat s'est porté maître d'ouvrage des études correspondantes qui ont été confiées à SOGREAH avec une participation de l'IFREMER. Un Comité Technique animé par la DIREN Haute-Normandie et regroupant des scientifiques reconnus dans le domaine ainsi que des représentants des deux Ports a été créé pour favoriser l'échange des points de vue et permettre ainsi de dégager des aménagements susceptibles de répondre à l'ensemble des contraintes évoquées ci-dessus. Le Comité d'Experts devenu entre temps le Comité Scientifique et Technique du plan de gestion globale de l'estuaire de la Seine a ensuite été sollicité à intervalle régulier pour participer à l'interprétation des résultats et valider les aménagements retenus.

### **3.2 Les aménagements retenus**

Un premier dégrossissage de différents aménagements possibles a d'abord été effectué par l'interprétation de calculs courantologiques. Cela a permis de dégager un principe de solution comprenant :

- a) un prolongement de la fosse nord à l'amont du pont de Normandie sur une distance de 2500m initié par un terrassement de l'ordre de 1,5 million de m<sup>3</sup> débouchant dans le chenal principal de l'estuaire par une nouvelle brèche amont située au droit de la vasière artificielle actuelle,
- b) le rehaussement d'une partie de la digue basse nord (DBN) sur 2000m et de la brèche actuelle pour favoriser l'écoulement des eaux vers cette nouvelle brèche amont,
- c) la mise en place d'un épi plongeant à l'aval pour protéger le banc de la passe et créer ainsi de nouvelles surfaces de vasières contre la digue basse nord rehaussée.

Quatre essais longs ont été nécessaires sur le modèle physique à fonds mobiles pour fixer les caractéristiques exactes des ouvrages (et notamment leur cote d'arase) qui figurent sur la figure n°2 permettant de satisfaire aux objectifs fixés à savoir :

- un arrêt de la réduction des surfaces d'estran dans la vasière nord grâce au développement de nouvelles surfaces de vasières le long de la digue basse nord à l'aval et à l'amont du pont de Normandie,
- un fonctionnement pérenne de la fosse nord à l'amont du pont de Normandie sans augmenter les volumes de dragage d'entretien du chenal principal de l'estuaire,
- la protection des piles du viaduc nord pour assurer la stabilité du pont de Normandie.

Ils ont été complétés par des calculs de transport de la salinité qui ont montré que celle-ci augmenterait dans la fosse nord du fait du rehaussement de la brèche actuelle ce qui paraît favorable au développement biologique et par des calculs de transport et dépôt des vases.

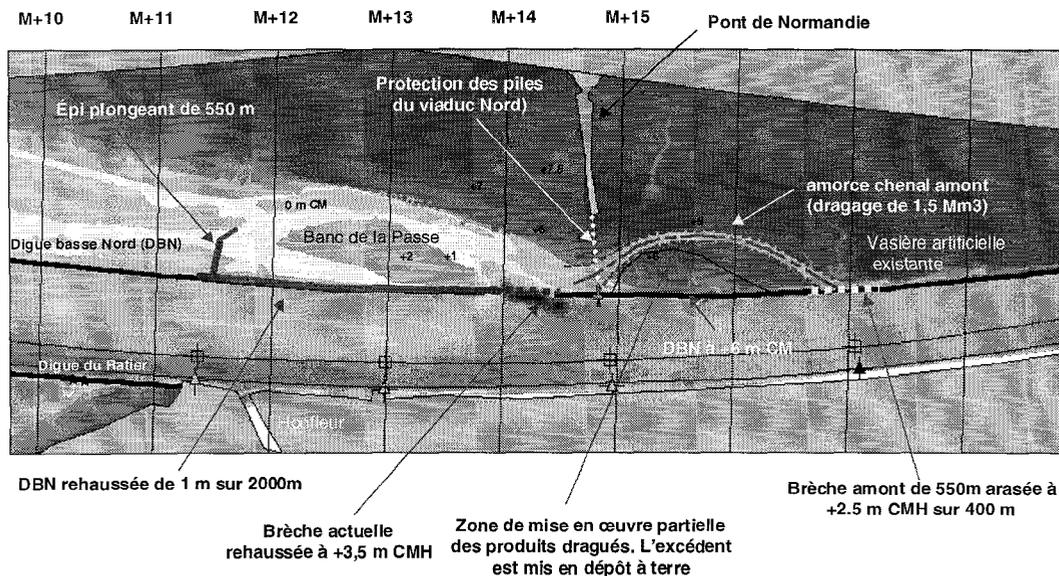


Figure 2 : Les aménagements retenus pour la réhabilitation de la vasière nord de l'estuaire de la Seine (*Development scheme of the restoration of the northern mudflat of the Seine estuary*)

