

Travaux

n° 828

- Les enjeux du développement du conteneur au Port du Havre

- Port 2000 : le premier débat public loi Barnier en France

- Les études préliminaires

- Port 2000 : une opportunité pour la réhabilitation de l'estuaire de la Seine

- Les travaux préliminaires

- Les marchés principaux

- Digues et dragages associés

- Quai et dragages associés

- Les chantiers environnementaux

- L'assistance au management de projet

- Les dessertes terrestres

- Le terminal de France

Le Havre Port 2000

Une extension portuaire
au service du développement
durable

Travaux

numéro 828

Le Havre Port 2000

mars 2006

Le Havre Port 2000

**Notre couverture**

Le Havre Port 2000

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Patrick Bernasconi

RÉDACTION

André Colson et Mona Mottot
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 44 13 31 83 - colsona@fnfp.fr
Tél. : (33) 01 44 13 31 03 - mottotm@fnfp.fr

SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart
Tél. : (33) 02 41 18 11 41
Fax : (33) 02 41 18 11 51
francoise.godart@wanadoo.fr

VENTES ET ABBONNEMENTS

Agnès Petolon
10, rue Clément Marot - 75008 Paris
Tél. : (33) 01 40 73 80 05
revuetravaux@wanadoo.fr

France (11 numéros) : 190 € TTC
Etranger (11 numéros) : 240 €
Etudiants (11 numéros) : 75 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)

MAQUETTE

T2B & H
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris
Tél. : (33) 01 44 64 84 20

PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle
Martin Fabre
61, bd de Picpus - 75012 Paris
Tél. : (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat
Saint-Just la Pendue (Loire)

La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux).
Ouvrage protégé; photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (Code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie S.A.

3, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Patrick Bernasconi

1

actualités

8

recherche et innovation

14

techniques et matériaux

16

PRÉFACE

Dominique Perben

17

◆ Les enjeux du développement du conteneur au Port du Havre

J.-M. Lacave

18

◆ Port 2000 : le premier débat public loi Barnier en France. Le point de vue du Port Autonome du Havre

P. Scherrer, P. Galichon

25

◆ Port 2000. La concertation au service d'un grand projet

Cl. Chardonnet

30

◆ Les études préliminaires de Port 2000. Hydraulique et sédimentologie

L. Hamm, A. Delouis, R. Vieillard

33

◆ Port 2000. Une opportunité pour la réhabilitation de l'estuaire de la Seine

Fr. Lerat

41

◆ Le Havre Port 2000 : quand l'ambition du futur trouve du sens dans la recherche archéologique

M. L'Hour

46

◆ Les marchés principaux

A. Moisy, C. Guillou

49

◆ Les travaux de construction des digues de protection et accès maritimes (DPAM)

D. Maire, J. Vandebroeck

57

◆ La maîtrise d'œuvre et le suivi des travaux "Digues et dragages associés"

Ch. Gauthier, J.-P. Faroux, Ch. Bizien

70

◆ Construction du quai extérieur en paroi moulée

J.-L. Gobert

81

◆ La maîtrise d'œuvre et le suivi des travaux "Quai et dragages associés"

Ch. Benard, Ch. Bizien

89



Sommaire

mars 2006

Le Havre Port 2000

Dans les prochains numéros

- International**
- Environnement**
- Réhabilitation**
- Énergies renouvelables**
- SIAAP**
- Travaux souterrains**
- Réseaux**
- Terrassements**



◆ Port 2000 et l'environnement
P. Scherrer, P. Galichon, V. Hauchecorne

96

◆ Le reposoir sur dune. La phase travaux entre octobre 2001 et février 2002
Th. Lebreton, M. Kowalski

101



◆ Conception d'îlots reposoirs pour les oiseaux marins dans l'estuaire de la Seine
G. Debout, Ch. Bessineton, Ch. Aulert, P. Galichon

103

◆ Réalisation d'un îlot reposoir au sud de la digue du Ratier
H. Been

106



◆ La réhabilitation des vasières
D. Poissonnier

111

◆ L'assistance au management de projet sur Port 2000
K. Whitmore

119



◆ Les dessertes terrestres de Port 2000
J.-D. Poncet, P. Vaudour, J.-P. Ternon, Th. Vaillant

123

◆ Attribution des terminaux de Port 2000
J.-Y. Le Ven, E. Durand

131



◆ Le terminal de France. Projet Pélican
M. Henry

132

◆ Solutions techniques pertinentes et développement durable
E. Ludot, J.-L. Duchez, E. Boulanger

135



Spécial Matériels TP - Panorama et perspectives

139

ABONNEMENT TRAVAUX

Répertoire des fournisseurs

155

Encart après p. 48

INDEX DES ANNONCEURS

ALKOR DRAKA	14	MERLO	23
AMMANN	153	PORT AUTONOME DU HAVRE	6 ET 7
BELL FRANCE	154	PRO BTP	2È DE COUVERTURE
CNETP	87	SCETAURROUTE	2
EBOSYSTEMS	151	SETEC TPI	13
ETERNIT	147	SOCIÉTÉ DE DRAGAGE INTERNATIONAL	56
GTM TERRASSEMENT GROUPE GTM CONSTRUCTION	4È DE COUVERTURE	SODRANORD	117
HAULOTTE GROUP	3È DE COUVERTURE	SOLÉTANCHE BACHY	87
HUNNEBECK FRANCE	144	SOTRALENTZ CONSTRUCTION	88
IHC	102	SOTRES	117
INTERMAT	4	SPIE FONDATIONS	144
JEAN MULLER INTERNATIONAL	55	URS FRANCE	24

Cinquième port européen sur le marché du conteneur, Le Havre est le mieux placé pour donner un nouvel élan aux ambitions maritimes et portuaires de la France. Port 2000 va permettre à notre pays de se doter des équipements en adéquation avec les besoins d'aujourd'hui.

Fruit d'une intense concertation, Port 2000 s'inscrit aussi et surtout dans une logique de développement durable, particulièrement en matière d'emploi.

D'abord le chantier est exceptionnel par ses dimensions : 4 années et demie de travaux, près de 6 km de digues extérieures, un linéaire de quai pouvant s'étendre sur 4 200 m de long, plus de 10 km de voies ferrées directement en arrière des terminaux. Il a été un formidable laboratoire d'innovations pour les entreprises et l'ensemble des centaines de personnes qui y ont travaillé.

Port 2000 générera aussi bientôt le développement d'activités portuaires, industrielles, logistiques et de transport dont l'importance sera ressentie bien au-delà de la région.

De plus, la nouvelle organisation de la manutention portuaire qui se met en place à Port 2000 dans le cadre des conventions d'exploitation de terminal est de nature à assurer le haut niveau de service attendu par les armateurs et à renforcer l'attractivité du site.

Ensuite, Port 2000 traduit un effort remarquable en matière de développement des dessertes massifiées, ferroviaires et fluviales.

Il s'agit par exemple d'un investissement en infrastructures ferroviaires de plus de 150 M€. Et, ces investissements vont se poursuivre avec l'écluse fluviale

dont je souhaite arrêter l'option technique dans les prochains mois.

La priorité que j'ai fixée est de réussir une mutation des dessertes ferroviaires et fluviales des ports qui doivent résolument s'organiser pour proposer des solutions économiques et fiables dans ce domaine avec les opérateurs de transport. Je pense que les conditions sont aujourd'hui réunies pour que cette évolution soit réussie.

Enfin, ce site s'inscrit dans une préoccupation environnementale de qualité.

Un très important programme de mesures environnementales a été mené à bien pour favoriser l'accueil et la reproduction des espèces de l'estuaire de la Seine et engager une véritable amorce de réhabilitation environnementale dans ce lieu de vie unique. Le projet a aussi fait prendre conscience de l'intérêt et de l'importance écologiques de cet estuaire.

Prouesse technique, ambition économique et environnementale, Port 2000 aura porté des hommes de tous les métiers et de tous les horizons dans un même élan durant plus

de dix ans. Tous ont relevé avec ardeur, courage et aussi une légitime fierté ce défi audacieux de l'alliance durable entre le développement économique et social et le respect de la nature.

Je suis persuadé que cet extraordinaire investissement constituera le levier d'entraînement d'une dynamique nouvelle pour nos ports, bien au-delà de la place portuaire du Havre.

Je souhaite que cet ouvrage soit un hommage à toutes celles et ceux qui ont œuvré de près ou de loin à cette remarquable réalisation.



■ **DOMINIQUE PERBEN**

**Ministre
des Transports,
de l'Équipement,
du Tourisme
et de la Mer**

Enjeux du développement au Port du Havre

Premier port français (avec plus de 60 % de parts de marché) et cinquième port du range nord de l'Europe pour le trafic de conteneurs, Le Havre a mené, dès les années 1990, une réflexion de fond portant sur les enjeux du développement du conteneur anticipant la mondialisation des échanges et le changement d'échelle du transport maritime. Cette réflexion a abouti à la mise en place de Port 2000, fruit de la concertation issue du premier débat public organisé en France autour d'un grand projet. Soutenu par l'Europe, l'Etat, la Région et le Département mais aussi par les investisseurs privés, Port 2000 a pour but de développer considérablement la capacité du port pour les conteneurs, permettant ainsi d'asseoir l'activité portuaire et logistique, porteuse d'emplois. Ce développement ne pouvant se faire sans un bon réseau de dessertes, Port 2000 intègre parallèlement une amélioration de la desserte terrestre des terminaux portuaires par les modes ferroviaires, routiers et fluviaux. Au-delà de l'intervention sur la modernisation du port, l'originalité de ce grand projet réside dans l'importance de la prise en compte de l'environnement, véritable déclencheur d'une stratégie de développement durable dans l'estuaire de la Seine.

L'arrivée du conteneur a révolutionné le transport maritime. En plus de 40 ans, il a permis de réduire sensiblement le temps de transport et de manutention dans les ports, ainsi que le prix du fret maritime par rapport à un cargo traditionnel. Apparue aux Etats-Unis pour la première fois en 1956, le concept ne débarque en Europe que 10 ans plus tard, à la fin des années 1960 (cf. encadré "Le conteneur").

Au Havre, le trafic de conteneurs va connaître une progression rapide qui conduira à la réalisation de plusieurs terminaux : Atlantique (en bassin de marée en 1968-1970), Europe (en bassin intérieur en 1971-1974), Océan (en bassin intérieur en 1975-1980) puis Normandie et Amériques (en bassin de marée en 1992-1995). Cette croissance s'accélérait nettement dès le début des années 1990, l'autorité portuaire lance une réflexion qui aboutira à la réalisation de Port 2000, nouvelle infrastructure dédiée aux conteneurs répondant aux enjeux du commerce maritime international (cf. encadré "Le Havre : un port en constante évolution").

En effet, grâce à sa situation géographique exceptionnelle – en tête de file des ports de la façade maritime nord-ouest de l'Europe sur l'axe de navigation Manche / Mer du Nord par lequel transite le quart des échanges maritimes de la planète –, le port du Havre s'inscrit le plus souvent dans les

rotations des grands navires de lignes régulières en position de premier port européen à l'import ou de dernier port à l'export. Premier port français et cinquième port du range nord-européen pour le trafic conteneurisé, Le Havre a traité 2,1 millions de conteneurs Equivalents Vingt Pieds (EVP) en 2005. Ce trafic connaît depuis 1994 une croissance forte et continue, excepté en 2005 où les terminaux à conteneurs existants ont fonctionné au maximum de leurs capacités. Outre l'aspect technique, la réalisation des nouveaux terminaux à conteneurs de Port 2000 constitue donc un véritable enjeu pour le Port du Havre, tant sur le plan économique qu'environnemental. Ce dernier point étant développé dans d'autres articles de cette revue, seul les enjeux économiques (qui sont triples) seront développés ici.

■ RÉPONDRE AU CHANGEMENT D'ÉCHELLE DU TRANSPORT MARITIME

Ce changement d'échelle résulte de la globalisation de l'économie, les besoins de transport étant sans cesse croissants. Le commerce intercontinental, hors matières premières et agricoles, est désormais très majoritairement conteneurisé et

LE CONTENEUR

Le concept même du conteneur vient des États-Unis : apparu pour la première fois en 1956, le conteneur est le fruit de l'expérience d'un entrepreneur – Malcolm Mac Lean – qui décida de transporter des remorques de camions à bord d'un cargo. Après cette première expérience positive, il décida de séparer la "caisse métallique" du châssis de la remorque : le conteneur était né, ce qui amena Malcolm Mc Lean à créer la société Sealand (terre-mer).

Le conteneur est un contenant standardisé (une capacité de transport cadre ou citerne) utilisé dans le monde du transport maritime et terrestre. On parle d'EVP (Équivalent Vingt Pieds ou 20') – conteneur de taille standardisée d'environ 6 m de long, 2,6 m de haut et 2,4 m de large –, de 40 pieds (= 2 conteneurs EVP en longueur), de high cube – conteneur d'une hauteur de 2,90 m au lieu de 2,57 m –, d'open top – conteneur sans toit – de conteneur isotherme...

Conçu pour faciliter le transport de marchandises sans rupture de charges (i.e. changement de moyen de transport), il est muni de dispositifs le rendant facile à manipuler notamment lors de son transbordement d'un moyen de transport à un autre. Au port, le conteneur est chargé ou déchargé du navire (le porte-conteneurs) au moyen de portiques à conteneurs. Des chariots cavaliers assurent la manutention des conteneurs entre le pied du portique et le parc de stockage du terminal ou le mode de transport terrestre. De la rapidité du chargement et du déchargement dépend le temps passé au port. Plusieurs portiques sont donc affectés simultanément au chargement et déchargement d'un même navire.

du conteneur

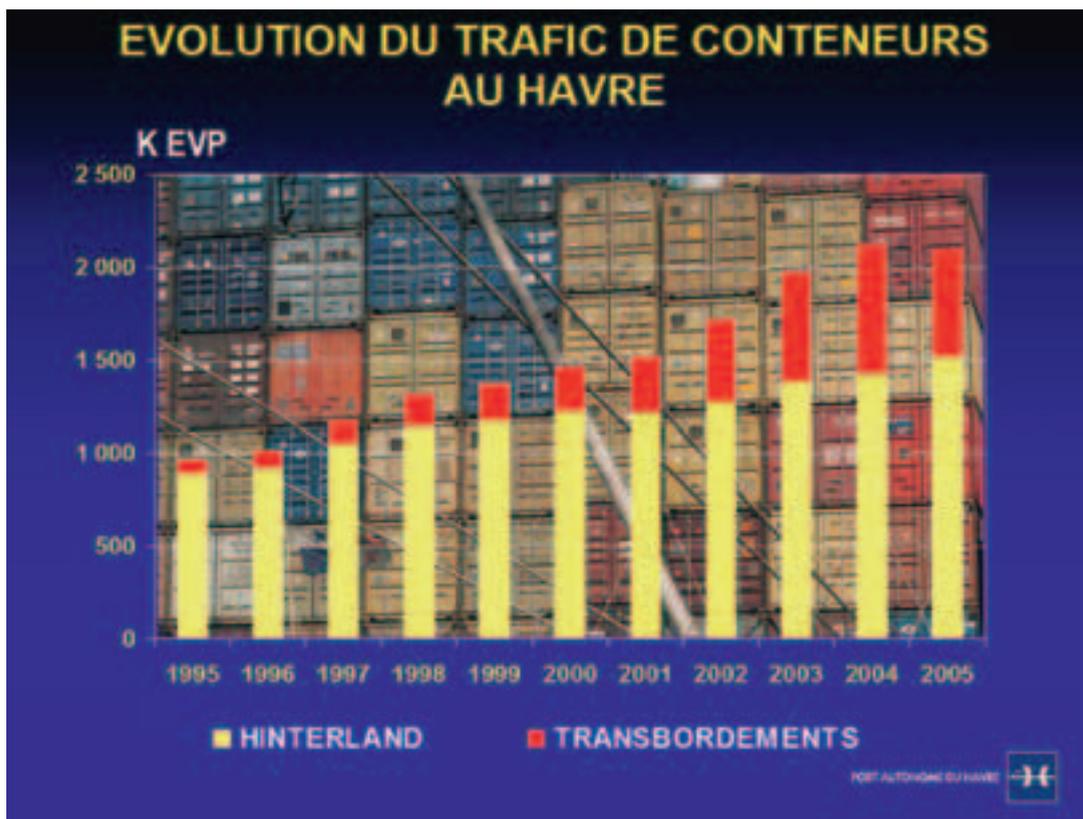
Jean-Marc Lacave

DIRECTEUR GÉNÉRAL
Port Autonome du Havre



continue à croître à un rythme élevé de 7 à 8 % en moyenne annuelle sur les deux dernières décennies. Parallèlement, les grands armements conteneurisés se concentrent en s'associant au sein de

méga alliances ou même en fusionnant entre eux. Simultanément, la taille des plus grands navires sera passée en moins de dix ans de 4 à 9000 EVP, dépassant 300 m de longueur, 40 m de largeur et



Evolution du trafic de conteneurs au Havre

Trend for container traffic in Le Havre

LE HAVRE : UN PORT EN CONSTANTE ÉVOLUTION

Quand, en 1517, le roi François I^{er} décide la création du Havre pour "tenir en sûreté les navires et vaisseaux de nos sujets naviguant sur la mer océane", il répond à une double volonté :

- d'une part, développer un établissement portuaire apte à répondre aux nouvelles perspectives du commerce international,
- d'autre part, renforcer les moyens de défense de la région de l'estuaire de la Seine.

La position du nouvel établissement sur la façade occidentale de l'Europe est très favorable, avec de très bonnes conditions d'accès nautique. Port militaire jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, Le Havre devient un port de commerce important au XIX^e siècle. Il connaît alors de nombreuses évolutions aussi bien physiques (nombreuses phases d'extension et création de nouvelles infrastructures) que commerciales (révolution liée à l'apparition de la vapeur, augmentation de la taille des navires...).

Au XX^e siècle, l'activité portuaire havraise poursuit son évolution, s'adaptant aux mutations du transport maritime international. Aux passagers (époque des transatlantiques) succèdent les vracs et notamment le pétrole et, à la fin des années 1960, les conteneurs.

Répartition du trafic conteneurisé sur les terminaux
Breakdown of containerised traffic on the terminals



► 14 m de tirant d'eau. Accompagnant cette évolution, le nombre des ports touchés par les grandes lignes maritimes diminue au profit des seuls ports ayant une dimension européenne : le volume minimum de conteneurs manutentionnés nécessaire pour justifier l'escale augmente en effet avec la taille des navires. A cela s'ajoute la multiplication des transbordements entre grands navires et caboteurs, qui se traduit par le développement des volumes traités à chaque escale et conduit à la création de plates-formes de transbordement : les "hub ports".

Dans ce contexte, le port du Havre dispose d'atouts importants, notamment sa situation géographique et ses capacités nautiques qui en font un port accessible 24 heures/24, 7 jours/7 et 365 jours par an.

Port à conteneurs le plus à l'ouest du continent européen sur la Manche, Le Havre constitue un lieu propice aux opérations de transbordements sur les régions Ouest de l'Europe mais également pour desservir le plus rapidement possible les régions situées à l'Est, évitant les pertes de temps liées à la remontée vers les ports du Nord. Par ses accès nautiques en eau profonde, le port du Havre peut recevoir les plus grands porte-conteneurs sans restriction de tirant d'eau, sans contrainte de chenalage et sans attente sur rade. De ce fait, les coûts d'escale pour les navires y sont parmi les plus faibles des ports de la rangée Nord.

■ DÉVELOPPER DE NOUVELLES ACTIVITÉS GÉNÉRATRICES D'EMPLOIS

Un port est un poumon économique pour l'ensemble des activités locales, régionales et nationales. Au Havre, 16 000 emplois dépendent directement de l'activité portuaire (en progression de + 15,6 % sur la période 1995-2003) avec une nette accélération depuis 2000. En 2003, cela correspond à 12 % de la zone d'emploi du Havre, sachant que 41 % des créations d'emplois sur la zone entre 2000 et 2003 sont directement liés aux activités portuaires. Il s'agit essentiellement d'emplois dans le domaine de l'armement, de la manutention, de l'entreposage, de la logistique, du transit, du négoce, des prestataires de services aux navires, de l'assurance, du transport, des douanes...

La part du trafic des conteneurs dans les activités portuaires connaît, comme dans les autres grands ports européens, une progression régulière. Avec 28 % des tonnages et environ 40 % des escales, les conteneurs sont le principal générateur d'emplois portuaires aussi bien directs qu'indirects. On constate ainsi que la proche perspective de la mise en service de Port 2000 a d'ores et déjà attiré, dans la région havraise mais également sur la rive gauche de la Seine, des entreprises et de nouveaux investisseurs spécialisés, en particulier dans les secteurs du transport et de la logistique. Avec la

LE FINANCEMENT DE PORT 2000

Le financement de Port 2000, pour six postes à quai, les dessertes terrestres et la partie environnementale, engage la participation de plusieurs partenaires, les superstructures étant intégralement à la charge des opérateurs de terminaux (cf. tableau ci-dessous).

en M	Portuaire (y compris dessertes immédiates)	Environnement	Dessertes terminales	Dessertes proches	Superstructures	TOTAL
RTE	2,5			2,21		4,71
Feder	33,1	5		8,42		46,52
Région	23,84	9,91		18,8		52,55
Département	19,44	9,91		20,2		49,55
RFF-SNCF				13,7		13,7
Etat	160,1		10,6	37,82		208,52
PAH	429,2		4,4			433,6
Opérateurs			4,1		275	279,1
Sous-Total	647,27	45,73	19,1	101,15	275	1 088,25
TOTAL	693		19,1	101,15	275	1 088,25

progression attendue du trafic conteneurisé au Havre, les perspectives sur le bassin de la zone d'emplois du Havre sont donc importantes.

En permettant au port du Havre de réaliser des économies d'échelle par un volume supérieur de conteneurs traités et en favorisant la massification des pré- et post-acheminements grâce à la mise en place de dessertes performantes, Port 2000 offre à la Porte Océane les moyens de répondre aux grandes évolutions du commerce mondial, notamment au regard de la concurrence des ports du nord de l'Europe. Extension portuaire dédiée au trafic des conteneurs, Port 2000 offre, en effet, de grands linéaires de quai (à terme, 12 postes à quai sur 4,2 km) et d'importantes surfaces de terre-pleins pour le stockage.

La première phase, mise en service au début du printemps 2006, offre quatre postes à quai sur une longueur de 1,4 km. Deux postes à quai supplémentaires, qui seront réalisés à la suite en fonction des besoins des exploitants de terminal, sont d'ores et déjà programmés et financés (cf. encadré "Financement de Port 2000"). Six autres postes à quai seront à construire ultérieurement en fonction des besoins du trafic.

■ CONTRIBUER À AMÉLIORER LES DESSERTES TERRESTRES DU PORT DU HAVRE

◆ Au niveau de la **desserte ferroviaire**, Port 2000 vise un accroissement significatif de la part modale

du transport ferroviaire dans l'acheminement des conteneurs via une adéquation des services et des infrastructures ferroviaires portant à la fois sur la desserte immédiate, la desserte proche et la desserte éloignée des terminaux.

◆ La **desserte fluviale**, elle sera dans un premier temps assurée sur un terminal dédié situé dans la partie ouest du terminal de l'Europe. Par la suite, il est prévu dans le schéma général d'aménagement de réaliser une écluse fluviale reliant la Darse de l'Océan aux terminaux de Port 2000. Le principe de sa réalisation, qui a fait l'objet d'études techniques et économiques, a été confirmé par le Comité interministériel d'aménagement et de compétitivité du territoire (CIACT) du 14 octobre 2005.

◆ Au niveau de la **desserte routière**, il faut être conscient que le mode routier restera prépondérant pour les pré/post acheminements de conteneurs, bien que partiellement compensé par la montée en puissance de la desserte ferroviaire et de la desserte fluviale. Les aménagements de desserte immédiate des terminaux sont intégrés, comme ceux concernant la desserte ferroviaire, dans le schéma pris en considération et sont sous maîtrise d'ouvrage PAH. Ils consistent notamment à créer une porte unique d'accès à la zone regroupant les terminaux sud du Port du Havre : Port 2000, quais d'Asie, d'Osaka et de Bougainville. Ils contribueront ainsi à limiter la circulation induite par les transferts entre terminaux. Encore une fois, plusieurs niveaux ont été étudiés avec les instances compétentes : la desserte proche et la desserte éloignée.

► En tant que fruit de la concertation et outil du développement durable, Port 2000 offre au port du Havre un véritable atout pour répondre aux défis de la mondialisation des échanges. Les enjeux du développement du conteneur au port du Havre sont essentiels pour la vie économique locale, régionale et nationale, ce trafic étant générateur d'activités et donc d'emplois mais aussi de valeur ajoutée, gages de l'efficacité d'une place portuaire internationale.

ABSTRACT

Implications of container development in Le Havre Port

J.-M. Lacave

The leading French port (with more than 60 % market share) and the fifth largest port in the northern European range for container traffic, Le Havre conducted, as of the 1990s, an in-depth review of the implications of container development, anticipating trade globalisation and the change in scale of sea transport. This review led to the introduction of Port 2000, following consultation based on the first public debate organised in France around a major project. Supported by Europe, the French government, the Region and the "Département", but also by private investors, Port 2000 aims to expand the port's container capacity considerably, thereby consolidating the port and logistics activity, which generate jobs. Since this expansion could not be achieved without a good access network, Port 2000 also includes the improvement of land access to the port terminals by the rail, road and river transport modes. Apart from the port modernisation operation, the originality of this large project lies in extensive allowance for the environment, which truly initiated a sustainable development strategy in the Seine estuary.

RESUMEN ESPAÑOL

Retos des desarrollo de contenedores en el Puerto marítimo de Le Havre

J.-M. Lacave

Primer puerto marítimo francés (con más de 60 % de cuotas de mercado) y quinto puerto marítimo del área norte de Europa para el tráfico de contenedores, Le Havre emprendió, desde los años 1990, una reflexión de fondo relativa a los retos del desarrollo de contenedores para anticipar la globalización de los intercambios y el cambio de escala del transporte marítimo. Semejante reflexión ha dado como resultado la implantación de Port 2000, fruto de la concertación derivada del primer debate público organizado en Francia acerca de un importante proyecto. Con el apoyo de Europa, del Estado, de la

Región y del Departamento así como también de los inversores privados, Port 2000 tiene como objetivo desarrollar de forma considerable la capacidad del puerto para los contenedores, y permite así fundamentar la actividad portuaria y logística, que acarrea empleos. Este desarrollo únicamente se puede realizar disponiendo de una buena red de transportes y Port 2000 integra paralelamente una mejora del servicio de transporte terrestre de los terminales portuarios mediante ferrocarriles, redes viales y fluviales. Más allá de la intervención relativa a la modernización del puerto, la originalidad de este importante proyecto reside en la importancia de la integración del medio ambiente, verdadero desencadenador de una estrategia de desarrollo sostenible para el estuario del río Sena.

Port 2000 : le premier débat public loi Barnier en France

Le point de vue du Port Autonome du Havre

L'opération Port 2000 a bénéficié des dispositions de la Loi Barnier, dans le cadre de laquelle le premier Débat Public en France a pu être organisé du 23 novembre 1997 au 23 mars 1998. Ce temps fort de concertation autour de Port 2000 a véritablement été efficace tout au long du projet, non seulement parce qu'il a été préparé par des concertations informelles mais également parce qu'il a été suivi de larges et nombreuses concertations qui se sont poursuivies pendant tout le déroulement de l'opération et ont vocation à perdurer dans le temps. Seul l'ensemble de ces concertations a permis l'appropriation du projet dans sa globalité par le plus grand nombre ainsi que la définition d'un ambitieux programme de mesures environnementales d'accompagnement, visant à une véritable amorce de réhabilitation de l'estuaire de la Seine.

Dès le début des années 1990, s'est posée la question pour le Port du Havre d'anticiper la croissance rapide des échanges conteneurisés entre les continents et répondre à l'augmentation spectaculaire de la taille des navires. Il était d'autant plus important d'accompagner cette croissance au Havre que la zone d'emploi correspondante connaissait un taux de chômage important, de 30 à 40 % supérieur à la moyenne nationale.

En septembre 1995, lors de sa venue au Havre, le président de la République déclarait le projet d'extension des capacités d'accueil du Port du Havre pour le trafic conteneurs comme un "projet d'intérêt public majeur" et demandait au gouvernement d'en accélérer l'instruction.

L'ampleur du projet, ses enjeux socio-économiques au niveau régional, mais aussi national, ainsi que le caractère sensible de l'estuaire ont très vite amené les différentes autorités à proposer que ce pro-

Paul Scherrer



DIRECTEUR TECHNIQUE -
DIRECTEUR DU PROJET
PORT 2000
Port Autonome du Havre

Pascal Galichon



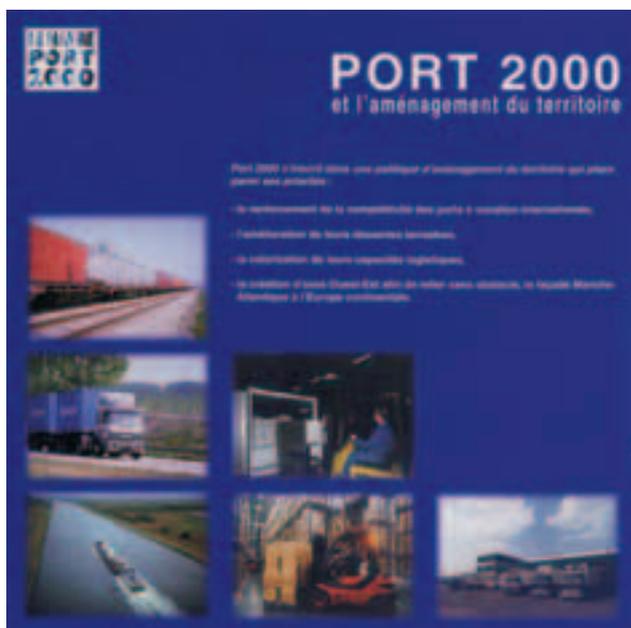
RESPONSABLE MAÎTRISE
D'ŒUVRE "DRAGAGES
ET TERRASSEMENTS"
DE PORT 2000 -
ADMINISTRATEUR
DU PROJET PORT 2000
Port Autonome du Havre



Le dossier du débat public (environ 70 pages).
Le PAH avait aussi réalisé un dossier de synthèse de 17 pages et un film de 10 mn projeté en introduction aux premières réunions

The documents on the public debate (about 70 pages). PAH (Port Autonome du Havre) had also produced a 17-page summary dossier and a 10-min. film which was projected as an introduction in the first meetings

Extrait du dossier de synthèse Port 2000 et l'aménagement du territoire
Excerpt from the Port 2000 summary dossier and regional planning



LE HAVRE PORT 2000

PORT 2000

les localisations écartées

Certaines localisations du projet ont été écartées en première analyse pour les principales raisons suivantes :

Antifer

- Les infrastructures routières et ferroviaires à créer, culmineraient à 100 mètres au dessus du site,
- Aucune desserte fluviale n'est possible,



- Exploitation des conteneurs sur deux sites distants d'une vingtaine de kilomètres alors que l'on recherche un regroupement des installations.

Remblaiement du bassin Beilof

- Les terminaux entraîneraient des nuisances fortes pour les zones habitées proches,
- Les dessertes routières se feraient en zone urbaine,
- de nombreuses installations seraient à déplacer (réparation navale, silos à sucre et à céréales, bacs, hangars,...).

Extension du bassin de marée de plus de 60 hectares

- une extension du bassin de marée de plus de 60 ha par déplacement de l'écluse François Ter ou creusement d'un nouveau bassin, n'est pas envisageable car elle induirait une augmentation des courants dus à la marée non compatible avec la sécurité des navires.

LE HAVRE PORT 2000

PORT 2000

Les variantes présentées à la concertation



Extrait du dossier de synthèse. Présentation globale des localisations écartées et des variantes présentées par le PAH

Excerpt from the summary dossier. Overall presentation of the locations ruled out and the variants presented by PAH

L1 : avec ponton
L2 & L3 : avec ponton et quai
E1 : avec une section de bassin
E2 : bassin rectiligne
E3 : ponton et quai
E4 : ponton et quai



jet fasse l'objet d'une large concertation, en particulier dans le cadre d'un débat public, le premier du genre, organisé conformément à la loi n° 95-101 du 2 février 1995 (débat public dit "du premier type").

Il convient de souligner que, le jour même de son installation par Madame la ministre chargée de l'Environnement, à savoir le 4 septembre 1997, la Commission nationale du débat public (CNDP) a désigné M. Jean-Luc Mathieu, conseiller maître à la Cour des comptes comme président de la Commission particulière du débat public (CPDP), chargée du dossier "Le Havre Port 2000".

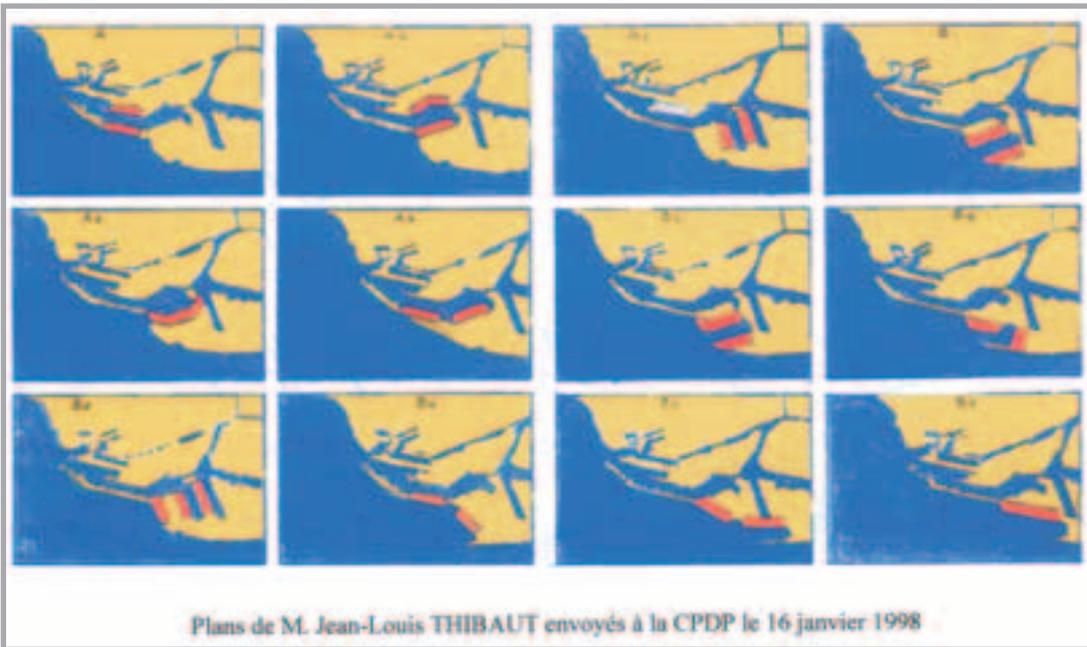
En tant que directeur et administrateur du projet depuis 1995, les expériences que nous avons pu tirer du mûrissement de ce dossier et de la concertation très large, qui a permis son élaboration et qui s'est poursuivie durant la phase de réalisation, sont très nombreuses mais peuvent se résumer aux points essentiels suivants :

- ◆ le débat public officiel organisé dans le cadre de la loi est très certainement un temps fort de la concertation (en ce qui concerne Port 2000, 4 mois du 23 novembre 1997 au 23 mars 1998 avec plus de 40 réunions sur les deux rives de l'estuaire et à Paris), mais ce temps fort ne peut réellement être fructueux que s'il y a eu une période importante de préparation, en particulier vis-à-vis des principaux acteurs identifiés du futur débat ;

- ◆ dans le cas de Port 2000 entre fin 1996 et début 1997, l'aide d'un cabinet spécialisé en concertation, C&S Conseils, a permis, d'une part, d'établir un diagnostic de la perception du Port Autonome par ses divers interlocuteurs et, d'autre part, avec l'appui de la Maison de l'Estuaire et de l'association "Le Havre Développement" d'organiser un certain nombre de réunions informelles permettant aux principaux acteurs de l'estuaire de mieux se connaître et de prendre réellement la mesure des intérêts majeurs défendus par chacun. Ces réunions ont aussi été l'occasion de commencer à présenter les enjeux du Projet Port 2000 ainsi que les diverses familles de solutions en cours d'analyse ;

- ◆ grâce à cette préparation, le débat public a pu, dès le départ, poser les questions essentielles de la problématique de Port 2000 à savoir "où placer dans les meilleures conditions de sécurité et d'intégration dans l'environnement des quais rectilignes de grandes longueurs, de terre-pleins de 500 à 600 m de profondeur, ainsi que les accès nautiques et terrestres à ces installations" ;

- ◆ c'est essentiellement parce que cette problématique a pu être bien posée dès le départ que l'organisation des différents stades du débat public a pu être menée efficacement par la CPDP avec, en particulier, l'interrogation d'un certain nombre de spécialistes et techniciens extérieurs au projet (scientifiques, fonctionnaires de la DATAR, de la DG Développement régional de l'Union européenne, etc.) ;



Extrait de la présentation des diverses variantes proposées par les participants au débat public (document provenant du compte rendu du déroulement du débat établi par la CPDP - Commission particulière du débat public)

Excerpt from the presentation of the various variants proposed by the participants in the public debate (document coming from the report on the debate procedure established by the CPDP Commission - "Commission particulière du débat public")



celles fournies par le maître d'ouvrage (fréquemment suspecté de n'apporter des éléments qu'en faveur du projet qu'il souhaite voir aboutir);

- ◆ les différentes professions ayant une activité centrée sur l'estuaire ont toutes pu s'exprimer au cours du débat. On peut en particulier citer la problématique spécifique de l'activité pêche, déjà abordée dans la phase préparatoire au débat, qui a pu être exposée de façon très complète et argumentée pendant le débat public. Ainsi, tout en restant opposés au projet, les pêcheurs sont devenus des opposants constructifs, présentant leur problématique puis veillant à ce que leurs intérêts soient correctement pris en compte;
- ◆ le débat public a démontré, s'il en était be-

soin, la richesse et la force de proposition des divers acteurs de l'estuaire: ceux-ci ont en effet proposé un grand nombre de variantes examinées au cours des diverses réunions publiques. Ainsi, le débat a permis d'améliorer le projet, aussi bien au niveau de la technique portuaire que de l'insertion du projet dans l'environnement estuarien puisque, dès ce stade, ont été définies les finalités attendues en termes d'aménagements vasières ou repositoires;

- ◆ un enseignement très important issu du projet Port 2000 a été l'absolue nécessité que la concertation se poursuive après la fin du débat public, en particulier, pendant toute la période des études complémentaires avant enquêtes publiques. Le projet Port 2000 a ainsi bénéficié d'une dynamique qui s'est créée, la Maison de l'Estuaire étant proposée par le président de la Commission particulière du débat public pour être le vecteur de la poursuite de cette concertation. C'est également dès le débat public qu'a été évoquée la nécessité de création d'un Comité scientifique et technique de l'estuaire dont une des missions a été le suivi de la réalisation de Port 2000;

- ◆ la concertation entre débat public et enquêtes publiques a été fondamentale dans la mesure où il s'est passé environ 2 ans avant le déroulement des enquêtes publiques. Grâce aux réunions régulières à la Maison de l'Estuaire (d'abord mensuelles puis environ tous les 2 mois), auxquelles C&S Conseils participait quasi systématiquement, il a été possible de poursuivre la concertation sur les études en cours et sur les nécessaires évolutions du projet. Il a surtout été possible de valider, au fur et à mesure de leur réalisation, les études qui ont conduit à la définition de l'ambitieux programme de mesures environnementales qui concerne l'ensemble de l'estuaire et en particulier l'amorce de réhabilitation des vasières. A titre un peu anecdotique, précisons que cette concertation post débat a aussi permis l'élaboration d'une lettre commune, signée par un grand nombre d'acteurs, rappelant au ministre des Transports l'impérieuse nécessité d'améliorer les dessertes terrestres du Havre (sujet toujours d'actualité à ce jour...);

- ◆ c'est essentiellement grâce à cette concertation continue que, du 6 mars au 9 mai 2000, les enquêtes publiques se sont déroulées dans de bonnes conditions malgré la complexité du dossier. Organisées dans 41 communes des deux rives de l'estuaire, ces enquêtes ont permis de recueillir plus de 600 observations, dont la quasi totalité sont restées en ligne avec les éléments forts issus du débat public. Cela a permis de conclure les enquêtes publiques avec des observations mais sans réserve de la part de la Commission d'enquête:

- ◆ cette concertation s'est poursuivie ensuite durant tout le chantier mais, cette fois-ci, de manière plus ciblée et bilatérale, notamment avec les élus de la rive sud de l'estuaire et les pêcheurs.

Parallèlement, la Maison de l'Estuaire a organisé des réunions sur l'opération 3 à 4 fois par an.

En conclusion, nous pouvons dire que seul le débat public a permis à tous de prendre conscience de la nécessité de mieux organiser la coexistence des différents usages de l'estuaire, ainsi que de l'importance fondamentale des vasières pour le devenir de l'estuaire de la Seine. C'est également lui qui a permis de conclure sans équivoque que, pour être un succès, le projet Port 2000 devait nécessairement comporter deux volets tous deux extrêmement importants :

- ◆ l'un portuaire visant à construire un port le plus efficace possible pour l'accueil des porte-conteneurs ;

- ◆ l'autre environnemental pour apporter la meilleure réponse possible en vue d'une amorce de réhabilitation de l'estuaire qui, bien entendu, ne peut être supportée par le seul projet Port 2000 mais pour lequel Port 2000 se devait d'être le déclencheur efficace (46 M€ sur les 693 M€ de financement sous maîtrise d'ouvrage PAH).

ABSTRACT

Port 2000: the first public debate based on the Loi Barnier in France. The viewpoint of Port Autonome du Havre

P. Scherrer, P. Galichon

The Port 2000 project benefited from the provisions of the Loi Barnier, within the framework of which the first Public Debate in France was held from 23 November 1997 to 23 March 1998. This high point in consultation around Port 2000 was truly effective throughout the project, not only because it was prepared by informal consultation but also because it was followed by numerous wide-ranging consultations that continued throughout project performance and are destined to continue over time. All these consultations were what enabled the project to be appropriated as a whole by the greatest number, with the definition of an ambitious programme of accompanying environmental measures, designed to really start rehabilitation of the Seine estuary.

RESUMEN ESPAÑOL

Port 2000: primer debate público acerca de la ley Barnier en Francia. El punto de vista del Puerto Autónomo de Le Havre

P. Scherrer y P. Galichon

La operación Port 2000 se ha beneficiado de las disposiciones de la Ley Barnier, en el marco de la cual el primer Debate Público en Francia ha podido ser organizado del 23 de noviembre de 1997 hasta el 23 de marzo de 1998. Este destacado plazo de concertación en torno de Port 2000 fue realmente eficaz a lo largo del proyecto, no sólo debido a que se había preparado por medio de concertaciones informales pero también debido a que fue precedido de amplias y numerosas concertaciones que se han proseguidas durante toda la evolución de la operación y tienen vocación a perdurar en el tiempo. Únicamente el conjunto de estas concertaciones ha permitido la apropiación del proyecto en su totalidad por la mayoría así como la definición de un ambicioso programa de mediciones medioambientales de acompañamiento, que tienen por propósito

un verdadero inicio de rehabilitación del estuario del río Sena.

Port 2000

La concertation au service

Dans le domaine portuaire, les luttes environnementales et la mondialisation économique se manifestent conjointement avec vitalité. D'un côté les estuaires, espaces-clés pour l'équilibre des milieux naturels, de l'autre l'essentiel des échanges mondiaux avec des navires dont la taille croissante conditionne largement la dimension des aménagements. L'histoire de Port 2000 dans l'estuaire de la Seine illustre bien ce choc des intérêts. Elle témoigne aussi d'une approche inédite à l'échelle d'un grand projet : celle de la concertation continue tout au long de son élaboration. Fin 1996, alors que le soutien à Port 2000 se manifeste au plus haut niveau de l'Etat, l'opposition locale des défenseurs de l'environnement fait rage. Les premiers dessins du projet sont jugés compromettants pour l'équilibre estuarien. La direction du Port – André Graillot et Paul Scherrer – décide de faire appel à C&S Conseils, afin de l'assister dans l'analyse et dans la gestion de cette situation de crise. La Charte nationale de la Concertation vient d'être publiée au *Journal Officiel* au début de l'été ; C&S Conseils avait alors pris une part active à son élaboration. Voici le rappel des principales étapes qui ont permis de prendre le chemin du dialogue et de la réalisation de Port 2000.

■ ÉTAPE 1

Comprendre les motifs du rejet

Première mission de l'équipe constituée de Jean-Marie Simon, Michel Castagnet et moi-même : comprendre les positions des acteurs et identifier les attentes afin de préparer les conditions d'un retour au dialogue. C&S Conseils rencontre environ 70 personnes de la rive nord à la rive sud de l'estuaire : élus, acteurs économiques, professions portuaires, syndicats, associations de protection de l'environnement, services de l'Etat. L'accueil des uns et des autres est plutôt favorable à la démarche. A travers elle, le Port lance en effet un signal, celui de vouloir écouter et comprendre. Le rapport diagnostic fait ressortir une situation contrastée : un projet jugé utile mais dont les solutions proposées sont rejetées et surtout, une critique forte à l'encontre de l'établissement portuaire : "trop autonome", "tournant le dos à son territoire", "impérial". La culture des ingénieurs est pointée du doigt. Reproche leur est fait de se préoccuper trop exclusivement des digues et des quais, et pas assez des

milieux naturels et des contraintes économiques de certains acteurs. Les préoccupations des défenseurs de l'environnement, des scientifiques spécialistes de l'estuaire et des pêcheurs sont, en particulier, recueillies. Enfin, si les uns et les autres aspirent au dialogue, la plupart conviennent que le garant ne peut en être le port lui-même. Le besoin d'un tiers, d'un médiateur est fortement exprimé.

■ ÉTAPE 2

Sensibiliser l'interne

La direction du Port s'emploie à faire partager ce constat, à susciter en interne des échanges avec les cadres du Port, à sensibiliser aux risques que fait encourir au projet une attitude par trop fermée. Des réunions sont organisées, auxquelles participe C&S Conseils. Elles permettent la prise de conscience que la connaissance par les acteurs locaux des grands enjeux du projet, ne suffit pas à emporter leur adhésion et leur mobilisation en faveur de celui-ci. Le défi pour le Port est alors d'aller à la rencontre des acteurs de l'estuaire et de leurs préoccupations.

■ ÉTAPE 3

Amorcer une approche stratégique : relancer Port 2000 en intégrant les préoccupations des acteurs du territoire

Une série de questions se pose toutefois au Port : Un dialogue sur quoi ? Avec qui ? Dans quelles conditions ? Quel positionnement pour le Port ? Quelle base réglementaire ? Quels sont les objectifs du dialogue ? Nous sommes début 1997. Le Port décide de susciter des rencontres dans le cadre de la Maison de l'Estuaire¹ animée par une personnalité indépendante du Port, Jacques Lebas, président de l'Université du Havre, et dans le cadre de l'association Havre Développement afin de diffuser de l'information sur le projet, de lever les mal-

1. Association loi 1901 créée en 1992, lieu de culture scientifique et technique, lieu de concertation et de débat, centre de ressources, organisme de gestion de la Réserve naturelle de l'estuaire de la Seine. Ses membres représentent les différents secteurs d'activité de l'estuaire : environnement, portuaire, industriel, pêche, agriculture, etc.



d'un grand projet

entendus et aussi de mieux comprendre les enjeux des uns et des autres. Un dialogue est amorcé.

■ ÉTAPE 4

Préparer le débat public

Le 4 septembre 1997, la Commission nationale du débat public (CNDP) est mise en place et organise son premier débat public sur le projet Port 2000. La désignation d'une Commission particulière de débat public (CPDP), indépendante du maître d'ouvrage, est bien accueillie. La préparation se fait "à livre ouvert" avec la CPDP et son président Jean-Luc Mathieu, qui, à leur tour, vont à la rencontre des acteurs du territoire. Avant de se lancer dans la rédaction du dossier du maître d'ouvrage, de sa synthèse ainsi que d'une exposition sur le projet, la direction du Port opte pour la présentation de plusieurs familles de solutions, internes et externes aux limites du Port, soit l'ensemble des solutions étudiées par les bureaux d'études. Ce choix est fondé sur la volonté d'ouvrir le champ de la réflexion collective et de contribuer au débat.

■ ÉTAPE 5

Débattre durant 4 mois

Quarante-deux réunions, présidées par la CPDP, ont lieu en 4 mois (de novembre 1997 à mars 1998) s'adressant aux acteurs de l'estuaire d'abord, puis au grand public ensuite. Leurs thèmes permettent d'aborder les aspects économiques du projet, les enjeux pour l'estuaire : milieu physique et biologique, les dessertes de Port 2000, l'interface ville-port, Port 2000 et l'aménagement du territoire. *"Par l'ouverture, l'effort d'explication et d'argumentation qu'il a nécessité de la part de chacun des acteurs, le débat peut être considéré comme un bel exercice de citoyenneté au sens noble du terme. Le temps semble révolu où les projets étaient élaborés dans le secret des bureaux ; cette évolution concerne en premier lieu le port du Havre"*². La fonction du débat public n'est ni de parvenir au consensus, ni d'être un lieu de décision. Il organise le partage des données complexes d'un grand

2. "L'aménagement de l'estuaire : retour sur le débat public", Bruno Lecoquierre, géographe, Université du Havre. *La Revue d'Ici*, 1^{er} trimestre 2000.



projet, dès le début de son élaboration. Il permet la discussion contradictoire. Au cours des réunions *"Port 2000 ne donne pas lieu à un affrontement brutal (...) mais à une opposition entre deux camps, où chacun intègre une partie de la logique adverse"*³.

■ ÉTAPE 6

Poursuivre la concertation

A la faveur du débat, les mentalités évoluent. Et la question est rapidement posée des conditions de poursuite du dialogue autour du projet. Dans quel cadre ? Avec qui ? Sur quels sujets ? La Maison de l'Estuaire avait déjà, en son temps, avant le débat public, offert un espace d'échanges. Après mars 1998, à la demande du président de la CPDP, elle permet de poursuivre la concertation autour des études d'avant-projet : cahier des charges, premiers résultats, contenu non finalisé de l'étude d'impact font l'objet de présentations, de discussions et dans certains cas de réorientations. Parallèlement, dans la foulée du débat public, un comité d'experts est nommé par le préfet. Son rapport insiste sur la nécessité que Port 2000 serve "d'amorce à la res-

3. "Les ports du range nord-européen, entre concurrence, mondialisation et luttes environnementales", Philippe Subra, géographe, Université Paris VIII. *Hérodote*, 2^e trimestre 1999.

Vue de l'estuaire avant le démarrage des travaux de réhabilitation des vasières prévus dans le cadre des mesures environnementales de Port 2000

View of the estuary before the start of the mud flat rehabilitation work provided for as part of the environmental measures for Port 2000

Vue de l'estuaire à la fin des travaux de Port 2000 (au premier plan, création d'un chenal environnemental dans le cadre du programme de réhabilitation des vasières)

View of the estuary at Port 2000 work completion (in the foreground, creation of an environmental protection channel within the framework of the mud flat rehabilitation programme)



► tauration de l'estuaire" et propose la mise en place d'un plan de gestion global. Puis un Comité scientifique et technique de l'estuaire est mis en place pour effectuer le suivi de la réalisation de Port 2000.

Les enquêtes publiques sont, enfin, une étape importante, qui montre d'ailleurs combien le débat public a, 2 ans auparavant, permis une appropriation des enjeux du projet, et combien la concertation continue a rendu possibles les ajustements nécessaires aux contraintes de toute sorte.

■ QUELQUES ENSEIGNEMENTS POUR CONCLURE

La concertation facilite la conduite de projet

L'expérience de Port 2000 indique que la concertation facilite l'élaboration, la mise en œuvre et la pérennité des projets. Tout à la fois information, consultation, communication, participation, négociation, la concertation implique et utilise chacune de ces notions au service de la conduite de projet. Mais attention, leur cumul, leur mélange ne produisent pas nécessairement une véritable concertation.

La concertation repose avant tout sur un état d'esprit et un comportement

Tout au long des 10 années qui viennent de s'écouler, les responsables du projet Port 2000 l'ont bien compris. La concertation ne peut se contenter d'une procédure ou d'une réglementation qu'il suffirait d'appliquer à la lettre, elle est mouvante, diver-

se, souple, en fonction du contenu du projet, de l'importance des enjeux, du territoire concerné, de la nature des partenaires, du temps dont on dispose... La concertation est culturelle. Aucun règlement ne pourra obliger quiconque à une concertation sincère, ni du reste l'en empêcher.

Quelques principes pour gérer une concertation

On peut toutefois formuler quelques principes, particulièrement éprouvés dans le cadre de Port 2000. Gérer une concertation :

- ◆ c'est accepter que d'autres problématiques viennent enrichir ou contester la sienne ;
- ◆ c'est rechercher comme partenaires de la réflexion tous ceux qui à des titres divers sont concernés par le projet ;
- ◆ c'est être à l'écoute de ces partenaires en leur fournissant tous les éléments d'information qui leur sont utiles ;
- ◆ c'est considérer que l'apport des autres est un enrichissement du diagnostic et du projet et non pas une menace pour leur aboutissement ;
- ◆ c'est accepter de revoir sa copie en fonction de critiques ou d'expertises qui, peut-être, font apparaître des intérêts ou des conséquences qui n'avaient pas été saisis à l'origine ;
- ◆ c'est, parfois, négocier des garanties ou des contreparties en réponse à des préoccupations des partenaires.

Rappelons-le, la concertation n'a pas pour objet d'établir le consensus entre tous les acteurs, ni d'être un lieu de décision. Simplement, la décision en question sera d'autant plus fondée qu'elle aura pris en compte les divers aspects de l'intérêt collectif tels qu'ils émergent d'une concertation bien organisée.

Les études préliminaires de Port 2000

Hydraulique et sédimentologie

Le projet Port 2000 s'inscrit dans le développement à long terme des installations du port du Havre dans l'estuaire de la Seine. Outre les études hydrauliques classiques à mener pour la mise au point du plan-masse portuaire, la stabilité des endiguements et la réalisation concrète du chantier (phasage des travaux), un effort important a été porté dans les études préliminaires à la minimisation de l'impact du port sur l'estuaire, la sécurité des installations du port de Rouen et aux mesures compensatoires et d'accompagnement environnementales. Pour cela, une concertation et un travail en commun approfondi rassemblant les biologistes de l'estuaire, les spécialistes portuaires des deux ports et le bureau d'études a permis de préciser les enjeux prioritaires et de définir les mesures hydrosédimentaires pour y répondre.

LE CONTEXTE DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

L'estuaire de la Seine est un des trois principaux estuaires français qui, à ce titre, fait l'objet d'une protection environnementale de plus en plus poussée. C'est également un des estuaires les plus développés par l'activité humaine depuis plus de 150 ans. Il s'agit donc d'un milieu très complexe à étudier, soumis à l'action quotidienne de la marée, de l'hydrologie de la Seine et des phénomènes météorologiques auxquels s'ajoutent l'interaction avec le développement industriel et portuaire et ses activités quotidiennes.

Cette complexité a déjà fait l'objet de plusieurs exposés dans cette revue notamment à l'occasion des travaux de calibrage permettant l'approfondissement du chenal d'accès au port de Rouen qui se sont déroulés entre 1939 et 1963 (Chapon, 1963) puis entre 1970 et 1979 (Genevois, 1980), des travaux d'extension du port du Havre entre 1963 et 1979 (Deschênes, 1963; Dubois, 1969) ainsi que de la construction du pont de Normandie (Besinon et al., 1992).

Les travaux de calibrage avaient un objectif bien précis de fonctionnement hydrosédimentaire de l'estuaire. En effet, pour contrecarrer la domination des courants de flot qui, depuis des siècles, tendent à combler l'estuaire, les aménagements construits visaient à approfondir et auto-entretenir naturellement le chenal de navigation du port de Rouen en stockant le sédiment apporté par le flot dans les deux fosses secondaires nord et sud, tout en chassant le sédiment entrant dans le chenal par un courant de jusant puissant et bien calibré. Il ne restait plus alors qu'une barre d'embouchure à entretenir au moyen de dragages d'entretien raisonnables.

A l'issue de ces travaux, l'estuaire, compartimen-

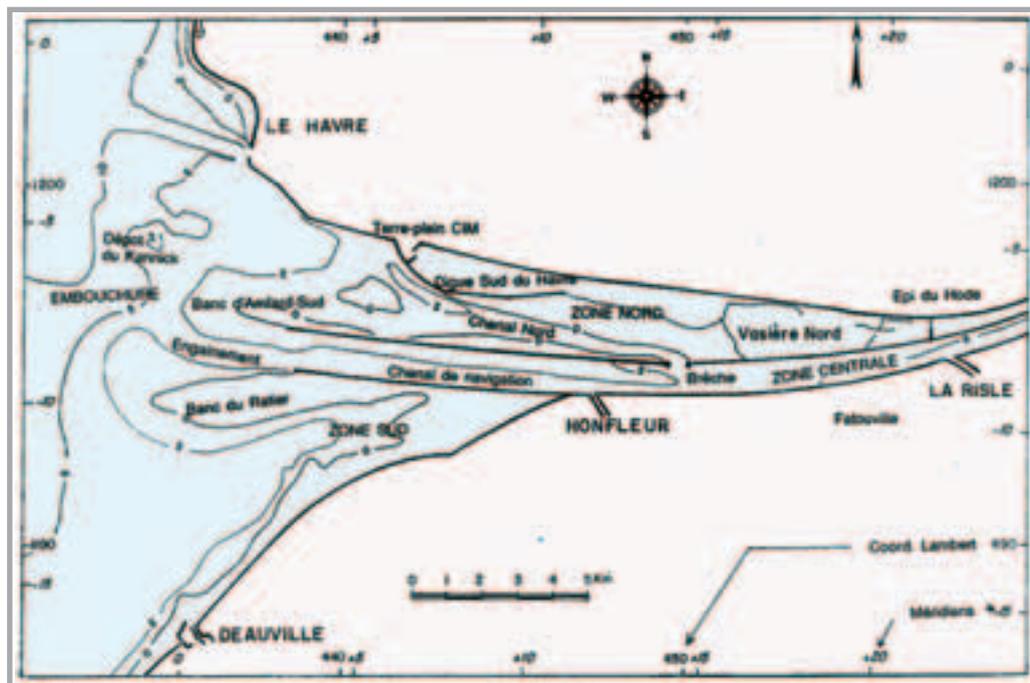


Figure 1

La morphologie actuelle de l'estuaire est le fruit de la construction des quatre principales digues, d'une part, les digues hautes nord et sud, insubmersibles et, d'autre part, la digue basse nord et la digue sud du Ratier qui sont submergées à pleine mer. Ces quatre digues divisent l'extrémité aval de l'estuaire en trois zones : la zone nord incluant la fosse de flot nord et la vasière nord, la partie centrale constituée du chenal de navigation du port de Rouen, bordé au nord par une zone peu profonde et enfin, la zone sud entre la digue du Ratier et le littoral Bas Normand. On distingue de plus, une quatrième zone à l'ouest des extrémités des digues de calibrage, qui constitue l'embouchure

The current morphology of the estuary is the result of the construction of the four main breakwaters, on the one hand the high north and south breakwaters, which are insubmersible, and on the other hand the low north breakwater and the south breakwater of Le Ratier which are submerged at high tide. These four breakwaters divide the downstream end of the estuary into three zones: the northern zone including the northern trench and the northern mud flat, the central part consisting of the navigation channel of Rouen Port, bordered to the north by a shallow zone, and finally the southern zone between Le Ratier breakwater and the Lower Normandy coastline. There is also a fourth zone to the west of the calibration embankment ends, consisting of the river mouth

té en quatre zones (figure 1), a effectivement réagi sur le long terme conformément aux prévisions. Une première phase transitoire de rééquilibrage des sections mouillées a eu lieu jusqu'en 1990 conduisant à un équilibre global de l'estuaire in-

Luc Hamm



DIRECTEUR TECHNIQUE
Sogreah Maritime

Antoine Delouis



CHEF DU SERVICE
ENVIRONNEMENT
DU CHENAL
Port Autonome de Rouen

Robert Vieillard



INGÉNIEUR TRAVAUX
MARITIMES
ET PORTUAIRES
Anciennement Port Autonome
du Havre

Figure 2
 Décroissance spatiale d'ouest en est des sections mouillées de l'estuaire pour les années 1990 et 1999. Les méridiens sont repérés sur la figure 1

Decrease in space from west to east in the wet sections of the estuary for the years 1990 and 1999. The meridians are identified on Figure 1

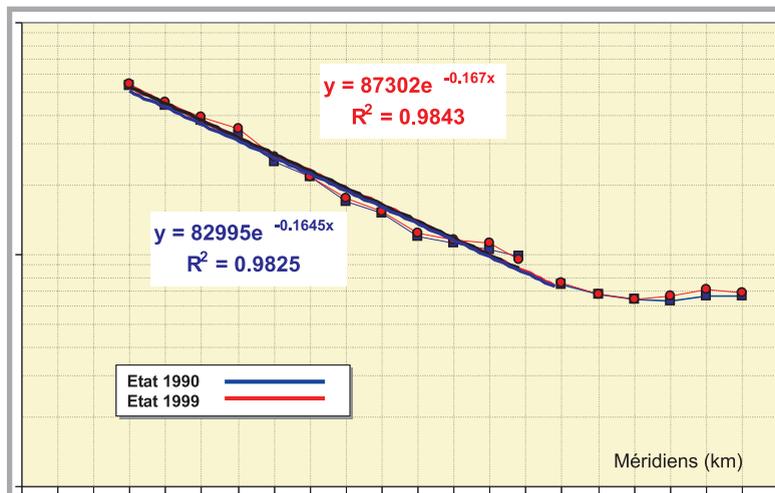
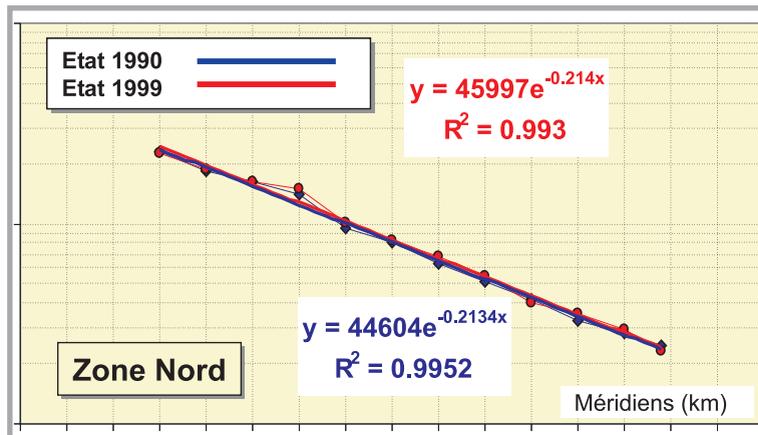


Figure 3
 Décroissance des sections mouillées de fosse nord seule pour les années 1990 et 1999

Decrease in the wetted sections of the northern trench alone for the years 1990 and 1999



► terne (figure 2) conforme aux lois de la morphologie estuarienne (décroissance exponentielle des sections mouillées). Une stabilité identique a également été vérifiée pour la seule fosse nord de l'estuaire (figure 3). Puis, l'effet de chasse combiné aux dragages d'entretien a repoussé tous les sédiments à l'embouchure faisant avancer le delta sous-marin d'une distance comprise entre 50 et 70 m par an entre 1974 et 2002 soit un volume net de dépôt de l'ordre de 3 à 4 millions de mètres cubes par an.

Dans le même temps, cette calibration de l'estuaire a donné naissance à une grande vasière en rive droite en lieu et place de l'ancien chenal de navigation (photo 1) s'étendant sur 2 000 ha d'estran (zones soumises au balancement des marées) et comprenant 10 % de terrains herbeux (le schorre), 50 % de terrains vaseux (haute slikke) très propice au développement de la vie benthique et 40 % de terrains sablo-vaseux. Cette vasière s'est progressivement comblée au fur et à mesure de l'avancée des travaux de calibrage et, malgré la création d'une large brèche dans la digue basse nord en 1978, sa superficie totale était passée à 1 670 ha en 1999, comprenant 65 % d'herbus et seulement 20 % de haute-slikke, soit 320 ha disparaissant au rythme de 25 ha/an. C'est cette partie de vasière située entre les cotes + 5,0 et + 7,5 m au-

dessus du niveau des plus basses mers qui constituait le maillon le plus faible de la chaîne écologique et a focalisé toute l'attention lors des études liées à Port 2000.

En parallèle, la création de la brèche dans la digue basse nord en 1978, qui permettait de protéger le fonctionnement biologique de la vasière nord, avait quelque peu ébréché la belle ordonnance hydraulique imaginée par les ingénieurs portuaires ce qui, en pratique, avait conduit à la création d'une barre intérieure dans le chenal de navigation ouvrant un second front pour les travaux de dragages d'entretien coûteux effectués par le port de Rouen au droit du pont de Normandie.

L'antagonisme des deux partis était dès lors bien installé, la construction du pont de Normandie en 1990 reposant principalement sur des herbus ayant quelque peu ravivé les passions. A l'époque une concertation avait déjà été organisée et des mesures compensatoires spécifiques incluant une vasière expérimentale avaient été réalisées pour un montant de 1,5 million d'euros (Deroubaix et al., 1990) avec un suivi environnemental qui avait mis en évidence les forces et les faiblesses de cet aménagement (Bessineton, 1997).

■ VUE D'ENSEMBLE DES ÉTUDES HYDRAULIQUES ET SEDIMENTOLOGIQUES

Les impacts hydrauliques et sédimentologiques du projet ont fait l'objet d'un examen attentif dès le démarrage des études. C'est en effet en 1994 que Sogreah remettait au Port Autonome du Havre, maître d'ouvrage de l'opération, son premier rapport portant sur la faisabilité vis-à-vis du régime hydrosédimentaire. Les études se sont ensuite succédé selon les principales étapes suivantes.

Études de faisabilité et suivis de terrain (1994 à 1997)

Ces études reposant sur l'expérience acquise par Sogreah incluaient en particulier la mise en place d'une nouvelle modélisation numérique des courants de l'estuaire de la Seine. C'est également dans cette première phase que le modèle physique à fonds mobiles de l'estuaire déjà utilisé dans les années soixante-dix pour étudier les précédents développements portuaires de Rouen et du Havre a été reconstruit. Des suivis en nature de l'agitation et des vasières étaient également démarrés : d'une part, par le CETMEF (Centre d'études techniques maritimes et fluviales) du ministère de l'Équipement avec la pose et suivi d'un houlographe et, d'autre part, au sein d'un projet scientifique d'étude de vasières estuariennes (projet européen IN-TRMUD) pour lequel la vasière nord avait été choisie comme site de suivi.

Débat public sur le projet et mise au point des mesures compensatoires et d'accompagnement environnementales (1998-2001)

Sogreah, impliqué aux côtés du Port Autonome du Havre (PAH) dans ce débat, a présenté les conclusions des premières études et participé aux discussions. A l'issue de ce débat, un comité d'experts a vu le jour et a pu établir, en septembre 1999, un diagnostic de la situation actuelle et faire des propositions de gestion intégrée de l'estuaire. A l'issue de ce travail, Sogreah s'est vu confier par le ministère de l'Environnement une étude approfondie des principales mesures de restauration de l'estuaire en utilisant les outils numériques et physiques construits pour les besoins du PAH. La collaboration entre ingénieurs et environnementalistes était ainsi engagée concrétisant les efforts de concertation déployés depuis plus d'un an par le PAH. Deux ans d'efforts furent encore nécessaires pour aboutir à un avant-projet accepté par toutes les parties.

Etudes détaillées du phasage des travaux et des ouvrages à réaliser (1999-2001)

En parallèle, le PAH travaillait à la mise au point des plans-masses issus du débat public qui a abouti à un choix définitif en 1999.

Il fallut ensuite étudier le phasage de la solution de base incluant les travaux portuaires et environnementaux, préparer l'appel d'offres des travaux (maîtrise d'œuvre PAH) et éclairer le choix du groupement d'entreprises en testant sur modèle l'impact hydrosédimentaire sur l'estuaire des différentes variantes de phasage proposées.

On peut souligner que cette phase a été la première mise en œuvre à l'échelle industrielle du modèle "Sisyphé", développé sous le pilotage du CETMEF par Sogreah et le Laboratoire national d'hydraulique et d'environnement (LNHE) à partir du modèle Telemac. De plus, les études de conception des digues étaient menées avec des essais de stabilité en cuve à houle, effectués au LNHE d'Electricité de France (EDF).

Assistance aux travaux (2002-2005)

Suite à la signature du marché de travaux en août 2001, Sogreah signait avec le groupement DPAM 2000 un contrat d'assistance à la construction des digues et des caissons-musoirs ainsi qu'un contrat de concession de licence pour le bloc ACCROPODE™. Ces études incluaient une prévision détaillée des conditions de houle ordinaires et exceptionnelles sur le chantier, une vérification des



© DIREN Haute-Normandie

variantes structurelles proposées par le groupement et la fourniture des plans d'exécution des deux caissons-musoirs ainsi que de la carapace en ACCROPODE™. Cela a conduit en particulier à la construction d'un modèle physique de stabilité des digues sud et ouest (étude en cuve à houle multidirectionnelle, Hamm et al., 2004).

De plus, un partenariat original fut mis en place entre le PAH, le groupement et Sogreah pour gérer les risques d'érosion du soubassement de la digue construit en tout-venant graveleux, extrait dans les accès nautiques et dont la stabilité n'était pas assurée. Retraduite sous forme d'une clause contractuelle d'incitation dans le marché de travaux (une première en France), elle associe les trois partenaires dans un partage des gains (ou des pertes) à partir d'un budget cible d'un million d'euros servant à traiter ce point particulier.

Sogreah a également été associé au suivi de la mise en place des mesures environnementales et compensatoires avec notamment les essais de stabilité sur modèle physique en canal et en cuve à houle de l'îlot reposoir (Hamm et al., 2004) et la mise au point de l'avant-projet de reconquête de la vasière nord qui a servi de base à l'appel d'offres en conception-réalisation.

En dernier lieu, Sogreah a apporté son expertise pour la mise en place d'un suivi des évolutions bathymétriques et sédimentaires dans la fosse nord de l'estuaire. Avec le groupe de travail composé notamment des deux ports, le bureau d'études a contribué à l'analyse des phénomènes mesurés et proposé des mesures d'adaptation des travaux. Ces points, évoqués en détail dans d'autres articles de ce numéro spécial, ne seront pas approfondis ici.

Photo 1
Vue de la vasière nord en 1978 vers l'est avec en bas à gauche la brèche dans la digue basse nord

View of the northern mud flat in 1978 toward the east, with in the bottom left-hand a breach in the northern lower breakwater

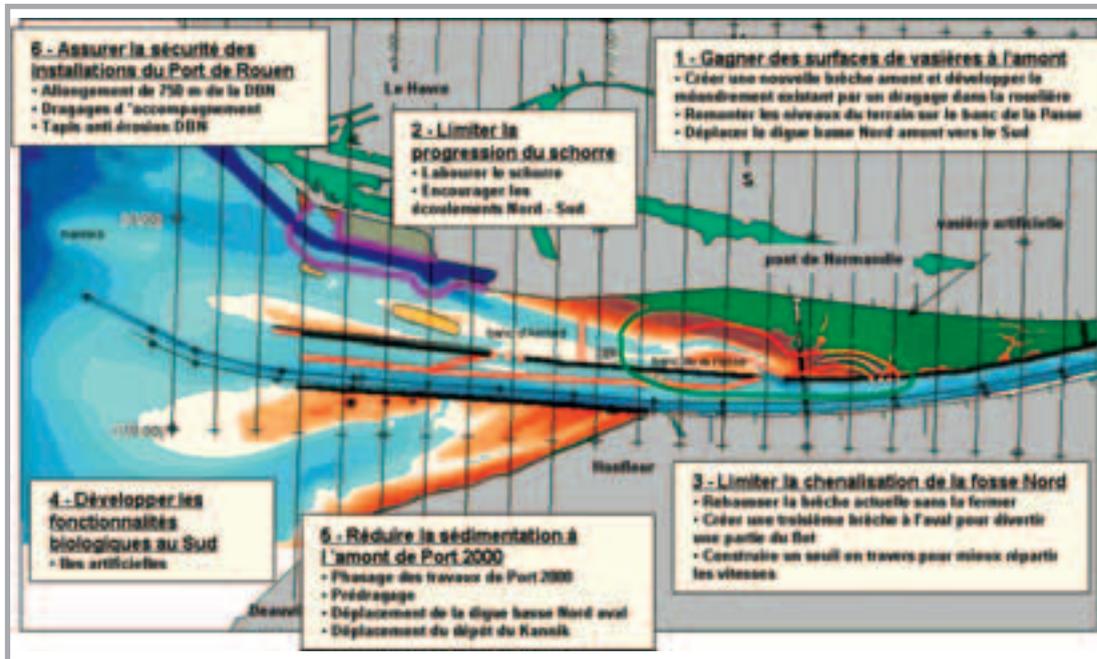


Figure 4
Les principes des mesures compensatoires et d'accompagnement
The principles of compensatory and supporting measures



Photo 2
Le modèle réduit à fond mobile en cours de test du projet de restauration de la vasière nord

The scale model with moving bottom undergoing testing for the northern mud flat restoration project

LES PRINCIPAUX IMPACTS HYDROSEDIMENTAIRES DU PROJET

La liste des impacts hydrosédimentaires prévisibles a été établie dès l'étude préliminaire de 1994 grâce à l'expérience acquise par Sogreah depuis 1951. Elle comprenait les points suivants pour lesquels des mesures réductrices et compensatoires ont été définies :

- ◆ le déplacement du chenal de la fosse nord vers le sud imposé par la présence de Port 2000 qui prend la place du chenal actuel. Ce déplacement devait conduire à un creusement important entre la nouvelle digue sud du port et la digue basse nord,

- une évacuation des matériaux érodés (de l'ordre de 10 à 12 Mm³) vers l'amont en direction de la réserve naturelle de la vasière nord mais aussi vers l'aval ;
- ◆ des risques de sédimentation devant la façade ouest du nouvel avant-port ;
- ◆ des risques de mauvais fonctionnement hydraulique de la brèche dans la digue basse nord menaçant la pérennité du chenal secondaire irriguant la vasière nord ;
- ◆ une modification de la propagation de la marée et des courants associés susceptibles de dégrader les conditions de navigation dans le chenal d'accès au port de Rouen par une modification des lignes d'eau et une augmentation des dragages d'entretien.

La mise au point du phasage des travaux, le prolongement de la digue basse nord du port de Rouen et la définition des dragages d'accompagnement dans la zone érodée ont permis de réduire très sensiblement ces impacts.

Les questions purement hydrauliques ont d'abord été étudiées à l'aide du système Telemac développé par le LNHE. Ce nouveau système de modélisation numérique appliquait pour la première fois la technique des éléments finis, déjà bien répandue pour les études de génie civil terrestre, aux aspects hydrauliques fluviaux et maritimes. Il s'agissait d'une des toutes premières applications de Telemac 2D dans une étude d'ingénierie en France. Deux difficultés devaient être surmontées dans cette modélisation : d'une part, la bonne reproduction de la courbe de marée, si particulière dans la région avec la tenue du plein au Havre (pleine mer durant environ deux heures) se transformant en double pleine mer dans l'estuaire et, d'autre part, la circulation des eaux sur les deux digues basses, agissant du fait du fort marnage tantôt comme une digue de calibrage, tantôt comme un seuil déversant. Le projet, par son exigence de fiabilité, a largement contribué à la mise au point et à l'amélioration de ce système de modélisation qui connaît actuellement une forte diffusion dans la profession. Les questions sédimentologiques ont été examinées sur un modèle physique à fond mobile représentant l'estuaire aval sur 35 km entre le pont de Tancarville et les fonds de - 10 m CMH. Ce modèle conçu à l'échelle du 1/1 000° en plan et du 1/100° en hauteur et exploité de 1967 à 1978 (Parthiot, 1981) a été reconstruit en 1995-1996, sur une surface de 750 m². Les sédiments naturels représentatifs du fond de l'estuaire (sables de 80 à 200 microns de diamètre) ont été représentés par de la sciure de bois, matériau très peu dense, de façon à respecter la similitude de vitesse de chute et de début d'entraînement des matériaux. Des essais courts sur 5 ans ont été menés sur le modèle physique dont les résultats, complétés par les calculs courantologiques, ont permis de quantifier les impacts des différentes variantes. Ils ont montré que les effets les plus significatifs de

la construction de Port 2000 s'observeraient dans la zone nord, à l'extrémité des digues de calibrage et dans la partie amont du chenal de Rouen.

■ LA MISE AU POINT DES MESURES COMPENSATOIRES ET D'ACCOMPAGNEMENT

À l'issue du débat public, les études se sont orientées vers la mise au point des mesures compensatoires et d'accompagnement qui devaient, d'une part, s'intégrer dans la démarche globale de réhabilitation de l'estuaire et, d'autre part, minimiser les impacts négatifs sur l'estuaire.

Deux comités de pilotage de ces études suivaient attentivement les travaux. D'une part, un "comité technique pour l'étude de la conservation des fonctionnalités biologiques de l'estuaire de la Seine" animé par le directeur régional de l'Environnement (DIREN Haute-Normandie) regroupait des scientifiques reconnus dans le domaine et des représentants des deux ports et rendait compte au comité d'experts de l'estuaire. D'autre part, un comité de pilotage sous la présidence du directeur du CETMEF veillait à préserver les intérêts des deux ports. Cette phase de recherche de solutions et de concertation fut certainement l'un des passages les plus délicats des études préliminaires (Hamm et al., 2000). Elle conduisit d'abord à proposer six principes d'aménagement (figure 4) qui devaient, ensuite, être dimensionnés précisément. Privilégiant une approche pragmatique par approximations successives, toutes ces mesures furent soigneusement testées et vérifiées sur le modèle numérique puis physique au cours de quatre essais longs sur 20 ans (photo 2).

À l'aval, un allongement de 750 m de la digue basse nord a permis de supprimer l'impact du nouveau port au débouché des digues basses, tandis qu'un dragage d'accompagnement pour un volume optimisé de l'ordre de 4 millions de mètres cubes réduisait très sensiblement les impacts à l'amont du port. Pour la vasière nord, la combinaison d'un épi plongeant, d'un rehaussement de la digue basse nord, le prolongement de la fosse nord 2500 m plus en amont par creusement d'un chenal à vocation environnemental incluant la création d'une nouvelle brèche, ainsi que la création d'un seuil de protection des piles du viaduc nord du pont de Normandie, fut finalisée (figure 5). Cet aménagement devrait permettre :

- ◆ de stopper le processus de réduction de surface de la vasière en créant de nouvelles surfaces le long de la digue basse nord à l'amont et à l'aval du pont de Normandie sur une surface de l'ordre de 90 ha ;
- ◆ d'obtenir la pérennité de la fosse nord à l'aval et de la prolonger à l'amont du pont ;

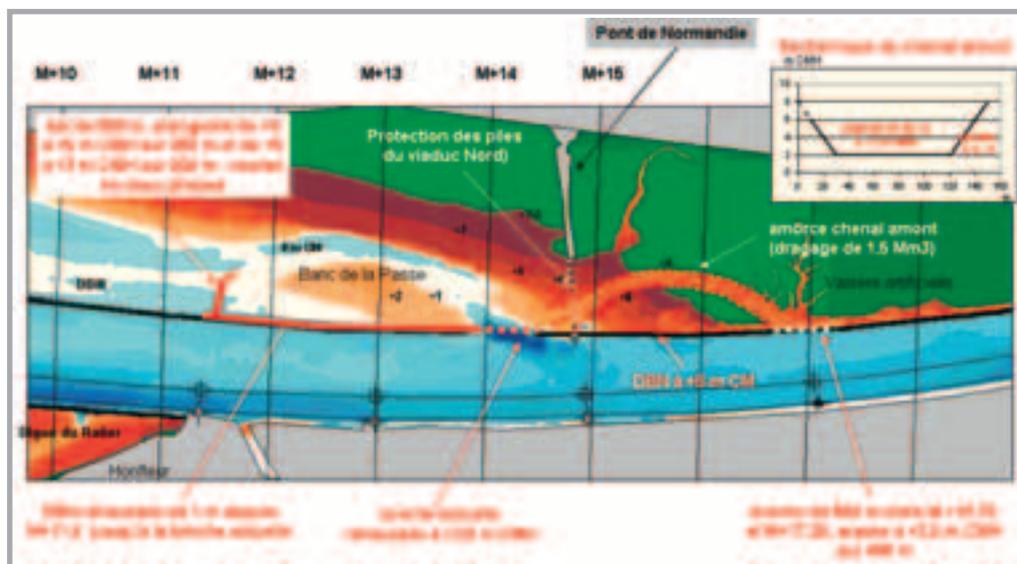


Figure 5
L'aménagement finalisé de restauration de la vasière nord
The finalised project for restoration of the northern mud flat

- ◆ d'assurer la sécurité du pont et celle de la navigation dans le chenal de Rouen.

Tout ce travail d'études et de modélisation permet de réduire considérablement les incertitudes, sans les faire disparaître complètement, aussi bien du point de vue des futurs dragages d'entretien dans la partie amont du chenal de Rouen que sur la pérennité des vasières à créer dans la réserve naturelle.

C'est pourquoi le principe d'une adaptation de certains ouvrages (dragages d'accompagnement, cote de l'épi plongeant, cote des deux brèches) fut adopté avec un mode de construction par phases, avec observation des résultats, permettant ainsi concrètement de modifier le fonctionnement hydrosédimentaire si la réalité s'écartait des prévisions de manière inacceptable.

■ ÉTUDE DÉTAILLÉE DU PHASAGE

En parallèle à l'étude des mesures compensatoires et d'accompagnement, un examen détaillé du phasage de construction du projet a été entamé par le Port Autonome.

Des calculs courantologiques préliminaires avaient mis en évidence les courants très importants (jusqu'à 8 nœuds en pic), qui ne manqueraient pas de se développer lors de la fermeture de la fosse nord si la digue était construite uniquement par voie terrestre à l'avancement de l'est vers l'ouest.

Plus généralement, il est apparu que le choix du phasage engendrerait des impacts spécifiques pouvant aggraver ou diminuer les impacts à long terme décrits plus haut. Ainsi, la durée pendant laquelle le plan d'eau intérieur à Port 2000 resterait connecté directement à l'estuaire avant sa connexion au nouveau chenal d'accès, engendrerait des survitesses liées au volume marnant de ce plan d'eau estimées à 30 millions de mètres cubes d'eau par marée de vive-eau. D'un autre côté, la construction de la partie ouest des digues de protection, en partie ou en totalité, créerait un contre-courant de flot susceptible de permettre la maîtrise partielle des

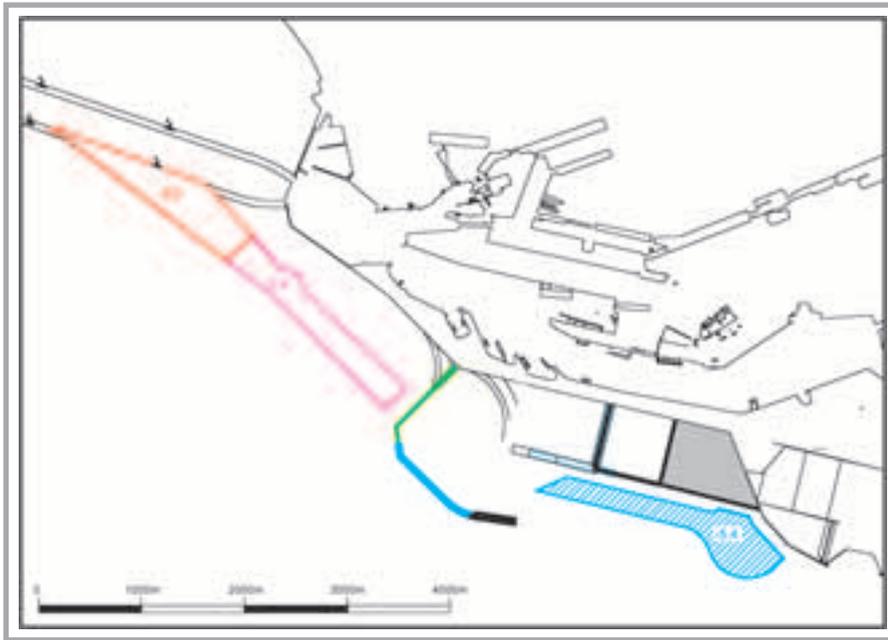


Figure 6
Etat prévisionnel d'avancement des travaux en solution de base, 9 mois après le démarrage du chantier incluant la création des casiers de remblaiement des terre-pleins, du piège à sable et la déviation des courants de flot par le soubassement ouest

Projected work progress report in the basic solution, 9 months after the start of the project, including creation of the esplanade backfilling bins, the sand trap and diversion of the flood currents by the western bedrock



flux solides par l'intermédiaire d'un piège à sable. Un phasage sophistiqué fut donc mis au point en associant étroitement l'équipe du PAH chargée de préparer la solution de base pour l'appel d'offres de travaux et les hydrauliciens vérifiant par modélisation les différentes options envisagées. La méthodologie d'étude, reprenant les outils développés dans la phase précédente s'est alors enrichie d'un modèle numérique hydrosédimentaire à moyen terme pour évaluer les impacts du phasage tous les trois mois, durant les trois ans de la construction. Les principes finalement retenus pour ce phasage incluait :

- ◆ la réalisation rapide des casiers constituant le futur terre-plein en début de chantier pour opérer une première réduction du volume oscillant ;
- ◆ la construction d'une partie du soubassement ouest pour dévier les courants vers le sud et le piégeage d'une partie du transport solide en flot induit par cette déviation par le creusement anticipé du cercle d'évitage et du bassin portuaire (figure 6). Les simulations ont montré que cela permettait de constituer un piège à sable qui limitait les impacts sur l'estuaire (figure 7) ;
- ◆ la construction d'une digue d'accès temporaire partageant le plan d'eau portuaire en deux parties et l'ouverture rapide de l'entrée du port à l'ouest pour réduire une seconde fois le volume oscillant intérieur (figure 8) ;
- ◆ la construction retardée du soubassement de la digue sud pour permettre une durée d'action maximale du piège à sable.

Ce phasage ne supprimant pas tous les impacts

vers l'amont, le principe du dragage d'accompagnement au sud du chantier, réalisé en phase avec l'avancement des travaux de construction des digues, fut confirmé et précisé avec un volume compris entre 3,5 et 4,5 millions de mètres cubes.

La spécificité de ce phasage ainsi que ses impacts potentiels sur l'estuaire ont conduit le port à demander à chaque groupement répondant à l'appel d'offres de faire tester d'éventuelles variantes de phasage sur le modèle hydrosédimentaire dans les mêmes conditions que la solution de base. Ce travail fut réalisé dans la tension de cette phase compétitive d'établissement des offres, puis de négociation du contrat, avec un souci extrême de confidentialité pour chaque groupement.

C'est finalement le groupement DPAM 2000 qui fut choisi, grâce notamment à des améliorations de ce phasage de base permettant de réduire globalement les impacts. Le modèle a pu montrer que les transports de sédiments vers les vasières du pont de Normandie seraient diminués.

■ CONCLUSION

Techniquement, ce projet hors du commun a permis de progresser et d'innover sur plusieurs points concernant l'hydraulique et la sédimentologie :

- ◆ le suivi en nature de paramètres physiques encore peu couverts par les systèmes existants en 1994, c'est-à-dire l'agitation en baie de Seine et les évolutions de la vase nord a été anticipé avant le démarrage des travaux, ce qui a permis de bénéficier de données fiables et à jour. La surveillance régulière des niveaux de la mer, des courants de marée, de l'agitation, de la topographie des estrans et de la bathymétrie des fonds marins s'est poursuivie durant le chantier et doit continuer encore plusieurs années, ce qui apportera des informations précieuses sur la réponse de l'estuaire à long terme ainsi que sur la fiabilité des méthodologies utilisées lors des études ;

- ◆ la modélisation numérique de la dynamique hydrosédimentaire de l'estuaire a su se moderniser dès les études de faisabilité en adoptant le système Telemac aux éléments finis, qui a fait de gros progrès durant les dix années du projet, aboutissant à une modélisation couplée hydrodynamique-agitation-évolution des fonds particulièrement utile pour la préparation et le suivi du phasage du chantier. Les premiers succès obtenus nous ont amenés un moment à espérer construire un modèle opérationnel pour piloter les travaux. Les calculs de contrôle effectués durant le déroulement du chantier ont permis d'obtenir un certain succès comme la fermeture de la boucle est et du cercle d'évitage. Ils ont aussi mis en évidence quelques faiblesses méthodologiques qui n'ont pas permis d'atteindre le stade opérationnel sur ce chantier ;
- ◆ la modélisation physique, plus classique mais

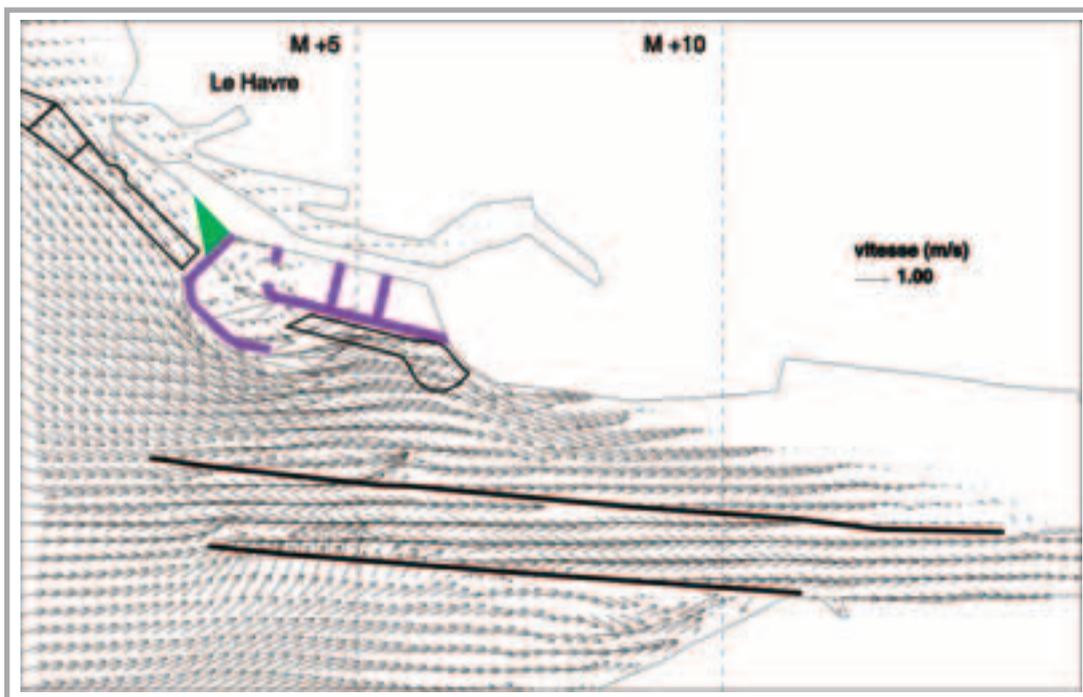


Figure 7
 Déviation des courants de flot par le soubassement ouest en vive-eau moyenne. Ces courants vont ensuite déposer une partie à sable érodé dans le piège à sable

Diversion of the flood currents by the western bedrock in medium spring tide. These currents will then deposit part of the material with eroded sand in the sand trap

modernisée en utilisant une technologie de mesure bathymétrique beaucoup plus précise qu'il y a vingt ans, a confirmé tout son intérêt pour prévoir les évolutions morphologiques globales à long terme de l'estuaire. Elle s'est révélée être aussi un outil efficace de communication dans la concertation environnementale qui a suivi le débat public. Des progrès ont également été réalisés sur les modèles de stabilité, dans la simulation du tout-venant graveleux utilisé pour la construction des soubassements ainsi que de l'ilôt-reposoir et mélangeant sables fins et grossiers, graviers et galets;

◆ la conception des travaux de reconquête de la vasière nord représente une première à cette échelle et une référence particulièrement intéressante pour l'avenir. La connaissance et la maîtrise de la modélisation dans le domaine hydrosédimentaire ont été un atout majeur pour ce travail qui, cependant, mériterait des développements permettant de coupler les évolutions hydrodédimentaires avec les connaissances et outils d'études sur la biologie marine et les écosystèmes estuariens. C'est pourquoi les ouvrages définis présentent une tolérance dans leurs dimensions et un mode de construction réversible.

Il aura également permis de concrétiser un rapprochement significatif entre ingénieurs et environnementalistes, formidable aventure humaine, qui fera date au niveau français et européen.