### 3.3 Avant-projet des ouvrages

A l'issue de ces études hydrosédimentaires, une étude au niveau avant-projet a été réalisée pour préciser le dimensionnement et le mode de construction des différents ouvrages. Les interventions à l'amont du pont de Normandie qui se situent dans une réserve naturelle ont fait l'objet d'une attention toute particulière. C'est ainsi qu'une solution mixte de construction a été proposée combinant des travaux limités par voie terrestre en restreignant la circulation dans la réserve à deux pistes d'accès provisoires et des travaux par voie maritime utilisant le chenal de navigation du port de Rouen pour accéder à la zone du projet.

Le produit du terrassement du nouveau chenal amont sera en majorité (plus d'un million de mètres-cube) stocké à terre sur un terrain du Port autonome du Havre à vocation industrielle situé au nord de la route de l'estuaire. Le reliquat servira à rehausser les terrains au nord de la digue basse nord à l'amont du pont (voir figure 2) pour accélérer la formation d'une vasière. A l'aval, le modèle physique a montré que la construction de l'épi plongeant et le rehaussement de la digue basse nord devraient permettre à une vasière de se former naturellement.

L'épi plongeant sera construit en deux étapes séparées de quelques années afin de permettre une construction progressive de cette nouvelle vasière et éviter des pertes de charges hydrauliques trop importantes au début qui auraient nui au bon fonctionnement de la nouvelle brèche amont.

De même, la structure de la nouvelle brèche amont a été conçue de façon à pouvoir facilement diminuer ou rehausser sa cote d'arase d'un demi-mètre dans quelques années pour rectifier une éventuelle dérive observée dans l'évolution par rapport aux objectifs fixés.

#### **4. En guise de conclusion**

La réhabilitation des zones humides est devenu un terme générique recouvrant différentes interventions poussées sur le milieu qui se justifient lorsque celui-ci est profondément abimé. Elle s'inscrit en général dans un cadre précis de sauvegarde d'espaces visant le maintien ou la survie d'une ou plusieurs espèces-clés (Baron-Yellès, 2000). Derrière cet objectif unique, les techniques et pratiques utilisées concrètement sont très diverses et peuvent conduire notamment à mettre ces espaces sous assistance voire sous perfusion permanente ce qui peut les éloigner encore davantage d'une évolution spontanée. Les deux cas présentés ici ont fait l'objet d'une réflexion approfondie sur ce thème visant à limiter l'action de réhabilitation à une action initiale d'aménagement équilibrée capable de s'entretenir et d'évoluer spontanément sous l'action des marées et du régime hydrologique du site.

Leur caractère innovant a cependant incité à suffisamment de modestie pour prévoir dès maintenant de possibles aménagements correctifs qui seront à mettre éventuellement en œuvre en fonction des résultats du suivi de terrain.

#### **5. Références**

- Baron-Yellès, N. (2000). Recréer la nature. Ecologie, paysage et société au marais d'Orx. Editions rue d'Ulm/ Presses de l'Ecole Normale supérieure, Paris, 215 p.
- Bernard (1995). Les zones humides, rapport d'évaluation. La Documentation Française, Paris
- Bessineton, C. (1997). La création de vasières artificielles dans l'estuaire de la Seine. In : les estuaires français. Ed. Ifremer, Actes Colloq. 22, 111 – 121.
- Drévès, L. et Chaussepied, M. (2001). Restauration des écosystèmes côtiers. Brest, 8-9 novembre 2000. Ed. Ifremer, Actes Colloq., 29, 376 p.
- Hamm, L., Romaña, L.A. et Lerat, F. (2001). Maintien des fonctionnalités biologiques de la vasière nord de l'estuaire de la Seine. In : Restauration des écosystèmes côtiers. Brest, 8-9 novembre 2000. Drévès L. & Chaussepied M. (coord.). Ed. Ifremer, Actes Colloq., 29, 157-167