Bibliographie

• Bessineton, C., B. Deroubaix, A. Demare et R. Lavoué (1982). L'implantation du pont de Normandie dans le remarquable milieu naturel de l'estuaire de la Seine. *Revue Travaux*, mai 1982, p. 98-102.

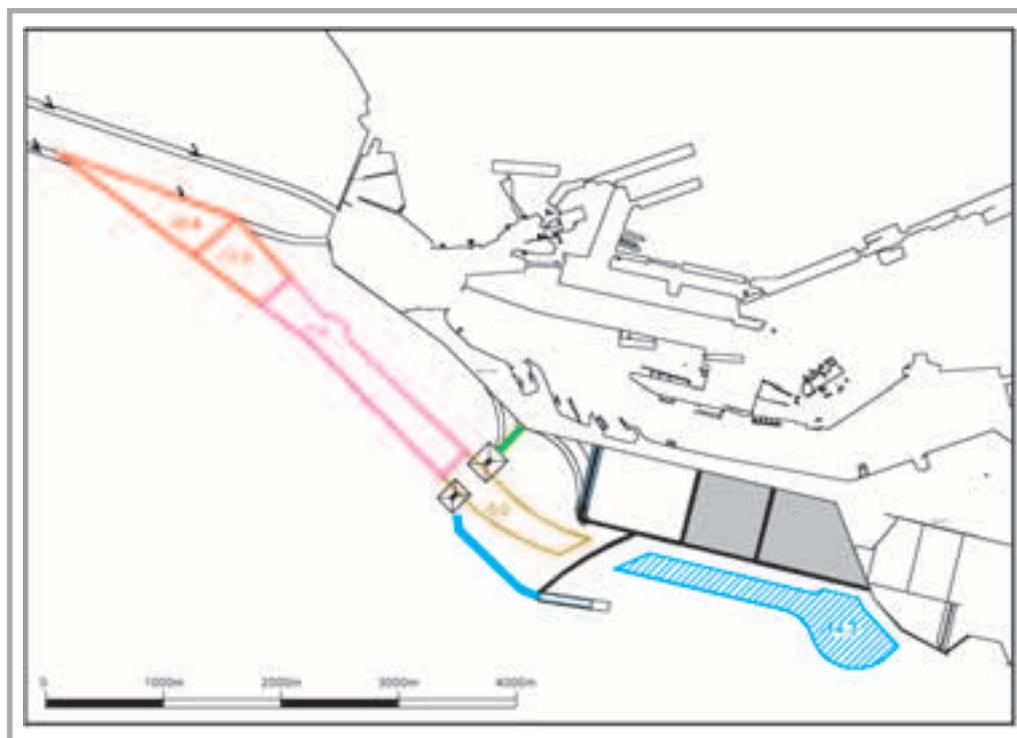


Figure 8
 Etat prévisionnel d'avancement des travaux en solution de base 15 mois après le démarrage du chantier, incluant la construction de la digue d'accès provisoire et l'ouverture de l'entrée du port à l'ouest

Projected work progress report in the basic solution, 15 months after the start of the project, including construction of the temporary access dyke and opening of the port entrance to the west

Bessineton, C. (1997). La création de vasières artificielles dans l'estuaire de la Seine. Les estuaires français. Ed. Ifremer, Actes Colloques 22, p. 111-121.

• Chapon, J. (1963). L'ouverture du nouveau chenal d'accès au port de Rouen dans l'estuaire de la Seine. *Revue Travaux*, octobre 1963, p. 493-508.

• Deroubaix, B., A. Demare et R. Lavoué (1990). Pont de Normandie: les travaux sont commencés. *Revue Travaux*, juillet 1990, p. 1-8.

• Deschênes, H. (1963). Travaux et projet d'extension du port du Havre. *Revue Travaux*, octobre 1963, p. 459-463.

- Dubois, J. (1969). Les travaux d'extension du port du Havre. Construction des digues et d'une écluse maritime. Revue *Travaux*, mai 1969, p. 271-288.
- Genevois, R. (1980). La nouvelle digue basse nord de Seine et l'approfondissement du chenal d'accès au port de Rouen. Revue *Travaux*, mai 1980, p. 48-67.
- Hamm, L., L.A. Romana et Fr. Lerat (2000). Maintien des fonctionnalités biologiques de la vasière nord de l'estuaire de la Seine. Restauration des écosystèmes côtiers, Brest, 8-9 novembre 2000.
- Dérès L. et Chaussepied M. (coord.). Ed. Ifremer, Actes colloques 29, p. 157-167.
- Hamm, L., E. de Croutte, P.G. Anquetin et O. Paireau (2004). La modélisation physique au service d'un grand aménagement maritime : l'exemple de Port 2000. *La Houille Blanche*, n° 3, p. 50-56.
- Parthiot, F. (1981). Development of the river Seine estuary : case study. J. of the Hydraulics div., ASCE, vol. 107, HY11, p. 1283-1303.

Les auteurs remercient M. Claude Migniot pour ses conseils avisés tout au long du projet et pour son hospitalité.

ABSTRACT

Preliminary studies for Port 2000. Hydraulics and sedimentology

L. Hamm, A. Delouis, R. Vieillard

The Port 2000 project forms part of the long-term development of the port installations at Le Havre in the Seine estuary. In addition to the usual hydraulic studies needed to finalise the overall layout of the port, determine the stability of the breakwaters and finally carry out the works (phasing), a major effort was made in the preliminary design studies to minimise the port's impact on the estuary and on the safety of installations at the port of Rouen upstream, and to define environmental mitigation and accompanying measures. To reach that goal, a strong cooperation and work was carried out jointly by the estuary biologists, harbour specialists from the two ports and the hydraulic consultant which helped to define priority goals and define the hydrosedimentary measures needed to achieve them.

RESUMEN ESPAÑOL

Estudios preliminares de Port 2000. Hidráulica y sedimentología

L. Hamm, A. Delouis y R. Vieillard

El proyecto Port 2000 se inscribe en el desarrollo a largo plazo de las instalaciones del puerto marítimo de Le Havre en el estuario del río Sena. Además de los estudios hidráulicos convencionales que se deben llevar a cabo para la elaboración del plan-masa portuario, la estabilidad de los diques protectores y la realización concreta de la obra (etapas de los trabajos), se emprendió un importante esfuerzo para los estudios preliminares relativos a la minimización del impacto del puerto marítimo sobre el estuario, la seguridad de las instalaciones del puerto marítimo de Ruán y a las medidas compensatorias y de acompañamiento medioambientales. Para ello, una concertación y un trabajo en común exhaustivo que reúne a biólogos del estuario, a especialistas portuarios de los dos puertos y a la oficina de estudios permitió precisar los retos prioritarios y definir las medidas hidrosedimentarias para su concretización.

Port 2000. Une opportunité pour la réhabilitation de l'estuaire de la Seine

François Lerat

 INGÉNIEUR GÉNÉRAL
 DU GÉNIE RURAL
 DES EAUX
 ET DES FORÊTS

La conception de Port 2000, les travaux réalisés et les méthodes de gouvernance mise en œuvre servent désormais de référence pour la gestion en Europe d'un grand estuaire à marée, utilisé par la navigation maritime. Le dialogue noué entre les ingénieurs chargés du projet d'une part et les naturalistes et les scientifiques d'autre part explique cette réussite. Celui-ci a pu se développer car, au-delà des simples mesures compensatoires, le Port Autonome du Havre et les autorités publiques ont eu la volonté d'inscrire celles-ci dans une démarche de restauration globale. Ayant été impliqué au titre du ministère chargé de l'Environnement à l'échelon central dès 1996, puis à l'échelon régional à partir de 1999 jusqu'en 2005, j'ai eu la chance d'en être un acteur privilégié.

Dès le départ, l'Etat a eu la volonté d'accompagner Port 2000 avec une démarche d'aménagement du territoire exemplaire en articulant les territoires à vocation naturelle et ceux à vocation économique et en préparant à l'échelle des régions Haute et Basse Normandie le développement portuaire dans le cadre d'une Directive territoriale d'aménagement du territoire. Par ailleurs, la préservation du chenal du port de Rouen, le contentieux avec l'Europe sur la mise en œuvre de la directive 79-409 sur les oiseaux et l'opportunité de mobiliser des financements européens nous ont obligés à prouver que la situation environnementale serait meilleure après qu'avant. A partir de 1998, après le premier débat public national et les arbitrages interministériels, le préfet de la région Haute-Normandie, Bruno Fontenaist a eu pour mission d'aider le Port Autonome du Havre à atteindre ces objectifs.

■ QUELQUES DONNÉES DE DÉPART

Les ingénieurs portuaires ont, depuis plus d'un siècle, façonné l'estuaire mais sans l'artificialiser complètement comme cela a été fait à Rotterdam pour le Rhin. Ils ont construit, entre 1960 et 1970, une architecture de l'estuaire qui utilise les forces de la marée pour réduire la sédimentation dans le chenal de navigation qui donne accès, 100 km en amont, aux installations du Port Autonome de Rouen. Ces nouvelles caractéristiques ont permis, sur la partie nord, le développement d'une importante va-



sière dont l'évolution est limitée par la construction du pont de Normandie à partir de l'année 1988. Dès 1995, le programme de recherche "Seine Aval", initié par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie et piloté par Louis-Alexandre Romaña de l'Ifremer, a permis d'explicitier les fonctionnalités de l'estuaire en mobilisant les principaux laboratoires des universités et des grandes institutions scientifiques françaises et en faisant évaluer leurs travaux dans un cadre international.

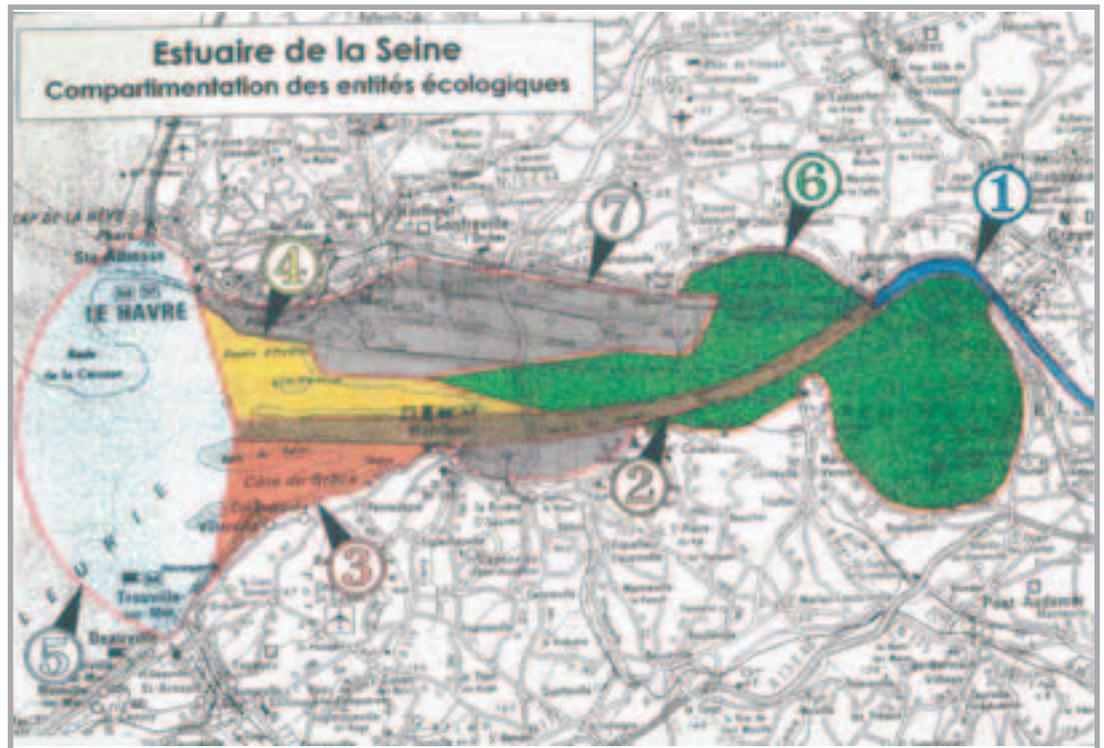
Le préfet a créé, le 1^{er} février 1999, un comité d'experts réunissant des scientifiques de "Seine Aval", des personnalités nationales de la conservation de la nature et de la gestion portuaire. En utilisant les nombreux documents disponibles et l'expertise des deux ports, il a réalisé en 9 mois une synthèse des problèmes de l'estuaire et proposé des perspectives de restauration à court et long terme.

Les mesures environnementales de Port 2000 : au premier plan, le chenal environnemental réalisé dans le cadre du chantier de réhabilitation des vasières. Au second plan, sur la droite, le reposoir sur dune. Au fond : à gauche, l'îlot reposoir en Seine et, à droite, le chantier portuaire de Port 2000

Port 2000 environmental measures : in the foreground, the environmental protection channel developed within the framework of the mud flat rehabilitation project. In the background, on the right, the resting area on the dunes. In the background : on the left, the resting island in the Seine and, on the right, the port project of Port 2000

Figure 1
 Plan de l'estuaire de la Seine
 (cf. rapport du comité
 d'experts). Les zones
 fonctionnelles à prendre
 en compte dans une gestion
 globale de l'estuaire marin

*Map of the Seine estuary
 (cf. report of the Expert
 Committee). The functional
 areas to be allowed for
 in a system of overall
 management of the marine
 estuary*



Les liens entre les caractéristiques géomorphologiques et hydrologiques d'une part et les fonctionnalités environnementales d'autre part ont été mis en exergue par le comité d'experts. Le maître d'ouvrage avait commandé à la Sogreah de nombreux essais sur le modèle physique de l'estuaire pour comprendre les impacts du projet à court et long terme. Avant la destruction du modèle, la DIREN en tant qu'autorité environnementale a pu faire réaliser quatre essais (D1, D2, D3, E8) sous sa maîtrise d'ouvrage et avec l'appui du comité d'experts pour définir les travaux nécessaires au maintien des fonctionnalités et donc à la restauration de l'estuaire. Ces propositions, traduites en termes financiers et opérationnels par le Port du Havre, ont été mises à l'enquête publique.

■ LES ENJEUX

Les enjeux environnementaux qui sont sur la place publique ne sont pas forcément ceux qui sont essentiels. Ainsi, les conflits ornithologiques, amplifiés par une mise en œuvre pusillanime de la directive européenne 79-409 et une gestion laxiste de la chasse sur le domaine public, ont donné une place très forte aux oiseaux aux dépens des autres problématiques.

En effet, un contentieux avec la Commission européenne sur l'application de cette directive a débuté en 1996. La Cour de justice a condamné la France en 1999. Chargé de le résoudre, j'ai eu la chance de pouvoir soutenir avec l'appui du Port du Havre des solutions ambitieuses dans le cadre du projet

de restauration en application stricte des procédures prévues par la directive 79-409. Le contentieux a été classé par la Commission en 2005. Dans ce contexte, les experts ont pu mettre en avant quatre fonctionnalités majeures qui ont été débattues avec les acteurs associatifs, économiques et publics. D'une façon sommaire, l'estuaire – lieu de passage des navires qui remontent la Seine jusqu'à Rouen –, peut être considéré comme une unité de traitement qui régule les pollutions des eaux du fleuve le plus contaminé de France et un espace qui produit cependant des juvéniles de poissons et accueille de nombreux oiseaux. Les actions environnementales de Port 2000 ont été conçues pour assurer la pérennité de ces fonctionnalités sur le long terme, en tenant compte du nouvel équilibre morphologique qui s'établit progressivement au cours des 20 ans qui vont suivre la fin des travaux de Port 2000 et en limitant les entretiens des infrastructures environnementales (figure 1).

Le contrôle des pollutions

L'interaction des eaux douces et salées crée un milieu intermédiaire : le bouchon vaseux, positionné entre les ponts de Tancarville et de Normandie. Il assure le contrôle des transferts des métaux, des nitrates, des phosphates, des médicaments rejetés dans le milieu, etc. Il est vital, pour les plages du Calvados et les produits de la pêche, que son fonctionnement soit bien assuré à l'intérieur de l'estuaire.

Sa situation dépend de la géométrie de l'estuaire.

Le dimensionnement du chenal du port de Rouen en est un élément important. Les experts ont conclu à sa stabilité.

Les vasières et la mosaïque de milieux naturels

En lien avec le bouchon vaseux, les vasières au sein de la mosaïque de milieux qui vont des petits fonds aux prairies humides constituent le cœur biologique de l'estuaire. C'est là que se constituent les chaînes trophiques qui vont des micro-organismes aux oiseaux en passant par les juvéniles de poissons. Les facteurs permettant leur établissement ont commencé à être précisés par le programme Seine Aval.

Leur régression de 1800 ha en 1974 à 600 ha en 1997 est un signal fort de la dégradation de l'estuaire. L'arrêt de cette évolution est apparu comme une priorité absolue en décloisonnant les différents milieux et en donnant des possibilités à la création de nouvelles vasières.

Dès 1976, les pêcheurs ont pris conscience des enjeux liés au maintien des vasières en exigeant une première brèche dans la digue basse nord. Les programmes de recherche, complétés par les suivis financés par Port 2000, commencent à donner une vision claire des ressources halieutiques et du fonctionnement de la nurricerie de poissons en lien avec les vasières et les milieux intertidaux. En confrontant ces éléments avec les résultats du modèle physique et les études courantologiques, des propositions de nouvelles brèches, de chenaux, d'épis et de modifications des caractéristiques des digues ont été testées. Le programme retenu au titre de Port 2000 est une expérimentation à grande échelle dont les résultats n'apparaîtront que progressivement. Mais, dès à présent, le Port de Rouen en a repris des éléments pour la restauration de ses digues de calibrage et la gestion de son chenal.

Les oiseaux

Le rôle de l'estuaire sur les voies de migration nord-sud est connu mais il évolue en fonction de la nourriture et des espaces disponibles qui dépendent des autres fonctionnalités et des pressions humaines. Ainsi, la sédimentation a favorisé le développement des roselières et mis en avant de nouvelles espèces. L'estuaire a désormais une importance internationale pour la reproduction de la gorge-bleue à miroir.

Pour gérer ces milieux, une réserve naturelle nationale parmi les plus grandes de France a été créée en 1998 et agrandie en 2004. Administrée par une association locale et dotée d'un plan de gestion qui en précise les objectifs ornithologiques, elle est le partenaire privilégié du port pour améliorer la conservation des espaces à vocation naturelle. Cet-



L'estuaire de la Seine avec, au premier plan, l'îlot reposoir en Seine et, au centre, le chenal du port de Rouen

The Seine estuary with, in the foreground, the resting island in the Seine and, in the centre, the Port of Rouen channel

te gestion naturaliste plus intensive doit permettre d'accueillir plus d'oiseaux en nombre et en qualité. De nombreuses expérimentations ont été rendues possibles en accompagnement du projet portuaire.

Ainsi, la suppression d'un plan d'eau très fréquenté par les oiseaux marins – les limicoles et les anatidés – situé à la fois au cœur des nouvelles installations portuaires et dans la zone de protection au titre de la directive 79-409, a nécessité un intense effort pour concevoir des alternatives et de nouvelles perspectives. Les îles en sont l'élément le plus spectaculaire avec le reposoir sur dune.

La forte présence de chasseurs au gibier d'eau est une donnée héritée du passé qui oblige les gestionnaires de la réserve à imaginer des actions coordonnées avec eux, telle la création d'un reposoir pour les anatidés ou la gestion quotidienne des gabions de chasse pour des espèces de la faune ou de la flore protégée.

C'est dans cette relation quotidienne entre le port et la réserve naturelle que se prépare la gestion durable de la faune et de la flore de l'estuaire.

L'obligation de résultat dans le domaine ornithologique pour le Port du Havre a conduit à créer un observatoire de l'avifaune géré par la Maison de l'Estuaire, gestionnaire de la réserve naturelle. Il permettra une évaluation des actions en cours et leur redéploiement éventuel. Mais surtout, il est – dans le cadre de la restauration de l'estuaire – un outil de pilotage de la mise en œuvre de la directive 79-409 "Oiseaux" et un élément du réseau Natura 2000 des estuaires européens. A ce titre, le Port se prépare à expliciter toute évolution favorable ou défavorable constatée dans la fréquentation des oiseaux.

La navigation

La desserte du port de Rouen implique une sédimentation contrôlée et une économie des dragages compatible avec son activité. Toutes les proposi-



L'estuaire de la Seine et sa mosaïque de milieux : au premier plan les vasières, qui ont fait, dans le cadre de Port 2000, l'objet d'un important programme de réhabilitation

The Seine estuary and its patchwork of environments : in the foreground the mud flats which, within the framework of Port 2000, underwent an extensive rehabilitation programme



tions d'aménagements environnementaux ont fait l'objet de débats contradictoires permettant de vérifier la conservation de la fonction de navigabilité. Toutes les informations pour l'avenir, qui pourraient s'avérer nécessaires pour conserver cette fonction en lien avec les autres fonctionnalités, ont été réunies. Mais l'avancement de l'estuaire en mer, qui est apparu comme un enjeu important pour le futur, nécessitera des suivis complémentaires.

■ LA GOUVERNANCE ET LE PLAN DE GESTION GLOBAL

C'est probablement dans le domaine de la gouvernance d'un grand espace naturel que le projet a le plus fait et qu'il permet un certain optimisme pour l'avenir.

Partagé entre deux puissants ports autonomes, trois départements, deux régions, de nombreux acteurs aux intérêts divergents, la gestion d'un tel espace relève de la quadrature du cercle. Le premier débat public a heureusement démontré l'intérêt de développer la concertation entre les acteurs et avec une participation forte des autorités portuaires. Des lieux de dialogue se sont développés, notamment avec l'association La Maison de l'Estuaire qui ultérieurement a pris en charge la réserve naturelle. A la demande du gouvernement, le préfet de la région Haute-Normandie a mis en place trois instances complémentaires qui ont survécu aux changements politiques :

- ◆ le Conseil de l'estuaire, qui réunit les autorités publiques susceptibles de financer des opérations de restauration et les deux ports ;
- ◆ le Conseil scientifique et technique. A la suite du comité d'experts – s'appuyant sur des scientifiques et des techniciens ayant une expérience internationale ou nationale –, il peut éclairer de façon indépendante toute décision ;
- ◆ le Comité de suivi, qui réunit une centaine d'acteurs publics et privés susceptibles de donner des avis ou de participer aux débats en amont de la

conception des projets ou de l'évolution des politiques.

Les premières réunions ont porté sur la mise en œuvre de Port 2000. Mais l'avenir de l'estuaire est devenu un thème central afin de dépasser les intérêts contradictoires et créer des consensus sur les enjeux prioritaires. Ainsi, le principe d'un plan de gestion global a été retenu. Son volet restauration du patrimoine naturel a été arrêté par le Conseil de l'estuaire. Il comprend douze programmes dont neuf s'appuient sur des mesures initiées à l'occasion du projet Port 2000.

Cette organisation a permis de lancer une démarche prospective sur l'évolution environnementale de l'estuaire en lien avec différentes perspectives socio-économiques. Mais cette gouvernance reste à conforter et à faire évoluer pour assurer une bonne cohérence des politiques publiques.

■ LES PERSPECTIVES DE LONG TERME

Les trois scénarios prospectifs se répartissent entre la poursuite des tendances existantes avant Port 2000, une restauration très volontariste et une gestion locale prolongeant la restauration en cours. Ils ont montré la nécessité d'accroître les échanges entre les acteurs locaux, les deux ports et l'Etat. Leur mise au point n'a été rendue possible que parce que Port 2000 a été l'occasion d'une prise de conscience des enjeux d'une gestion globale et à long terme de l'estuaire et a démontré que des solutions pouvaient être conçues dans le cadre d'un dialogue sans concession entre ingénieurs portuaires et naturalistes. Les démarches qui en sont issues donnent une réalité à une gestion qui serait qualifiée de durable.

Alors que le premier scénario du laisser-faire conduirait probablement à la disparition de l'estuaire avec des conséquences économiques et écologiques imprévisibles, des alternatives apparaissent possibles.

Ainsi, les deux autres scénarios – qui nécessitent une politique de transport maritime et de dessertes terrestres déterminée d'une part et une mise en œuvre des directives européennes sur l'eau et sur la nature d'autre part –, s'astreignent à privilégier les fonctionnalités fondamentales aux dépens de visions ponctuelles et s'appuient sur une vision globale partagée entre tous les acteurs susceptible de réduire les conflits.

Ces démarches doivent faciliter la mise en œuvre de deux nouvelles directives européennes, d'une part la directive "1992/43 dite habitats naturels" qui cible les estuaires comme un espace naturel d'intérêt européen et d'autre part la directive cadre sur l'eau "2000/60 dite DCE" qui incite à atteindre le bon état écologique de la masse d'eau.

Les échanges entre l'Angleterre, la Hollande, la Bel-

gique et la France, dans le cadre d'un programme européen interrégional conduit par la province de Hollande du Sud, démontrent que les problématiques dans les quatre pays de gestion des ports et des estuaires de la Humber, de l'Escaut ou de la Seine sont très similaires. Les enseignements des expérimentations de restauration engagées à l'occasion du projet Port 2000 ont donc de larges perspectives de valorisation.

ABSTRACT

Port 2000. An opportunity for rehabilitation of the Seine estuary

Fr. Lerat

The design of Port 2000, the works performed and the corporate governance methods employed can now serve as a benchmark in Europe for management of a large tidal estuary, used by sea-going ships. The dialogue established between the engineers in charge of the project on the one hand and naturalists and scientists on the other hand, created a climate of mutual understanding which explains this success. The project was able to take shape because, apart from the mere compensatory measures, Port Autonome du Havre and the public authorities wanted these measures to be part of a restoration programme. Consultation raised awareness, but also made it possible to take into consideration the numerous environmental issues specific to the Seine estuary (pollution control, patchwork of environments and species, presence of ships, etc.). The organisation supported by all the stakeholders can now develop comprehensive management using the experiments carried out as part of Port 2000 and long-term environmental thinking related to various socio-economic scenarios.

RESUMEN ESPAÑOL

Port 2000. Una oportunidad para la rehabilitación del estuario del río Sena

Fr. Lerat

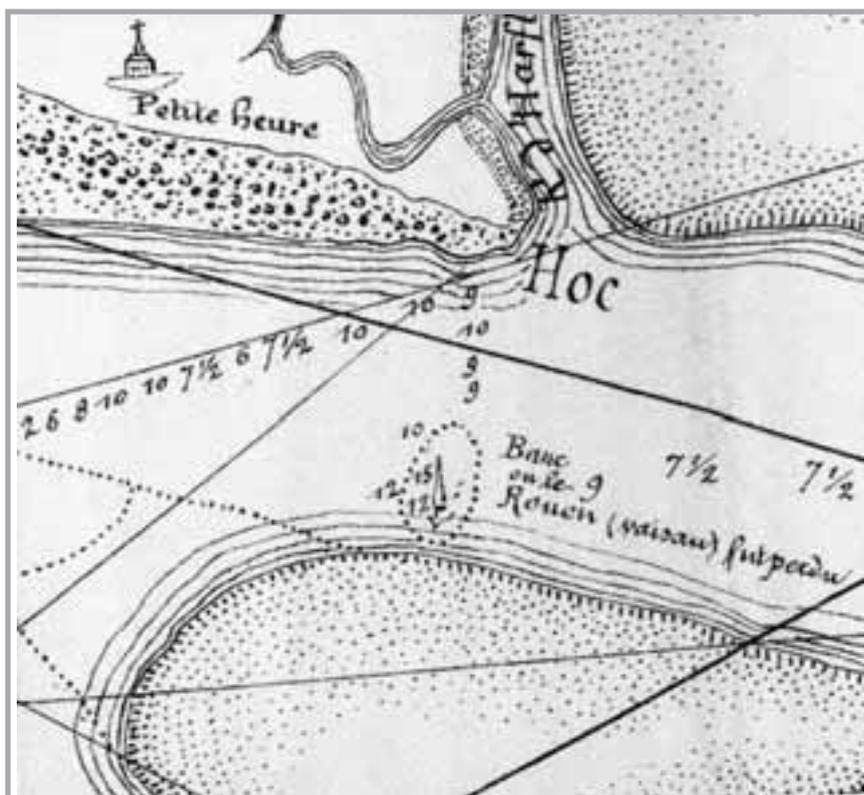
El concepto de Port 2000, los trabajos llevados a cabo y los métodos de gobernanza implementados pueden de ahora en adelante servir de referencia para la gestión en Europa de un gran estuario de marea, utilizado para la navegación marítima. El diálogo trabado entre los ingenieros encargados del proyecto por un lado, y los naturalistas y científicos por otro lado, ha creado un clima de comprensión mutua que viene a explicar este logro.

El proyecto ha podido desarrollarse ya que, más allá de las simples medidas compensatorias, el Puerto Autónomo de Le Havre y las autoridades públicas tuvieron la voluntad de inscribir estas

medidas en un enfoque de restauración. La concertación ha permitido concienciarse, así como también tomar en consideración, los múltiples retos medioambientales específicos del estuario del río Sena (control de las contaminaciones, mosaico de faunas y especies, presencia de buques, etc.).

La organización que toma apoyo en todos los actores puede de ahora en adelante desarrollar una gestión global mediante el uso de experimentaciones llevadas a cabo mediante Port 2000 y la reflexión prospectiva medioambiental vinculada con los distintos escenarios socioeconómicos.

Le Havre Port 2000 : quand du sens dans la recherche



Carte de Le Bocage de Bléville (1677) indiquant la position du vaisseau *Le Rouen*, naufragé en 1670. (Lennier, 1885).

Map of Le Bocage de Bléville (1677) showing the position of the vessel *Le Rouen*, shipwrecked in 1670. (Lennier, 1885).

Le Port Autonome du Havre (PAH) et les services compétents du ministère de la Culture et de la Communication ont été confrontés, lors des travaux de dragages imposés par le programme d'aménagements portuaires, dit Port 2000, à la nécessité d'organiser (en toute hâte) une campagne de prospection archéologique. Bien que la direction du port ait en effet engagé, dès 1997, des contacts avec le Service régional de l'archéologie de Haute-Normandie, une certaine méconnaissance des textes en vigueur, des erreurs dans l'adressage pour instruction du dossier et l'ignorance de la présence d'épaves historiques dans la zone concernée se sont conjuguées, retardant jusqu'en juillet 2002 l'intervention du Drassm¹. Or, la campagne de détection magnétométrique et sous-marine visant à la localisation d'éventuels engins de guerre était alors presque achevée et les premiers dragages avaient d'ores et déjà contribué à

1. Département des Recherches Archéologiques Subaquatiques et Sous-Marines, Fort Saint-Jean, 13235 Marseille Cedex 02. Tél. : +33 (0)4 91 14 28 00

la destruction d'un site historique... Le temps était donc désormais drastiquement compté et le Drassm, service à compétence nationale du ministère de la Culture, a dû conduire en juillet 2002, dans la plus extrême urgence, une expertise archéologique qui a confirmé, tant l'intérêt résiduel du site détruit que l'importance du potentiel archéologique de la zone touchée par les dragages. Ce constat n'est en vérité pas de nature à surprendre. Depuis les pirogues primitives des populations néolithiques jusqu'aux porte-conteneurs de 8000 evp (équivalents vingt pieds), en passant par la fondation au XVI^e siècle du *Havre de Grâce*, à l'ouvert de la route fluviale qui relie Paris à la mer, la baie de Seine n'a cessé d'accueillir, au gré des marées, des embarcations de toute sorte. Pour toutes ces raisons, il a paru indispensable de programmer, du 9 décembre 2002 au 9 avril 2003, une campagne de prospection archéologique sous-marine méthodique de l'aire maritime concernée par le projet Port 2000. Cette opération a été confiée aux archéologues du Drassm. Deux axes de recherches ont été simultanément prospectés. Le premier s'est attaché à l'analyse sous-marine méthodique des anomalies localisées lors des prospections préalables aux dragages et matérialisées par des perturbations magnétiques propres à signaler la présence d'une épave. Le second a visé à l'étude de l'ensemble des fonds d'archives susceptibles d'informer sur les tragédies maritimes survenues dans la zone aussi bien que sur l'évolution de la cartographie de l'estuaire ou des structures portuaires et urbaines bordant la ville du Havre.

Après étude attentive des relevés magnétométriques consignés lors des prospections géophysiques conduites dès 2000, l'analyse méthodique de dix-neuf anomalies a été privilégiée. Bien qu'il ait été initialement prévu d'étudier toutes ces cibles en plongée, il a fallu très vite déchanter... L'extrême turbidité naturelle des eaux de la Seine doublée du brouillard épais généré par des vases sans cesse remises en suspension par l'activité ininterrompue des dragues a ainsi conduit à envisager d'autres méthodes d'intervention. La plongée s'est dans ce contexte bornée aux seules activités de contrôle des anomalies définitivement reconnues comme épaves et l'on a, pour le reste, opté pour un protocole d'étude calqué sur certaines pratiques des archéologues terrestres, celles des suivis de décapage. Les archéologues sous-marins ont en conséquence déchaussé leurs palmes et affrété un ponton-grue équipé d'une pelle hydraulique dont les prélèvements ont été systématiquement dépo-

L'ambition du futur trouve archéologique

Michel L'Hour

CONSERVATEUR
EN CHEF DU PATRIMOINE
Drassm (Département
des Recherches Archéologiques
Subaquatiques et Sous-Marines)



© Photo F. Osada

Octant découvert sur l'épave de la *Fanny*, 1848
Octant discovered on the wreck of the *Fanny*, 1848



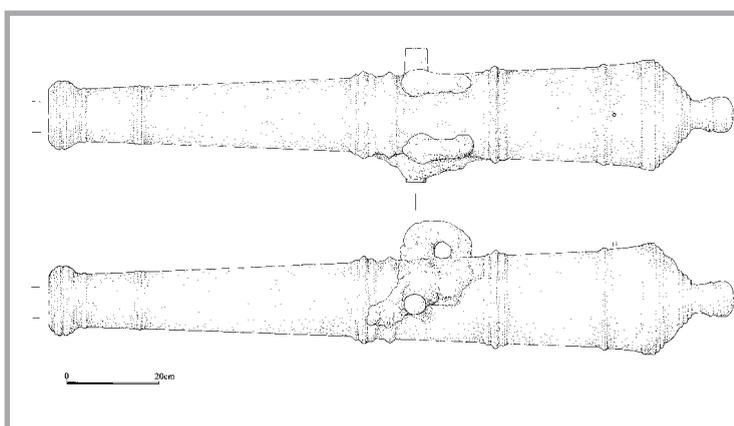
© Photo F. Osada

Sur la drague *Big Boss*, le travail archéologique s'est poursuivi pendant deux mois jour et nuit
On the *Big Boss* dredger, archaeological work went on for two months night and day

sés sur la trémie d'un chaland afin d'en autoriser l'examen.

Ce procédé, quelque peu inhabituel pour les chercheurs du Drassm, a présenté en revanche l'avantage d'accroître la sécurité des opérations, car, malgré une minutieuse campagne préalable de déminage, il subsistait le danger qu'un engin de dragage exhume des projectiles explosifs du dernier conflit, ce qui s'est d'ailleurs produit à plusieurs reprises. Or l'on devine aisément les risques encourus par des plongeurs en intervention, même au-delà d'un périmètre légal de sécurité, si l'une de ces munitions devait exploser... Par bonheur, cela n'est pas arrivé!

Cinq des 19 cibles étudiées au cours de la campagne ont révélé des vestiges d'épaves de navires contemporains, naufragés au cours des XIX^e et XX^e siècles. L'une d'entre elles, en particulier, a livré un chargement de lingots de fer, produits par la fonderie *Langloan Iron Works* de Glasgow, ainsi qu'un instrument de navigation très bien conservé, un octant portant la marque d'un fabricant de Guernesey. L'étude de ce mobilier et les recherches conduites en archives ont d'ailleurs permis d'identifier cette épave comme celle de la goélette de Jersey, la *Fanny*, perdue le 22 février 1848 à l'entrée de la Seine alors qu'elle se rendait de Glasgow à



© Dessin M.-N. Baud rand

Canon en fonte de fer, anse en forme de Triton
Cast iron cannon, Triton-shaped handle

Rouen avec un chargement de fer (cf. *Journal du Havre*, n° 1435, mercredi 23 février 1848).

La sixième cible, centrée sur les vestiges d'architecture navale broyés par les dragues au printemps 2002, antérieurement à l'intervention du Drassm, s'est finalement avérée comme l'une des plus intéressantes du lot. La section des pièces étudiées a en effet permis de les attribuer à un vaisseau de fort tonnage, cependant que leur mode d'assemblage a conduit à y reconnaître un faciès de construction d'époque moderne (XVII^e ou XVIII^e siècle). L'intérêt de cette découverte s'est en outre trouvé rehaussé de celle, à quelques centaines de mètres, de



deux canons en fonte de fer, les cibles 7 et 8, ornés d'anses en forme de Triton, ou de dauphin, typiques du XVII^e siècle. Si la distance entre l'épave et ces canons est trop importante pour établir avec certitude un lien entre les trois cibles, rien n'interdit en revanche de suggérer une hypothèse propre à les associer. On pourrait en effet lire dans la cartographie de ces découvertes un premier délestage d'urgence d'un navire en difficulté, puis, un peu en aval, les vestiges de son naufrage... Les recherches de janvier et février 2003 n'ont malheureusement pas permis d'élucider le mystère de ce site énigmatique.

La dernière cible que nous souhaitons distinguer ici a, pour sa part, révélé une pièce d'artillerie d'une extrême rareté. Il s'agit d'un canon pierrier en fonte de fer de type veuglaire court, ou courtaud. Fixé sur une poutre affût en bois, montée elle-même sur une fourche-pivot, ce veuglaire justifie à coup sûr d'être daté dans la première moitié du XVI^e siècle. Trouvée isolée, cette pièce a probablement été jetée à la mer lors d'une situation d'urgence, à moins qu'elle n'y soit tombée à l'occasion d'un brutal coup de roulis. Elle s'inscrit en tout cas d'emblée au nombre des pièces d'artillerie les plus rares et les plus importantes conservées dans des collections publiques françaises.

L'analyse méthodique des autres cibles a enfin révélé plusieurs dizaines d'autres objets intéressants la compréhension de l'histoire maritime et portuaire de la zone du Havre. Confiés pour traitement à des laboratoires de restauration, tous ces mobiliers devraient être à terme dévolus à une structure muséographique de la basse Seine pour être présentés au public.

En appui de cette campagne de terrain, l'opération menée par le Drassm a donné lieu dans les archives à un travail minutieux de récolement des cartes anciennes puis d'observation, de comparaison et de mise à l'échelle de ces documents. Grâce à l'outil informatique et à la sélection d'identifiants géographiques remarquables, églises, châteaux, écluses..., il a été possible, après adaptation des proportions et des orientations, voire correction des distorsions, de superposer les cartographies anciennes aux cartes actuelles, et notamment bien sûr au plan du chantier Port 2000. Si ce travail a d'abord permis de vérifier que depuis le XVII^e siècle, le port du Havre s'était continûment développé en gagnant, d'une part sur la mer, d'autre part sur l'estuaire, il a surtout conduit à lever certaines hypothèses qui pesaient sur le projet, notamment celles liées à la présence, connue par les archives, d'épaves des XVI^e et XVII^e siècles sur la zone. L'étude a en effet révélé que certaines d'entre elles reposaient sans doute aujourd'hui sous plusieurs mètres de sédiments, voire de béton, rapportés lors de précédentes campagnes d'agrandissement du port aux XIX^e et XX^e siècles. Provisoirement ou définitivement fossilisées, ces épaves ne sont ainsi plus

menacées et il incombera aux archéologues du futur d'en envisager l'étude si, dans ce siècle ou dans un autre, elles surgissaient à nouveau à l'occasion de réaménagements du port...

Au bilan, menée dans des conditions très souvent difficiles, la prospection préventive de l'aire circonscrite par les aménagements du projet Port 2000 a, on le voit, confirmé, le potentiel archéologique de cette zone estuarienne. Parmi les sites expertisés, neuf gisements, dont la chronologie couvre une période globale de quatre siècles, du XVI^e au XX^e siècles, ont été, sommairement ou de manière plus approfondie, étudiés. Pour autant, et bien qu'aucun de ces sites n'ait démerité, les archéologues de l'équipe de prospection n'ont pas souhaité figer l'activité du Havre en exigeant autoritairement un arrêt des aménagements et l'étude exhaustive des sites expertisés. Partiellement guidée par les enjeux évidents du projet Port 2000, cette attitude responsable donne aisément à comprendre combien le souci des archéologues du Drassm a été constant de ne négliger, ni la mise en valeur et la protection du patrimoine, ni la pertinence des choix économiques et industriels promus par d'autres. Illustration tout à fait symbolique de cette mission, on rappellera aussi à quel point l'opération de prospection préventive du port du Havre est restée dans la mémoire de tous ses acteurs comme un exemple réussi de collaboration réaliste entre des aménageurs et des archéologues, une synthèse exemplaire du nécessaire dialogue qu'il convient d'instaurer entre ceux dont la gestion de l'avenir collectif est le quotidien et ceux que le passé de tous préoccupe. Mais au vrai, conviendrait-il légitimement qu'on s'en étonne ? Le futur ambitionné par les premiers n'est-il pas en effet le patrimoine même dont les seconds auront un jour la charge de rendre compte ?



Les marchés principaux

Adrien Moisy



CHEF DU SERVICE
DES MARCHÉS
ET DE LA LOGISTIQUE
DOCUMENTAIRE
Port Autonome du Havre

Catherine Guillou



SERVICE DES MARCHÉS
ET DE LA LOGISTIQUE
DOCUMENTAIRE
Port Autonome du Havre

La première phase du projet Port 2000 a conduit l'établissement portuaire havrais à passer plus de 100 marchés et contrats pour leur réalisation. Parmi ceux-ci, trois ont plus particulièrement retenu l'attention des auteurs: d'une part, les deux marchés de travaux pour la réalisation des digues et accès maritimes au nouveau port et celui de construction des quatre postes à quai, et, d'autre part, le marché de mise en œuvre de mesures environnementales pour la réhabilitation des vasières de l'estuaire de la Seine.

Le marché de construction des digues et accès maritimes présente la particularité de devoir respecter un phasage très scrupuleux, afin de minimiser l'impact des travaux sur le fonctionnement hydrosédimentaire de l'estuaire de la Seine. Le marché de construction du quai est passé sur une solution variante faisant appel à une paroi moulée de grande hauteur en béton armé avec reprise des efforts, exécutée en plein sol avec utilisation de boues thixotropiques. Enfin, le marché de réhabilitation des vasières au droit et à l'avant du pont de Normandie, a été passé selon la procédure de conception-réalisation, associant l'entreprise titulaire au montage de la solution technique eu égard à la grande diversité des moyens qui pouvaient être retenus pour la réalisation des travaux et à leur fort impact sur l'environnement.

La première phase de travaux de Port 2000, qui fait l'objet du présent numéro spécial et qui consiste à aménager quatre postes à quai à l'abri d'un nouvel avant-port au sud des installations existantes, a été prise en considération le 5 décembre 1998 et comporte :

- ◆ la construction de quatre postes à quai ;
- ◆ la construction de 6 km de digues de protection de ces nouveaux quais ;
- ◆ le dragage d'environ 40 millions de m³ de matériaux ;
- ◆ les dessertes immédiates des installations ;
- ◆ des ouvrages d'accompagnement dans le chenal d'accès au Port de Rouen ;
- ◆ des travaux et mesures environnementales dans l'estuaire de la Seine.

Ce projet Port 2000, du lancement de l'idée en 1995 jusqu'à sa réalisation complète a nécessité la passation de plus de 100 marchés et contrats : de quelques milliers d'euros pour des prestations d'assistance, d'analyse ou de contrôle, à plus de 300 millions d'euros pour le marché "Digues et accès maritimes".

Ces marchés ont été passés dans le cadre de la réglementation des marchés de l'Etat – à laquelle sont soumis les ports autonomes – après publicité et mise en concurrence en application des dispositions du Code des marchés publics français et dans le respect des directives européennes sur les marchés publics. Ces mises en concurrence

ont toutes été lancées au niveau européen. Leur cahier des charges se réfère à l'un des quatre cahiers des Clauses administratives générales (Travaux, Prestations intellectuelles, Fournitures courantes et Services, Marchés industriels) et aux cahiers des Clauses techniques générales.

Ces marchés recouvrent principalement les domaines suivants :

- ◆ études et contrôles ;
- ◆ travaux de génie civil ;
- ◆ mesures environnementales ;
- ◆ dessertes terrestres.

A peu près toutes les formes de mise en concurrence et de passation des marchés ouvertes par la réglementation ont été utilisées, que ce soit la procédure adaptée (dénommée "marché sans formalités" dans le code 2000), l'appel d'offres ouvert ou restreint, le négocié après publicité et mise en concurrence, l'appel d'offres sur performances (devenu depuis "dialogue compétitif") ou le marché de conception réalisation. Seule la procédure du concours n'a pas été employée, l'établissement public n'ayant pas en charge la construction des bâtiments.

Trois marchés seront plus particulièrement examinés : les marchés de travaux passés pour la réalisation des digues et accès maritimes et pour la construction du quai, en raison de leur montant, ainsi que celui de mise en œuvre des mesures environnementales de réhabilitation des vasières, en raison de sa spécificité.

Photo 1
Les musoirs et la digue
extérieure de Port 2000
*The pier heads and the outer
breakwater of Port 2000*



► **LES MARCHÉS DE TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL ET DE DRAGAGES** (photo 1)

La grande sensibilité environnementale de l'estuaire de la Seine a conduit, avant d'engager tout travaux d'aménagement, à lancer un important programme d'études sur modèles physiques et mathématiques afin d'arrêter le processus de réalisation le plus favorable pour l'environnement (celui-ci devant permettre de limiter les incidences et contraintes sur l'environnement).

Ces études ont montré que seul un phasage rigoureux des travaux de construction des digues et des dragages permettrait de minimiser l'impact de ces travaux sur le fonctionnement hydrosédimentaire de la fosse nord de l'estuaire et sur les dragages d'entretien du chenal du port de Rouen. Il convenait, pour cela, d'exécuter les travaux de dragages à l'abri d'ouvrages provisoires et en constituant un piège à sable afin de limiter les transports de matériaux vers l'amont de l'estuaire.

Ces contraintes, qui entraînent une forte imbrication des différents corps d'état (dragages, terrassements et génie civil), ont donc largement influencé l'allotissement des travaux en deux marchés principaux, non pas en raison de leur nature mais du fait de leur destination :

- ◆ un marché pour la construction des digues et le dragage des accès (chenal et avant-port) ;
- ◆ un marché pour la construction du quai et le dragage de la souille du bassin devant le quai.

Le marché des digues et accès maritimes

Les travaux portent sur la réalisation des digues de protection et d'enclôture ainsi que les dragages généraux de Port 2000 et comprennent la réalisation d'une digue provisoire. Ils portent également, à titre optionnel, sur des travaux d'allongement de la digue basse nord et de calibrage du chenal d'accès au port de Rouen ainsi que des travaux de dragages d'accompagnement destinés à limiter l'impact hydrosédimentaire du projet sur le fonctionnement de l'estuaire de la Seine.

La mise en concurrence a été organisée, dans un premier temps, dans le cadre d'une procédure d'appel d'offres restreint, après publicité et sélection des candidatures. Toutefois, cette procédure n'ayant pas donné de résultat satisfaisant – les offres étant toutes largement supérieures à l'estimation du maître d'ouvrage, tant en solution de base qu'en variante dont aucune ne se dégageait plus particulièrement –, la consultation a été relancée dans le cadre d'une procédure négociée, après publicité et mise en concurrence.

L'échec de la première mise en concurrence peut s'expliquer par la date estivale du lancement de la consultation et, d'autre part, par le niveau élevé des prix de dragages ; les entreprises de dragages européennes – essentiellement belges et hollandaises – qui semblaient seules être en mesure de se positionner sur ce marché ayant, à l'époque, un plan de charge très rempli avec d'énormes travaux en Asie

et d'importantes perspectives en Inde et en Chine. Tant dans le cadre de la procédure d'appel d'offres que du négocié, les candidats, pour être admis à présenter une offre, devaient posséder – en groupement d'entreprises ou avec l'apport de sous-traitants – des compétences et qualifications dans le domaine :

- ◆ de la conception et de la réalisation d'ouvrages d'art de haute technicité, en site maritime non protégé et disposer d'une connaissance approfondie de ces techniques ;
- ◆ du terrassement en grande masse et du dragage et du déroctage en zone maritime non protégée, avec des engins de grande puissance capables d'extraire et de transporter les produits dragués ;
- ◆ des fondations spéciales et en particulier des fondations et consolidations de sols par caissons havés.

La procédure négociée a été précédée d'un nouvel appel à la concurrence, en décembre 2000, dans le cadre duquel huit candidats se sont manifestés (contre 13 lors de l'appel à concurrence pour l'appel d'offres restreint initial), et sept ont été finalement retenus.

Des sept candidats consultés, seuls cinq ont remis une proposition pour la solution de base ainsi que huit propositions variantes.

Il faut en effet rappeler que, comme pour l'appel d'offres initial, le cahier des charges de la consultation présentait la particularité d'imposer, en solution de base, un phasage rigoureux des travaux. En variante, les candidats avaient la possibilité – outre optimiser les caractéristiques des ouvrages tels que les musoirs, la constitution des digues (notamment par l'utilisation d'ACCROPODES™ en carapace) ou l'emplacement de la digue provisoire –, de modifier le phasage des travaux, qui devait alors être justifié par un mémoire présentant un niveau de détail au moins équivalent à celui de la solution de base et étayé, si nécessaire, d'essais sur modèle mathématique.

Parmi les solutions variantes, deux se distinguaient, tant par leur approche technique que par leur niveau de prix :

- ◆ l'une, outre un phasage modifié, proposait une conception légèrement différente des digues permettant d'obtenir des pentes plus prononcées, des musoirs circulaires et des blocs artificiels au liant routier ;

- ◆ l'autre, retenue in fine, proposait une réduction de la largeur des digues, un noyau constitué partiellement de matériaux graveleux mis en œuvre à partir de surlargeurs creusées de part et d'autre du chenal, une implantation différente de la digue provisoire. Cette solution était établie sur la base d'un phasage aménagé qui conduisait à un meilleur bilan sédimentaire et donc se révélait plus favorable au milieu estuarien, tout particulièrement en début de chantier.

Le marché correspondant a été passé à l'entreprise générale et les travaux ont été découpés en



Photo 2
Réalisation de la paroi moulee servant de mur de quai pour les quatre premiers postes

Construction of the diaphragm wall serving as a quay wall for the first four berths

quatre tranches pour ce qui concerne les ouvrages directement liés aux digues et accès maritimes :

- ◆ une tranche ferme pour la construction des digues, des musoirs et le creusement du chenal à une cote initiale de - 15.00 ;

- ◆ et trois tranches conditionnelles respectivement pour l'élargissement et l'approfondissement ultérieur, à la cote - 16,00 du chenal de Port 2000 et du chenal actuel du port du Havre.

Cinq autres tranches conditionnelles ont été définies : elles correspondent aux travaux optionnels d'allongement de la digue basse nord, de calibrage du chenal d'accès au port de Rouen et de dragages d'accompagnement.

Une particularité du marché signé à l'issue de ce processus est qu'il comporte une clause particulière "d'incitation" fixant un budget plafond pour la gestion du problème des érosions du soubassement des digues en cours de travaux. Les économies générées sur ce budget par la limitation des rechargements de l'ouvrage pendant sa construction bénéficient à l'entreprise, au maître d'ouvrage, ainsi qu'au bureau d'études Sogreah, choisi en raison de son expertise en hydrosédimentologie et engagé contractuellement à suivre l'évolution de ces érosions et proposer des solutions palliatives permettant d'en limiter les conséquences.

Le marché a été confié au groupement mené par la société GTM Construction avec pour cotraitants Campenon Bernard TP/Dumez-GTM/Dredging international.

Le marché pour la construction du quai (photo 2)

Ce marché, également passé à l'entreprise générale, a été confié à l'entreprise Soletanche Bachy à l'issue d'une procédure d'appel d'offres restreint.



Le recours à cette procédure était motivé par l'importance des études préalables, notamment dans le cadre de propositions variantes.

Les travaux à exécuter portent sur la construction de 1 400 m de linéaire de quai correspondant à quatre postes à quai à l'extérieur du port existant, au sud des installations actuelles du port du Havre. Ils ont été décomposés en trois tranches, une tranche ferme pour deux postes à quai, incluant la réalisation d'un ouvrage de raccordement indispensable en cas de discontinuité dans le déroulement des travaux entre la tranche ferme et les tranches conditionnelles, et deux tranches conditionnelles pour deux postes supplémentaires, de part et d'autre des deux premiers.

Ces trois tranches ont été notifiées simultanément puisque, entre la date du dossier de consultation des entreprises et celle de notification, la croissance du trafic conteneurs a montré l'urgence de disposer de quatre postes à quai dès le départ de Port 2000.

La solution de base, sur laquelle les candidats devaient impérativement répondre, avait été établie en retenant comme choix technique une structure de quai en paroi moulée. Les concurrents avaient la possibilité de présenter des solutions variantes faisant appel à une structure de quai différente, à savoir: rideau mixte, caissons en B.A., quai sur pieux... ou encore portant sur les niveaux, diamètres, longueurs et nature des tirants, l'épaisseur et pied de la paroi moulée, les caractéristiques du rideau d'ancrage, et les caractéristiques des poutres de roulement arrière et leur fondation.

Pour être admis à participer à l'appel d'offres, les candidats devaient présenter des références professionnelles et capacités techniques dans des domaines identiques à ceux du marché "digues et accès maritime" avec une compétence particulière dans la réalisation de parois moulées dans le sol exécutées avec utilisation de boues thixotropiques, qualifications qui pouvaient, là aussi, être apportées par des sous-traitants.

L'appel à concurrence a permis de recueillir 17 candidatures dont 11 ont été jugées recevables, et parmi lesquelles ont été sélectionnées les huit candidatures présentant les références et les chiffres d'affaires les plus importants.

Sept propositions ont été remises, conformes à la solution de base, intégrant huit variantes dont trois se distinguaient financièrement et techniquement:

- ◆ l'une pour une paroi étanche avec rabattement permanent, solution rejetée compte tenu de la faible part d'économie qu'elle représente et des surcoûts éventuels qu'elle est susceptible d'engendrer à long terme;
- ◆ la seconde pour une paroi moulée avec abaissement des tirants;
- ◆ la troisième pour une paroi moulée avec abaissement du lit de tirant, mais aussi une épaisseur de paroi réduite.

C'est cette dernière proposition, présentée par la société Soletanche Bachy, qui a été retenue. Outre son intérêt technique, cette proposition – qui fait appel à une optimisation de la paroi moulée au niveau des cages d'armatures et de son épaisseur qui, du fait de l'abaissement des tirants d'ancrage de cette paroi, peut être ramenée de 1,50 m à 1,20 m – permet de réaliser une économie substantielle sur le montant des travaux.

Dans son mode opératoire, l'entreprise qui avait initialement opté pour une exécution d'une majeure partie des dragages et terrassements par moyens terrestres est, in fine, revenue à une solution plus classique par moyens nautiques.

■ LES MARCHÉS POUR LES MESURES ENVIRONNEMENTALES ET DE RÉHABILITATION DES VASIÈRES

Dans le cadre du projet Port 2000, un programme de mesures environnementales a été défini pour un budget de plus de 45 M €, portant en particulier sur la réhabilitation de la vasière au droit et à l'amont du pont de Normandie, en rive droite de l'estuaire de la Seine. Ce programme de réhabilitation, en partie localisé dans la réserve naturelle, site classé Zone de protection spéciale, a fait l'objet d'une étude préliminaire menée à un niveau d'avant-projet par Sogreah Etudes qui a abouti à engager les travaux suivants, dans le cadre de trois marchés:

- ◆ le creusement d'un chenal de réalimentation de la vasière et le renforcement de la protection des piles du pont de Normandie contre les affouillements pouvant résulter de la remise en circulation de l'eau sur le site, pour l'un;

- ◆ le rehaussement de la brèche aval et d'une partie de la digue basse nord ainsi que la construction d'un épi plongeant pour le second, et enfin la réalisation d'une brèche dans la digue basse nord, au droit de la vasière artificielle pour le dernier.

Le marché pour la réalimentation des vasières a été dévolu dans le cadre d'une procédure de conception-réalisation ainsi que l'article 18 de la loi MOP et le Code des marchés publics en ouvrent la possibilité, lorsque des motifs d'ordre technique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage.

Or, au regard de la nature du site, les moyens et matériels dont pouvaient disposer les entreprises, en particulier pour exécuter les travaux de protection des piles, étaient déterminants dans le montage de la solution technique et pouvaient avoir une incidence importante sur le coût de réalisation de ces travaux. En effet, par exemple, une réalisation par voie terrestre avec des moyens courants, telle que l'avait étudiée Sogreah, aurait nécessité une



Photo 3
Programme de réhabilitation
des vasières de l'estuaire
de la Seine

*Programme for rehabilitation
of the mud flats of the Seine
Estuary*

piste d'accès dans les marais et son enlèvement après travaux, ce qui aurait renchéri dans des proportions très significatives le coût des travaux, sans parler de l'impact environnemental d'une telle disposition.

Les deux autres marchés ont été attribués après appel d'offres restreint.

La dévolution du marché de conception-réalisation des vasières (photo 3)

Il est rappelé que cette procédure fait appel à un jury composé des membres de la Commission d'appel d'offres et, pour un tiers, de maîtres d'œuvre compétents indépendants des candidats et du maître d'ouvrage. Ces maîtres d'œuvre, dans le cas présent, ont été proposés par :

- ◆ la Chambre de Commerce et d'Industrie du Havre, gestionnaire du pont de Normandie ;
- ◆ le Port Autonome de Rouen ;
- ◆ Sogreah ;
- ◆ la Maison de l'Estuaire ;
- ◆ la DIREN.

La consultation a été précédée d'un appel à candidatures au niveau européen. Pour être acceptés, les candidats, qui pouvaient se présenter soit en entreprise unique soit en groupement conjoint ou solidaire, devaient disposer de références dans l'exécution de prestations similaires, tout particulièrement en conception et réalisation d'ouvrages de protection contre les affouillements et creusement de canaux en site estuarien. Les candidats devaient en outre fournir tous éléments permettant d'apprécier l'outillage, le matériel et l'équipement

technique dont ils disposaient, ainsi que les capacités de leurs personnels en précisant leurs titres d'études et/ou l'expérience professionnelle du ou des responsables et des exécutants de la prestation d'étude envisagée.

Sur les neuf candidatures, seules les cinq premières classées ont été retenues par le jury, conformément à la limitation indiquée dans l'avis d'appel à concurrence. Les candidats devaient présenter une proposition conçue au stade d'avant-projet (AVP), accompagnée d'un projet de cahier des Clauses techniques particulières pour la réalisation des travaux. Quatre candidats ont remis une proposition sur la base de laquelle ils ont été auditionnés par le jury, puis invités à préciser et compléter leur projet. Sur les quatre candidats qui avaient remis une offre, l'un n'a pas donné suite à sa proposition et, de fait, ne s'est pas vu attribuer de prime. Les trois autres candidats, qui ont participé à la consultation jusqu'à son terme, ont bénéficié de l'intégralité de la prime prévue.

Le marché a été, in fine, attribué par la PRM au groupement Sodranord - BHD - In Vivo, dans le cadre de deux tranches (ou phases) découpées comme suit :

- ◆ la **phase de conception, d'une durée de 4 mois**, portant sur les études d'avant-projet (AVP) et de projet (PRO) ;
- ◆ la **phase de réalisation, d'une durée de 11 mois**, portant sur l'exécution des travaux correspondant au projet accepté par le maître d'ouvrage en phase conception, ainsi que sur les études d'exécution et la mission OPC.

L'exécution de la seconde phase (phase travaux) était conditionnée par l'acceptation, par le maître

d'ouvrage, du projet remis par le titulaire à l'issue de la phase conception. Le Port Autonome du Havre se réservait le droit, en cas de première phase non satisfaisante, non seulement de ne pas donner suite à la tranche conditionnelle, mais encore de reprendre à son compte les études pour servir de base à un nouvel appel d'offres.

S'agissant d'un marché de conception-réalisation, les études et travaux ont été réglés par application de forfaits :

◆ en **phase conception**, un forfait dit "définitif" fixé par le titulaire dans le cadre de son offre, forfait qui lui était intégralement acquis sous réserve que le coût de référence des travaux, évalué au stade projet, ne soit pas supérieur de plus de 10 % au coût prévisionnel évalué par lui au stade d'avant-projet ou, dans le cas contraire avec un abattement de 15 %. La prime versée par le jury était déduite de ce forfait ;

◆ en **phase de réalisation** : une rémunération fixée forfaitairement sur la base du coût de référence des travaux, établi au stade du projet et accepté par le maître d'ouvrage, sous réserve de l'application d'une clause d'incitation lui permettant de bénéficier de la moitié des économies dégagées sur le montant des travaux, au stade projet ou, dans le cas d'un surcoût et après reprise éventuelle de ses études, le pénalisant de la moitié de cet écart.

Tant en phase de conception, qu'en phase de réalisation, le projet est resté dans l'enveloppe fixée initialement, la rémunération étant donc acquise au titulaire sans pénalisation. Toutefois un aménagement en cours d'exécution, consécutif à une modification du phasage de réalisation des ouvrages entre la réhabilitation des vasières et la création d'une brèche au droit de celles-ci (objet d'un autre marché), rendu nécessaire pour minimiser la sédimentation dans le chenal du port de Rouen et la découverte des fondations d'une ancienne digue, a entraîné une immobilisation des matériels et engins du chantier de réhabilitation des vasières, dont le titulaire a été indemnisé.

ABSTRACT

The main contracts

A. Moisy, C. Guillou

In the first phase of the Port 2000 project, the port organisation of Le Havre signed more than 100 work contracts. Of these, three in particular attracted the writers' attention: on the one hand, the two works contracts for construction of the breakwaters and access channels to the new port and for construction of the four berths, and, on the other hand, the contract for the implementation of environmental measures to rehabilitate the mud flats of the Seine estuary.

The contract for construction of the breakwaters and access channels is subject to compliance with a very strict schedule, so as to minimise the impact of the work on the hydrosedimentary functioning of the Seine estuary. The contract for construction of the quay is signed for a variant solution involving the use of a very high reinforced concrete force-absorbent diaphragm wall, built directly in the ground using thixotropic muds. Finally, the contract for rehabilitation of the mud flats at the level of and in front of the Normandy Bridge, was signed on a Design and Build basis, involving the successful tenderer in organisation of the technical solution in view of the great diversity of means that could be employed to carry out the works and their strong impact on the environment.

RESUMEN ESPAÑOL

Principales contratos

A. Moisy y C. Guillou

La primera etapa del proyecto Port 2000 conllevó al establecimiento portuario de Le Havre a formalizar más de 100 contratos para su realización. Entre estos contratos, tres han llamado particularmente la atención de los autores: en primer lugar, los dos contratos de trabajos para la ejecución de los diques y accesos marítimos al nuevo puerto y el contrato de construcción de los cuatro amaraderos, y, en segundo lugar, el contrato de implementación de medidas medioambientales para la rehabilitación de los depósitos salineros del estuario del Sena.

El contrato de construcción de los diques y accesos marítimos presenta la parti-

cularidad de deber respetar las etapas de manera sumamente escrupulosa, con objetivo de reducir al mínimo el impacto de los trabajos sobre el funcionamiento hidrosedimentario del estuario del río Sena. El contrato de construcción del muelle está basado en una solución variante que recurre a una pantalla continua de gran altura de hormigón armado con recalce de los esfuerzos, ejecutada en plena tierra con utilización de lodos tixotrópicos. Finalmente, el contrato de rehabilitación de los depósitos salineros en la vertical y en la parte delantera del Puente de Normandía, se ha formalizado según el procedimiento del concepto ejecución, que combina la empresa titular con la elaboración de la solución técnica con respecto a la importante diversidad de los medios que se podían adoptar para la ejecución de los trabajos y su impacto significativo sobre el medio ambiente.

Les travaux de construction des digues de protection et accès maritimes (DPAM)

Le groupement composé de GTM Terrassement (mandataire), Dredging International, Campenon Bernard TP et Vinci Construction Grands Projets, toutes sociétés de Vinci, s'est vu confier fin août 2001 la construction de la majeure partie des travaux maritimes du projet Port 2000 au Havre par le Port Autonome du Havre.

Les chiffres principaux qui décrivent l'ouvrage sont les suivants: près de 10 km de digues constituées d'un noyau en tout-venant graveleux entouré de matériaux silico-calcaires, d'enrochements et de blocs cubiques et ACCROPODE™ en béton, 45 millions de mètres cubes de dragages (principalement du sable et du gravier), environ 32 000 blocs ACCROPODE™ préfabriqués et positionnés un par un, deux structures en béton de 55 m de long, 21,50 m de large et 30 m de haut, préfabriquées dans une cale sèche, remorquées à leur emplacement définitif pour y être échouées. Principaux défis: les conditions de mer et météorologiques, particulièrement la première année et lorsque les travaux étaient quasiment terminés. Egalement, mais ceci est devenu un standard en travaux publics, la nécessaire attention portée à l'environnement de l'estuaire de la Seine. Au final, la satisfaction pour le groupe Vinci d'avoir réussi une réelle performance pour le développement de la côte ouest européenne.

■ HISTORIQUE

Le 22 août 2001, le Port Autonome du Havre (PAH) attribuait le marché de construction des digues de protection et accès maritimes (DPAM) de Port 2000 au groupement constitué des entreprises GTM Terrassement (mandataire), Dredging International, Campenon Bernard TP et Vinci Construction Grands Projets. Ce marché comprenait une tranche ferme pour un montant d'environ 218 millions d'euros et huit tranches conditionnelles pour un montant d'environ 103 millions d'euros. Quatre de ces tranches conditionnelles seront notifiées. Le montant final des travaux devrait être de l'ordre de 300 millions d'euros (les montants indiqués sont HT en valeur février 2001). Le délai global des travaux, au départ de 37 mois (avec une partie de la digue pouvant être différée de 4 mois), sera finalement de 47 mois. La réception des travaux a été prononcée en mai 2005 avec, à la demande du PAH, le différé de la fin des dragages de quelques mois supplémentaires.

L'attribution du marché s'est faite sur la base du projet préparé par la direction technique du PAH, maître d'œuvre, assorti de variantes proposées par le groupement dans son offre, variantes ayant le double objectif de diminuer à la fois le coût du projet et ses impacts environnementaux.

On retiendra principalement:

◆ l'adaptation du phasage des travaux, fortement réducteur d'érosion et de mouvements de sédiments dans l'estuaire (pendant et après les travaux) et permettant le réemploi maximal des produits

résultant du dragage pour la construction des digues, tout en utilisant les moyens de dragage les plus adaptés et les plus économiques. Cette variante, basée sur l'utilisation d'engins innovants tels que le Bayard II, diffuseur à positionnement et guidage dynamiques (DPGD), conduisait par ailleurs à la création des surlargeurs nord et sud pour le stockage des tout-venants graveleux issus du dragage des chenaux d'accès et nécessaires à la construction des soubassements;

◆ la réduction de la largeur des digues et le remplacement du cœur du noyau en tout-venant silico-calcaire par du tout-venant graveleux aussi issu des dragages;

◆ le changement de la carapace extérieure de la digue de protection, en blocs ACCROPODE™ en lieu et place de blocs cubiques (ACCROPODE™ est une marque déposée de Sogreah).

Ces variantes sont décrites plus avant dans l'exposé.

■ LES TRAVAUX CONFISÉS AU GROUPEMENT DPAM 2000, PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Les accès nautiques

Les accès nautiques à Port 2000 comprennent:

◆ un chenal extérieur d'une longueur de 4 000 m, d'une largeur en plafond allant de 580 m à la hauteur de sa connexion avec le chenal de naviga-

Dominique Maire

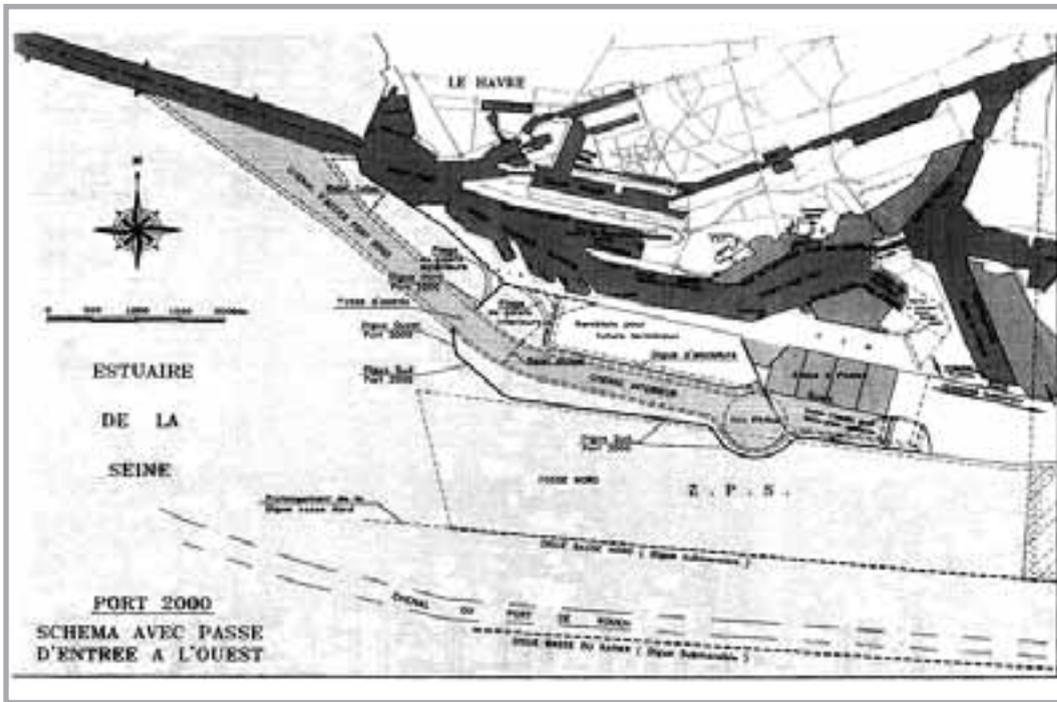


DIRECTEUR
GTM Terrassement

Jan Vandebroek



CO-DIRECTEUR CELLULE
DRAGAGE
Dredging International



Le projet de Port 2000
The Port 2000 project

Les digues

Les digues de protection visent à créer un bassin où les effets des courants et des houles sont suffisamment amortis pour que les opérations de chargement et de déchargement des porte-conteneurs n'en soient pas dépendantes.

La longueur totale des digues de protection est d'environ 5900 ml.

S'y ajoutent les digues d'enclosure (environ 3660 ml), dont le rôle est de retenir les matériaux remblayés pour constituer les terre-pleins de stockage et transbordement des conteneurs, avec les accès vers l'arrière-pays.

Toutes du type "digues à talus", elles reposent sur un soubassement en galets issus du dragage, large d'une cinquantaine de mètres en crête. On distingue différents profils : la digue d'enclosure et celles de protection.

La digue d'enclosure

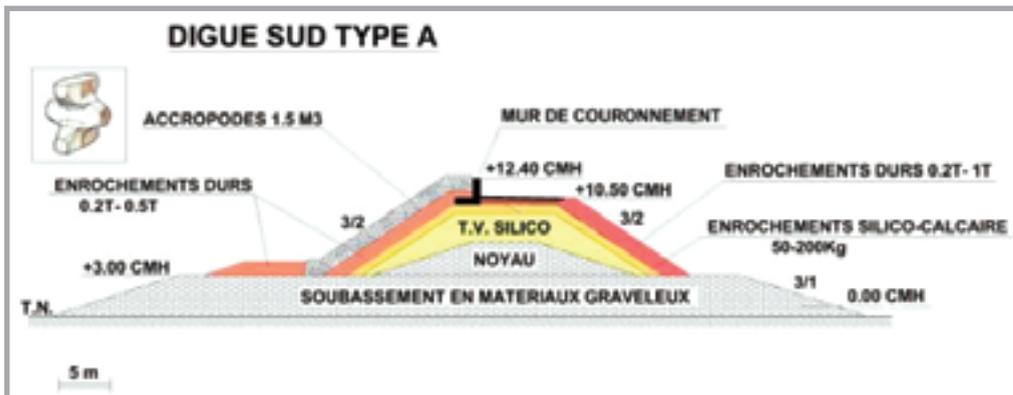
Cette digue ne nécessite pas d'importantes protections puisque protégée par la digue extérieure. De plus, elle sera enlevée au fur et à mesure de la construction des futurs postes à quai. Elle se compose d'un cœur de noyau en tout-venant graveleux issu du dragage, recouvert de tout-venant silico-calcaire de carrière. Suit une couche de protection en enrochements silico-calcaires avec en plus, côté bassin, une carapace en enrochements durs à l'est, en blocs cubiques en béton disposés en pavage (blocs récupérés de la démolition de la nouvelle digue ouest) plus à l'ouest, où la houle est plus forte. La largeur en crête est d'une dizaine de mètres. Elle est complétée par deux digues intermédiaires pour constituer des casiers indépendants.

Les digues de protection

Les digues de protection sont plus exposées que la digue d'enclosure. Leurs profils restent toutefois assez semblables mais sont renforcés d'une couche d'enrochements durs côté bassin et d'une carapace côté estuaire.

Cette carapace est entièrement prévue au marché en blocs ACCROPODE™ de différentes tailles (de 1,5 m³ à 3 m³ suivant l'exposition). Si elle a dû être localement renforcée par des blocs plus gros que ceux initialement prévus par l'entreprise dans sa variante (3 m³ au lieu de 2 m³), elle a aussi été largement optimisée en d'autres endroits où elle a pu être remplacée par des blocs cubiques en quinconce, voire des enrochements. Sauf en quelques sections abritées, la crête est parcourue par un mur en béton de hauteur variable en protection des franchissements.

Selon l'exposition aux houles, la taille des enrochements durs, la taille des blocs ACCROPODE™ et l'épaisseur des couches varient. De plus, certaines sections de digues orientées à l'ouest voient leurs



Coupe type de la digue sud
Typical cross section
of the southern breakwater

tion existant, jusqu'à 300 m à son intersection avec le chenal intérieur, à la hauteur des musoirs ;
◆ un chenal intérieur protégé par la digue sud, d'une longueur de 4 000 m également et d'une largeur en plafond de 300 m ;
◆ un cercle d'évitage à l'intérieur du port avec un rayon de 353 m.

Tous ces accès nautiques sont dragués à une profondeur de - 16,00 m CMH (Carte Marine du Havre, le niveau 0,00 m CMH correspond aux plus basses eaux théoriques au Havre soit - 4,38 m NGF), garantissant l'accès nautique aux plus grands navires de transport de conteneurs, sans contraintes de marée. Le volume total de matériaux à draguer est de l'ordre de 45 millions de mètres cubes. Il s'agit principalement de sables et graviers de silex noirs (tout-venant graveleux), et de sables fins gris-vert recouvrant la formation précédente. Les talus, le long des chenaux, ont une pente de 5/1 pour le chenal extérieur, et de 3/1 dans les bassins. Les matériaux dragués mais non valorisés ont été immergés dans une zone de dépôt au large d'Octeville.

soubassements protégés par des enrochements, du pied de digue jusqu'au terrain naturel.

Par rapport aux profils types proposés dans l'appel d'offres, les profils réalisés ont permis des économies à différents niveaux :

- ◆ le remplacement du tout-venant silico-calcaire du cœur du noyau par du tout-venant graveleux issu des dragages a permis de remplacer un matériau extrait en carrière à une trentaine de kilomètres du chantier par un matériau issu des dragages du chenal et de ce fait valorisé ;

- ◆ les blocs cubiques récupérés de la nouvelle digue ouest n'étaient pas en quantité suffisante pour couvrir toutes les nouvelles digues. L'option du marché avec une carapace en blocs cubiques impliquait donc une préfabrication de blocs neufs. La variante en blocs ACCROPODE™ représentait une économie de matière par des formes plus efficaces pour briser la houle. Mais un remplacement des blocs ACCROPODE™ par des blocs cubiques, dans la mesure où ceux-ci étaient récupérés, représentait une nouvelle économie. Le remplacement par des enrochements dans une zone peu exposée, en était une supplémentaire ;

- ◆ la réduction de la largeur en tête des digues représentait au premier chef une économie significative des quantités de matériaux à mettre en œuvre. En contrepartie, elle imposait une contrainte d'exécution, en particulier parce qu'il devenait plus difficile de travailler sur une plate-forme plus étroite. Une adaptation, finalement peu utilisée, avait été de différer la construction du mur de couronnement et de l'achèvement de carapace correspondant.

Les plages

Deux plages de galets ont été réalisées :

- ◆ une plage dite "extérieure", dans l'angle ouest entre la digue Charles Laroche existante et la digue nord de Port 2000. Son rôle est d'augmenter la stabilité de cette dernière en atténuant les réflexions de houle et les franchissements dus à l'effet de coin ;
- ◆ une plage dite "intérieure", dans l'angle formé par la même digue Charles Laroche avec la digue d'enclosure. Située à l'intérieur du nouveau bassin, elle a moins vocation à réduire les effets de coin qu'à permettre la réhabilitation du "crambe maritime" (ou chou marin), fortement affecté par les travaux de Port 2000, et la nourriture de certaines espèces d'oiseaux. Son profil est plus complexe avec une succession d'étendues de sable à faible pente et de cavaliers en galets.

Les plages ont été réalisées elles aussi avec l'utilisation des tout-venants graveleux issus du creusement des accès nautiques.

Les ouvrages de la passe d'entrée

L'entrée du nouveau bassin est marquée par deux ouvrages symétriques, qui sont des caissons ver-



Centrale à béton, aire de préfabrication et de stockage des blocs ACCROPODE™ et stocks de matériaux importés

Concrete mixing plant, area for prefabrication and storage of the ACCROPODE™ blocks and stocks of imported materials

ticux en béton armé (H x l x L = 30 m x 21,50 m x 55 m) supportant les feux rouge et vert.

Leurs radiers reposent sur des assises en tout-venant graveleux et en pierres concassées 40/70 mm amenées au fond de souilles réalisées par dragages entre - 17 m et - 20 m CMH.

Au caisson nord, une partie du sol de fondation peu portant a été remplacée par du tout-venant graveleux.

Ces caissons ont été en grande partie préfabriqués dans une forme de radoub du port, remorqués puis échoués dans une souille préparée à la cote - 16,50 CMH avant d'être remplis de produits dragués pour assurer leur stabilité. Ils ont été achevés après échouage.

■ LA RÉALISATION DES TRAVAUX

Le pilotage du projet est assuré par une cellule commune, responsable également des relations avec la maîtrise d'œuvre. Les travaux sont logiquement répartis entre trois autres cellules spécialisées: la cellule dragage, constituée par l'entreprise Dredging International du groupe DEME, la cellule terrassement, regroupant TPC et Deschiron autour de GTM Terrassement (mandataire du groupement), et enfin la cellule génie civil, comprenant Campenon Bernard TP, GTM Génie civil et Services et Vinci Construction Grands Projets. Les cellules terrassement et génie civil ont été regroupées pendant le chantier.

La préfabrication sur site

La préfabrication dans le port des principaux éléments de génie civil a été décidée. Seul le mur de couronnement en crête de digue a été réalisé en place.

Les bétons (B26 pour les blocs ACCROPODE™, B40 pour les musoirs) ont été fabriqués sur chantier, celui du mur de couronnement (B40) a été fourni par une centrale extérieure.

Préfabrication
des caissons-musoirs
dans la forme
de radoub n° 7

*Prefabrication of the pier
head caissons
in dry dock No. 7*



Fin de la première grande
phase : achèvement
de la digue d'enclosure

*End of the first major
phase : completion
of the enclosing breakwater*



Une deuxième grande
phase s'achève
avec la réalisation
du soubassement
de la boucle ouest
et le début
de la construction
de la digue d'accès
provisoire

*A second major phase
is completed
with execution
of the bedrock
for the western loop
and the start
of construction
of the temporary access
dyke*



Les caissons de la passe d'entrée

Les deux musoirs ont été construits jusqu'à une hauteur de 25,50 m dans la forme de radoub n° 7 du port (qui fut en son temps le bassin de carène du paquebot France). Les radiers puis les voiles extérieurs (épais de 70 cm) et les voiles intérieurs sont bétonnés jusqu'au niveau de + 8,50 m CMH. A ce stade, la géométrie exacte des caissons réalisés est combinée aux densités effectivement mesurées sur les prélèvements de béton effectués pendant la construction. La "réalité" des ferrillages est également intégrée dans un calcul

qui va déterminer les quantités et les positions du lest à mettre dans chaque alvéole pour obtenir le meilleur compromis entre deux paramètres essentiels pour le transport et la pose de ces musoirs :

- ◆ le tirant d'eau ;
- ◆ le rayon métacentrique ou $(\rho - a)$, qui détermine la stabilité au renversement lorsque le caisson est en flottaison.

Plus le tirant d'eau est important, meilleur sera le $(\rho - a)$, ce qui a pour effet de diminuer les exigences d'agitation maximum pour le transport et la pose et donc de diminuer l'aléa météo de cette opération. En contrepartie, l'augmentation du tirant d'eau diminue le nombre de fenêtres de marées permettant cette même opération.

Au final, un compromis sera trouvé et les caissons lestés dans la forme avec du béton au lieu du sable humide initialement prévu.

En novembre 2003, des essais de mise en flottaison seront réalisés pour vérifier que la réalité est conforme aux prévisions, ce qui sera le cas avec une excellente approximation.

Les caissons sont alors prêts pour leur transport et pose qui se fera en mai 2004.

Les blocs ACCROPODE™

Une unité de préfabrication de blocs ACCROPODE™ a été installée dans la partie ouest du terre-plein existant, en arrière des premiers murs de quai.

Cette installation comprenait, outre les équipements pour la préfabrication proprement dits (moules et grue à tour pour l'essentiel), la centrale à béton de 120 m³/h de capacité qui servira également pour les musoirs, des cantonnements et le laboratoire "béton" de chantier.

Au total, 32 217 blocs seront coulés, en majorité des ACCROPODE™ de 1,5 m³, les autres faisant 2 m³ et 3 m³. Le projet de base en prévoyait 53 000.

Le phasage du chantier

Les études préliminaires entreprises par le Port Autonome pour appréhender les impacts de l'opération avaient largement montré que l'ordonnancement des travaux maritimes avait beaucoup d'importance sur l'évolution possible de la sédimentologie de l'estuaire, pendant et même après les travaux :

- ◆ le nouveau chenal se superpose peu ou prou au passage privilégié du flot avant les travaux (passage également appelé "fosse nord"). Ce courant de flot va donc se trouver progressivement de plus en plus contrarié par la construction du projet ;

- ◆ le projet représente une diminution significative de la section disponible pour le passage des marées et le courant va naturellement chercher à se recréer un passage, d'abord là où il passait, c'est-à-dire dans la fosse nord, puis éroder des terrains en place, les matériaux emportés allant se déposer en des zones où ils ne sont pas forcément les

bienvenus, comme dans le chenal du port de Rouen. Il convenait donc de privilégier le séquençage ayant le moins d'incidences possibles sur cette sédimentologie d'où celui retenu :

◆ démarrage du chantier par le dragage de la darse intérieure et la construction de la digue d'enclosure, permettant :

- de limiter la dérivation des courants de marée tout en suivant les effets induits sur l'estuaire de manière progressive, donnant du temps pour une adaptation du planning si nécessaire,

- de profiter de la présence de tout-venant graveleux affleurant dans la zone du cercle d'évitage pour démarrer tout de suite la construction des premiers soubassements de la digue d'enclosure, puis de la digue elle-même en constituant le premier casier (le casier est) pour stocker des sables. L'enlèvement de ces sables donnait alors accès aux autres gisements de tout-venant graveleux non affleurants et nécessaires pour continuer la construction de la digue d'enclosure jusqu'à une certaine limite de distance entre la source et le soubassement ;

◆ en même temps, commençait côté ouest du chantier le creusement d'un premier chenal d'accès, appelé dans le jargon du chantier "le chenal minimum". Ce chenal a d'abord été dragué par de petites et moyennes dragues aspiratrices en marche (DAM), d'une capacité en puits de l'ordre de 2 000 m³ et, surtout ayant un tirant d'eau compatible avec le travail à marée dans des zones de profondeur limitée.

La création de ce chenal autorisait alors dans la phase suivante non seulement l'utilisation de dragues plus grandes (et plus économiques) pour son élargissement mais aussi et surtout l'exploitation du banc de graveleux "ouest", indispensable pour entreprendre la construction des soubassements de la digue de protection. Deux zones préalablement draguées en surlargeur de chaque côté du chenal intérieur à son extrémité ouest et donc proches des digues à construire, d'une capacité totale de 3 millions de mètres cubes ont alors servi de stockage temporaire à ces matériaux clapés par les DAM et repris ultérieurement par les DSD ;

◆ pour éviter à nouveau une obstruction brutale du flot de marée, seul le soubassement de la partie ouest est d'abord construit entièrement (boucle ouest) avant que ne commence la digue correspondante. À préciser que cette déviation des courants a eu comme conséquence prévue le creusement naturel d'un nouveau chenal de flot au sud de ce soubassement. Mais, et pour éviter que ce creusement naturel soit trop important et se traduise par des dépôts plus en amont dans les vasières et le chenal de navigation de la Seine, des dragages coordonnés dits d'accompagnement ont été simultanément entrepris entre la nouvelle digue sud et la digue basse nord. Les produits de ces dragages, anticipés par rapport à un dragage naturel, étaient clapés dans la zone de dépôt d'Octeville.



Une partie de l'armada au travail

Part of the armada at work



Remplissage des casiers par deux DSD

Compartment filling by two cutter suction dredgers

À noter également la mesure supplémentaire participant au même objectif et qui consistait à rallonger de 750 m vers l'ouest la digue basse nord pour encore mieux rediriger les courants ;

◆ dans une dernière phase, la digue extérieure de la boucle ouest étant enfin construite à partir d'une digue d'accès provisoire, la construction des soubassements puis celle de la digue progressent en parallèle à l'est du chantier, à partir de la digue d'accès provisoire et à partir de l'endiguement de Seine existant.

Les travaux de dragage

Le plan d'attaque étant prêt, une importante Armada de dragage a dû être mobilisée pour gagner cette "bataille navale", comme :

◆ des dragues stationnaires à désagrégateur (DSD) permettant de creuser les chenaux intérieurs tout en refoulant les matériaux graveleux, à travers le DPGD Bayard 2 dans les soubassements, ou les matériaux sableux dans les casiers fermés par les digues d'enclosure (exigence environnementale forte : les matériaux fins dragués devaient être refoulés dans des casiers fermés pour éviter un retour des vases à l'estuaire). Ces dragues permettent en moyenne une production de plus de 300 000 m³ par semaine dans des matériaux sableux et de l'ordre de 100 000 m³ par semaine dans des tout-venants graveleux, matériaux beaucoup plus lourds et surtout plus agressifs pour les conduites et les pompes de refoulement. Des investissements très importants ont été réalisés, notamment sur la drague DSD Vlaanderen XIX pour protéger les conduites et les corps de pompes, en doublant les parois avec des aciers particuliers extra-résistants ;

◆ des dragues aspiratrices en marche (DAM) de

Les DAM Antigoon et Lange Wapper draguent le chenal intérieur
 The Antigoon and Lange Wapper access channel dredgers dredge the internal channel



"Multicat" pour les travaux sur les ancrs et les conduites flottantes ou immergées, des vedettes spécifiques pour le transport du personnel et pour la réalisation des sondages, utilisant les techniques les plus modernes comme un sondeur multifaisceaux.

Le tableau I renseigne sur les engins de production qui ont contribué à la réalisation du chantier. Dredging International a mobilisé, en pointe, jusqu'à 250 personnes pour cette "Armada". Le chantier s'est poursuivi pendant plus de trois ans au rythme de 24 heures par jour, sept jours sur sept.

Le soubassement des digues

Le soubassement des digues a été projeté comme un massif construit en tout-venant graveleux avec une crête définitive à + 3,00 CMH et directement posé sur le fond marin, variable entre 0 et - 3 m CMH. Ainsi ce massif de tout-venant graveleux, avec une épaisseur variable de 3 à 6 m et une largeur en crête d'environ 50 m, représentait un volume net de l'ordre de 350 m³ par ml de tout-venant graveleux. Soit, pour les 10 km de soubassement à réaliser, une quantité totale en place de 3500000 m³ à mettre en œuvre !

La réalisation du soubassement et son comportement pendant et après mise en place ont été, et ce dès l'appel d'offres, un enjeu important et donc un des soucis majeurs du groupement : matériau de très bonne qualité, mais abrasif et diminuant fortement les capacités nominales des dragues, donc relativement onéreux à la mise en œuvre (toutefois nettement moins que des matériaux d'importation équivalents). Il convenait donc d'en mettre "juste ce qu'il fallait", y compris une provision pour ce que la mer allait inévitablement remporter (pour éviter d'avoir à en remettre), et en faisant en sorte que cette dernière soit la plus faible possible. Pour le "juste ce qu'il faut" estimé, Dredging International a développé un diffuseur à positionnement et guidage dynamiques (cf. encadré "Le ponton diffuseur Bayard II") qui permet la mise en place automatisée des quantités nécessaires. L'alimentation est assurée par une DSD qui refoule dans une conduite. Le tandem a réalisé les 10 km de soubassement à un rythme moyen de 300 ml par semaine.

Pour minimiser la provision, un comité d'experts désignés par le maître d'œuvre et l'entreprise a été constitué, comité piloté par un expert de Sogreah (cf. encadré "Le suivi des érosions du soubassement").

La construction "terrestre" des digues - Phase 1

Après la mise en place du soubassement en tout-venant graveleux par la cellule dragage, les équipes de mise en œuvre de la digue interviennent pour la

Type	Nom	Puissance Installée	Capacité de puits	Taches principales
DSD	Vlaanderen XIX	11.728 kW		Dragage de matériaux graveleux refoulés directement dans les soubassements à travers le DPGD Bayard 2 Réalisation des plages
DPGD	Bayard 2			Réalisation de soubassements Remplissage des musoirs après échouage.
DSD	Rubens	10.896 kW		Dragage de matériaux sableux avec refoulement dans les casiers
DSD	Vlaanderen XI	9.862 kW		Dragage de matériaux sableux avec refoulement dans les casiers
DAM	Lange Wapper		13.700 m ³	Dragages de creusement des chenaux
DAM	Uilenspiegel		13.700 m ³	Mis à la cote définitive des chenaux
DAM	Antigoon		8.400 m ³	Remplissage des surlargeurs et dragages du tout-venant graveleux en particulier
DAM	Vlaanderen I		2.065 m ³	Réalisation du chenal minimum et dragages d'accompagnement
DAM	Vlaanderen XXI		1.751 m ³	Dragages d'accompagnement
DAM	Charlemagne		5.000 m ³	Fourniture des graveleux spécifiquement pour la création des fondations des musoirs
Dipper	Big Boss	1.928 kW		Travaux d'enlèvement d'épaves et assistance à la mise en sécurité
Dipper	Zenne	805 kW		
Chaland autofendable	DI 68		1.000 m ³	Réalisation des fondations des musoirs
Chaland autofendable	DI 69		1.000 m ³	Réalisation des fondations des musoirs
Bigue	Rambiz			Transport et pose des caissons-musoirs

Tableau I
Table I



différentes tailles. Après les DAM de petite et moyenne taille décrites plus haut pour creuser le chenal minimum, des dragues de capacités importantes comme la DAM "Antigoon" (8000 m³ en puits), les DAM "Lange Wapper" et "Uilenspiegel" (13700 m³ en puits chacune) ont considérablement augmenté la capacité de dragage du chenal et la capacité de remplissage des surlargeurs ;

- ◆ les dragues de moyenne capacité qui sont restées mobilisées pour les dragages d'accompagnement où les conditions nautiques étaient difficiles ;
- ◆ des dragues de type "dipper" (pelle hydraulique de grosse capacité sur ponton) pour des opérations spécifiques telles que l'enlèvement d'épaves, l'assistance aux campagnes de mise en sécurité des surlargeurs et l'allongement de la digue basse nord ;
- ◆ des barges avec des grues de levage comme De Bever, moyens auxiliaires d'assistance générale au chantier ;
- ◆ une flottille de remorqueurs, de bateaux type

LE PONTON DIFFUSEUR BAYARD II À POSITIONNEMENT ET GUIDAGE DYNAMIQUES

Le principe du diffuseur à positionnement et guidage dynamiques (DPGD) est de mesurer la densité et le flux des matériaux envoyés hydrauliquement par une DSD pour obtenir la masse réelle de matériaux en transit et de comparer en continu cette masse avec celle estimée nécessaire dans la section de soubassement en cours (à partir du projet, de la bathymétrie et de l'estimation de la perte). Un ordinateur commande alors un ensemble de six treuils de positionnement dont il règle la vitesse d'avancement en fonction du flux de matériaux et du profil à réaliser. C'est un GPS qui renseigne l'ordinateur sur la section en cours, dont le volume/la masse ont été préalablement incorporés.

Cette technique s'est avérée fondamentale pour le succès du chantier :

- ◆ elle a permis d'avancer les soubassements à des vitesses de l'ordre de 300 m par semaine, à comparer avec une vitesse d'avancement de moins de 100 m par semaine en utilisant des techniques classiques pour ce type de chantier comme un ponton dipper et des barges de clapage. Dans un chantier maritime exposé à la houle, il faut pouvoir profiter des fenêtres de beau temps quand elles se présentent ! ;

- ◆ la constitution du ponton diffuseur et le système de six ancres ont permis de travailler de manière continue et en toute sécurité dans toutes conditions de marées, avec des courants pouvant aller jusqu'à 5 nœuds durant des flots de vives-eaux dans l'estuaire.

Le DPGD Bayard II a été adapté pendant le chantier afin de pouvoir assurer le remplissage des caissons après leur échouage.

Un diffuseur automatisé a permis de remplir les deux caissons en moins de 24 heures après leur échouage, ce qui garantissait l'obtention de la stabilité nécessaire des musoirs en cas de tempête dans un délai minimal. Le ponton, couplé avec une DSD positionnée dans des stocks de tout-venant graveleux, permettait en plus un remplissage graduel sur toute la largeur du caisson.



Soubassement de la boucle ouest en cours avec Bayard II

Bedrock of the western loop in progress with Bayard II

LE SUIVI DES ÉROSIONS DU SOUBASSEMENT

La réalisation des soubassements en tout-venant graveleux issus du dragage des accès maritimes était un point crucial dans la construction de Port 2000.

Ce tout-venant graveleux est composé de sables, de graviers et d'une fraction de galets en silex.

Tenant compte de la présence de courants très impressionnants dans l'estuaire (jusqu'à 5 nœuds) et de l'exposition du site face aux houles du large, les pertes par l'érosion due à ces phénomènes pouvaient devenir très importantes et mettre en cause l'économie du projet.

Un comité regroupant des experts désignés par le maître d'œuvre, l'entreprise et piloté par un expert du bureau d'études Sogreah (Grenoble) a été constitué dès le début du chantier afin d'étudier cet aspect particulier, d'organiser un suivi de chantier et de proposer des mesures préventives pour minimiser cet aléa.

Dans ce cadre, des modèles mathématiques, physiques et des planches d'essais sur le chantier même ont été réalisés.

Cette combinaison d'études et de suivi de chantier a finalement abouti à une succession d'adaptation des méthodes à partir de la prévision et de l'anticipation des déplacements (ou érosions) des matériaux sous l'effet de la houle et des courants.

On estime que ces adaptations des méthodes et même du phasage de la construction du soubassement de la digue extérieure (le plus exposé) ont contribué à économiser plus de 300 000 m³ de tout-venant graveleux et permis d'éviter des reprises importantes qui auraient, en outre, pénalisé la progression générale du soubassement et de la digue.

C'est cette même connaissance acquise lors des études qui a permis d'optimiser la coordination entre la fermeture finale de la digue sud et l'enlèvement de la digue d'accès provisoire.

En conclusion, ce concept novateur de comité d'experts désignés par les parties a permis de rassembler les compétences de chaque partie (client - entreprise - consultant) pour gérer un risque important et difficile à maîtriser, au mieux des intérêts de chacun.

Mise en œuvre
du tout-venant
graveleux en noyau
de la digue

Placing crusher-run
gravel material
as the core
of the breakwater



Mise en œuvre
d'enrochements
sur la digue sud

Placing riprap
on the southern
breakwater



LE MUR DE COURONNEMENT EN BÉTON EXTRUDÉ

Même si le marché permettait de construire ce mur en différé et ce, parce qu'il n'était pas possible de le construire à l'avancement du corps de la digue faute de largeur suffisante, il fallait le réaliser par le moyen le plus rapide : ce mur de couronnement protège la digue contre les franchissements des vagues, ce qui est une fonction essentielle à la tenue de l'ouvrage. La solution retenue est une solution de construction par extrusion en adaptant un coffrage "sur mesure" (et la vibration du béton) sur une machine qui réalise en temps normal des GBA sur autoroute. La principale difficulté technique est dans le doublement de la hauteur sans perdre les avantages de l'extrusion. Après optimisation et adaptation des profils à la méthode, il reste 5360 ml à construire en quatre sections différentes, dont certaines en deux phases. La hauteur maximale d'une phase reste néanmoins de 2,10 m.

De la mise en œuvre, on retiendra surtout :

- ◆ une meilleure utilisation du phasage général des travaux et un commencement des travaux de réalisation du mur de couronnement bien avant que la digue ne soit terminée, tout en continuant la progression d'autres travaux par ailleurs, ce qui n'aurait pas été possible en traditionnel ;
- ◆ de ce fait, de grands linéaires de digues ont été protégés dès les premières tempêtes. La pertinence de ce résultat a été amplement vérifiée, notamment lors de la tempête du 17 décembre 2004 qui a gravement endommagé des sections non protégées ;
- ◆ que la gêne occasionnée par la circulation des gros tombereaux est considérablement réduite par la rapidité d'exécution : en pointe, il a été réalisé jusqu'à 90 ml de première phase (soient 200 m³ de radier) ou 83 ml de seconde phase de la plus grande hauteur en une journée. Pour la section la plus petite, on a atteint 189 ml (soit 180 m³) en une journée ;
- ◆ que les rendements journaliers prévus à l'étude étaient de 60 ml/j avec quatre outils pour le radier et quatre outils pour les élévations et une réalisation complète en 6 mois, dont 3 après l'achèvement de la digue. Il a été réalisé 84 % du linéaire en 3,5 mois, soit 110 ml/j en moyenne ;
- ◆ que la qualité des parements (peau d'orange) est très acceptable ;
- ◆ que le joint imaginé pour lier les deux phases est très efficace, et testé, involontairement, en vraie grandeur lors de la même tempête.

construction de la première phase à la cote + 9,85 CMH, qui est le niveau d'assise du mur dit de couronnement ou anti-franchissements (cf. encadré "Le mur de couronnement en béton extrudé").

Toutes les digues ont en commun leur noyau, constitué du tout-venant graveleux dragué dans le futur chenal et en quelque sorte enrobé par du tout-venant silico-calcaire exploité dans la carrière de Trouville-la-Haule (cf. encadré "La carrière de Trouville-la-Haule"). Cet enrobage est destiné à empêcher l'érosion du tout-venant graveleux par les courants et la houle au travers des enrochements. A noter que ce tout-venant graveleux n'a pas été mis en œuvre directement depuis les dragues comme le soubassement, mais déposé à terre par refolement, puis repris et chargé dans des tombereaux pour être délivré à l'avancement de la digue. En effet, mis en œuvre directement sur grande hauteur à l'avance, il aurait été balayé par les courants et les houles avant que le reste de la digue ne le protège. Ou alors, il aurait fallu coordonner étroitement l'avancement de ce dragage avec celui de la digue, ce qui aurait été peu réaliste au regard des moyens utilisés.

Tous les autres matériaux constitutifs du corps de

L'UTILISATION INTENSIVE DU GPS

Une première en matière de guidage a été réalisée sur le chantier de Port 2000. Pour le réglage des talus de digue, GTM Terrassement a équipé des pelles à bras long, de récepteurs GPS et de curseurs en sortie de vérins de la flèche, du balancier et du godet.

Les curseurs mesurent instantanément les mouvements des vérins et déterminent la position exacte du godet. Parallèlement, les antennes GPS situent la pelle en X, Y, Z sur le projet. Ces données combinées sont reportées sur un écran où figure également dans le même système le projet à réaliser, couche par couche. Un écran en cabine permet donc au conducteur de visualiser la position réelle du godet (avec une précision de l'ordre de 4 cm) et de la comparer au profil type du projet.

Un autre écran, placé à terre pour éviter au contrôleur d'avoir à rester sur la machine qui n'est pas prévue pour cela, permet à tous les contrôles de se faire en temps réel, sans attendre les marées basses et sans interventions dangereuses sur les talus.

Compte tenu de la précision demandée pour la pose des blocs ACCROPODE™, c'est la même technologie qui a été employée, avec le développement et l'utilisation d'une pince spécialement conçue pour saisir et libérer ces blocs. Le montage de la pince sur la pelle permettait en outre de donner des orientations variables aux blocs.

digue ont d'ailleurs été d'abord stockés sur le chantier, souvent longtemps avant leur mise en œuvre dans la digue.

Ces autres matériaux sont des enrochements silico-calcaires, venant de la même carrière de Trouville-la-Haule, ou durs venant du Cotentin. Les blocométries sont ajustées aux carapaces et au noyau pour satisfaire aux conditions de filtre. Les carapaces sont en enrochements dans les zones les moins exposées.

La digue d'enclosure a été entièrement réalisée à l'avancement depuis la nouvelle digue ouest.

Pour les digues sud, sud-ouest et ouest, les contraintes de planning (et économiques) ont justifié la construction d'une digue d'accès provisoire reliant à mi-chantier la digue d'enclosure à la digue sud au travers du futur chenal. Cette digue a, de fait, créé une sujétion forte aux opérations de dragage et a rajouté dans le chemin critique 640 ml à construire et à enlever, mais a permis de réaliser une partie de la digue de protection à partir de trois points d'attaque.

De chaque point d'attaque, les trois sections de digues ont été réalisées à l'avancement, tombeau après tombeau. La journée de travail type de 14 heures (soit deux postes de 8 heures avec recouvrement) commençait avec la marée haute, la composante tout-venant graveleux du noyau étant réalisée pendant la marée descendante. L'enrobage silico-calcaire se faisait à basse mer, les enrochements étant mis en œuvre à la marée montante. A la pleine mer suivante, l'activité était en général suspendue jusqu'à la marée haute suivante.

En effet, les effets de la houle sur les digues sont beaucoup plus sensibles à marée haute qu'à marée basse puisque les hauteurs de houle dépendent de la profondeur. Il fallait donc qu'au moment où l'ouvrage y redevenait exposé, il soit le plus possible en mesure d'y résister et donc à minima les enrochements mis en œuvre.

En corollaire, l'horaire de travail a été décalé, non pas d'une demi-heure tous les jours, mais d'une heure tous les deux jours, rythme assez éprouvant pour les équipes du chantier (environ 20 personnes par poste pour 23 engins).

Autre difficulté : il fallait, si la météo n'était pas très optimiste, intégrer dans le poste la protection de l'extrémité temporaire et donc réduire la longueur de digue construite pendant le même poste.

Tous les réglages de talus sont faits avec des pelles hydrauliques équipées de GPS et de capteurs de vérins (cf. encadré "L'utilisation intensive du GPS"). Grâce à ce système, les talus ont pu être réglés sans aucune visibilité directe (et donc en particulier sous l'eau), et le contrôle a été fait "en continu", après validation par le maître d'œuvre. Ces réglages et contrôles se sont donc faits sans intervention des équipes topographiques sur des talus potentiellement dangereux parce qu'en enrochements et sans arrêt des équipes attendant



Mise en œuvre des blocs ACCROPODE™
Placing ACCROPODE™ blocks

qu'une couche soit réceptionnée pour passer à la suivante.

Cette technologie a encore été étendue avec succès à la pose des carapaces en blocs ACCROPODE™, au moins pour les blocs les plus nombreux (1,5 m³), avec la création et mise au point d'une pince spécialement conçue. Cette technique a pu être comparée avec la technique classique de l'élingue qui est restée appliquée pour les blocs ACCROPODE™ de 2 m³ et 3 m³ (et pour les deux premières rangées depuis le soubassement) : le gain a été très net, tant sur le plan de la sécurité des personnels que de la productivité et de la qualité du travail réalisé.



Vue de la carrière de Trouville-la-Haule après exploitation
View of the Trouville-la-Haule quarry after mining

LA CARRIÈRE DE TROUVILLE-LA-HAULE (27)

Comment concilier les besoins importants du chantier en matériaux silico-calcaires (presque 800 000 m³ au final), certes abondants en Normandie, au mieux des exigences du développement durable ?

La réponse sera fournie par une carrière anciennement exploitée mais laissée à l'abandon sans souci d'intégration dans son environnement, qui est pourtant celui du Parc naturel régional des Boucles de la Seine Normande (encore connu sous le nom de Parc de Brotonne).

En déposant la demande d'exploitation pour cette carrière, demande accompagnée d'une solide étude environnementale, Sotraga et GTM Terrassement ont réussi à en faire une vitrine du développement durable, limitant les nuisances pour les riverains et pour l'écosystème. La remise, in fine, du site au gestionnaire du Parc dans un état où il s'intègre (enfin) complètement sera la pierre d'achoppement de cette opération.

Un atout, et non des moindres, de cette carrière est sa position géographique, au bord de la Seine à 45 km en amont de l'estuaire. L'apportement existant qui avait été récupéré à Arromanches sera renforcé et utilisé pour charger les barges de matériaux. Descendant la Seine et entrant dans le port par les écluses de Tancarville, ces barges seront déchargées à l'apportement dit fluvial créé à côté de l'apportement dit maritime au fond de la darse de l'océan d'où ces matériaux prendront le même chemin que ceux venant du Cotentin.

L'exploitation sera "classique".

Le tout-venant silico-calcaire provenant des colluvions supérieures est extrait à la pelle mécanique et gerbé du haut du front de taille. Le mode d'extraction choisi pour les enrochements est l'abattage à l'explosif. Les matériaux, repris en pied de falaise par un chargeur ou des pelles, sont déversés sur des aires de stockage avant transport. Ce mode d'exploitation permet une ségrégation naturelle par la gravité, et les matériaux seront encore triés sur le chantier du port.

Afin de prévenir toute nuisance, un seul tir est effectué par jour ouvré, à heure fixe. De plus, la valeur de vitesse particulière de l'onde vibratoire a été volontairement limitée par Sotraga à 7,5 mm/s, et, à chaque tir de mine, des capteurs placés dans le hameau permettent de vérifier que le seuil n'est pas dépassé. Les explosifs ne sont pas stockés sur le site mais livrés en flux tendu. Des espaces non déboisés ont, de plus, été délimités en accord avec le Conservatoire de la flore...

Le nouveau front de taille, conçu comme une encoche dans l'ancien, a vu la création d'une zone humide, de type vasière, et d'une prairie herbeuse talutée. Ces deux espaces constituent désormais une chance unique pour le développement d'espèces végétales menacées ou d'espèces animales plus ou moins fragiles (rapaces, oiseaux de milieux humides et chauves-souris notamment).

Sortie de la forme de radoub n° 7 du musoir nord
Dry dock VII coming out of the northern pier head



LE SYSTÈME DE RÉGLAGE DES ASSISES DES CAISSONS MUSOIRS

La couche de fondation des musoirs a été réalisée par clapage de tout-venant graveleux. Ces graveleux ont été clapés avec une surépaisseur d'environ 50 cm. La surépaisseur résiduelle après tassements ainsi que les sédiments déposés après la mise en place de la couche de fondation ont été enlevés quelques jours avant la réalisation de la couche d'assise, du 14 au 16 avril 2004.

L'opération a été réalisée par la drague DSD Vlaanderen XIX. Cette opération a fait appel à un système spécifiquement mis au point par Dredging International pour ce chantier.

La drague est normalement équipée du système de positionnement de type LRK qui, couplé à la mesure en continu du gyrocompas, permet de visualiser en temps réel l'évolution de la position en 3D du pieu principal et du désagrégateur, indiquant ainsi non seulement la position de la drague dans sa coupe dans le plan X, Y, mais également la profondeur du désagrégateur dans la coupe. Ce principe, valable pendant le processus normal de dragage, a également été appliqué pour les travaux spécifiques de réglage.

Pour ces travaux de réglage, la tête du désagrégateur de la drague DSD a été démontée et un embout spécial monté à l'extrémité de l'élinde, permettait l'aspiration des matériaux excédentaires.

En supplément au système LRK installé à bord de la DSD, le positionnement en

Dispositif de réglage des couches de fondation et d'assise des musoirs installé à la place du désagrégateur de la DSD Vlaanderen XIX

Device for grading the sub-base layers and for pier head footing set up in place of the cutter on the Vlaanderen XIX cutter suction dredger

profondeur du gabarit de l'embout spécial (le fond du bec d'aspiration) est contrôlé en continu à l'aide d'un récepteur LRK (avec module RAF 98 intégré). La lecture est transmise au château de la drague et visualisée sur les écrans d'opération. La lecture directe du Z de réglage permet de réduire les erreurs de réglage causées par un mouvement quelconque de la drague : le treuil de l'élinde, commandé par les ordinateurs de bord ou bien manuellement, est alors réglé et ajusté sur base de la lecture directe du récepteur LRK installé à hauteur de la tête de l'élinde.

Ce capteur permet d'affiner la précision sur la profondeur de réglage. On obtient ainsi la précision requise pour la mise en œuvre de la couche d'assise (+ 5 cm/- 5 cm) à une profondeur de presque 20 m...

Sur certaines zones où l'étude des courants avait montré des risques importants d'érosion des sous-bassements pouvant mettre en péril l'ouvrage, il avait été décidé de mettre en œuvre des enrochements de protection.

Ces enrochements, approvisionnés (à marée haute) par des chalands à déversement latéral ou par tombereaux (à marée basse), ont ensuite été réglés par des bouteurs à marée basse.

La construction "terrestre" des digues - Phase 2

La réalisation de la digue en deux phases, imposée par l'exiguïté en crête, apporte en retour une fragilité, temporaire certes, mais bien réelle à l'ouvrage ainsi inachevé. Il convenait donc de réaliser ce mur le plus rapidement possible à partir du moment où sa construction pouvait commencer. Après analyse des solutions classiques (banché en place ou préfabrication), c'est une solution innovante (par la hauteur) qui a été mise en œuvre : l'extrusion (cf. encadré "Le mur de couronnement en béton extrudé").

Au fur et à mesure de la réalisation du mur, la finition qui consistait à compléter les enrochements et les carapaces derrière ce mur avançait avec des équipes de pelles et camions progressant sur la digue.

Les raccordements digues-musoirs

Deux zones ont nécessité des travaux préalables à l'avancement de la digue proprement dite : il s'agit des raccordements aux musoirs où, du fait du dragage préalable des souilles dans lesquelles ces ouvrages ont été posés, il a d'abord fallu (après pose) remblayer jusqu'à + 3,00 CMH et protéger ces remblais des effets des houles et des courants, notamment sur leur côté extérieur, ce qui correspond à la partie de l'ouvrage la plus exposée aux intempéries.

Un noyau de remblais a d'abord été constitué par refoulement de tout-venant graveleux dragué dans les surlargeurs par une DSD, l'extrémité de la conduite étant fixée sur un petit ponton flottant tenu sur ancrs. Puis, une protection par du tout-venant de pierres dures a été mise en œuvre par des chalands à clapets. Ces chalands ont été chargés à proximité, depuis une estacade provisoire aménagée au coude ouest de la digue d'enclôture.

Enfin, des enrochements ont été disposés aux endroits indiqués par les études, également avec des chalands chargés au bout de l'estacade.

La mise en place des musoirs et leur achèvement

La plupart des techniques mises en œuvre pour réaliser ce genre d'opérations de transport et pose

de gros éléments préfabriqués sont désormais courantes. Elles requièrent néanmoins à chaque fois des études minutieuses et une organisation sans faille car elles s'opèrent dans un milieu qui peut vite tout faire basculer.

D'autre part, elles nécessitent souvent le concours de moyens exceptionnels, chers et rarement disponibles sur-le-champ.

Globalement, l'opération de transport et pose des musoirs s'est articulée en cinq phases, toutes coordonnées avec les marées :

1. Préparation dans la forme de radoub n° 7 : mise en place des aussières de remorquage, déballastage pour mise en flottaison.
2. Remorquage depuis la forme de radoub n° 7 jusqu'au ponton-bigue Rambiz (à marée haute).
3. Prise en charge du caisson par le Rambiz, amarage à celui-ci.
4. Transport depuis le quai Joannès Couvert jusqu'au lieu de pose (départ à marée montante).
5. Echouage du caisson par ballastage à l'eau et en utilisant la marée descendante. Ce sont les treuils du ponton-bigue Rambiz qui assurent le positionnement et celui-ci sera d'une excellente précision.

Puis, le ponton-bigue Rambiz ayant libéré sa charge, le diffuseur Bayard II remplit le musoir de tout-venant graveleux dragué dans la surlargeur sud par une DSD.

Une fois les opérations d'échouage terminées, on procédera au raccordement des digues nord et ouest aux musoirs. Les superstructures des caissons, dont l'essentiel aura été préfabriqué dans la même aire que les blocs ACCROPODE™, seront ensuite posées à leur emplacement définitif par les équipes du génie civil.

■ LA GESTION DES MATÉRIAUX : LE PRINCIPAL DÉFI DE DPAM 2000

La qualité, le coût d'extraction et/ou de mise en dépôt des matériaux conditionnent fortement la réussite des chantiers de terrassement et de dragages. A ces préoccupations habituelles, Port 2000 ajoutait celles liées au développement durable et au respect de l'environnement.

Outre les dispositions déjà évoquées plus haut :

- ◆ valorisation des matériaux dragués par une utilisation en soubassement et en noyau des digues ;
- ◆ réduction de la largeur des digues ;
- ◆ utilisation extensive des matériaux récupérés de la digue Charles Laroche existante (et de fait pas seulement limitée à celle des blocs cubiques), on citera :
 - ◆ une valorisation différée du tout-venant graveleux par la création des "surlargeurs" à l'entrée du futur bassin qui va en effet permettre le stockage sous l'eau (des cotes - 10 m CMH à - 2,5 m CMH),



Arrivée du musoir amarré à la bigue Rambiz sur son lieu de pose

Arrival of the pier head lashed to the heavy derrick Rambiz on its placing location

d'une importante quantité de matériau graveleux qui aurait dû être mis en dépôt à Octeville selon le projet d'origine. Ces matériaux facilement accessibles, à l'abri des digues de protection, ont été mis à la disposition du PAH pour des travaux à venir ;

- ◆ la récupération et le réemploi des enrochements du talus intérieur de la digue d'enclosure au fur et à mesure du remblaiement en arrière de celle-ci ;
- ◆ le choix de carrières de quartzite et de granite situées aux environs de Cherbourg pour la fourniture des enrochements durs. Ce choix a permis le transport de l'intégralité de ces enrochements par des bateaux qui sont venus se décharger à un quai spécialement construit par le groupement au fond de la darse de l'océan. Le transport jusqu'aux stocks, de quelques kilomètres, s'est fait sur une piste de chantier, isolée de tout autre trafic et franchissant la Route de l'Estuaire par un ouvrage provisoire également construit par le groupement ;
- ◆ la fourniture et le transport de tout-venant et d'enrochements silico-calcaires qui relèvent d'une démarche plus originale et audacieuse de la part de DPAM 2000 (cf. encadré "La carrière de Trouville-la-haute").

Au final, pas un seul de ces quelque 600 000 m³ d'enrochements venant du Cotentin, ni de ces quelque 800 000 m³ de silico-calcaires venant de l'Eure n'aura transité sur une route publique !

■ AUTRES ASPECTS ET PÉRIPÉTIES DU CHANTIER

La fermeture des casiers

Tous les matériaux fins refoulés derrière la digue d'enclosure devaient l'être dans un casier fermé, les eaux étant évacuées par des exutoires leur assurant une teneur maximale en MES (matières en suspension), teneur contrôlée par des prélèvements réguliers.

Cette disposition avait pour objectif de ne pas risquer de (re)polluer l'estuaire avec ces MES. De



Finitions du musoir nord

Northern pier head finishing operations

Vue générale
General view



► plus, les sédiments chargés en métaux lourds, découverts lors de sondages préalables dans certaines zones, devaient impérativement être confinés à terre.

Pour ne pas attendre d'avoir terminé la digue d'enclosure avant de pouvoir y refouler des matériaux fins, il a été construit deux digues intermédiaires, délimitant la zone en trois casiers.

Ces digues intermédiaires, joignant la digue d'enclosure à la digue Charles Laroche existante ont donc fermé des bassins en communication avec l'estuaire et subissant de ce fait les fluctuations de niveau des marées. La fermeture finale du bassin s'accompagne alors de courants de plus en plus forts au fur et à mesure que l'espace laissé pour l'entrée et la sortie de l'eau se réduit. Cette opération de fermeture est donc à coordonner soigneusement avec la marée (et si possible à programmer pendant une période de mortes-eaux), en protégeant les zones susceptibles de s'éroder fortement, dans la pratique par des enrochements de quelques tonnes.

Un incident ralentissant la progression de la fermeture du premier casier s'est traduit par un déversement à la marée montante, réduisant presque à néant le travail déjà réalisé et heureusement sans autres conséquences. Une reprise dès le lendemain, sans incident cette fois, s'est achevée comme prévu.

La coordination ouverture de la digue d'accès provisoire/fermeture du soubassement et de la digue sud

Une autre opération sensible a nécessité une étude préalable et une bonne coordination des travaux de dragage, d'achèvement de la digue sud et de démontage de la digue d'accès provisoire.

Sans ouvrir la digue d'accès provisoire, la fermeture du très grand bassin enclos par la digue sud aurait nécessité des moyens onéreux, notamment pour protéger les soubassements.

Mais ouvrir la digue d'accès provisoire sans pré-

caution préalable à cette fermeture revenait à ouvrir un chenal de passage préférentiel d'une partie de la marée, avec pour résultat des courants forts au droit de la même passe à fermer.

D'où l'étude et la réalisation d'une solution coordonnée "on ouvre un peu la digue d'accès provisoire, on ferme un peu la passe", ceci répété plusieurs fois en contrôlant les vitesses de l'eau au droit des passes.

Le déminage

Compte tenu de la présence probable (et effective) de nombreux engins de guerre datant de la Seconde Guerre mondiale sur le site des travaux (bombes, mines, obus, torpilles, etc.) présentant à la fois un danger pour les personnes et les matériels et risquant également de provoquer de nombreux arrêts de chantier, le PAH et le groupement (en particulier pour les surlargeurs issues de sa variante) ont conduit des campagnes de localisation et de reconnaissance de ces engins, ensuite neutralisés par les services compétents (Sécurité Civile pour les engins trouvés à terre et Groupement de Plongeurs Démineurs pour les engins dans l'eau). Ces campagnes, menées sur la base d'investigations des fonds marins (principalement par des procédés magnétométriques) déterminaient des points où pouvait se trouver un engin de guerre. Ces points étaient ensuite reconnus par des plongeurs qui, le cas échéant, demandaient alors l'intervention des services de neutralisation.

Plusieurs centaines d'engins, plus ou moins dangereux, ont ainsi été neutralisées, sans aucun incident à déplorer. A noter pour la petite histoire la découverte de boulets cylindriques, projectiles d'essais des canons fabriqués par Schneider dans le périmètre du port bien avant la Seconde Guerre mondiale.

Les intempéries et tempêtes, notamment celle du 17 décembre 2004

Conduit en mer ouverte, le chantier a bien évidemment subi, surtout en période hivernale, les effets parfois dévastateurs de tempêtes. De fait, de mauvaises conditions météo pouvaient dans les meilleurs cas se traduire par un ralentissement ou un arrêt total des travaux, dans les plus mauvais cas par des dégradations plus ou moins importantes aux ouvrages.

De ce point de vue, l'année 2002 a vu une assez grande fréquence de ces tempêtes, auxquelles le chantier était d'ailleurs plus sensible par sa configuration (réalisation de la digue d'enclosure non encore protégée par la digue principale). Le cortège de houles anticipé dans l'article publié dans le numéro 787 de *Travaux* en juin 2002 s'est bien manifesté.

Mais la tempête la plus violente a été celle du 17 décembre 2004, dont les effets sur la fin du chantier ont été particulièrement sensibles.

■ CONCLUSION

On peut rappeler ici la conclusion de l'article, plus particulièrement consacré aux terrassements, qui a été publié dans *Travaux* en juin 2002 :

"Le chantier de Port 2000 est finalement exceptionnel à plusieurs égards : par son ampleur, bien sûr, mais aussi et surtout par le défi qu'il représente sur le plan de l'environnement et de la communication. Chantier sensible, soumis à une pression médiatique non-négligeable, le droit à l'erreur y est faible pour les entreprises exécutantes. Dans ce contexte, le projet de DPAM 2000 n'a été retenu que grâce à l'intention affichée de GTM et de ses cotraitants de faire leurs engagements du maître d'ouvrage vis-à-vis de la collectivité.

En matière de communication interne et d'intégration aux différents groupes, Port 2000 offre également l'occasion de resserrer les liens : pour GTM Terrassement, par exemple, l'appui sur les filiales et implantations locales a joué un rôle essentiel dans la mise en place de l'offre et dans sa réalisation (exploitation de carrière, chantiers "annexes"...). Enfin, pour l'ensemble des entreprises de Vinci présentes sur le chantier, il s'agit de mettre en avant leur "esprit de groupe", pour le plus grand bénéfice du projet.

Grand projet en ce début de millénaire, Port 2000 sera aussi une aventure qui ne fait que commencer.

Si le chantier n'a pas la complexité de certains grands ouvrages, il sera un défi permanent aux éléments marins : les vents d'ouest et de sud avec leurs cortèges de houles reviennent plus souvent que l'entreprise ne le souhaiterait. L'équipe est à peu près au complet, les matériaux arrivent, les premières difficultés aussi. Rendez-vous dans deux ans pour un article sur ce qu'aura été la construction de Port 2000."

Si nul n'est prophète en son pays, il convient quand même de dire que cette conclusion n'a pas pris beaucoup de rides et que seul le rendez-vous pris à la fin a dû être un peu reporté, pour des raisons d'ailleurs étrangères aux acteurs.

Pour ceux qui auront eu la chance, et on pourrait presque dire le privilège, d'avoir été embarqués dans l'aventure, il restera sans doute le souvenir d'un chantier exceptionnel et enrichissant mené à bien, et dont ils entendront souvent parler car c'est un projet majeur pour le développement de la région, du pays et de l'Europe.

ABSTRACT

Construction work on access channel protection breakwaters

D. Maire, J. Vandenbroeck

The consortium composed of GTM Terrassement (sponsor), Dredging International, Campenon Bernard TP and Vinci Construction Grands Projets, all companies of Vinci, was entrusted end of August 2001 the construction of the main marine part of the Port 2000 project in Le Havre (76) by the Port of Le Havre Authority.

Main figures describing the works : nearly 10 km of dykes made of a gravel core surrounded by silico-calcareous materials, a rock armouring and concrete cubic or ACCROPODE™ blocks, 45 million m³ dredging (mainly sand and coarse gravel), nearly 32000 ACCROPODE™ blocks to be precast and positioned one by one, two concrete structures 55 m long, 21,5 m wide and 30 m high, precast in a dry dock and toed to final position before being sunk.

Main challenges : the sea and weather conditions, particularly the first year and when the works were nearly completed. Also, but this has now become basic in Civil Works, the necessary care given to the Seine estuary environment. At the end, the satisfaction for the Vinci group of companies to have built a real achievement in the development of the European West coast.

RESUMEN ESPAÑOL

Los trabajos de construcción de los diques de protección y accesos marítimos (DPAM)

D. Maire y J. Vandenbroeck

La agrupación formada por GTM Terrassement (mandatario), Dredging International, Campenon Bernard TP y Vinci Construction Grands Projets, todas empresas filiales del grupo Vinci, fue encargada a finales de agosto de 2001 de la construcción de la mayor parte de los trabajos marítimos del proyecto Port 2000 de Le Havre (76) por el Puerto Autónomo de Le Havre.

Las cifras principales que describen la obra son las siguientes: cerca de 10 km de diques compuestos por un núcleo de mezcla de gravas no clasificadas

rodeado por materiales silicocalcáreos, de escolleras y de bloques cúbicos y ACCROPODE™ de hormigón, 45 millones de m³ de dragados (principalmente arena y grava), aproximadamente 32000 bloques ACCROPODE™ prefabricados y posicionados uno por uno, dos estructuras de hormigón de 55 m de longitud, 21,50 m de anchura y 30 m de altura, prefabricados en un dique seco, remolcados hasta su emplazamiento definitivo para su varado.

Principales retos: las condiciones marítimas y meteorológicas, particularmente el primer año y cuando los trabajos se encontraban casi totalmente acabados. Asimismo, pero ello se ha transformado en una norma para las obras públicas, la necesaria atención a favor del medio ambiente del estuario del Sena. Finalmente, la satisfacción para el grupo Vinci de haber logrado una actuación efectiva para el desarrollo de la costa oeste europea.

Photo 1

Port 2000 lors de l'ouverture de la digue provisoire et la fermeture de la digue extérieure - Octobre 2004

Port 2000 at opening of the temporary breakwater and closing of the outer breakwater - October 2004



La maîtrise d'œuvre conception et réalisation du projet de Port 2000 a été réalisée par la direction technique du Port Autonome – services dragages et infrastructures –, dont les effectifs ont été renforcés pour l'occasion par deux ingénieurs détachés du ministère de l'Équipement pour la durée du chantier et des équipes de surveillants de chantier en contrats à durée déterminée. L'organisation mise en place est restée classique avec une forte présence sur le chantier.

Ce chantier a été l'occasion de la mise au point de procédés innovants et efficaces en matière de contrôle d'exécution avec l'utilisation de pelles hydrauliques équipées GPS différentiel comme outils de réception topographique. Il a été mené avec un souci omniprésent de préservation de l'environnement tant en terme de conception avec une réutilisation maximale de matériau du site qu'en terme de méthode avec la mise au point d'un plan d'assurance environnement (photo 1).

■ ORGANISATION DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE

Le parti pris par le directeur de projet a été celui d'une organisation transversale des équipes de maîtrise d'œuvre en s'appuyant sur la compétence et l'expérience acquise au sein des deux services de la direction technique directement impliqués dans les études de construction des digues et de creusement du chenal d'accès à la future darse de Port 2000 (figure 1).

Deux équipes en charge de la maîtrise d'œuvre en phase travaux ont été constituées au sein du Service des études et travaux d'infrastructures et du Service des dragages et de l'hydrographie. Elles ont été amenées à assurer le contrôle et le suivi des travaux selon une répartition par spécialités :

- ◆ le Service des études et travaux d'infrastructures pour les travaux de terrassements spécifiques à la construction de la partie supérieure des digues, les travaux de génie civil relatifs à la préfabrication des caissons musoirs et à la construction après pose des superstructures des musoirs et du mur de couronnement;

- ◆ le Service des dragages et de l'hydrographie pour les travaux de creusement du chenal, de construction des soubassements des digues avec les matériaux graveleux du site, de remblaiement des chambres de dépôt et de creusement des souilles, réalisation des couches de fondation et d'assise. L'effectif de ces deux équipes a atteint 36 personnes à temps plein au plus fort du chantier, sans prendre en compte les personnels du bureau d'études mobilisés en partie pour la vérification des plans d'exécution des ouvrages (PEO). Compte tenu des spécificités des travaux, plusieurs modes d'organisation des équipes ont cohabité.

Concernant les travaux de terrassement et de génie civil :

- ◆ un cadre assistant de maîtrise d'œuvre et un technicien expérimenté en charge de l'encadrement des équipes de surveillants et du suivi du chantier (examen des procédures et documents d'exécution, situations mensuelles);

La maîtrise des travaux associés "

- ◆ deux surveillants en postes classiques pour la préfabrication des musoirs (6 h - 22 h – 5 jours/7);
- ◆ deux équipes en postes de marée (14 h/j - 5 à 6 j/semaine) se décalant d'une heure tous les deux jours pour la construction des digues;
- ◆ un surveillant en poste à la marée pour la pose des blocs artificiels de carapace;
- ◆ un surveillant à la journée pour la préfabrication des blocs ACCROPODE™, le contrôle des matériaux et le mur de couronnement.

Ce principe d'organisation a dû en permanence faire l'objet d'adaptations en fonction des conditions météorologiques (postes supprimés ou modifiés) et des rattrapages de planning en découlant (allongement de postes ou postes supplémentaires). Les recrutements ont été soigneusement étalés en fonction du planning général pour tenir compte de la durée maximale de contrat des surveillants en CDD, majoritaires sur le chantier.

Concernant les travaux de dragages, les principes d'organisation des équipes de suivi et de contrôle des travaux ont été les suivants :

- ◆ un hydrographe expérimenté en charge du suivi du chantier et de l'encadrement des surveillants de drague (photo 2); le choix de disposer au sein de la maîtrise d'œuvre d'une compétence forte en hydrographie a été fait compte tenu des enjeux liés aux modes de mesurage et de rémunération fondés sur les levés hydrographiques;

- ◆ une surveillance et un contrôle en continu 24 heures/24 et 7 jours/7 de l'activité des ateliers de dragage par la présence d'un surveillant en permanence embarqué sur certains engins de dragage; l'objectif recherché était de recueillir, indépendamment des rapports journaliers transmis par l'entreprise, toutes les informations utiles sur l'activité des engins principaux (dragues stationnaires à désagrégateur – DSD – affectées à la construction du soubassement des digues, drague aspiratrice en marche – DAM – affectée à l'extraction des matériaux tout-venant graveleux et à la création des stocks provisoires pour la construction des ouvrages) et en particulier concernant les aléas; il convient de préciser le coût d'exploitation, par exemple, d'une puissante DSD de l'ordre de 30 000 à 50 000 €HT par jour;

- ◆ l'appui des équipes de surveillants en deux postes à terre (équipe de deux ou trois surveillants) pour le suivi des travaux de remblaiement hydraulique dans les chambres de dépôt. Ces équipes étaient placées sous la responsabilité de l'assistant de maîtrise d'œuvre du chantier "Quai et dragages associés".

d'œuvre et le suivi " Digues et dragages

Christophe Gauthier

CHEF DU SERVICE
DES ÉTUDES
ET TRAVAUX
D'INFRASTRUCTURES
Port Autonome du Havre

Jean-Pascal Faroux

CHARGÉ DE LA MAÎTRISE
D'ŒUVRE DES TRAVAUX
DE CONSTRUCTION
DES DIGUES ET DE GÉNIE
CIVIL
Port Autonome du Havre

Charles Bizien

ADJOINT AU CHEF DU
SERVICE DES DRAGAGES
ET DE L'HYDROGRAPHIE
EN CHARGE
DE LA MAÎTRISE
D'ŒUVRE DES TRAVAUX
DE TERRASSEMENTS-
DRAGAGES
Port Autonome du Havre

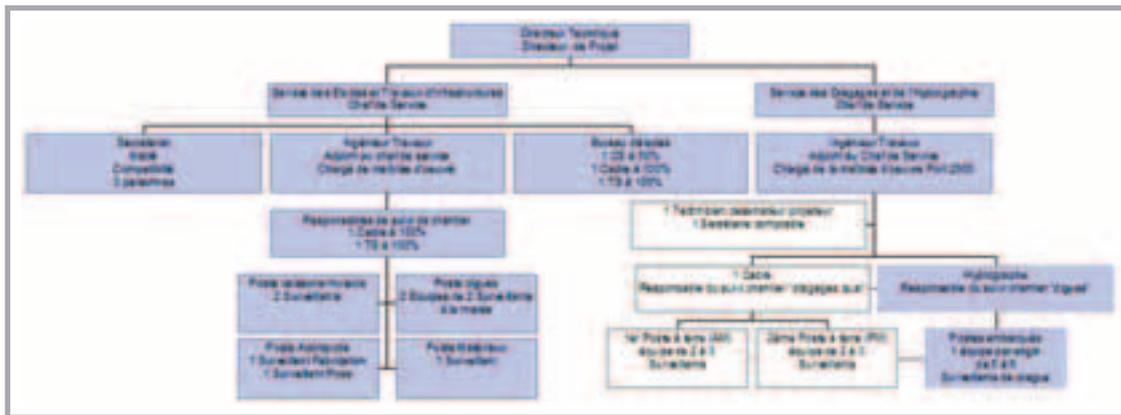


Figure 1
Organigramme de maîtrise d'œuvre du chantier
de construction des digues

*Organisation chart of project management
for the breakwater construction project*

LES ENJEUX LIÉS AUX PRINCIPES DE RÉMUNÉRATION ET LES MOYENS DE CONTRÔLE MIS EN ŒUVRE PAR LA MAÎTRISE D'ŒUVRE

Le principe de rémunération des travaux de dragage repose sur plusieurs modes de mesurage suivant l'usage et la destination des matériaux extraits dans le futur chenal de Port 2000 :

- ◆ les matériaux extraits et immergés sur la zone de dépôt en mer d'Octeville sont rémunérés au mètre cube in situ par cubature entre le levé avant et le levé après travaux sur l'emprise de creusement de chenal, dans la limite des tolérances définies au contrat, après déduction du volume total d'approfondissement des différents volumes des matériaux utilisés pour la construction des ouvrages;
- ◆ les matériaux tout-venant graveleux, extraits et mis en œuvre en soubassement, sont rémunérés en extraction par levés avant et après chaque opération d'extraction dans les deux zones ressources de tout-venant graveleux, les volumes mis en œuvre hors des tolérances du profil de soubassement étant déduits des volumes d'extraction à rémunérer;
- ◆ les matériaux tout-venant sableux, extraits et mis en remblais dans les casiers en arrière de la digue d'enclôture construite à cette fin, sont rémunérés en place par cubature entre le levé avant et le levé après travaux, corrigée des mesures de tassement du terrain naturel, au moyen d'un suivi des tassements par jauges;
- ◆ le Port Autonome du Havre disposant de ces



Photo 2
Drague aspiratrice
stationnaire
avec désagrégateur
"Vlaanderen XIX"
de la société Dredging
International

*Stationary suction
dredger
with "Vlaanderen XIX"
cutter of the Dredging
International company*

propres moyens de suivis bathymétriques de l'évolution des fonds de ses chenaux et bassin, et notamment d'un sondeur multifaisceaux, il a fait le choix de retenir ses moyens pour l'exécution des levés contradictoires initial et final sur l'emprise de creusement des accès de Port 2000, levés essentiels pour la rémunération globale du chantier. De plus, cela permettait d'avoir une continuité dans la mesure des fonds, le levé final devenant le premier levé d'état des fonds pour l'exploitation du nouveau port;

◆ par contre, compte tenu du travail en continu des dragues stationnaires et aspiratrices pour l'extraction du tout-venant graveleux, les levés contradictoires des opérations d'extraction ont été exécutés avec les moyens de l'entreprise permettant à celle-ci de mieux s'organiser dans ses opérations et une plus grande flexibilité;

◆ durant la phase de préparation du chantier, un travail important d'harmonisation des méthodes de



Photos 3 et 4
Réalisation des musoirs en forme 7
Construction of the pier heads in dry dock 7



► positionnement et de transformation géographiques a été mené entre la maîtrise d'œuvre et la cellule hydrographie de l'entreprise pour mettre en cohérence les méthodes et moyens mis en œuvre. Cette harmonisation, qui a débouché sur la mise en œuvre et la validation par l'entreprise des mêmes méthodes de géoréférencement que celles appliquées par la cellule hydrographie du Service des dragages et de l'hydrographie, a permis de supprimer en phase chantier toute discussion sur le mesurage en lui-même.

■ LA MISE AU POINT DES BÉTONS

Trois formules de béton ont été agréées pour l'exécution des travaux de construction des digues :

- ◆ une pour la réalisation des caissons musoirs et de leurs superstructures ;
- ◆ une pour la réalisation des blocs de carapaces artificiels de type ACCROPODE™ ;
- ◆ une pour la réalisation des murs de couronnement en béton extrudé.

La mise au point de ces formulations a été longue et soignée du fait de la multiplicité des contraintes à prendre en compte, décrites ci-après.

Durabilité en milieu agressif

La durabilité des bétons était une préoccupation de la maîtrise d'œuvre compte tenu de l'exposition des ouvrages en milieu marin, en zone de marnage, et de l'expérience du Port Autonome du Havre

sur ses anciens ouvrages en béton armé en précontrainte.

Au-delà des préconisations de formule 65A du C.C.T.G., de la norme NF P18305 et du cahier des charges ACCROPODE™, le CCTP du marché fixait donc des exigences strictes sur le dosage minimal en liant (de type PMES), sur le rapport E/C teneur minimale en ciment : 330 kg/m³ pour les ACCROPODES™ et 380 kg/m³ pour les bétons blocs armés.

Rapport E/C : < 0,40 pour les bétons armés et < 0,45 pour les blocs ACCROPODE™.

Résistance à la compression

La résistance à la compression à 28 jours était fixée par le CCTP à un minimum de 40 MPa pour les ouvrages en BA et le mur de couronnement et pour le cahier des charges ACCROPODE™ de Sogreah à un minimum de 26 MPa.

Le respect des exigences lié à la durabilité et aux contraintes de mise en œuvre amène en pratique à dépasser largement ces prescriptions minimales.

Masse volumique

Le principe du fonctionnement des blocs ACCROPODE™ impose de fixer une masse volumique minimale de 2,35 t/m³, critère qui influe sur la formule définitive correspondante.

Maniabilité et résistance au jeune âge

Plusieurs contraintes ont donc été prises en compte :

- ◆ ACCROPODE™ :
 - forme complexe, difficultés de vibration,
 - résistance au décoffrage,
 - résistance à la mise en stock ;
- ◆ béton armé :
 - voiles de grande hauteur,
 - pompabilité,
 - résistance au décoffrage ;
- ◆ mur de couronnement :
 - aptitude à l'extrusion.

L'ensemble de ces contraintes a nécessité l'emploi de super-plastifiants performants (Prelom 300 et Glenium 27 de Degussa) qui ont permis une très bonne maîtrise de la rhéologie. La teneur en eau a cependant fait l'objet d'une procédure de contrôle approfondie (notamment de l'humidité des granulats) et d'une attention particulière de la maîtrise d'œuvre.

Les études de béton et la fabrication des bétons d'ACCROPODE™ et des caissons musoirs (environ 70 000 m³) ont été assurés par la société Qualibéton, agréée en tant que sous-traitant. La centrale de chantier mise en place par Qualibéton a bénéficié, sur demande de la maîtrise d'œuvre, de la marque NF BPE.

Les centrales de réseau de Unibéton sont intervenues en contrôles d'appoint et de secours pour les gros bétonnages (radiers des caissons musoirs) et pour la fourniture du béton de mur de couronnement.

Le contrôle extérieur des bétons produits a été effectué par la société ABC, agréée par le maître d'œuvre, qui a mis en place un système de radiomaturométrie en sus des éprouves classiques sur éprouvettes.

■ LA LIBÉRATION DES EMPRISES

D'anciens émissaires, qui se situaient sur l'emprise du futur chenal intérieur, devaient être enlevés par leur propriétaire avant le démarrage des travaux de creusement du chenal, pour libérer l'emprise du chantier. Un retard dans ces opérations d'enlèvement a conduit à un blocage dans l'avancement de certains travaux de creusement du chenal. Afin d'éviter un arrêt de plusieurs mois du chantier et limiter les conséquences financières de cette libération tardive, tout en respectant les principes de phasage sédimentologique de construction des ouvrages visant à limiter l'impact des travaux sur l'estuaire de la Seine, un travail d'examen et d'analyse d'un phasage adapté a été mené avec l'entreprise.

■ LA FABRICATION DES CAISSONS-MUSOIRS

Les caissons-musoirs sont les ouvrages d'extrémité des digues à talus de protection. Ces ouvrages verticaux sont destinés à délimiter la passe d'entrée du nouveau port en assurant une ouverture constante quel que soit le niveau de marée, facilitant ainsi la navigation et limitant l'énergie de houle pénétrant dans le bassin. Ces ouvrages ont pour dimensions L 56 m x l 21 m x h 28 m et sont constitués d'un voile périphérique de 70 cm d'épaisseur et de cloisons internes de 30 cm d'épaisseur reposant sur un radier de 1,20 m d'épaisseur. Les caissons vides pèsent chacun environ 14 500 t. Ils ont été préfabriqués dans la forme de radoub n° 7, située à l'intérieur du port existant, dont la moitié de la longueur a été mise à disposition du groupement d'entreprises titulaire du marché.

Les tâches de contrôle extérieur entreprises par la maîtrise d'œuvre (photo 3), en sus du contrôle interne effectué par le groupement dans le cadre de son PAQ, correspondent aux levés des points d'arrêt classiques sur tout ouvrage de génie civil. A savoir : vérification de qualité des aciers et de la conformité aux plans d'exécution de coffrage et de ferrailage, avec une attention particulière sur le respect de l'enrobage de 5 cm compte tenu de l'exposition des ouvrages (photos 4 et 5).



Photo 5
Construction des caissons musoirs en forme 7
Construction of the pier head caissons in dry dock 7

Afin d'accélérer ces levés de point d'arrêt sans nuire à la qualité, et pour éviter au maximum les délais supplémentaires préjudiciables au planning général occasionnés par un refus, la maîtrise d'œuvre a choisi d'assurer une présence permanente et des contrôles en continu sur ce site de préfabrication. Les bétonnières portées approvisionnant le chantier faisaient systématiquement l'objet d'un contrôle en terme de consistance et de composition du béton sur chaque gâchée (à partir du bon de pesée). Cette préfabrication s'est parfaitement déroulée.

Les superstructures des musoirs, qui ne pouvaient être mises en œuvre qu'après la pose de ces derniers et le raccordement des digues, ont été réalisées à l'avance sous forme d'éléments préfabriqués. Cette préfabrication s'est déroulée dans les mêmes conditions de contrôle que celles des caissons.

La pose et le clavetage ont été rendus plus difficiles par l'exposition du site et la cote de la plateforme de travail ne protégeant pas de la houle à marée haute. Des aciers en attente ϕ 32 ont dû par exemple être remplacés après avoir été pliés à 90° lors d'une tempête.

■ LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES A LA POSE DES CAISSONS MUSOIRS ET LEUR TRANSPORT ET ÉCHOUAGE

Compte tenu des tirants d'eau importants des caissons, les périodes de forts coefficients de marée offrant des fenêtres temporelles suffisamment longues pour les opérations de sortie de forme des caissons, leur remorquage sur le site d'échouage et leur pose, étaient peu nombreuses : la réussite de ces opérations durant le créneau se présentant

Photo 6
Transport, pose
et remplissage
des caissons
musoirs

*Transport, laying
and filling
of the pier head
caissons*



La mise en place des deux caissons-musoirs, marquant la passe d'entrée de Port 2000, a nécessité au préalable le creusement de deux souilles, la réalisation de couches de fondation et d'assise et leur réglage. Le suivi de ces travaux, et en particulier la levée des points d'arrêt relatifs au réglage des couches d'assise destinées à recevoir les caissons, a également mobilisé intensément l'équipe de maîtrise d'œuvre (photo 6).

L'hydrographe de la maîtrise d'œuvre a été amené à participer, de jour comme de nuit avec des préavis très courts, à l'exécution des levés hydrographiques de contrôle d'exécution attachés aux points d'arrêt, à suivre le traitement des données de sondage effectué par l'entreprise dans la foulée, permettant la levée des points d'arrêt par le responsable de la maîtrise d'œuvre dans les heures suivant la fin de chacune des opérations de creusement, de mise en œuvre des matériaux de fondation, d'assise et de réglage. Cette coopération avec les équipes de travaux du groupement d'entreprises ainsi que la réactivité et disponibilité des équipes ont été essentielles dans le respect du planning très serré. Le contrôle de planéité de la première couche d'assise – réglée en premier et dont les opérations de désenvasage n'ont pu être finalisées que la veille du jour J de lancement des opérations de transport et pose – s'est par exemple déroulé 6 heures avant l'échéance de décision de lancement de la sortie des musoirs. A cette occasion notamment, la maîtrise d'œuvre a mobilisé la vedette du Service des dragages et de l'hydrographie équipée du sondeur multifaisceaux pour l'exécution d'un contrôle extérieur, qu'elle estimait nécessaire pour mieux juger de la conformité du réglage, dont les tolérances étaient très strictes : ± 5 cm en planéité.

Photo 7
Moulage et décoffrage
des ACCROPODE™

*Moulding and shuttering
removal
from the ACCROPODE™ blocks*



▶ durant le mois de mai était primordiale pour le respect du planning général.

Une attention toute particulière du planning et de l'ordonnancement des opérations de transport et pose des caissons a été apportée dans ce contexte par la maîtrise d'œuvre en relation avec le Service de la Capitainerie du Port Autonome, notamment pour limiter au mieux les contraintes sur l'exploitation du port durant les opérations et limiter les risques d'incidents lors du cheminement dans les accès (échouage accidentel dans le chenal actuel), qui auraient pu avoir comme conséquence désastreuse de bloquer le port. Une analyse des risques a été demandée à l'entreprise, qui devait évaluer pour chacune des opérations les risques prévisibles et proposer des mesures préventives et correctives permettant de réagir aux aléas. Un suivi en temps réel du déroulement de ces opérations a été effectué par l'hydrographe du PAH à bord du ponton bigue employé au remorquage et à la pose des musoirs, permettant à la maîtrise d'œuvre d'être en mesure de réagir à tout instant.

■ PRÉFABRICATION DES BLOCS ACCROPODE™

La fabrication puis la pose des ACCROPODE™ se sont effectuées sous le contrôle technique de la société Sogreah, propriétaire de la marque déposée. Les blocs artificiels ACCROPODE™ de 3 m³, 2 m³ et 1,5 m³ ont été préfabriqués sur le site des travaux. Ces blocs n'étant pas armés, les contrôles de la maîtrise d'œuvre ont porté sur la conformité du béton (consistance et composition) et sur la vérification au décoffrage. La mise en œuvre et la vibration du béton 0/40 mm, rendue délicate par la géométrie de ces blocs, ont rendu nécessaires de nombreux essais pour élaborer et valider une procédure d'exécution permettant d'obtenir un résultat impeccable. Ainsi, le groupement a été amené à utiliser deux fonds pour chacun des coffrages, de façon à assurer un cycle de coulage quotidien, décoffrage à 24 heures et manipulation du bloc à 48 heures (photos 7 et 8).

■ MUR DE COURONNEMENT EN BÉTON EXTRUDÉ

Le mur de couronnement prévu au marché était un mur classique en L, de section constante sur toute la longueur des digues de protection. Dans le cadre de son objectif de maîtrise des coûts, la maîtrise d'œuvre a, en cours de chantier, examiné avec le groupement d'entreprises différentes pistes d'optimisation de la structure des digues de protection n'influant pas sur la qualité de service ou la durabilité de l'ouvrage, afin de compenser des surcoûts liés à des difficultés antérieures.

Le groupement a, dans ce cadre, étudié et proposé au maître d'œuvre une solution originale d'optimisation du mur de couronnement des digues de protection portant sur la hauteur variable suivant les sections, le profil en travers, et le mode de réalisation en béton extrudé (ce mur n'est pas armé pour éviter toute corrosion liée à la fissuration de retrait inévitable).

La réalisation de profils extrudés d'une telle section et hauteur est une première à mettre à l'actif du mandataire du groupement, GTM Terrassement, et de son sous-traitant Eurovia Béton.

Cette technique, tout en diminuant sensiblement le coût, a également permis de réduire considérablement le délai de réalisation de ce mur, ce qui a permis de le réaliser de façon anticipée, contribuant ainsi à une meilleure protection des ouvrages en phase travaux.

Cette réalisation n'a pas posé de problèmes notables d'exécution (photo 9).

■ MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES DIGUES

Les digues d'enclôture et de protection de Port 2000 sont constituées de quatre natures différentes de matériaux :

- ◆ tout-venant graveleux issu des dragages du site ;
- ◆ tout-venant et enrochements silico-calcaires ;
- ◆ enrochements durs ;
- ◆ blocs artificiels cubiques de réemploi et blocs ACCROPODE™ (cf. supra).

Les carrières ont été proposées par le groupement et ont fait l'objet d'un dossier complet d'agrément de leurs capacités à produire la qualité et la quantité requises. La maîtrise d'œuvre s'est fait assister par le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Rouen, tant pour l'agrément initial des carrières que pour certains contrôles en cours de production. Compte tenu des quantités importantes à approvisionner, la maîtrise d'œuvre a favorisé les solutions de transport exclusivement maritimes et fluviales en mettant à disposition du groupement un terrain situé dans une darse proche du chantier pour y construire des appontements provisoires.



Photo 8
Préfabrication et stockage des Accropode™ sur le site de Port 2000
Prefabrication and storage of Accropode™ blocks on the Port 2000 site



Photo 9
Réalisation du mur de couronnement de la digue extérieure de Port 2000
Construction of the coping wall on the Port 2000 outer breakwater

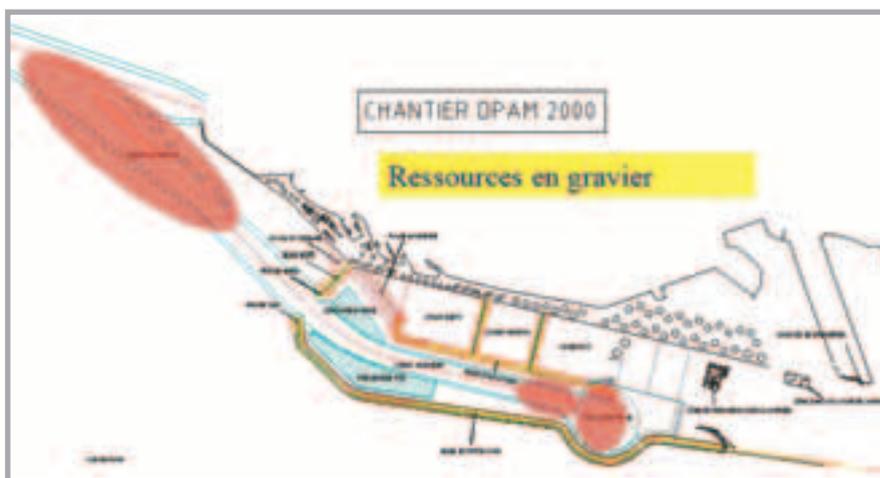


Figure 2
Schéma des ressources en gravier sur le site
Diagram of fine gravel resources on the site

Tout-venant graveleux (figure 2)

C'était un choix du maître d'œuvre, dès la phase de conception, de privilégier au maximum la réutilisation des matériaux du site pour la construction, au double bénéfice d'une économie pour le projet et d'une limitation des clapages de matériaux excédentaires dans la zone de dépôt de dragages d'Octeville. Le site des travaux a donc fait l'objet de nombreux sondages afin d'identifier les gise-

Photo 10
Construction de la digue
extérieure de Port 2000

Construction of the outer
breakwater of Port 2000



ments de matériaux tout-venant graveleux réutilisables dans les digues comme dans les plages intérieures et extérieures.

A partir de ces données et de ses propres analyses, le groupement a pu, ainsi, proposer au maître d'œuvre un fuseau granulométrique permettant de répondre en quantité suffisante aux fonctions attendues pour le tout-venant graveleux (soubassement, noyau et plages). L'autocontrôle du groupement et les contrôles de la maîtrise d'œuvre ont porté sur le respect de ce fuseau granulométrique.

Tout-venant 0/50 kg
et enrochements silico-calcaires
50/200 kg et 200/500 kg (photo 10)

Ce matériau, spécifique à la région, consiste en des silex enrobés dans une matrice calcaire, tendre à dur suivant les gisements. Ses caractéristiques mécaniques et sa densité sont nettement inférieures à celles des enrochements durs mais sont suffisantes pour qu'il soit utilisé comme matériau de filtre en sous-couche dans les ouvrages. Le comportement de type marneux de ce matériau a, en particulier, permis d'assurer un bon maintien à l'eau du noyau en sable et galets, dans les phases d'exposition à court terme précédant la pose des enrochements durs de protection.

Compte tenu de la nature et l'emploi de ces matériaux, les seules caractéristiques imposées au CCTP portaient sur la blocométrie, la masse volumique (> 2,35 t/m³) et l'indice de continuité (> 40). Pour ce chantier, le groupement a procédé à la ré-

ouverture, à l'exploitation, puis à la réhabilitation d'une carrière située en bordure de Seine sur la commune de Trouville-la-Haule, dans le Parc naturel régional de Brotonne.

Ces caractéristiques ont été vérifiées initialement pour l'agrément, puis quotidiennement pour les blocométries et ponctuellement pour l'indice de continuité, dans le cadre de l'autocontrôle du groupement. La maîtrise d'œuvre était presque systématiquement présente à ces essais et a, de plus, procédé à des contrôles extérieurs intempestifs avec le LRPC.

Enrochements durs 50/200 kg,
200/500 kg, 300/700 kg,
500/1 000 kg, 200/1 000 kg,
1 000/2 000 kg

Ces enrochements, de type quartzite, devaient respecter un grand nombre de caractéristiques mécaniques fixées par le CCTP d'après le fascicule "les enrochements" du LCPC. Toutes ces caractéristiques ont fait l'objet d'essais et de vérifications lors de l'agrément des trois carrières situées en Basse-Normandie. Compte tenu de l'homogénéité des gisements, seuls les blocométries et l'indice de continuité ont fait l'objet de contrôles fréquents pendant les travaux, de même que pour les enrochements silico-calcaires. Afin d'éliminer la prise en compte de la fracturation lors de la chaîne de transport, ces contrôles ont toujours été effectués sur les stocks de chantier précédant directement la mise en œuvre. La seule exception à cette règle

a porté sur les enrochements directement mis en œuvre par voie maritime (butée de pied et couche d'assise des caissons) pour lesquels le contrôle s'est effectué avant chargement du navire.

■ CONSTRUCTION DES SOUBASSEMENTS : MÉTHODE DE GESTION DES ÉROSIONS

Dans le cadre de sa variante, le groupement d'entreprises a proposé la mise en œuvre d'une clause d'incitation ayant pour objectif de prévenir et gérer au mieux le risque d'érosion des soubassements durant la phase provisoire de leur construction et surtout durant la phase d'exposition temporaire à l'action de la mer en attente de la construction de la partie supérieure de la digue, dans le cadre d'un partenariat entre l'entreprise et le maître d'ouvrage.

Un comité, constitué de l'entreprise, de la maîtrise d'œuvre et d'experts extérieurs a, tout au long du chantier, analysé les déplacements des matériaux et les érosions de ces soubassements dont le phasage et le mode de construction étaient gérés par l'entreprise. Un budget était réservé pour d'éventuelles mesures correctives, décidées par ce comité qui auraient été mises en œuvre par l'entreprise. Le reliquat disponible sur ce budget était, en fin de chantier, réparti entre les membres, chacun d'entre eux étant ainsi incité à l'utiliser au minimum et donc à rechercher les solutions optimales. Il faut rappeler que le phasage de construction des digues, visant à limiter l'impact sédimentologique sur l'estuaire de la Seine en phase travaux, imposait une construction déphasée entre le soubassement et la partie supérieure pouvant aller jusqu'à six mois d'exposition provisoire du soubassement. Lors du début de construction du soubassement des digues extérieures de protection d'ouest en est (photo 11), l'extrémité du soubassement en construction a été déplacée sur un linéaire de plus de 50 m par l'action de la houle conduisant à mettre une majeure partie des volumes en place hors du profil théorique. Suite à cet événement et dans le cadre de la "gestion des érosions", il a été décidé de se limiter à l'exécution temporaire d'un profil limité qui, tout en garantissant son rôle de déviation des courants imposé par le phasage sédimentologique, devait évoluer sous l'action des courants et des houles, les matériaux restant in fine dans le profil théorique. A l'avancement de la partie supérieure, le profil réduit remodelé pouvait être complété pour obtenir le profil minimum requis. Cette mesure a été de nature à éviter des pertes importantes ou des travaux de reprise et remodelage et reprofilage (figure 3).

L'incident survenu lors de la première fermeture du casier Est a également amené l'entreprise et la



Photo 11
Réalisation du soubassement de la digue

Execution of the breakwater bedrock

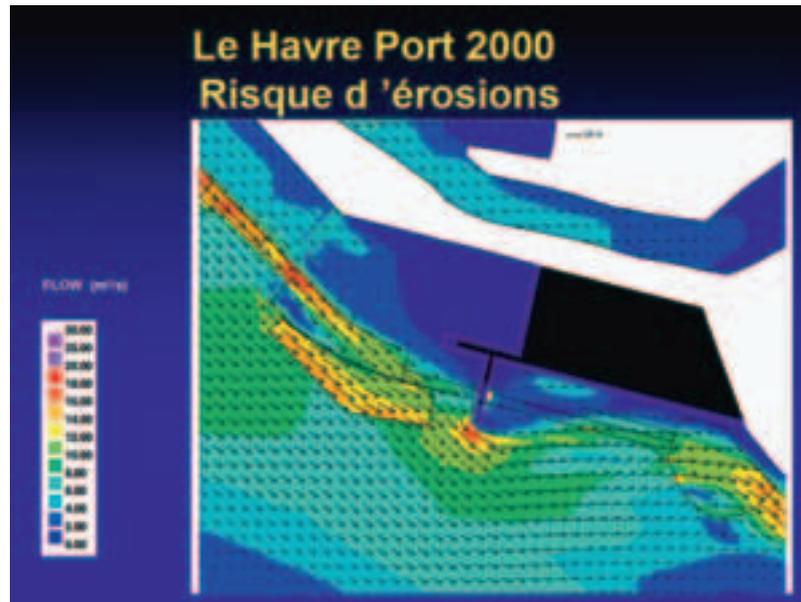


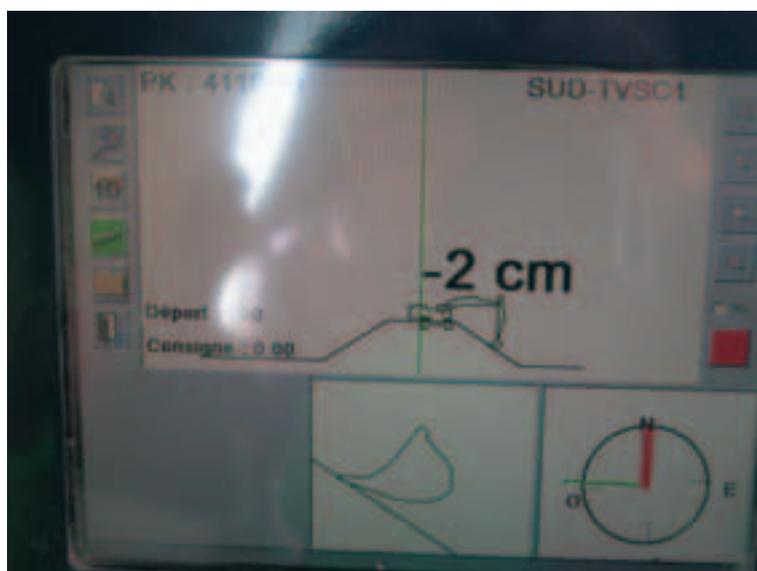
Figure 3
Schématisation des courants et de l'érosion sur le site de Port 2000

Schematic representation of currents and erosion on the Port 2000 site

maîtrise d'œuvre, dans le cadre de la gestion des érosions, à réfléchir sur une des dernières opérations délicates du chantier : la fermeture de la boucle dite "Est", c'est-à-dire la fermeture de la digue sud au droit du cercle d'évitage. La problématique était la suivante : le plan d'eau situé à l'est de la digue d'accès provisoire fonctionnait comme un grand bassin oscillant avec les marées et induisant des vitesses de courant au droit de la fermeture. Ces vitesses augmenteraient à la réduction de la largeur de passe jusqu'à devenir critique, risquant d'entraîner la ruine par érosion des extrémités d'ouvrage. Un phasage astucieux, de démontage de la digue d'accès provisoire, en parallèle de la fermeture de la boucle Est, a été élaboré et vérifié sur modèle numérique, celui-ci visant à équilibrer les niveaux d'eau au niveau de la fermeture à la fois au flot et au jusant et de rendre presque nuls les courants de marée au droit de la passe tout au long de la fermeture de la digue.

Photo 12
Schéma de guidage
de la pelle

Shovel guiding
diagram



► ■ CONSTRUCTION DES DIGUES

La réalisation des digues à talus proprement dites s'est effectuée, à l'exception de quelques points singuliers, par voie terrestre avec un avancement journalier compris entre 15 et 40 ml. Après analyse des risques, la maîtrise d'œuvre a retenu pour le contrat un mode de rémunération des tout-venants et enrochements fondé sur le volume (plutôt que sur le tonnage) effectivement mis en œuvre, avec une tolérance qualitative ponctuelle de $\pm 20\%$ sur l'épaisseur d'une couche et une tolérance moyenne (sur au moins 20 ml) de $\pm 5\%$ sur le volume total de chaque couche. Cette disposition permettait de maîtriser l'enveloppe financière, indépendamment des problèmes de densité d'enrochement, variable suivant les carrières, et des pertes à la mise en œuvre, mais elle nécessitait en contrepartie des levés topographiques précis sur le soubassement puis entre chaque couche de matériaux. Le décalage d'avancement entre les différentes couches devant être réduit autant que possible pour assurer la protection de l'ouvrage, cinq à dix profils en travers devaient donc être réalisés quotidiennement.

Le temps nécessaire à ces levés, ainsi que les conditions de sécurité du personnel (accès dans un talus à 3/2 en enrochements mouillés), ont amené la maîtrise d'œuvre à rechercher avec le groupement d'entreprises, dès la signature du marché, un procédé original permettant d'assurer la sécurité et la précision de ces interventions sans nuire à la rapidité d'avancement des travaux.

GTM Terrassement a proposé d'améliorer les systèmes de guidage de pelle hydraulique existants et a pu présenter un système fondé sur l'utilisation du GPS différentiel et de capteurs de déplacement du bras permettant de connaître la position du godet dans l'espace avec une précision inférieure à 5 cm (photo 12). Moyennant une procédure de validation et des vérifications régulières, la maîtrise d'œuvre a accepté d'agréer la pelle de travail com-

me outil de réception topographique. Il est à noter que cet outil a également permis au groupement de faciliter le réglage des couches, y compris sous eau, limitant ainsi considérablement les volumes hors tolérances non rémunérés.

Lors des phases de levé, le personnel de surveillance de la maîtrise d'œuvre recevait en temps réel les coordonnées sur un écran déporté pour garantir l'absence de manipulation sur les fichiers. Les surveillants de chantier avaient également pour tâche de vérifier que le bon matériau était utilisé pour une couche donnée et devaient tenir à jour un journal de chantier extrêmement détaillé pour permettre de reconstituer précisément l'historique des tâches exécutées et des moyens mis quotidiennement en œuvre en cas de litige éventuel.

Le risque principal portant sur l'endommagement des ouvrages inachevés par la houle, et en particulier l'extrémité de la section en cours dont le noyau est exposé, le marché prévoyait l'obligation pour l'entreprise de définir différents degrés de protection des musoirs provisoires en fonction des prévisions de houle fournies par Météo France. Le temps de mise en place et d'enlèvement d'un musoir surdimensionné étant, de fait, incompatible avec un avancement quotidien. Une formule d'indemnisation partielle de l'entreprise a été mise en place dans le cas spécifique de défaillance de ce musoir par suite d'une erreur de prévision ne pouvant lui être imputée. Cette disposition a dû être appliquée à plusieurs reprises durant le chantier. Hormis ce cas, le groupement d'entreprises avait la charge normale de la protection et de l'entretien de l'ouvrage jusqu'à la réception des travaux.

De plus, le marché prévoyait une assurance spécifique sur la bonne tenue de la carapace des digues de protection sous une houle décennale, pour une durée de trois ans.

A l'exception de dommages réguliers dus à de fortes houles en cours de chantier, et notamment lors de la tempête du 17 décembre 2004, quelques difficultés techniques et incidents ont affecté la réalisation des travaux de digue. Ainsi, quelques grands glissements localisés se sont produits du fait de la présence de poches de silts qui n'avaient pas eu le temps de se consolider sous l'effet de la charge du soubassement (décalage insuffisant entre la réalisation du soubassement et de la digue). Par ailleurs, une digue s'est rompue lors d'une opération de fermeture du casier de dépôt Est, présentant un grand volume oscillant (volume d'eau devant s'évacuer à chaque marée) qui n'a pas été réalisée en période de mortes eaux.

■ LA MAÎTRISE DES COÛTS ET DES DÉLAIS

Comme dans tout projet de cette envergure, le souci de maîtriser les coûts et les délais pour le maître



Photo 13
Construction de la digue
avec des blocs
Construction of the breakwater
with blocks

d'ouvrage est resté omniprésent du début à la fin du chantier. Le respect du planning était d'autant plus important que le choix d'organisation globale de l'opération s'est porté sur un découpage de l'opération en deux marchés principaux, l'un relatif à un chantier essentiellement terrestre (construction du quai) et l'autre relatif à la constitution des digues et aux accès maritimes. Ce choix de découpage, bien que limitant les interfaces au maximum, n'a néanmoins pas totalement éliminé celles-ci. En effet, à titre d'exemple, la construction du quai nécessitait la mise à disposition de surfaces créées pour les infrastructures réalisées dans le cadre du marché digue, notamment pour la mise en dépôt de matériaux de dragage. Il était donc fondamental de respecter un enchaînement des stocks et donc de limiter les dérapages dans le planning du déroulement des deux chantiers. Ceci est particulièrement ardu dans un contexte de chantier maritime, soumis aux intempéries pouvant générer des périodes significatives d'arrêt de chantier. La maîtrise d'œuvre a donc mis en place un dispositif destiné à anticiper les inévitables dérapages du planning mais surtout à évaluer les incidences de ceux-ci sur le déroulement global de l'opération. Une mission de suivi du planning général de l'opération a été confiée à un intervenant extérieur qui, tout au long du chantier, procédait à un bilan trimestriel. Des réunions mensuelles de coordination de l'ensemble des composants de la maîtrise d'œuvre ont été tenues. Enfin, des réunions dites "interfaces", pilotées par la maîtrise d'œuvre et réunissant les titulaires des deux marchés principaux, ont été menées autant que de besoin et au plus fort du chantier tous les trimestres. Ce dispositif a

permis, à plusieurs reprises, d'ajuster les différents plannings en cohérence avec les contraintes opérationnelles et contractuelles.

Un autre instrument, mis au point pour éviter les risques de dérapage en terme de coût, est l'obligation contractuelle faite à l'entreprise d'optimiser les ouvrages dans le cadre de ses études d'exécution par le biais d'une clause spécifique figurant dans le CCTP. Ce principe permet, en effet, au maître d'œuvre d'exiger de l'entreprise la reprise de l'étude de partie d'ouvrages s'il estime que des économies peuvent être réalisées.

Ce fut notamment le cas pour le ferrailage des caissons musoirs, le dimensionnement du mur de couronnement et le nombre d'ACCROPODE™ fabriquées et mises en place en substituant à celles-ci des blocs cubiques provenant d'ouvrages anciens devant être démolis (photo 13).

■ LA GESTION DES IMPRÉVUS

Dès l'élaboration du dossier de consultation, la maîtrise d'œuvre s'est efforcée de réduire au mieux la survenance de conditions non prévues par le marché. Dans cette optique, le dossier élaboré en interne par le Port Autonome du Havre, après une reconnaissance géotechnique détaillée ainsi que des études sur modèle numérique et physique du comportement des ouvrages en phase définitive et en phase chantier, a été examiné par les équipes chantiers, notamment en ce qui concerne les modes de rémunération, ainsi que par un consultant juridique.

Tout au long du déroulement des travaux, une pré-



sence forte sur le chantier de la maîtrise d'œuvre interne au Port Autonome et la tenue régulière de réunions de chantier a permis de déceler, au fur et à mesure de leur apparition, les événements potentiellement générateurs d'impondérables. Le parti retenu a été de rechercher dans la mesure du possible, après une analyse contractuelle de la situation, un règlement technique et financier de la situation dès leur survenance avec le titulaire du marché plutôt que de repousser la recherche de solution en fin de chantier.

C'est ainsi que de nombreuses parties d'ouvrages ont fait l'objet d'adaptations techniques, généralement proposées par le titulaire et acceptées par la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage, prises en compte dans le cadre du marché soit par des prix supplémentaires, soit par la forfaitisation de parties d'ouvrages, voire des avenants.

ABSTRACT

Project management and follow-up of "Breakwaters and associated dredging" works

Ch. Gauthier, J.-P. Faroux, Ch. Bizien

Project management for the design and execution of the Port 2000 project was performed by the Technical Department of Port Autonome – dredging and infrastructure services, whose workforce was reinforced for the occasion by two engineers assigned by the Ministry of Equipment for the length of the project and by teams of project supervisors on fixed-term contracts. The organisation set up remained conventional, with a strong presence on the site.

This project was an opportunity to develop efficient, innovative processes in the area of work monitoring, using hydraulic shovels equipped with differential GPS as topographic receiver facilities. It was carried out with a constant concern for environmental conservation regarding both the design, with maximum recycling of site material, and regarding the method, with the finalisation of an environmental insurance plan.

RESUMEN ESPAÑOL

La dirección de obra y el seguimiento de los trabajos "Diques y dragados correspondientes"

Ch. Gauthier, J.-P. Faroux y Ch. Bizien

La dirección de obra, establecimiento del concepto y realización del proyecto de Port 2000 se ha llevado a cabo por la dirección técnica del Puerto Autónomo – departamentos dragados e infraestructuras –, cuya plantilla de personal se ha ampliado para esta ocasión por dos ingenieros destinados del ministerio de Fomento para toda la duración de las obras y de los equipos de guardas de obras en contratos de duración determinada. La organización implantada ha permanecido convencional con una presencia importante en la obras.

Esta obra ha sido la ocasión para la elaboración de procedimientos innovadores y eficaces en materia de control de la ejecución con la utilización de palas hidráulicas dotadas de GPS dife-

rencial como herramientas de recepción topográfica. Esta obra se ha llevado a cabo con un afán omnipresente de preservación del medio ambiente tanto en término de diseño con un reemplazo máximo de material del propio emplazamiento como en término de método con la puesta a punto de un plan de seguro medioambiental.



Construction du quai extérieur en paroi moulée

Le quai extérieur de Port 2000 concerne quatre nouveaux postes à quais en eau profonde, pour une longueur totale de 1602 m. Ces travaux, confiés à Solétanche Bachy France intervenant en entreprise générale, viennent de s'achever dans les délais alors même que sont survenus deux événements imprévus majeurs. Le premier événement est d'ordre hydrogéologique et a nécessité la réalisation d'écrans au coulis profonds et le renforcement de la capacité de rabattements de nappe. Le deuxième est le sinistre survenu en août 2003 suite à la rupture accidentelle d'un batardeau provisoire, dont la réparation a nécessité la démolition puis la reconstruction de 240 m de quai dans un contexte géotechnique et maritime très complexe. Les délais répondant aux desiderata du maître de l'ouvrage ont néanmoins pu être tenus.

Le port du Havre, premier port de conteneurs et deuxième port pétrolier de France, a décidé d'augmenter sa capacité en construisant, à l'extérieur du port existant, un nouveau port en eau profonde.

La première tranche des travaux d'équipements liés à ce projet concernait la mise en service, à l'abri d'une nouvelle digue de protection, d'un ensemble de quatre postes pour un linéaire de quai de 1602 m, dans une opération baptisée "Quai extérieur" attribuée à Solétanche Bachy France dans le cadre d'un marché d'entreprise générale.

Ces travaux, commencés en mai 2001 (ordre de service), ont été réceptionnés par le Port Autonome du Havre en avril 2005. Ils comprennent l'ensemble des diverses opérations nécessaires à ce type d'ouvrage : fondations, rabattement de nappe, terrassements et dragages, génie civil, rideaux d'ancrage et tirants, pose des appareils et des voies de portiques.

Le présent article décrit le projet et sa réalisation, y compris les travaux de réparation d'une partie de l'ouvrage accidentellement sinistrée pendant l'exécution.

■ PRÉSENTATION DU SITE

Le croquis de la figure 1 présente, vu en plan, le contexte initial de l'opération "Quai extérieur" : un site terrestre mais quasiment marin à ses extrémités est et ouest et dont le régime hydrogéologique est soumis à l'influence de la marée.

Le site a été gagné sur la Seine par remblaiement hydraulique, et ce depuis la fin de la seconde guerre mondiale, au gré des aménagements progressifs du port du Havre.

On trouve donc en surface des remblais en cours

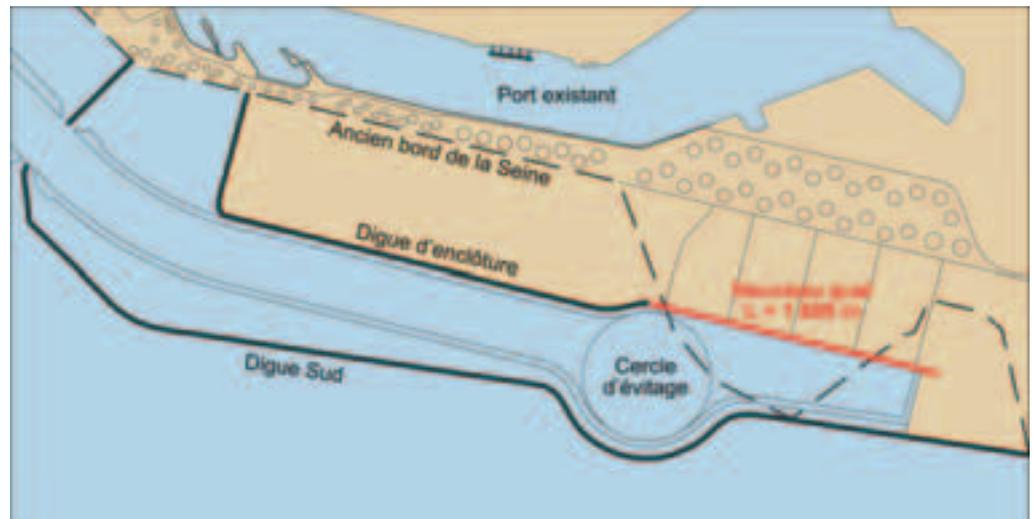


Figure 1
Contexte d'implantation du quai extérieur de Port 2000
Location context of the Port 2000 outer quay

de consolidation issus des refoulements hydrauliques et dont la plus grande partie se trouvait avant les travaux à la cote + 10 CMH environ. L'ancien lit du fleuve était initialement vers la cote 0 CMH. Il est constitué de dépôts alluvionnaires récents dits "dépôts vasards". Le projet prévoit d'évacuer entièrement cette couche et de lui substituer un remblai de meilleures caractéristiques. La couche principale, de 19 à 29 m d'épaisseur, est composée de sables fins à grossiers, répartis en deux formations principales : en partie supérieure, des sables fins coquilliers, généralement assez propres et pulvérulents avec intercalations locales de fins lits silteux ; en partie inférieure, des sables fins à grossiers gris-verts avec des graviers roulés et des galets, ce faciès comportant des inclusions de sables fins à moyens.

En profondeur, on trouve des sédiments fins continentaux constitués de silts plastiques, formations qui constituent une barrière hydraulique par rapport aux alluvions. Ces dernières, appelées "graves de fond" sont constituées de sables grossiers, de graviers assez anguleux, de galets de silex et de blocs

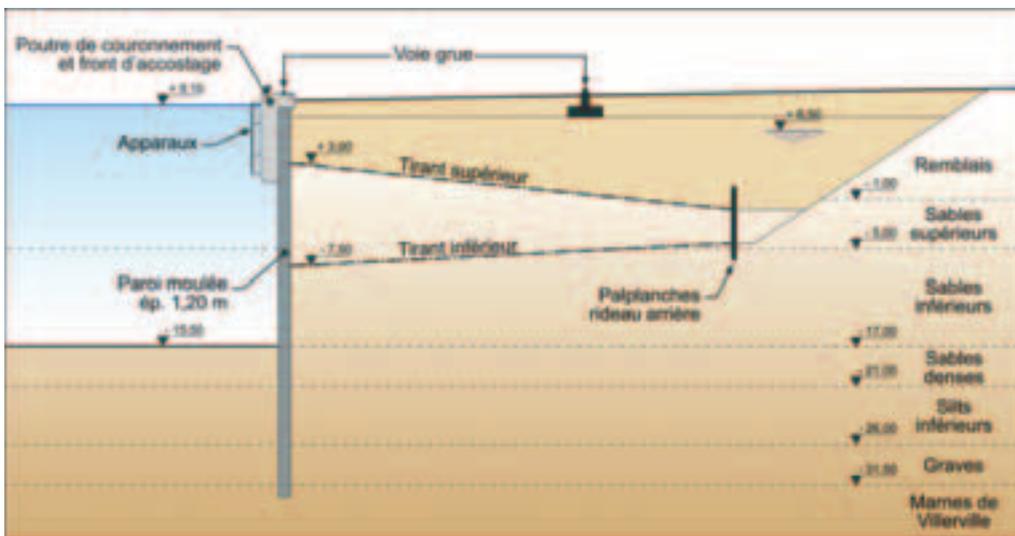


Figure 2
Coupe type
de la structure du quai
*Typical cross section
of the quay structure*



Photo 1
Réalisation de la paroi
moulée formant le quai

*Construction
of the diaphragm wall
forming the quay*



Photo 2
Réalisation
du génie civil
de la poutre
de couronnement

*Performance
of civil engineering
for the coping
girder*

de plus de 100 mm. Le substratum, quant à lui, est formé des marnes de Villerville (argile marneuse noire ferme à raide) qui règnent entre - 29 et - 32 CMH. Trois nappes phréatiques différentes ont été identifiées :

- ◆ la nappe superficielle des dépôts vasards qui varie, selon la perméabilité, entre + 10 CMH à l'est et + 6,6 CMH au nord-ouest; elle n'existe plus après le terrassement;

- ◆ la nappe des sables qui s'établit à la cote + 6,50 CMH environ;

- ◆ la nappe des graves; les piézomètres montrent qu'elle suit la marée avec une amplitude amortie mais sans déphasage.

La marée varie entre + 0,10 CMH et + 9,10 CMH. Les terrassements se font à l'abri d'un rabattement de nappe à - 1,0 CMH pour le terrassement devant la paroi côté mer et - 8,50 CMH derrière la paroi côté terre.

■ PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

La structure est constituée d'une paroi moulée implantée au droit de la future voie de roulement avant des portiques. Cette paroi est ancrée dans les marnes de Villerville en profondeur. Elle est surmontée par un masque d'accostage et une poutre béton armé liaisonnant les panneaux de paroi moulée entre eux et servant de support aux futurs équipements du quai : défenses, bollards, échelles, voies de portique et autres appareils.

En phase définitive, le quai ainsi constitué est retenu par un dispositif d'ancrage arrière constitué de deux nappes de tirants passifs inclinés. Les tirants sont mis en place au fur et à mesure, après un terrassement sur plus de 17 m de hauteur, et accrochés à un rideau de palplanches arrière. Une fois achevés ces travaux, qui comprennent notamment le remblai en arrière du quai, on procède au dragage à sa cote définitive de la future darse en avant du quai.

La figure 2 présente une coupe type de la structure, sur laquelle est également représentée la voie arrière de portique sur semelle filante positionnée à 35 m en arrière du bord du quai.

■ PHASAGE ET POINTS PARTICULIERS DES TRAVAUX

En raison des conditions hydrogéologiques particulières de ce site en bordure de l'estuaire de la Seine, la réalisation des travaux doit obéir à un phasage strict.

Ainsi, les diverses phases principales de réalisation des travaux comprennent-elles :

- ◆ phase 1: travaux préparatoires, décapage et débroussaillage des zones de travail et des zones de dépôt, mise en place de la logistique complète du site y compris les zones d'assemblage des aciers, le montage des centrales bétons, les accès pour l'approvisionnement par voie ferrée des aciers, des tirants et des palplanches;
- ◆ phase 2: réalisation de la paroi moulée (photo 1);
- ◆ phase 3: mise en œuvre des rabattements de nappe en avant et en arrière du quai sachant que, compte tenu des hypothèses de dimensionnement

de la paroi moulée, les travaux ne peuvent être poursuivis que si les conditions de rabattement sont satisfaites ;

◆ phase 4 : terrassement sous rabattement en avant du quai et réalisation des travaux de génie civil du masque d'accostage et de la poutre de chaînage en tête de paroi (photo 2) ;

◆ phase 5 : terrassement en arrière du quai sous rabattement provisoire de la nappe ;

◆ phase 6 : mise en œuvre du rideau arrière de palplanches et du lit inférieur de tirants ;

◆ phase 7 : remblais première phase et pose du lit de tirants supérieur ;

◆ phase 8 : remblais seconde phase, remontés quasiment jusqu'au niveau final (photo 3) ;

◆ phase 9 : arrêt des rabattements de nappe provisoires, le quai étant alors en sécurité ;

◆ phase 10 : dragage de la darse de Port 2000, en avant du quai (photo 4) ;

◆ phase 11 : installation des différents appareils sur le quai et réalisation de la voie arrière de portique ;

◆ phase 12 : travaux de finition : talus de fond de darse, reprofilage de digue, remblais troisième phase en arrière du quai et finitions diverses.

Ce phasage est présenté de manière très simplifiée. Il ne mentionne pas les travaux de détection d'engins de guerre, de décapage général de la darse, de démolition des digues (digue de la fosse CIM et nouvelle digue ouest) qu'il a fallu également réaliser. Mais il permet de souligner le rôle vital joué par les rabattements de nappe dans la faisabilité du projet.

Or, il est apparu dans le cours de la réalisation qu'il était impossible d'atteindre les objectifs de rabattement correspondant aux hypothèses de calcul. Ainsi, à l'issue d'une analyse poussée faisant intervenir de nombreux essais en vraie grandeur, il a fallu prendre la décision de réaliser des écrans étanches au coulis, seule solution permettant de mener le chantier à terme. Le dispositif constitué par ces parois étanches, implantées en forme de U aux extrémités des 1602 m de quai, a été complété par une augmentation importante des puits et de la capacité de pompage.

Bien entendu, ces travaux ont été réalisés avant tout terrassement, tant en avant qu'en arrière du quai. Ils ont nécessité la mise en œuvre de moyens exceptionnels afin de limiter l'impact sur le planning général de cette tâche située sur le chemin critique. Cet écran étanche à 42 m de profondeur a été réalisé sous coulis à l'eau de mer auto-durcissant.

■ LE SINISTRE DU 6 AOÛT 2003

Dans la nuit du 5 au 6 août 2003, est survenue la rupture accidentelle d'un batardeau. Le niveau d'eau en avant du quai, c'est-à-dire côté mer, est bruta-



Photo 3
Palplanches, tirants et remblais en arrière du quai

Sheet piling, tension members and backfill to the rear of the quay



Photo 4
Dragage de la darse en avant du quai

Dredging the dock in front of the quay

lement monté de plusieurs mètres, alors que la paroi moulée était terrassée sur toute sa hauteur en arrière du quai, sur une longueur de 240 m. Les structures qui n'étaient pas calculées pour cette surcharge hydraulique se sont alors fortement déformées.

La déformation a atteint 2 m en tête de paroi. Suite à l'analyse de la situation, il s'est avéré nécessaire d'envisager :

◆ de ne plus pouvoir utiliser la structure existante ;

◆ de reconstruire des fondations en arrière de la structure déformée, sachant que toute solution par l'avant qui engagerait le gabarit maritime était proscrite ;

◆ de démolir les structures de génie civil fissurées, ainsi que la paroi moulée attenante.

Mais il a également été constaté :

◆ que la démolition complète de la paroi déformée était impossible compte tenu de sa profondeur incompatible avec les niveaux de nappe mesurés depuis l'origine (+ 0,00 CMH) ;

◆ qu'une solution de reprise en sous-œuvre de la

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Paroi moulée et paroi étanche : 150 000 m²
- Béton : 150 000 m³
- Acier : 20 000 t
- Tirants : 125 000 m
- Palplanches : 6 000 t
- Dragages : 10 000 000 m³
- Terrassement : 3 500 000 m³

niveau de la mer et de réaliser la continuité de la coupure entre le terre-plein arrière et la darse.

■ LES CONTRAINTES D'EXÉCUTION DE LA RÉPARATION

Elles règnent essentiellement sur les phases suivantes.

Les travaux de démolition de la structure

Afin d'assurer une bonne reprise et la continuité de l'ouvrage, la zone à démolir a été désolidarisée de la zone à conserver. Cette démolition a été réalisée en sécurité jusqu'à la cote + 0,30 CMH.

Ceci nécessite :

- ◆ un sciage vertical dans une zone non armée afin de conserver les armatures existantes et pouvoir réaliser un raccordement entre les deux structures sans trop de difficultés, en désolidarisant complètement les deux structures ;
- ◆ un sciage horizontal, à la cote + 0,30 CMH, sur 1 à 2 m vers la partie à démolir, afin de créer un point d'affaiblissement de la structure et de réduire à un niveau admissible la transmission de vibrations ;
- ◆ le maintien des ouvrages provisoires à chaque extrémité de la zone à démolir, compatible avec la pente de talus, l'exposition à la houle ;
- ◆ le maintien d'un rabattement assurant la sécurité des fouilles, et toutes les conséquences en découlant.

Les travaux de paroi moulée

(photo 5)

Afin de garantir la stabilité de l'excavation de la nouvelle paroi moulée, les dispositions suivantes ont été prises :

- ◆ la réalisation de demi-colonnes de jet grouting, afin de stabiliser jusqu'à une profondeur suffisante le coin de terre subsistant entre ancienne et nouvelle paroi ;
- ◆ un pompage actif par l'intermédiaire de puits convenablement disposés entre les deux parois et servant à maintenir un équilibre hydrostatique de la nappe des sables inférieurs, entre les deux côtés de la nouvelle paroi en cours de réalisation.

Les contraintes de sécurité

L'analyse de l'ensemble complexe des problèmes a conduit à prendre des dispositions sur le déroulement du chantier différentes de celles du projet d'origine. Il convenait en effet de contrôler le risque de provoquer d'autres incidents pendant la réparation.



Photo 7
Double rideau de palplanches de protection de la partie sinistrée

Double sheet piling curtain for protection of the damaged section



Photo 8
Vue des postes 3 et 4 pendant les travaux de réparation

View of berths 3 and 4 during the repair work

Ces dispositions spécifiques à la zone à réparer ont porté principalement sur la conduite des mouvements de terre ainsi que sur la protection de la zone à réparer. Ainsi :

- ◆ la phase de déblai-remblai en arrière du quai est réalisée avant le génie civil, afin de se retrouver au plus vite dans les conditions d'un ouvrage remblayé à l'arrière et dès lors insensible aux effets d'une inondation à l'avant (photo 6) ;
- ◆ un double rideau de palplanches liaisonnées par tirants a été mis en place afin de protéger l'ouvrage en cours de construction contre les assauts de la mer (photo 7).

Résultats (photo 8)

Il faut se rendre compte que l'échelle de ce chantier était exceptionnelle dès l'origine et que l'ampleur des travaux de réparation nécessités par le sinistre du 6 août 2003, aussi bien en termes de démolition qu'en termes de reconstruction, en a

fait un chantier dans le chantier, tout aussi exceptionnel.

L'analyse rationnelle du problème, la réactivité de tous les intervenants et la mise en œuvre de moyens puissants ont permis de réaliser la réparation sur 240 m de quai et de livrer les quatre postes à quai le 1^{er} avril 2005, après un peu moins de 4 ans de travaux au total.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Port Autonome du Havre

Maitre d'œuvre

Port Autonome du Havre

Entreprise générale

Solétanche Bachy France

Sous-traitants

- Dragage : Atlantique Dragage
- Terrassement : Semen TP et Dambre
- Génie civil : Muller GC
- Palplanches : Leduc
- Pose de voie : Lamblin
- Armatures : EPA
- Contrôle externe : Rincent BTP

ABSTRACT

Construction of the diaphragm wall outer quay

J.-L. Gobert

The outer quay of Port 2000 concerns four new deep-water berths, of total length 1 602 m. These works, awarded to Solétanche Bachy France acting as main contractor, were recently completed on time even though two major unforeseen events occurred. The first event is of a hydrogeological nature and required the construction of deep grouting screens and reinforcement of the water table lowering capacity. The second is a disaster that occurred in August 2003 following the accidental breakage of a temporary cofferdam, whose repair required the demolition and then the reconstruction of 240 linear metres of quay in a very complex geotechnical and maritime context. The completion deadlines required by the contracting authority were nevertheless able to be met.

RESUMEN ESPAÑOL

Construcción del muelle exterior en pantalla continua

J.-L. Gobert

El muelle exterior de Port 2000 se refiere a cuatro nuevos amaraderos en agua profunda, para una longitud total de 1 602 m. Estos trabajos, encargados a Solétanche Bachy France que interviene a título de empresa general, acaban de finalizarse según los plazos mientras que al mismo tiempo intervenían dos eventos imprevistos importantes. El primer evento es de orden hidrogeológico y ha precisado la ejecución de pantallas con lechadas profundas y la consolidación de la capacidad de descensos de capa. El segundo evento corresponde al siniestro acaecido en agosto de 2003 a raíz de la ruptura accidental de una ataguía provisional, cuya distribución ha necesitado el derribo y a continuación la reconstrucción de 240 ml de muelle en un contexto geotécnico y marítimo sumamente complejo. No obstante, los plazos que corresponden a los deseos del responsable del proyecto se han podido respetar.

La maîtrise d'œuvre et le suivi des travaux "Quai et dragages associés"

La maîtrise d'œuvre du chantier de quai et dragages associés, assurée par deux services du Port Autonome du Havre en fonction des spécificités des travaux, a porté une attention particulière sur le suivi permanent de la réalisation. L'article présente l'organisation des équipes de chantier et les principales étapes de construction comprenant l'analyse des documents, la paroi moulée, l'ancrage arrière, les poutres en béton armé, les contrôles topographiques, les opérations préalables de détection et dégagement de débris métalliques pouvant éventuellement être des engins de guerre, les travaux d'aménagement et de remblaiement des chambres de dépôt, les travaux de creusement de la darse et de démolition des digues existantes en mettant en avant les particularités du chantier et les difficultés rencontrées.

La constitution des équipes de maîtrise d'œuvre a été basée sur une organisation transversale permettant de profiter de l'expérience acquise au sein des divers services du Port Autonome.

Au sein de la direction technique, la maîtrise d'œuvre et le suivi des travaux de construction du quai de 1400 m ont été assurés par deux services distincts en fonction des spécialités des prestations (figure 1):

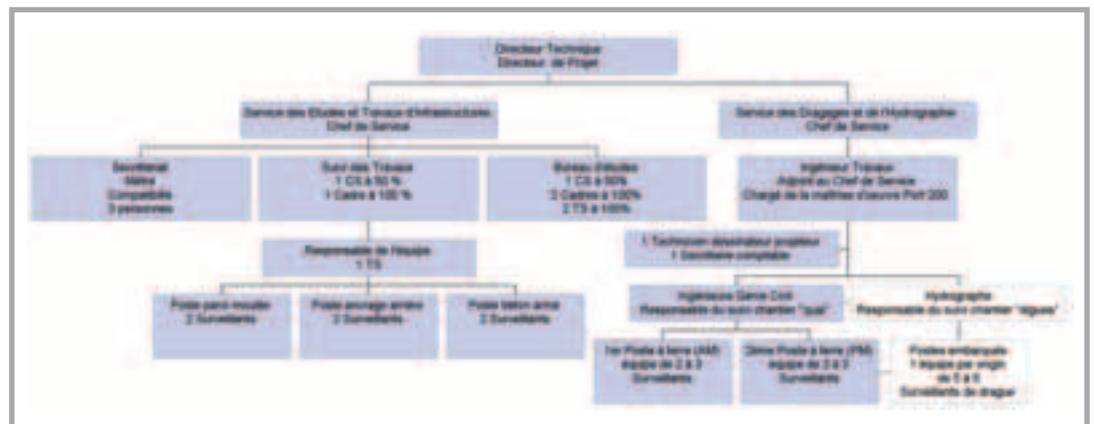
- ◆ le Service des études techniques et travaux d'infrastructure pour le génie civil;
- ◆ le Service des dragages et de l'hydrographie pour les opérations de reconnaissances pyrotechniques et de terrassements - dragages.

LE GÉNIE CIVIL

Organisation de l'équipe

L'équipe de maîtrise d'œuvre, maintenue pendant la quasi-totalité des travaux, comprenait au sein du Service des études et travaux d'infrastructure:

- ◆ pour la vérification des notes de calculs et des plans d'exécution:
 - un cadre supérieur à mi-temps,
 - un cadre à temps complet,
 - deux projeteurs;
- ◆ pour le suivi du contrat de travaux:
 - un cadre supérieur à mi-temps,
 - un cadre à temps complet,
 - une équipe de surveillance sur le site,
 - une équipe de géomètre à temps partiel.
- ◆ pour la gestion comptable des situations et le secrétariat:
 - une comptable,
 - une secrétaire,
 - un mètreur.



L'organisation des équipes de surveillance sur le site a été définie en fonction des principales tâches du chantier à raison d'un binôme par tâche pour pouvoir faire face au travail en deux postes de l'entrepreneur sous la responsabilité d'un surveillant principal:

- ◆ suivi des travaux de paroi moulée,
- ◆ suivi des travaux d'ancrage arrière,
- ◆ suivi du béton armé du couronnement et de la poutre arrière.

Une volonté forte du Port Autonome était d'assurer un suivi permanent des travaux permettant ainsi de recueillir toutes les informations nécessaires sur le déroulement du chantier et en particulier toutes données visant à garantir la qualité des ouvrages réalisés malgré les inévitables aléas rencontrés. La structure de base de l'équipe interne au port a donc été renforcée par des embauches extérieures pour la durée des travaux.

Examen des documents

La réalisation du chantier de quai représente l'établissement de l'ordre de 1300 documents se répartissant en 125 notes de calcul, 400 plans, 180 procédures d'exécution, 85 plans particuliers de

Christian Benard



ADJOINT AU CHEF DU SERVICE DES ÉTUDES TECHNIQUES ET TRAVAUX D'INFRASTRUCTURE EN CHARGE DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL
Port Autonome du Havre

Charles Bizien



ADJOINT AU CHEF DU SERVICE DES DRAGAGES ET DE L'HYDROGRAPHIE EN CHARGE DE LA MAÎTRISE D'ŒUVRE DES TRAVAUX DE TERRASSEMENTS-DRAGAGES
Port Autonome du Havre

Figure 1
Organigramme de maîtrise d'œuvre du chantier de construction du quai de 1400 m
Organisation chart of project management for the 1400-metre quay construction project

Photo 1
Montage des cages
d'armature de la paroi

*Erection of the wall
reinforcement cages*



Photo 2
Dispositif de levage
des cages
Cage lifting device



Photo 3
Coulage d'un panneau
de paroi

*Pouring
a wall panel*



► sécurité et environ 510 documents techniques divers (demande d'agrément de fourniture – demande de modification – fiche de non-conformité – demande d'acceptation de sous-traitant – rapport). Chaque document a fait l'objet d'une analyse et une réponse a été apportée sur tous les documents. Les plans d'exécution ont fait l'objet d'un visa du maître d'œuvre, qui remontait systématiquement au directeur technique - directeur de projet et qui devait contractuellement être donné dans le délai de 21 jours. Pour les autres documents, les observations éventuelles ont été transmises par courrier. Ceci a donc fait l'objet d'un travail d'analyse assez poussé et le nombre de courriers échangés pendant la durée du contrat de travaux est de l'ordre de 4500.

Pour assurer le suivi de ces documents, ceux-ci étaient répertoriés sur des fichiers précisant en particulier la date de réception, la date limite de visa, la date de la réponse et l'état de visa du document. En outre, ce document de synthèse permettait de mettre en avant les vrais délais de réponse et les cas de non-respect du délai de visa contractuel. Il était bien précisé dans le marché que le Port Autonome du Havre ne pouvait se voir demander le visa que sur des ensembles cohérents de plans et documents.

Suivi du chantier

La paroi moulée

Une attention particulière a tout d'abord été portée sur les quantités d'armatures nécessaires à la reprise des efforts et des optimisations assez poussées des cages ont été demandées en retenant, en fonction des variations géologiques du site sur les 1600 ml de quai, 12 coupes de calcul générant ainsi une optimisation des quantités d'acier à rémunérer à l'entrepreneur.

Puis, la réalisation a été contrôlée en continu par les équipes de surveillance en parallèle des contrôles interne et externe de l'entrepreneur. Ces contrôles ont porté sur la préfabrication des cages d'armatures en terme de qualité des aciers et de leurs certifications AFCAB, de conformité des sections aux plans, de géométrie finale pour respecter l'enrobage de 7 cm, de soudures des barres compte tenu des variations importantes des diamètres (HA50 / HA16) et de mise en œuvre des réservations pour les tirants et auscultations soniques (photo 1).

Le relevage des cages mobilisait deux grues de forte capacité qui assuraient cette prestation par l'intermédiaire d'un système d'élingage de type pantographe et six lignes de fixation sur la cage (photo 2).

Pour la perforation, une fois contrôlées l'implantation des murets guides et la position du panneau, des contrôles réguliers de la boue de forage (trois par panneau) permettaient d'assurer le maintien de la qualité de celle-ci et en particulier pour les opérations de dessablage avant coulage du panneau pour lequel une teneur en sable inférieure à 3 % était imposée.

Une fois la descente de la cage effectuée dans la tranchée, le bétonnage était réalisé à partir de deux tubes plongeurs descendus dans les cheminées de bétonnage réservées dans la cage d'armatures (photo 3).

Les camions malaxeurs approvisionnant le béton à partir des deux centrales de chantier de 60 m³/h faisaient systématiquement l'objet d'un contrôle en terme de consistance (slump de 20 cm) et de composition du béton (bon de pesée).

La durée de bétonnage était de l'ordre de 4 à 5 heures pour un panneau de 290 m³ et la sur-

consommation de béton est ressortie à la moyenne de 6 %. Le contrôle du béton a été réalisé à partir d'éprouvettes cylindriques à raison de deux séries de neuf cylindres écrasés à 7 et 28 jours.

Les joints de panneaux sont du type CWS pour former une liaison mécanique entre les parties de béton et l'étanchéité est assurée par un joint waterstop. A l'occasion des déblais à l'arrière de la paroi une inspection visuelle des joints a été menée mais peu de défauts ont été relevés. Par sécurité un tapis géotextile a été positionné sur tous les joints. Outre l'événement majeur du 8 août 2003 développé dans l'article précédent de Solétanche Bachy France (qui a mené les travaux de réparation en conception-réalisation), les principales difficultés rencontrées par l'entrepreneur étaient liées à la nature très frottante de certaines couches de graves conduisant à une usure importante des systèmes de pompage des hydrofraises.

L'ancrage arrière

La mise en place des tirants d'ancrage passifs retenant la paroi aux cotes (- 7,50) et (+ 3,00) a nécessité des terrassements importants sur 16 m de hauteur en arrière de la paroi représentant un volume total de 1 600 000 m³, qui devaient être réalisés à sec après rabattement de la nappe phréatique située à (+ 6,50) environ.

Sur la base des documents de l'appel d'offres et sur sa propre expérience du quai d'Osaka – réalisé sur un site voisin quelques années auparavant selon la même technique –, l'entrepreneur a dimensionné le dispositif de rabattement de nappe. Cependant, il est apparu en cours de travaux que les moyens mis en œuvre s'avéraient insuffisants pour obtenir les cotes requises (- 1,00 à l'avant et - 8,50 à l'arrière). Des renforcements importants des moyens de pompage ont donc été mis en œuvre en section courante. Les essais en vraie grandeur effectués à cette occasion ont en effet démontré la nature particulièrement perméable de certaines couches de sol (10^{-2} à 10^{-3} m/s), ce qui a amené l'entrepreneur à proposer la réalisation de parois d'étanchéité au coulis à chaque extrémité du quai où les circulations d'eau dans les nappes profondes ne sont plus arrêtées par la paroi moulée. Cette difficulté imprévue, découverte en cours de chantier, a fait l'objet d'un avenant au marché.

Les terrassements étaient menés afin de trier, en fonction de la qualité des déblais, les matériaux pouvant être réutilisés en remblais. Les caractéristiques de remblais, imposées au marché permettant de limiter les poussées sur l'ouvrage et de réduire les tassements ultérieurs de la plate-forme, avaient été fixées à $\varphi = 35^\circ$ $Q_c = 8$ MPa et $Y_{sat} = 19,50$ kN/m³.

Les remblais ont donc été menés par couches successives de 0,8 à 1 m d'épaisseur compactées par des cylindres de type V5 (photo 4).



Photo 4
Réalisation
de l'ancrage arrière
*Execution
of the rear anchorage*



Photo 5
Préparation de la paroi
côté aval
*Preparation
of the downstream
side wall*

Les résultats pénétrométriques effectués tout d'abord sur un plot d'essai en tout début de chantier et à la fin des remblais ont démontré la forte compacité des remblais mis en œuvre avec des valeurs bien supérieures au minimum requis.

Pour la pose des tirants qui s'effectuait directement sur le sol dressé, des vérifications systématiques du fond de fouille étaient menées afin d'interdire toute flèche négative, une légère contre flèche vers le haut de 10 cm était admise.

Une attention particulière a également été portée sur les organes de fixation (filetage, manchons, cages à rotule) qui devaient permettre la liberté de rotation des attaches, et le rattrapage des jeux de liaison a été assuré par une légère prétension du tirant en appliquant un couple (80 m/kg) en extrémité de celui-ci en arrière du rideau arrière.

Le rideau d'ancrage arrière en palplanches PU 32 de 8 m de hauteur a été foncé à l'avancement sans difficulté particulière. Cependant, du fait des tolérances et du jeu des serrures, il a été constaté une dérive progressive de la perpendicularité des tirants par rapport à la paroi (1 m au bout de 500 m). Des adaptations locales de l'ancrage permettant de compenser cette dérive ont donc été nécessaires.

Les poutres en béton armé

Une fois la paroi réalisée, celle-ci était terrassée à l'avant sur 9 m de hauteur à l'abri d'un rabattement de nappe pour la construction de la poutre de couronnement.

Afin d'assurer la reprise du masque en béton, la paroi a été nettoyée à la lance très haute pression (300 bars) et des armatures de liaison ont été scellées en partie basse de celui-ci (photo 5).



Photo 6
Construction de la poutre de couronnement

Construction of the coping girder



Dans un souci de préservation de l'intégrité des armatures, un repérage préalable des armatures de la paroi a été mené et les trous d'ancrage étaient effectués à la perforatrice.

Le couronnement était réalisé par tronçons de 12 m en deux levées successives; un corbeau de 1,50 m de hauteur était réalisé en partie basse afin de reprendre la charge du béton supérieur de deuxième phase et d'assurer l'appui horizontal du coffrage métallique roulant (photo 6).

Le béton de type B40 respectait un rapport E/C inférieur à 0,40 pour un slump de 13 cm. Le coulage d'un plot de 12 m s'effectuait à la pompe sur une durée de 6 h 00.

Pour tenir compte du déplacement de la paroi dans cette phase de travaux, la magistrale du couronnement a été décalée de 2 cm vers l'avant pour respecter l'épaisseur contractuelle du masque de 1,60 m.

Le couronnement supérieur, déjà fortement armé, a ménagé des zones de clavage tous les 24 m pour tenir compte des déplacements différentiels des panneaux de paroi résultant de poussées provisoires variables en fonction des phases de terrassement ou de dragage et en particulier au droit des talus (photo 7).

En fonction des phases de terrassement, la paroi peut se déplacer de plusieurs centimètres, ce qui a conduit à différer la mise en œuvre des rails constituant la voie de roulement des portiques pour laquelle les règles FEM n'autorisent que des tolérances centimétriques.

Aussi les clavages du couronnement et l'implantation des rails ont été réalisés une fois le quai dragué et les déplacements effectués.

La voie de roulement arrière a été conçue compte tenu de la qualité du remblai en fondation superficielle (5 m x 1 m) permettant d'apporter, par rapport à une solution de fondation profonde, une économie conséquente.

La qualité du béton approvisionné n'a pas mis en

évidence de problème majeur de non-conformité du fait du contrôle régulier des centrales et des fournitures effectuées tant par le contrôle intérieur qu'extérieur.

Cependant des variations sensibles sur la résistance du ciment ont conduit l'entrepreneur à surdoser le béton pour respecter sa résistance à 28 jours (+ 15 kg).

Une attention a été portée sur l'intégration des ancrages des appareils (défenses, bollards) et des fosses destinées aux raccordements des différents réseaux dans les cages d'armatures compte tenu de la densité du ferrailage (190 kg/m³).

Contrôles topographiques

Les implantations des ouvrages ont été réalisées à partir d'un canevas primaire de chantier comprenant quatre points définis sur la base de repères de l'IGN implantés à proximité. Un canevas secondaire permettait les implantations des différentes zones de chantier.

L'équipe de géomètres de la maîtrise d'œuvre a donc vérifié ces bases d'implantation et en particulier l'alignement des murets guides, le niveau du fond de fouille, les déplacements successifs de la paroi, le niveau final du remblai et le positionnement des platines support des rails de portique.

Il est apparu, sur ce vaste chantier réalisé avec des transformations conséquentes du site, que la précision des mesures topographiques étaient strictement liées à celle des points des canevas primaire et secondaire, sujets à évolution au cours des travaux.

Quelques divergences ont parfois été constatées sur certains points conduisant à renforcer le contrôle des bases d'implantation.

LES TERRASSEMENTS - DRAGAGES

Organisation générale de la maîtrise d'œuvre des travaux de dragages pour l'ensemble des chantiers

Dans le cadre de l'organisation transversale de la maîtrise d'œuvre, le Service des dragages et de l'hydrographie a été renforcé et une structure temporaire a été montée et dédiée à la maîtrise d'œuvre en phase exécution des travaux de dragages de Port 2000.

Ces travaux concernent à la fois les travaux de dragages des accès de Port 2000 (chenal extérieur, chenal intérieur et cercle d'évitage, remblaiement hydraulique et construction des soubassements des digues), objet du marché de travaux de construction des "digues extérieures et accès maritimes", ainsi que des travaux de dragages de la darse



Photo 7
Phase de terrassement arrière
et clavage de la poutre

*Rear earthworks
and girder keying phase*

devant le quai et mise en dépôt à terre des matériaux extraits.

Cette structure était composée :

- ◆ d'un ingénieur travaux, adjoint au chef de service et responsable de cette entité;
- ◆ d'un hydrographe expérimenté, assistant de maîtrise d'œuvre et chargé du suivi et du contrôle des travaux de dragages associés à la construction des digues, s'appuyant sur une équipe de surveillants de travaux;
- ◆ d'une ingénieure génie civil, assistante de maîtrise d'œuvre et chargée du suivi et du contrôle des travaux de dragages associés à la construction du quai, s'appuyant sur une équipe de surveillants de travaux;
- ◆ d'un technicien dessinateur-projeteur, en appui des assistants de maîtrise d'œuvre pour les tâches notamment de DAO et de métrés;
- ◆ d'une secrétaire comptable, assistante administrative et chargée du suivi des correspondances, des envois et réponses aux documents d'exécution et de la gestion comptable des marchés.

Le recrutement en CDI du noyau dur des équipes a pu être mené en s'intégrant dès le départ dans une gestion prévisionnelle des effectifs et des compétences. Concernant les surveillants de travaux, le Port Autonome du Havre a eu recours à des contrats à durée déterminée (CDD). Ce contexte a demandé un important travail d'organisation de la part des personnels d'encadrement du PAH.

Rappel sur les travaux à contrôler

Les travaux à contrôler étaient les suivants :

- ◆ les opérations de détection et de dégagement des cibles susceptibles d'être des engins de guerre non explosés;
- ◆ les travaux de préparation et d'aménagement des zones de dépôt;
- ◆ la démolition en partie de la nouvelle digue ouest et de la digue fosse CIM;
- ◆ le creusement de la darse par terrassements et

dragages (12 millions de mètres cubes in situ) et la mise en dépôt à terre des matériaux extraits;

- ◆ le reprofilage de la digue d'enclôture à l'extrémité ouest du quai;
- ◆ le profilage du talus Est de fond de darse et sa protection en enrochements.

Organisation spécifique de l'équipe pour les travaux "quai et dragages associés"

Les principes d'organisation des équipes de suivi et de contrôle des travaux ont été les suivants :

- ◆ une surveillance et contrôle en continu 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 de l'activité des ateliers de dragage par la présence d'un surveillant en permanence embarqué sur l'engin de dragage. L'objectif recherché était de recueillir, indépendamment des rapports journaliers transmis par l'entreprise, toutes les informations utiles sur l'activité de l'engin principal (dragage stationnaire à désagrégateur – DSD – en l'occurrence) et en particulier concernant les aléas. Il convient de préciser que le coût d'exploitation, par exemple, d'une puissante DSD est de l'ordre de 30 000 à 50 000 € HT par jour;
- ◆ une surveillance en deux postes à terre (équipe de deux ou trois surveillants) des travaux dans les chambres de dépôt, de terrassements, de démolition de digues et de protection de talus. Les surveillants, sous la responsabilité de l'assistant de maîtrise d'œuvre, participaient au suivi et au contrôle qualitatif et quantitatif des différents travaux.

Suivi du chantier

Les opérations de détection et de dégagement des cibles susceptibles d'être des engins de guerre non explosés

En phase préparatoire, une attention particulière a été apportée à la mise en place, avec les services compétents de l'Etat en la matière (SIRACED-PC, centre de déminage de Rouen), des procédures

Photo 8
Ensemble de caisses
de décantation
Set of settling tanks



Photo 9
 Mise en œuvre
d'encrochements
silico-calcaires en talus
*Placing silico-calcareous
riprap on embankments*



► d'exécution des opérations de détection magnétique et de dégagement des cibles détectées et susceptibles d'être des engins de guerre non explosés. Cela a été fait suivant une méthodologie définie en cohérence avec le phasage des travaux de terrassement et de dragage lors de la mise au point du projet de marché avec, en particulier, la définition lors de la mise au point du marché d'un terrassement général de la darse à la cote + 6,00 CMH pour permettre une détection à ce niveau sur l'ensemble des matériaux à draguer.

Cette coordination a conduit à une intervention efficace, lors de quelques mises à nu d'engins de guerre ou suspects, des équipes de la Sécurité civile pour l'identification et la neutralisation.

Compte tenu de la nécessité de devoir effectuer la détection et le dégagement des cibles, au préalable et en temps masqué des travaux à venir, sur les différentes zones du chantier suivant un découpage en plan et en tranche de terrain, le suivi de l'avancement et le contrôle du respect de la méthodologie ont nécessité une attention toute particulière.

Les travaux d'aménagement et de remblaiement des chambres de dépôt

Les travaux de mise en dépôt à terre des matériaux extraits dans la darse ont consisté en partie à remblayer la zone de dépôt dite "Sud D1", emprise de la zone logistique de Port 2000 à l'Est des quatre premiers postes à quai et en limite de l'Espace préservé.

Un suivi particulier a été apporté sur l'absence de blocs ou objets divers dans les matériaux de mise en dépôt en vue de limiter les aléas de découverte d'obstacles lors des travaux futurs d'aménagement et en particulier de fondation des entrepôts. La proximité limitrophe de l'Espace préservé, abritant des espèces protégées et dans lequel aucune intervention ou circulation d'engins n'était autorisée, a nécessité de prendre des mesures de précaution (creusement de fossés de séparation) dans le cadre du Plan d'assurance environnement. La présence d'espèces protégées (dont le butor étoilé) sur les zones non encore remblayées a conduit à définir, en relation avec la Maison de l'Estuaire – gestionnaire de cet espace – et l'entreprise, des zones de tranquillité durant des périodes de nidification (mi-avril à mi-juillet), permettant la reproduction de ces espèces tout en ne perturbant pas le bon déroulement des remblais.

Les travaux de mise en dépôt à terre des matériaux extraits dans la darse ont également consisté en partie à la création des remblais, devant constituer à l'arrière de la digue d'enclôture, construite dans le cadre du marché "digue et dragages associés", les futurs terre-pleins.

Une coordination fine a été rendue nécessaire concernant les interfaces entre les chantiers "digues" et "quai", et notamment la mise en place de servitudes de passage pour le cheminement des conduites de refoulement des mixtures de dragages jusqu'aux différents dépôts, ainsi que l'organisation des rejets des casiers est, central et ouest en vue du respect des prescriptions en matière de rejet dans le milieu de matières en suspension (MES): au plus 100 mg/l de rejet de MES en sus de la valeur caractéristique du milieu environnant. Une attention particulière a été apportée au suivi et au contrôle des opérations de gestion des niveaux d'eau et des caisses de décantation (photo 8).

Les travaux de creusement de la darse

En phase travaux, des adaptations de la géométrie de la darse dans sa partie sud ont été décidées conduisant la réalisation d'une darse dite "optimisée". Ces adaptations ont permis de diminuer substantiellement le volume théorique total de creusement et de générer des économies. La nouvelle géométrie ainsi adoptée permet l'évolution des navires dans le cadre de l'exploitation des quatre postes et reste compatible avec l'extension à l'est correspondant à la construction d'un cinquième poste.



Photo 10
Stockage de blocs cubiques
Storage of cubic blocks

Les travaux de démolition des digues existantes, de reprofilage de la digue d'enclôture et de protection du talus de fond de darse

La réutilisation des matériaux provenant de la démolition des digues existantes a été recherchée au maximum en phase chantier. Après tri, les enrochements silico-calcaires et durs ont été réutilisés en protection du talus de fond de darse, pour lequel la fourniture d'enrochements était initialement prévue (photo 9).

Un démontage, un transport et un stockage provisoire soignés – notamment grâce à l'emploi d'une pince spécifique – des blocs cubiques constituant la nouvelle digue ouest ont permis de réutiliser en majeure partie ces blocs en carapaces pour la construction des digues de protection et d'optimiser encore plus le projet des digues en phase chantier (photo 10).

ABSTRACT

Project management and follow-up of "Quays and associated dredging" works

Ch. Benard, Ch. Bizien

Project management for the quay project and associated dredging, performed by two departments of Port Autonome du Havre depending on the specific features of the work, involved paying special attention to constant execution monitoring.

The article describes the organisation of the project teams and the main stages of construction, including document analysis, the diaphragm wall, rear anchorage, the reinforced concrete girders, topographic inspections, preliminary operations for detection and clearance of metallic wastes which could possibly be weapons of war, work for development and backfilling of settling chambers, dock digging work and demolition of the existing breakwaters, highlighting the special features of the project and the difficulties encountered.

RESUMEN ESPAÑOL

La dirección y el seguimiento de las obras "Muelle y dragados correspondientes"

Ch. Benard y Ch. Bizien

La dirección del proyecto de las obras de muelle y dragados correspondientes, a cargo de dos departamentos del Puerto Autónomo de Le Havre con arreglo a diversas especificidades de los trabajos, ha puesto particular atención sobre el seguimiento permanente de la realización.

En este artículo se presenta la organización de los equipos de obras y las principales etapas de construcción que incluyen el análisis de los documentos, la pantalla continua, el anclaje trasero, las vigas de hormigón armado, los controles topográficos, las operaciones previas de detección y extracción de residuos metálicos que pueden, llegado el caso, ser ingenios de guerra, los trabajos de ordenación y terraplenado de las cámaras de sedimentación, los trabajos de perforación de la dársena y de derribo de los diques existentes valo-

rizando las particularidades de la obra y las dificultades con que se ha tropezado.



Photo 1
Vue aérienne de l'estuaire de la Seine - Eté 2005
Aerial view of the Seine Estuary - Summer 2005



Photo 2
Inventaire des amphibiens présents sur le site de Port 2000
Inventory of amphibians present on the Port 2000 site

L'intérêt environnemental de l'estuaire de la Seine ainsi que le constat de son évolution passée ont conduit le Port Autonome du Havre à mettre en œuvre, dans le cadre de Port 2000, un important programme de mesures et travaux visant à préserver voire développer ces fonctionnalités environnementales. Doté d'un budget de près de 46 millions d'euros, ce programme est le fruit de la concertation née du débat public et de la coopération entre aménageurs et acteurs environnementaux de l'estuaire (DIREN, Maison de l'Estuaire associations environnementales, pêcheurs professionnels...), qui a vocation à perdurer et constitue aujourd'hui un atout de taille pour l'estuaire de la Seine. Les mesures engagées, dont certaines sont développées dans d'autres articles de cette revue, portent sur :

- ◆ la réhabilitation des vasières ;
- ◆ l'aménagement de reposoirs à oiseaux ;
- ◆ des mesures en faveur de la réserve naturelle ;

Port 2000



Photo 3
Clairière de liparis
Liparis clearing



Photo 4
Orobanche du picris
Picris broomrape

- ◆ l'aménagement et la gestion écologique d'un espace préservé ;
- ◆ la création d'une plage à vocation écologique ;
- ◆ l'observatoire de la pêche et le dispositif d'alerte ;
- ◆ la formation et l'information environnementales ;
- ◆ le déplacement et la sauvegarde d'espèces protégées ;
- ◆ des suivis scientifiques.

Mener de front chantiers portuaires et chantiers environnementaux aura été une des difficultés techniques majeures de Port 2000, tout devant être étudié, choisi et mis en œuvre pour limiter le plus possible l'impact des travaux portuaires sur l'environnement estuarien et sur la sédimentologie (dragages d'accompagnement, phasage du chantier digues, conception des ouvrages avec une réutilisation maximale des matériaux du site...). Des effets positifs et concrets sont attendus dans l'immédiat et à plus long terme sur les milieux, la flore et la faune estuariennes, les travaux entrepris veillant à favoriser la biodiversité dans l'estuaire de la Seine (photo 1).

■ DÉPLACEMENT ET SAUVEGARDE D'AMPHIBIENS PROTÉGÉS

Un inventaire des espèces faunistiques et floristiques de la zone d'emprise des futurs terminaux de Port 2000 a été réalisé en 1998. Cet inventaire a révélé la présence d'espèces protégées d'amphibiens (crapaud calamite et pélodyte ponctué), de grenouilles et de tritons. Avant tous travaux, il

et l'environnement

a été décidé et autorisé de les capturer puis de les relâcher sur des sites préservés de tout aménagement. Le suivi scientifique de la réussite des opérations a été assuré durant trois ans par un laboratoire de l'Université de Savoie, permettant ainsi d'évaluer l'évolution des populations transférées et d'acquérir de nouvelles connaissances sur le comportement de ces animaux (photo 2).

■ CRÉATION ET GESTION ÉCOLOGIQUE D'UN ESPACE PRÉSERVÉ DE 70 HECTARES

A l'occasion d'études préalables à Port 2000, différentes espèces rares ou protégées ont été identifiées dans un espace naturel d'environ 70 ha que le Port Autonome du Havre a décidé de préserver. Il s'agit de plantes (dont, plusieurs orchidées, la gesse des marais et l'élyme des sables), de batraciens (grenouilles, tritons, crapauds), ou encore d'oiseaux (nicheurs, migrateurs et hivernants). Cet espace – aujourd'hui dénommé "Espace préservé" – était initialement destiné aux implantations logistiques au sud-est de Port 2000.

Les principales mesures de gestion et les suivis scientifiques de l'Espace préservé (dont celui de la fréquentation du reposoir sur dune par l'avifaune) ont été confiés par conventions à la Maison de l'Estuaire et au Conservatoire botanique national de Bailleul. Dans ce cadre, les botanistes du Conservatoire sont chargés, depuis 2001, de gérer les secteurs où se développe l'orchidée *liparis de loesel* (protégée au niveau européen) (photo 3). Ils ont, par exemple, entrepris à l'automne 2004 une opération expérimentale de creusement de ces secteurs afin de favoriser l'humidité des sols, facteur déterminant pour la survie de cette plante des zones humides. Fin 2003, les mêmes botanistes ont implanté dans l'Espace préservé une plante protégée, l'orobanche du picris (photo 4), afin d'assurer sa préservation hors des zones d'emprise de Port 2000. Ce plan comporte des opérations de restauration et de gestion des milieux les plus intéressants et le suivi scientifique des espèces protégées.

Ces actions ont été poursuivies et renforcées avec l'élaboration d'un plan d'aménagement, de gestion et de suivi scientifique à moyen et long terme de cet espace, en lien avec les gestionnaires de la réserve naturelle qui lui est limitrophe, pour assurer une gestion cohérente des espaces naturels de l'estuaire.

Pour répondre au souci de la conservation des espèces protégées et rares, la protection de cet espace a donné lieu à la signature d'une convention, le 6 juillet 2004, entre l'Etat et le Port Autonome du Havre. Cette convention entérine un plan de gestion écologique élaboré pour la période 2004-2008 avec l'aide des gestionnaires de la réserve naturelle, du Conservatoire botanique national de Bailleul et de la Direction régionale de l'Environnement (DIREN).



■ "LE REPOSOIR SUR DUNE" : ZONE DE REPOS ET DE TRANQUILLITÉ POUR LES OISEAUX D'EAU

Première mesure environnementale mise en œuvre, les travaux de réalisation du reposoir sur dune ont été achevés dès février 2002 (photo 5). Il s'agit de la création d'un reposoir pour les oiseaux d'eau de l'estuaire (canards et autres espèces se nourrissant sur les vasières à marée basse), ayant besoin à marée haute de zones de repos soustraites à l'action des eaux marines. Défini en lien avec la DIREN et la Maison de l'Estuaire, cet aménagement a été réalisé pendant l'hiver 2001-2002, en partie dans l'Espace préservé et en partie dans la réserve naturelle, avec pour objectif de remplacer fonctionnellement le site (aujourd'hui disparu) où ces oiseaux se concentraient avant les travaux de

Paul Scherrer



DIRECTEUR TECHNIQUE -
DIRECTEUR DU PROJET
PORT 2000
Port Autonome du Havre

Pascal Galichon



RESPONSABLE MAÎTRISE
D'ŒUVRE "DRAGAGES
ET TERRASSEMENTS"
DE PORT 2000 -
ADMINISTRATEUR
DU PROJET PORT 2000
Port Autonome du Havre

Véronique



Hauchecorne
SERVICE
COMMUNICATION
Port Autonome du Havre

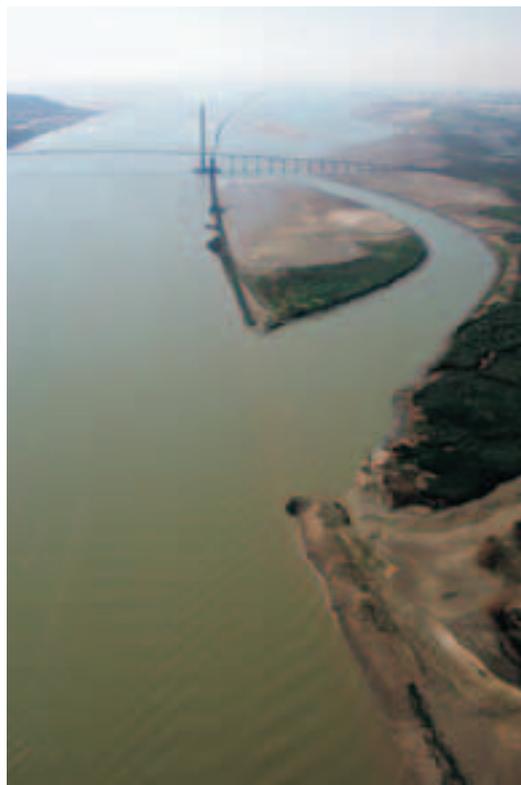
Photo 5
Reposoir sur dune
Resting area on dune

Photo 6
Poste d'observation
de l'avifaune
au niveau du reposoir
sur dune

*Observation station
for birdlife at the level
of the dune resting
area*



Photo 7
Réalisation du chenal
environnemental dans le cadre
de la réhabilitation
des vasières - Août 2005
*Construction of the environmental
protection channel
as part of the rehabilitation
of the mud flats - August 2005*



LES TRAVAUX DE RÉHABILITATION DES VASIÈRES EN QUELQUES CHIFFRES

- Linéaire des digues basses du port de Rouen rehaussées: 3 800 m
- Volume d'enrochements pour les travaux sur les digues et seuils: 70 000 m³
- Longueur de l'épi construit dans la fosse nord: 550 m
- Longueur et largeur du chenal environnemental: 2 800 et 100 m
- Volume des dragages pour le creusement du chenal: 1,8 Mm³
- Volume d'enrochements pour protéger les piles du viaduc du pont de Normandie: 4 000 m³



construction de Port 2000. Cet aménagement fait l'objet d'un article spécifique.

Les suivis des diverses espèces fréquentant ce reposoir, menés par l'Observatoire de l'avifaune, démontrent la croissance progressive de sa fréquentation et sont très prometteuses.

Pour permettre au public de découvrir le site et la biodiversité ornithologique de l'estuaire de la Seine, deux postes d'observation ont été installés au nord et à l'est du reposoir sur dune fin novembre 2005 (photo 6). Grâce à ce nouvel outil (qui devrait être opérationnel au deuxième semestre 2006 après achèvement d'autres aménagements en cours au nord du reposoir), la Maison de l'Estuaire – seule habilitée à organiser des visites pour le public – pourra faire découvrir à des groupes les oiseaux d'eau les plus caractéristiques de l'es-

tuaire : bécasseaux, courlis, chevaliers, grave-lots, pluviers, diverses espèces de canards...

■ OBSERVATOIRE DE LA PÊCHE ET DISPOSITIF D'ALERTE

En étroite collaboration avec les comités locaux des pêches du Havre et de Honfleur-Courseulles, et sous l'égide des Affaires Maritimes, un observatoire de la pêche et un dispositif d'alerte ont été mis en place. Les objectifs sont, d'une part, de mieux connaître les activités de la pêche dans l'estuaire par la collecte et l'analyse des déclarations de captures et, d'autre part, d'évaluer les incidences de Port 2000 sur cette activité, aussi bien du point de vue de l'état des ressources piscicoles que de celui des économies des entreprises de pêche. Par ailleurs, un suivi scientifique complémentaire des populations de crevettes et des poissons est mené depuis juin 2000. Tous ces suivis se poursuivront jusqu'en 2010.

■ LA RÉHABILITATION DES VASIÈRES, ÉLÉMENT MAJEUR DU VOLET ENVIRONNEMENTAL DE PORT 2000 (photo 7)

Initié à l'été 2003 après la réalisation de modélisations (menées par la Sogreah sous la maîtrise d'ouvrage de la DIREN et sous le contrôle d'un comité d'experts), le chantier de réhabilitation des vasières s'est achevé à l'été 2005 (cf. encadré "Les travaux de réhabilitation des vasières"). Plusieurs étapes ont en effet été jugées nécessaires afin de laisser à la nature le temps de reprendre ses droits. Le détail de cette opération est présenté dans divers articles qui suivent.

■ LA RÉALISATION D'UN ÎLOT REPOSOIR EN SEINE

Au terme de 165 jours de travail et quelque 600 voyages d'engins nautiques, l'îlot reposoir situé dans la partie sud de l'estuaire (en face de Villerville) a été achevé mi-avril 2005 (photo 8). Ce site unique en son genre mesure 320 m de long par 200 m de large. Ses caractéristiques principales (forme, niveau des terrains) ont été arrêtées à l'origine en très étroite concertation avec les DIREN de Haute et Basse-Normandie et le GONm – Groupe ornithologique Normand – (cf. article "Conception d'îlots reposoirs"). Conçu pour accueillir les oiseaux marins et diversifier les sites d'accueil et de tranquillité pour les différentes espèces, cet îlot de 5 ha d'un seul tenant à marée basse forme, à marée haute, trois îlots émergents d'une superficie totale de 1,5 ha.

A l'exception des agents de la Maison de l'Estuaire, qui s'assurent de sa fréquentation par les oiseaux et de l'implantation éventuelle d'espèces faunistiques et floristiques, toute présence humaine y est interdite, conformément au décret de la réserve naturelle afin de préserver la quiétude du lieu (cf. encadré "L'îlot reposoir").

■ AMÉNAGEMENTS PAYSAGERS

Entre le mur écran et la CIM, 620 arbres (peupliers d'Italie) ont été plantés en février 2005 : ils formeront, à terme, un écran paysager masquant les bacs de la CIM depuis la rive gauche de la Seine (photo 9).

Parallèlement, un accompagnement paysager des dessertes proches de Port 2000 est prévu : il se traduit par la mise en place de larges bandes vertes, plantées de bosquets d'arbres, de plans d'eau et de fossés paysagers, par des plantations de végétaux d'espèces locales ainsi que diverses graminées sur les giratoires.

■ SUIVIS SCIENTIFIQUES

En lien avec les scientifiques travaillant sur l'estuaire de la Seine, un important programme de suivis scientifiques des domaines sur lesquels Port 2000 est susceptible d'avoir des impacts a été élaboré. Sa mise en œuvre par le PAH a débuté entre 2000 et 2002 en fonction des thématiques suivies. Dans un souci de cohérence avec les différents programmes scientifiques existant sur l'estuaire de la Seine (dont principalement le programme Seine-Aval), la définition de ces suivis a été faite en lien avec le Conseil scientifique et technique du plan de gestion globale de l'estuaire de la Seine. Il comporte principalement des suivis sur :

- ◆ l'évolution des fonds aussi bien d'un point de vue morphologique, avec un suivi des zones en sédimentation ou en érosion, que granulométrique car la nature des sédiments influe sur la nature des organismes vivants qui s'y implantent et constitue un maillon important des différentes chaînes biologiques présentes dans l'estuaire ;

- ◆ les ressources biologiques en regardant plus précisément les populations benthiques, suprabenthiques, les poissons et crustacés et enfin les oiseaux.

Hormis le suivi de l'évolution des fonds qui est réalisé par les ports autonomes de Rouen et du Havre qui disposent des moyens et des compétences pour le faire, ces suivis sont confiés à des laboratoires ou organismes compétents. Ils donnent lieu à des rapports et des présentations régulières au Conseil scientifique et technique qui, au regard des résultats et de ce qui se fait par ailleurs, peut les réorienter.



Photo 8
Îlot reposoir
en Seine
*Resting island
in the Seine*



Photo 9
Plantation d'un rideau paysager
au niveau du mur-écran
*Planting a landscaped screen
at the level of the screen wall*

■ MESURES ENVIRONNEMENTALES EN FAVEUR DE LA RÉSERVE NATURELLE DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

Plusieurs fonds ont été créés au titre de Port 2000 pour financer des actions en faveur de la réserve naturelle :

- ◆ le fonds spécialement créé pour des mesures de renforcement de l'intérêt écologique de la réserve naturelle a vocation à améliorer le fonctionnement hydraulique général de la zone humide et à réaliser des aménagements pour un meilleur accueil des oiseaux sur le banc herbeux situé à l'est du pont de Normandie ;

- ◆ grâce au fonds d'adaptation des pratiques agri-

L'ÎLOT REPOSOIR EN QUELQUES CHIFFRES

- Longueur, largeur et hauteur de l'îlot : 325 m, 200 m et environ 7 m
- Volume de sables et galets mis en œuvre : 260 000 m³
- Tonnage d'enrochements de protection : 50 000 t



Photo 10
Vol de courlis cendrés dans l'estuaire de la Seine
Flight of common curlews in the Seine Estuary

► coles, un cahier des charges plus écologique des pratiques agricoles dans les prairies humides a été élaboré et des primes compensatoires ont été versées aux agriculteurs mettant en œuvre ces mesures agri-environnementales ;

◆ le fonds d'adaptation des pratiques de chasse a permis de démarrer un état initial de l'activité cynégétique en juillet 2001, en vue de l'évaluation des impacts de cette activité sur l'avifaune et de l'élaboration d'un cahier des charges. Il permet aussi d'accompagner la réduction de la pression de chasse dans l'estuaire de la Seine.

Un observatoire permanent de l'avifaune a été mis en place par la Maison de l'Estuaire avec des financements de Port 2000 réservés aux suivis scientifiques. Il comporte des suivis systématiques des espèces les plus intéressantes (photo 10).

ABSTRACT

Port 2000 and the environment

P. Scherrer, P. Galichon, V. Hauchecorne

The environmental interest of the Seine estuary and the observation of its past changes led Port Autonome du Havre to implement, within the framework of Port 2000, a major programme of measures and works designed to preserve or even develop these environmental functionalities. With a budget of around 46 million euros, this programme is the product of consultation through public debate and cooperation between estuary development planners and stakeholders (DIREN, "Maison de l'Estuaire", environmental associations, professional fishermen, etc.); it is designed to be permanent and is now a major asset for the Seine estuary. Among the measures undertaken are, in particular, rehabilitation of the mud flats, the development of bird resting areas, environmental training and information, scientific monitoring, etc. Carrying out port projects and environmental projects simultaneously has been one of the major technical difficulties of Port 2000, since everything has had to be designed, selected and implemented to limit insofar as possible the impact of the port works on the estuarine environment and on sedimentology (accompanying dredging, scheduling of the breakwaters project, design of structures with maximum recycling of site materials, etc.). Positive tangible effects are expected in the immediate future and longer-term for the environment and the flora and fauna of the estuary, since the works undertaken aim to encourage biodiversity in the Seine estuary.

RESUMEN ESPAÑOL

Port 2000 y el medio ambiente

P. Scherrer, P. Galichon, V. Hauchecorne

El interés medioambiental del estuario del río Sena así como la comprobación de su evolución anterior conllevó al Puerto Autónomo de Le Havre a poner en aplicación, en el marco de Port 2000, un importante programa de medidas y trabajos que tienen por propósito preservar e inclusive desarrollar dichas funcionalidades medioambientales.

Dotado de un presupuesto de cerca de 46 millones de euros, este programa constituye el resultado de la concertación derivada del debate público y de la cooperación entre acondicionadores y protagonistas medioambientales del estuario (DIREN, Casa del Estuario, asociaciones medioambientales, pescadores profesionales, etc.), que tiene vocación a perdurar y constituye actualmente una ventaja importante para el estuario del Sena. Entre las medidas vislumbradas, figuran en particular la rehabilitación de los depósitos salinos, la instalación de descansaderos para pájaros, la formación y la información medioambientales, diversos seguimientos científicos... Ejecutar simultáneamente trabajos portuarios y trabajos medioambientales fue una de las dificultades técnicas más importante de Port 2000, siendo la totalidad estudiada, seleccionada e puesta en aplicación para limitar lo más posible el impacto de los trabajos portuarios sobre el medio ambiente del estuario y sobre la sedimentología (dragados de acompañamiento, etapas de los trabajos de los diques, diseño de las obras con un reemplazo máximo de los materiales del emplazamiento, etc.). Se esperan efectos positivos en un plazo breve y a más largo plazo sobre los medios, la flora y la fauna del estuario, dado que los trabajos emprendidos vigilan a favorecer la biodiversidad en el estuario del Sena.

Le reposoir sur dune

La phase travaux entre octobre 2001 et février 2002

Thierry Lebreton



ANCIEN DIRECTEUR
DE L'AGENCE
TERRASSEMENT OUEST
GTM Terrassement

Mathieu Kowalski



DIRECTEUR DE SOTRAGA
GTM Terrassement



Vue d'ensemble
du reposoir sur dune

General view of the resting area
on the dunes

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'importance du contexte environnemental dans lequel devait s'inscrire Port 2000 a été un des facteurs dominants de la mise au point du projet "Reposoir sur dune". Ce contexte environnemental incluait la présence sur le site des futurs travaux, d'un espace privilégié pour les oiseaux migrateurs, où ils pouvaient tout à la fois se reposer pendant leurs longs voyages et y trouver une nourriture abondante. Dans cet espace, on pouvait voir régulièrement des spatules, des canards, des avocettes... Or, les travaux projetés allaient fortement empiéter sur cet espace naturel. Le Port Autonome du Havre a donc décidé de le recréer. Pour cela, il s'est entouré de conseils avisés, notamment de la DIREN et de la Maison de l'Estuaire. C'est ainsi qu'a été mis au point le projet "Reposoir sur dune".

Ce projet consistait en la création sur un espace de 45 ha, de deux bassins dont l'un à niveau d'eau permanent et l'autre soumis à marnage, avec de grandes zones à sec parsemées d'une végétation arbustive, de roselières et d'herbacées.

Le bassin soumis à la marée permettait l'apport de vers marins et de petits crustacés fournissant ainsi une nourriture abondante aux oiseaux. La vé-

gétation offrait, quant à elle, les conditions nécessaires à la nidification. Afin de préserver cet espace, le projet prévoyait également une ceinture constituée par une digue d'environ 2300 ml de longueur. Deux plates-formes d'observation complétaient le projet, permettant ainsi le suivi écologique de la faune avicole, principalement par la Maison de l'Estuaire, et aux passionnés de nature d'admirer un spectacle comme seule sait en produire la nature.

■ LE CHANTIER À RÉALISER

Les travaux de terrassements consistaient principalement en déblais-remblais pour réaliser un modèle de terrain propre à créer le reposoir. Les principales quantités étaient ainsi de :

- ◆ digues : 2300 ml représentant un volume d'environ 50 000 m³ ;
- ◆ déblais pour création des bassins et des modèles : 245 000 m³ ;
- ◆ fossés : près de 10 km.

Outre les très fortes contraintes environnementales liées à l'essence même du projet, le maître d'ouvrage était confronté à un impératif incontournable : pour que les travaux de 1400 ml de quais de Port



2000 puissent démarrer à la date prévue, il fallait que le nouveau reposoir soit opérationnel avant la période de nidification considérée comme débutant le 1^{er} mars, car ces nouveaux quais empiétaient fortement sur l'ancien site.

Conscient de l'importance de cette contrainte, GTM Terrassement a donc présenté une offre prévoyant un délai réduit. En effet, le maître d'ouvrage avait imposé un délai maximum de 5 mois pour la réalisation des travaux, dont un mois réservé à la préparation du chantier. GTM Terrassement s'est engagé à le réaliser en seulement quatre mois.

Les matériaux à terrasser se composaient :

- ◆ de sables fins limoneux à vasards saturés ;
- ◆ de sables fins silteux à vasards saturés ;
- ◆ d'argiles vasardes ;
- ◆ de silts organiques.

L'ensemble de ces matériaux représentaient près de 85 % du volume total à terrasser, les 15 % restant étant constitués de sables fins propres. Il était de ce fait exclu d'utiliser des moyens de forte puissance qui, compte tenu des volumes à terrasser (près de 300 000 m³) dans un délai très court (3 mois de travaux) semblaient s'imposer de prime abord. En effet, le caractère très peu porteur des matériaux à terrasser n'autorisait ni l'utilisation de pelles de 75 tonnes, ni de tombereaux de 50 tonnes. La méthode retenue a privilégié l'utilisation des ma-

tériaux sains pour la réalisation de pistes de chantier. Néanmoins, leur faible quantité ne permettant pas la création de pistes tous azimuts, le choix s'est porté sur des reprises multiples. Aussi, certains matériaux ont-ils fait l'objet de trois "jets de pelle" avant d'être chargés sur tombereaux.

Le chantier a eu recours à de nombreux matériels équipés de chenilles "marais", ce qui n'a pas empêché certains d'entre eux de se trouver à la limite de l'enlèvement. Pas moins de 13 pelles ont travaillé simultanément sur ce chantier (dont certaines en deux postes) associées à 17 tombereaux articulés et quatre bouteurs légers. Plus de 60 personnes ont travaillé également sur le site. 3540 ml de pistes provisoires ont été réalisées sur un espace de seulement 45 ha.

Le 8 février 2002, le Port Autonome du Havre déclarait la réception des travaux, soit 4 mois exactement après l'ordre de service de démarrage. L'inauguration officielle du nouveau reposoir a eu lieu dès le 18 février suivant, montrant par là même l'importance qui avait été donnée à la tenue des délais de l'ouvrage réalisé.

La réussite de ce chantier tient pour une grande part dans l'étroite concertation qui a prévalu tout au long des travaux entre les quatre acteurs principaux qu'auront été le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre, la Maison de l'Estuaire et l'entreprise.

Conception d'îlots reposoirs pour les oiseaux marins dans l'estuaire de la Seine

Gérard Debout
Groupe Ornithologique Normand (GONm)

Christophe Bessineton
Christophe Aulert
Maison de l'Estuaire

Pascal Galichon
RESPONSABLE MAÎTRISE D'ŒUVRE
"DRAGAGES ET TERRASSEMENTS"
DE PORT 2000 - ADMINISTRATEUR
DU PROJET PORT 2000
Port Autonome du Havre

Les suivis ornithologiques menés depuis de nombreuses années dans l'estuaire de la Seine par différentes associations, dont principalement le Groupe Ornithologique Normand (GONm), mettaient en évidence un déficit de lieux de repos de haute mer pour les oiseaux marins (sternes, guifettes, mouettes, cormorans...) dans la partie ouest de la baie de Seine alors que des îles, même de superficie modeste, telles que les îles Saint-Marcouf sont fortement fréquentées par les oiseaux marins, tant en période de nidification (colonies) qu'en période internuptiale (halte migratoire et dortoirs). Le GONm notait aussi que des expériences de création d'îles artificielles pour les oiseaux avaient montré leur efficacité que ce soit au large de la côte sud-ouest de l'Afrique, du Pérou ou encore des côtes nord-américaines.

Du fait de son emprise sur des zones d'anciens remblais de dragage colonisées par différentes espèces d'oiseaux, Port 2000 venait diminuer la capacité d'accueil de l'estuaire pour l'avifaune.

Fort de ces constats, lors de différentes rencontres de concertation entre le Port Autonome du Havre et les associations de défense de l'environnement, le Groupe Ornithologique Normand a émis l'idée que, dans le cadre des mesures environnementales accompagnant le projet portuaire, il puisse être envisagé de créer des îlots pouvant accueillir prioritairement des espèces d'oiseaux marins. Le choix d'îlots permettait aussi de situer ces reposoirs en dehors des zones perturbées par des activités humaines tout en étant proches des lieux de nourrissage. L'objectif et l'espoir des ornithologues du GONm étant que ces îlots servent de reposoirs aux oiseaux marins, mais aussi aux limicoles (par exemple huître pie), et qu'ils deviennent aussi des sites de nidification pour ces espèces (sternes en particulier).

Notons que le Groupe Mammologique Normand était aussi très favorable à un tel aménagement car il était susceptible d'être un lieu d'accueil pour les mammifères marins tels que le veau marin.

■ HISTORIQUE DE LA CONCEPTION

Le souhait des ornithologues était de pouvoir disposer de deux à trois sites d'une surface minimale de l'ordre de 1 000 m² de sorte que des gestions différenciées de ces espaces puissent être faites

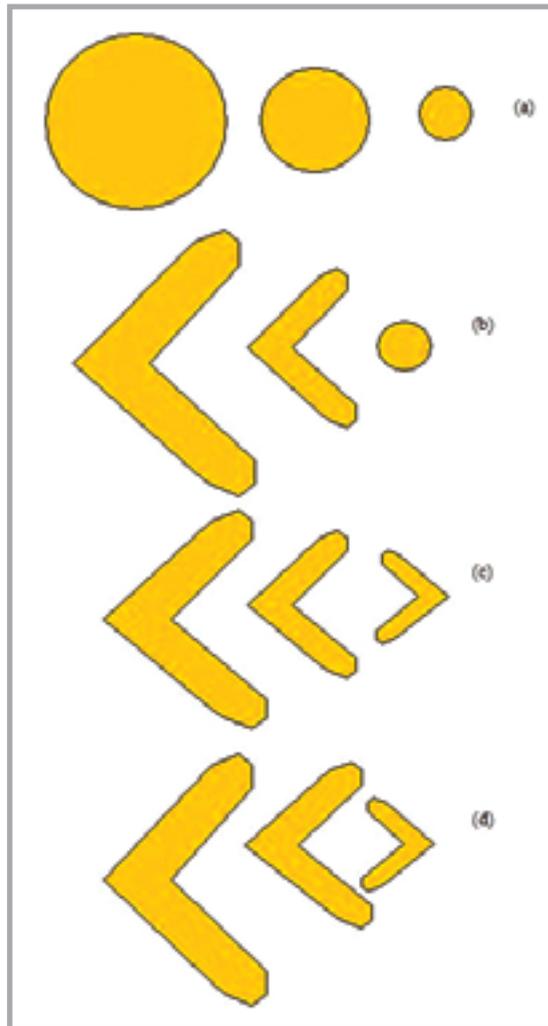


Figure 1
Schéma initial proposé
pour la composition
des îlots

Initial scheme proposed
for composition of the islands

en fonction des espèces et éviter qu'une espèce particulièrement dominante ne colonise l'ensemble, ce qui serait contraire à un objectif de développement de la biodiversité.

Pour définir plus précisément cet aménagement, une réunion de travail regroupant un représentant du Groupe Ornithologique Normand, un membre de la Maison de l'Estuaire – gestionnaire de la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine –, les directions régionales de l'Environnement (DIREN) de Haute et Basse Normandie et des ingénieurs des Ports Autonomes de Rouen et du Havre s'est tenue en 2000. Chacun des participants ayant exposé ses objectifs et ses contraintes, la démarche de conception a suivi les étapes exposées ci-après. Pour répondre aux objectifs ornithologiques le schéma de base de départ était composé de trois îlots totalement indépendants les uns des autres (figure 1.a).

Compte tenu des conditions hydrodynamiques

Figure 2
Schéma initial
de l'aménagement
Initial development
scheme

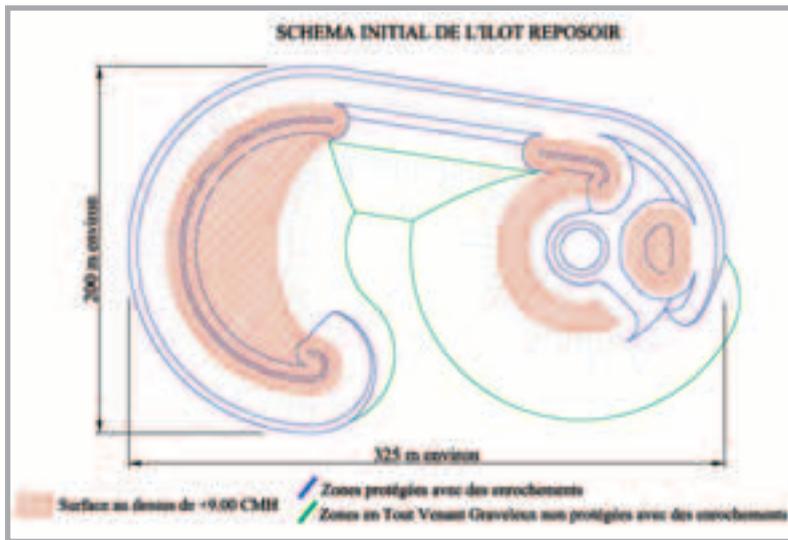
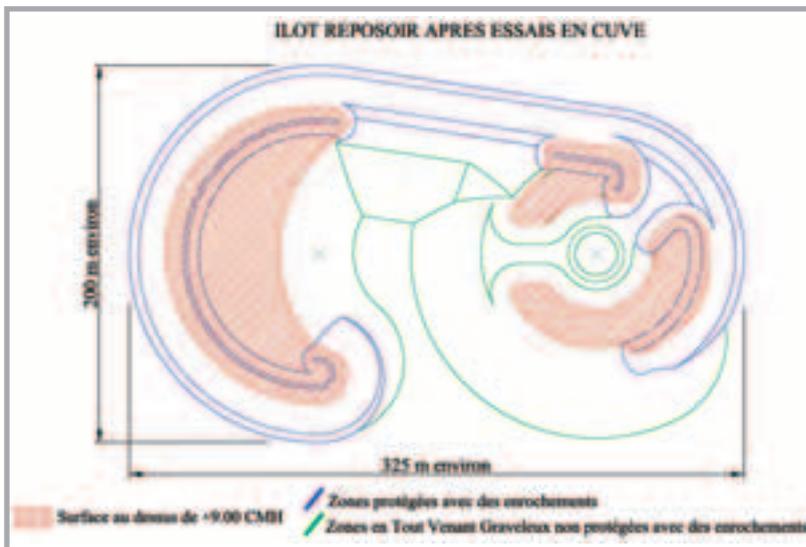


Photo 1
Essais
en canal
à houle
Tests
in swell
channel



Figure 3
Schéma
de l'aménagement
à l'issue des essais
sur modèles
Development
scheme following
tests on models



sévères (houles et courants) qui peuvent être présentes à l'entrée de l'estuaire de la Seine et pour diminuer les coûts des dispositifs de protection des îlots, il est apparu opportun d'imaginer que le plus grand des îlots, celui situé le plus à l'ouest, puisse servir de protection aux deux autres. Ce principe a conduit à imaginer une disposition sous la forme schématique de deux chevrons et un cercle, où l'îlot le plus grand abritait celui de taille moyenne qui lui-même servait de protection pour le plus petit (figure 1.b).

Par la suite, il est rapidement apparu plus astucieux de disposer les deux plus petits îlots tête bêche de sorte que :

- ◆ d'une part, la distance moyenne entre les deux soit augmentée, ce qui diminue les dérangements entre les espèces ;

- ◆ et d'autre part, de créer une surface relativement abritée entre eux favorisant ainsi le dépôt de matériaux fins, de type vase, susceptible d'abriter des organismes pouvant contribuer au nourrissage des oiseaux (figure 1.c).

Allant plus loin dans la réflexion pour créer des zones favorables au nourrissage des oiseaux, il a été aussi retenu qu'une digue de faible hauteur relie le nord de l'îlot ouest à la zone est de l'aménagement, favorisant la sédimentation de la vase dans l'espace ainsi défini (figure 1.d).

C'est sur la base de ce schéma de principe que la réunion s'est achevée, à charge pour le Port Autonome du Havre de le traduire en ouvrage, ce qui ne pouvait se faire sans passer par une phase d'étude comportant des modélisations qui ont permis d'en améliorer la conception aussi bien d'un point de vue purement technique qu'au regard des finalités environnementales recherchées.

■ LA MODÉLISATION AU SERVICE DE LA CONCEPTION

Au regard des matériaux disponibles et des objectifs recherchés, il a été retenu que le corps des îlots devait être constitué de "tout-venant graveleux", c'est-à-dire un mélange de sables et de galets, celui-ci devant être protégé par des enrochements de faibles tailles.

Compte tenu des pentes de stabilité de ces matériaux (environ 7/1 pour le tout-venant graveleux) et le choix de ne mettre en œuvre que des enrochements de relativement petites tailles (maximum 500 kg), un premier plan a été établi (figure 2). Il comporte essentiellement :

- ◆ une zone ouest constituée d'un seul ensemble en forme de croissant d'une surface de près d'un hectare à marée haute ;

- ◆ une zone est quasi circulaire avec, en son centre, une zone volontairement plus basse pouvant être inondée lors des plus grandes marées, les deux îlots ouest étant séparés par deux chenaux l'un au nord-est et l'autre au sud-est. Il faut aussi noter qu'alors que l'ingénieur des travaux maritimes souhaitait protéger par des enrochements toute la partie sud de cette zone, il a été fait le choix avec les environmentalistes de laisser une plage, tout en sachant que celle-ci évoluerait au gré des tempêtes et des courants ;

- ◆ une liaison entre les zones est et ouest légèrement plus basse mais permettant cependant de créer une baie intérieure favorable à une sédimentation fine permettant l'implantation d'organismes pouvant servir de nourriture à certains oiseaux.

C'est sur la base de ce plan que les modélisations

physiques ont été menées en vue d'étudier son comportement sous l'action de la houle.

Les modélisations ont été confiées à la Sogreah suite à un appel d'offres. L'étude comportait principalement deux phases : une première en canal à houle pour définir les profils des sections courantes des différents talus et une deuxième en cuve à houle pour examiner les effets tridimensionnels de la houle sur les différents points singuliers de l'aménagement.

La première phase de l'étude en canal à houle a principalement permis de vérifier que des enrochements de 200 à 500 kg mis sur une pente constituée de galets de 3H/2V dans la partie basse du talus et de 5H/1V dans la partie haute résistait aux conditions de houles retenues. Le talus a une hauteur totale de l'ordre de 7,75 m entre les cotes + 3 m CMH et + 10,75 m CMH (photo 1).

Par la suite, un modèle en trois dimensions à l'échelle du 1/40^e a été mis en œuvre pour tester le comportement de l'ensemble de la structure pour des houles provenant de différentes directions comprises entre le sud-ouest et le nord-ouest.

La première série de 10 tests sur la configuration initiale a montré que :

- ◆ la stabilité globale de la protection en enrochements était assurée ;
- ◆ des franchissements pouvaient se produire particulièrement dans la zone de jonction, ce qui a pour incidence de remodeler la plage située derrière ;
- ◆ comme attendu, les déformations les plus importantes apparaissent sur la zone de la plage non protégée située au sud-est de l'aménagement, en particulier le chenal qui montre une tendance certaine à se colmater.

Au regard de ces résultats, les modifications suivantes ont été apportées (figure 3) :

- ◆ déplacement du chenal sud-est à l'ouest de la zone est ;
- ◆ modification des parties supérieures des talus des zones nord et est.

Les essais complémentaires effectués ont permis de montrer que toutes les parties protégées par des enrochements étaient stables et que la plage située au sud de la zone est se déformait de manière plus satisfaisante (photo 2), le chenal ouest se maintenant même lors des tempêtes les plus fortes.

Afin de s'assurer que l'aménagement répondait bien aux objectifs attendus, une réunion s'est tenue en mai 2002 à la Sogreah avec des représentants des différents organismes ayant participé à la conception initiale de l'aménagement. Une série complémentaire de tests sur le modèle physique a été effectuée lors de cette réunion, sur la base de l'aménagement issu de la deuxième série d'essais.

Les observations faites ont permis de confirmer la conception de l'aménagement et plus particulière-



Photo 2
Déformation de la plage sud-est sur le modèle physique

Deformation of the southeastern beach on the physical model



Photo 3
Vue aérienne de l'îlot

Aerial view of the island

ment que la déformation de la plage située au sud-est était acceptable et même souhaitable pour donner localement un caractère moins artificiel à l'ensemble.

Après une période d'études de faisabilité et de passation de marché de travaux, l'ouvrage a été réalisé par Atlantique Dragage entre octobre 2004 et avril 2005 (photo 3) et, d'un point de vue morphologique, la comparaison des photos 2 et 3 montre que l'évolution du secteur sud-est non protégé par des enrochements est conforme à celle prédite par le modèle.

Du point de vue de sa fréquentation par les oiseaux, les premières observations faites par les ornithologues sont tout à fait encourageantes. À titre d'exemple, il peut être signalé que, moins d'une dizaine de jours après la fin des travaux, plus d'un millier d'oiseaux de différentes espèces était comptabilisé sur l'îlot et que cette fréquentation se confirme depuis, des phoques veaux marins y ont même été occasionnellement aperçus. Il nous faut maintenant attendre que les oiseaux investissent vraiment les lieux en y nichant. La colonisation de ce milieu pionnier par la faune benthique et par la végétation fait également l'objet d'un suivi par les scientifiques, car elle conditionne à long terme l'accueil optimal des oiseaux.

Réalisation d'un îlot de la digue du Ratier

Il aura fallu cinq mois pour voir émerger l'îlot reposoir pour les oiseaux au milieu de l'estuaire de la Seine.

Dédié aux oiseaux marins, l'îlot de forme complexe "haricot" a été construit en sablo-graveleux et enrochements durs par la société Atlantique Dragage sur ordre du Port Autonome du Havre dans le cadre du chantier environnemental de Port 2000.

Pendant la durée des travaux 544 000 t de sablo-graveleux et 57 000 t d'enrochements durs ont été acheminées durant les marées hautes par des engins maritimes puis mise sous profil pendant les marées basses par un atelier d'engins terrestres.

Termine au mois d'avril 2005, le port Autonome est devenu propriétaire pour 20 ans, la Maison de l'Estuaire est chargée de gérer l'ouvrage et du suivi ornithologique pendant cette période.

■ PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Sous l'appellation Port 2000, le Port Autonome du Havre réalise une extension majeure du port existant, comprenant la création d'un nouveau terminal à conteneurs ainsi qu'un nombre de projets associés. L'expansion ou la compensation des espaces naturels constitue l'un des défis essentiels des projets d'infrastructures modernes, et c'est dans ce cadre qu'il a été décidé de construire un îlot reposoir situé au sud de la digue du Ratier dans l'estuaire de la Seine, à droite des bouées 11 à 13 du chenal du Port Autonome de Rouen. Cet îlot, destiné à héberger une grande diversité d'oiseaux, présente une forme complexe en "haricot". Les parties ouest et est, de formes circulaires, sont reliées par un ouvrage appelé "digue de jonction".

Le corps de l'îlot est constitué de tout-venant sablo-graveleux, protégé sur les parties les plus exposées, par une carapace de protection en enrochements durs de 200 à 500 kg. Au total, 56 988 t d'enrochements durs et 544 447 t de sablo-graveleux ont été mises en œuvre pendant la période d'octobre 2004 jusqu'à avril 2005.

La baie intérieure de l'îlot (est de la partie ouest, sud de la digue de jonction, ouest de la partie est)

ainsi que le sud de la partie est ne sont pas protégés permettant, avec le temps, une évolution naturelle par les effets de la mer (figure 1).

Avec ses nombreuses courbes, ses talus avec des pentes différentes, sa superficie relativement restreinte de 200 x 325 m et sa situation géographique, la construction de l'îlot reposoir a constitué un véritable challenge pour l'équipe d'Atlantique Dragage.

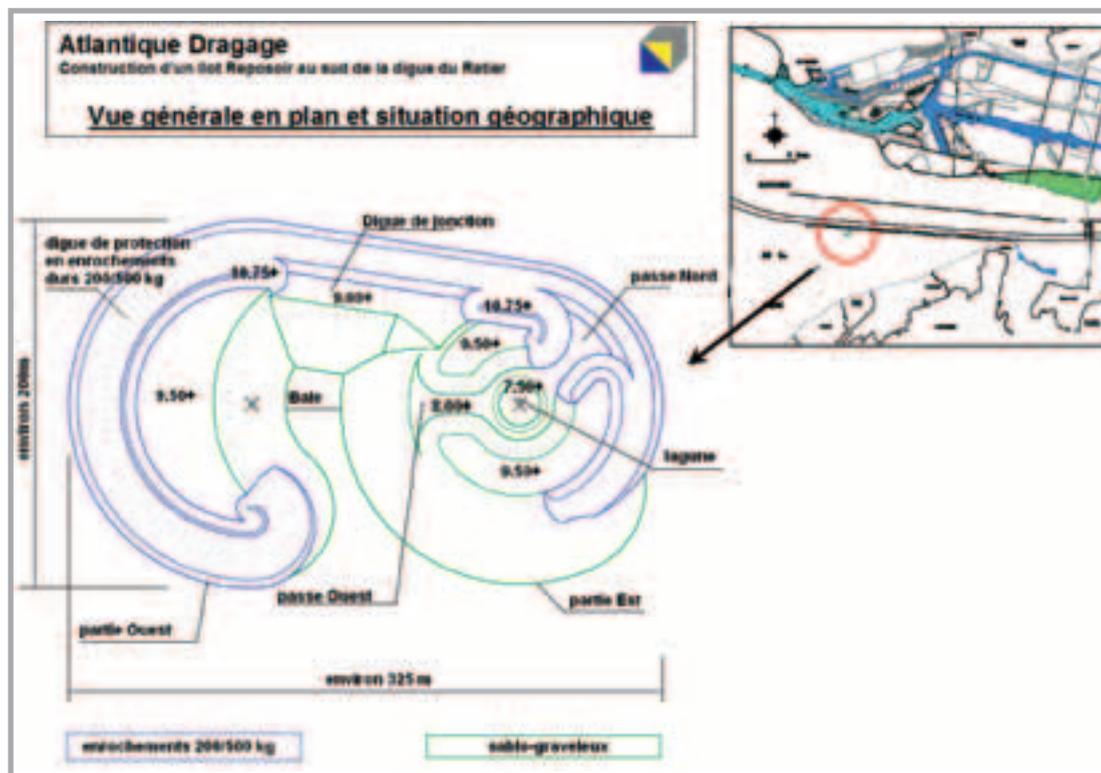
La zone de travaux étant uniquement accessible par voie maritime (à partir de mi-marée pour des raisons de tirant d'eau) exigeait une méticulosité au niveau du planning des travaux car toute la logistique (transports, changement des équipes, déversements, topographie) était basée sur le tableau des marées.

■ EXIGENCES TECHNIQUES ET ENVIRONNEMENTALES

La conception de l'îlot reposoir tenait compte de plusieurs exigences techniques et environnementales :

- ◆ les courants de l'estuaire ne devaient pas être affectés ;
- ◆ l'îlot devait résister aux tempêtes, mais en même

Figure 1
Vue en plan
de l'îlot
Plan view
of the island



reposoir au sud

Hans Been



**DIRECTEUR
DES TRAVAUX**
Atlantique Dragage

temps une évolution naturelle par les effets maritimes des zones intérieures était souhaitée;

◆ elle devait répondre aux besoins de sa population future: les oiseaux;

◆ pendant la construction, tout travaux d'entretien et de ravitaillement en fuel des engins de terrassement était interdit sur l'îlot afin d'éviter la pollution par des hydrocarbures.

En raison des conditions environnementales (notamment maîtrise du taux de matières en suspension), le transport hydraulique des matériaux dragués (pompage à terre ou "rainbowing") n'était pas autorisé. C'est ainsi qu'une mise en œuvre de ces matériaux sans eau ajoutée a été envisagée dans le marché, raison pour laquelle les quantités sont exprimées en tonnes de matériaux saturés mis en œuvre.

Afin de permettre au PAH de suivre les quantités mises en œuvre et les trajectoires suivies par les navires, un système d'enregistrement automatique a été installé sur tous les navires. Ce système, ayant fait l'objet d'une validation et de calibrages avec la maîtrise d'œuvre, enregistrerait toutes les 15 secondes un nombre de paramètres permettant de calculer le tonnage en matériaux saturés emmenés sur l'îlot (cf. tableau I).

Pour permettre une mise en œuvre des matériaux sans eau ajoutée avec la drague autoporteuse et le chaland, tout en permettant une détermination fiable des quantités (sans relevés manuels ni estimation du pourcentage de vides), un système de drainage a été installé dans le puits des deux navires permettant, par moyen d'un système de pompes immergées, de drainer les matériaux sablo-graveleux. Le faible niveau d'eau résiduel dans la cargaison après pompage était enregistré par des capteurs et converti électroniquement en tonnage en eau (de mer) présent dans les vides de la partie submergée de la cargaison (suivant un coefficient sécuritaire pour le maître d'ouvrage), créant ainsi une situation d'humidité semi-naturelle. Le tonnage des matériaux mis en œuvre était déterminé en prenant le poids du chargement complet diminué par le poids en eau résiduelle dans la cargaison.

■ RÉALISATION DES TRAVAUX

Les équipements utilisés pour la réalisation des travaux comprenaient:

◆ un navire à déversement latéral "Arca" (mise en œuvre des enrochements);

	Unité	ARCA	Sospan Dau	Long Sand
Date	dd/mm/yy	X	X	X
Heure	hh :mm :ss	X	X	X
Position antenne « easting »	Lambert 1	X	X	X
Position antenne « northing »	Lambert 1	X	X	X
Position du bec d'élinde « easting »	Lambert 1	X	X	
Position du bec d'élinde « northing »	Lambert 1		X	
Profondeur du bec d'élinde [m]	Lambert 1		X	
Tirant d'eau à l'avant [m]	[m]		X	X
Tirant d'eau à l'arrière [m]	[m]		X	X
Déplacement [t]	[t]	X	X	X
Niveau d'eau dans le puits avant [m]	[m]		X	X
Niveau d'eau dans le puits arrière [m]	[m]		X	X
Volume correspondant dans le puits	[m ³]		X	X
Position des portes (ouvert/fermé)	I/O		X	X
Position des chenilles	I/O	X		

◆ une drague autoporteuse "Sospan Dau", capacité 1 400 m³ (sablo-graveleux);

◆ un chaland autopropulsé "Long Sand", capacité 1 040 m³ (sablo-graveleux);

◆ un ponton-atelier autopropulsé "Schorpioen" pour le transport et l'entretien des engins de terrassement;

◆ une vedette de servitude/hydrographique "Coastal Tender", remplacée pendant les travaux par le remorqueur MCS Shakespeare (750 hp);

◆ atelier terrestre (sur l'îlot):

- 1 pelle hydraulique Liebherr 954,

- 1 pelle hydraulique Caterpillar c330C avec grappin pour enrochements,

- 2 bulldozers Caterpillar D6LGP,

- 1 chargeuse Caterpillar 980 G.

Le phasage des travaux était le suivant:

◆ levée initiale avant travaux;

◆ déversement du cavalier en enrochements par déverseur latéral Arca;

◆ création du corps de l'îlot en sablo-graveleux, claquage par la drague "Sospan Dau" autoporteuse et chaland "Long Sand";

◆ couverture de l'extérieur du corps de l'îlot en sablo-graveleux avec des enrochements durs par déversement et reprise par matériel terrestre;

◆ profilage du sablo-graveleux et des enrochements, par l'atelier terrestre.

Pour la levée initiale de la zone des travaux avant travaux, il a été décidé de combiner deux méthodes, la bathymétrie à l'aide d'un échosondeur (33/210 kHz) de la zone à marée haute et une topographie par DGPS portable (Husky) à marée basse.

Tableau I
Tableau des paramètres enregistrés

Table of recorded parameters

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

• Enrochements 200/500 kg : 56 988 t, 115 voyages du navire déverseur ARCA

• Sablo-graveleux : 544 447 t, 295 chargements de la drague Sospan Dau

et 196 chargements du chaland Long Sand

• Coût de l'ouvrage : 7 485 521 € HT

Photo 1
Situation
le 23 novembre
2004

Situation
on 23 November
2004



Photo 2
Terrassements
en cours

Earthworks
in progress



Photo 3
L'ouvrage
terminé

The completed
structure



► se sur le banc du Ratier. L'avantage de cette méthode était de pouvoir profiter de la très grande densité en points mesurés du sondage hydrographique et d'incorporer les points mesurés au DGPS dans la matrice des points afin de créer un modèle numérique de terrain détaillé de la zone des travaux pour mieux estimer les quantités requises. La création du modèle numérique de terrain et du modèle théorique de l'ouvrage était la première étape complexe du chantier car il était difficile de prévoir tous les raccordements des talus de différentes pentes dans un système de positionnement conçu pour le dragage des chenaux, etc. Pour les activités de déversement des enroche-

ments et du clapage du sablo-graveleux, le planning des lieux de déversement et la séquence des clapages étaient très importants puisque, à marée haute, quatre navires devaient travailler côte à côte sans se gêner et que, à marée basse, les engins de terrassement devaient avoir accès à toutes les quantités déversées/clappées afin d'exécuter le profilage et de préparer la zone pour la cargaison suivante.

A cause des hauts-fonds sur le banc du Ratier, la fenêtre d'accessibilité de la zone par la drague était limitée, il était donc impossible d'effectuer deux voyages lors d'une même marée. Ces mêmes hauts-fonds limitaient également la taille de la drague utilisable du fait de son tirant d'eau. C'est pour cette raison que la drague a été équipée d'une installation permettant de charger un chaland (Long Sand) et créer ainsi une augmentation de la quantité mise en œuvre par marée de l'ordre de 60 %.

Le début des travaux a physiquement eu lieu le 7 octobre 2004 par le déversement du premier chargement d'enrochements durs 200/500 kg en provenance de la carrière de Montebourg par le déverseur latéral Arca. Celui-ci a continué à déverser des enrochements pendant les marées hautes le long de la future limite extérieure de l'ouvrage afin de créer une protection rocheuse avant la mise en œuvre du corps de l'îlot en matériaux sablo-graveleux à partir de fin octobre 2004 (photo 1).

En raison des conditions environnementales, un refoulement hydraulique du corps de l'îlot était interdit. C'est pour cette raison que la drague Sospan Dau et le chaland Long Sand ont utilisé la méthode par clapage avec des portes situées au fond du navire.

Avec les niveaux "vierges" avant travaux sur le banc du Ratier variant entre + 1,5 et + 2 m CMH, les marées hautes atteignant des niveaux entre + 6 et + 7,6 CMH et avec un tirant d'eau de la drague chargée de 4,50 m, la marge entre navigation et échouement était minimale. Il était impératif de calculer le tirant d'eau admissible pour chaque navire et pour chaque clapage en fonction de la marée et du plan des derniers sondages de la zone des travaux.

Les engins de terrassement étaient obligatoirement chargés à bord du navire transporteur/atelier flottant Schorpion pendant chaque marée haute, puis déchargés juste avant marée basse pour faire le profilage. Cette situation a duré 6 semaines deux fois par jour, sept jours par semaine. Ce fut le temps nécessaire pour construire une "tête de pont" en sablo-graveleux munie d'une protection en enrochements durs assez solides pour laisser les engins à marée haute (photo 2).

La mise en œuvre des enrochements supérieurs au niveau + 7,5 a été fait à partir des dépôts temporaires notamment au nord de la digue de jonction, les enrochements nécessaires étaient repris à marée basse par les engins de terrassement pour

la mise en œuvre directe ou pour la mise dans un deuxième dépôt temporaire sur la digue de jonction.

La météo imprévisible de la région du Havre pendant la période hivernale a constitué un élément à risque pendant la construction de cet îlot. Le navire Schorpioen, étant le plus petit, était toujours le premier à s'arrêter et le dernier à reprendre ses activités si les conditions de mer étaient mauvaises. Avec l'arrêt du Schorpioen, la totalité de l'atelier terrestre s'arrêtait, suivi par l'arrêt obligatoire de la drague et du chaland quelques marées plus tard à cause du manque de place pour effectuer les clapages.

Soixante-cinq jours d'intempéries compris dans le délai d'exécution étaient prévus sur la période des travaux, sur lesquels une quarantaine a été consommée. Le week-end du 17 décembre 2004, une tempête s'est acharnée sur l'îlot en construction, muni seulement de sa protection en enrochements durs jusqu'au niveau de + 7,50 m CMH.

La combinaison d'une marée moyenne mais avec une forte surcote, le déferlement de vagues d'une hauteur importante et d'un vent venant du nord-ouest de 10 Beaufort, ont déplacé une quantité de 18 000 m³ de matériaux sablo-graveleux non encore protégés de la partie ouest vers la partie est de la baie intérieure, en réduisant la hauteur de la partie ouest de l'îlot de plus de deux mètres (localement de + 9,50 CMH à +7 m CMH). Sur la totalité des 18 000 m³ déplacés, 1 400 m³ n'étaient pas récupérables. Les talus en enrochements durs de la partie ouest étaient affaissés sur une surface d'environ 960 m² et ont été repris (figure 2).

Le projet s'est achevé mi-avril 2005, conformément au planning des travaux. Au final, à cause des niveaux différents par zone, l'îlot présente trois zones de terre séparées à marée haute. Ces zones peuvent accueillir différentes espèces d'oiseaux marins. L'îlot dispose également de deux étendues d'eau : une baie ouverte sur le sud (la baie intérieure) et un lagon centré dans la partie est, protégé par des gravats sur trois côtés, qui se remplit pendant les marées de vives eaux, puis se vide graduellement grâce à l'effet drainant du sable sous-jacent (photo 3).

L'ouvrage a été réalisé conformément aux exigences du marché et a subi seulement un minimum de changements par rapport au modèle théorique. Le changement le plus visible a été le rehaussement de la digue de jonction de + 9,00 CMH à + 10,25 CMH, avec des enrochements durs et les vides remplis de sablo-graveleux (figure 3).

Ce changement, effectué suite à la visite commune de la Maison de l'Estuaire et du PAH, a été fait pour les raisons suivantes :

- ◆ limiter le déferlement des vagues dans cette zone en cas de tempête ;
- ◆ amélioration des conditions de nidification des oiseaux.

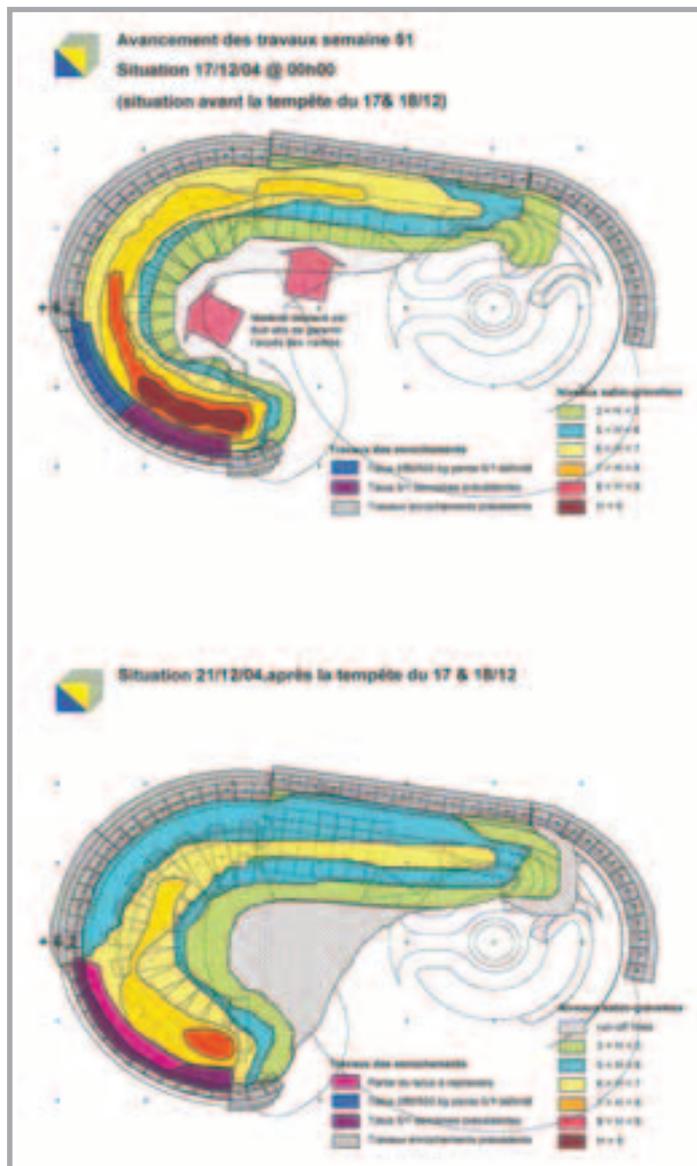


Figure 2
Les effets de la tempête du 17 décembre 2004
The effects of the storm of 17 December 2004

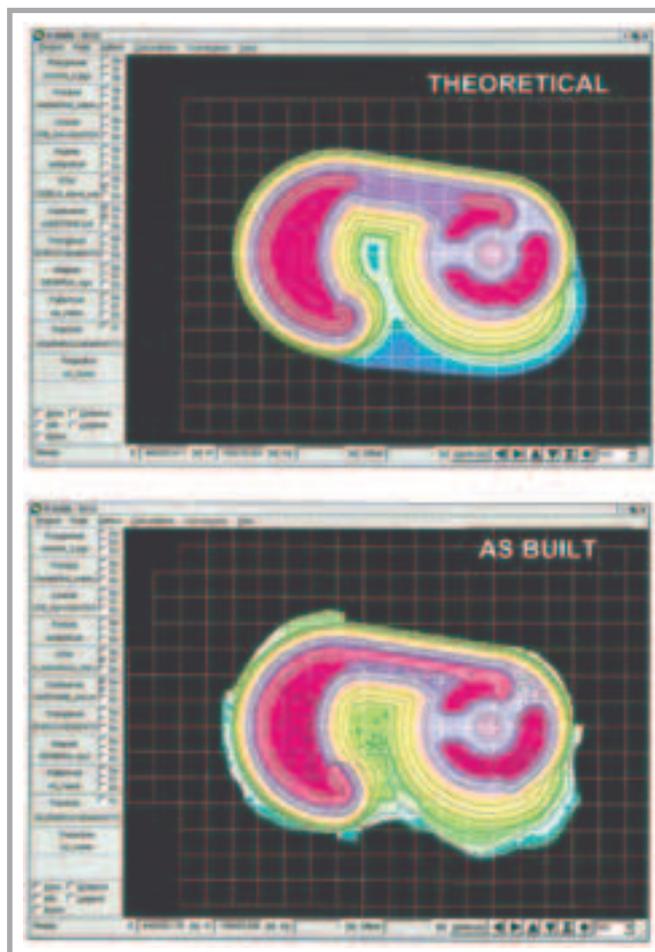


Figure 3
Modèle théorique contre ouvrage réalisé
Theoretical model compared with actual project

En totalité, à la fin du chantier, une quantité de 56 988 t d'enrochements a été déversée pour entourer 544 447 t de sablo-graveleux, pour lesquelles 608 000 t ont été draguées.

A la réception des travaux, le 15 avril 2005, le Port Autonome du Havre est devenu propriétaire de l'îlot pour une période de vingt ans, pendant laquelle la gestion de l'îlot est confiée à la Maison de l'Estuaire, gestionnaire de la réserve naturelle. Après vingt ans, il appartiendra au domaine public. L'accès à l'îlot est réservé aux scientifiques concernés afin de préserver la tranquillité des oiseaux.

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

Maitre d'ouvrage

Port Autonome du Havre

Maitrise d'œuvre

Direction Technique du Port Autonome du Havre

Entreprise

Groupement Atlantique Dragage (mandataire)
- Boskalis International BV

ABSTRACT

Execution of a resting island to the south of Le Ratier breakwater

H. Been

It took five months to see the bird resting island emerge in the middle of the Seine estuary.

The complex "bean" shaped island, dedicated to sea birds, was built in sandy gravel and hard riprap by the company Atlantique Dragage for the client Port Autonome du Havre within the framework of the Port 2000 environmental project.

Throughout the work period 544,000 tonnes of sandy gravel and 57,000 tonnes of hard riprap were carried at high tide by offshore machinery and then profiled at low tide by a fleet of land-based machines.

Completed in April 2005, the Port Autonome became the owner for 20 years, while "Maison de l'Estuaire" is responsible for managing the project and for bird monitoring during this period.

RESUMEN ESPAÑOL

Realización de un refugio de descanso al sur del dique de Le Ratier

H. Been

Habrán sido necesarios cinco meses para la construcción del refugio de descanso para los pájaros en medio del estuario del Sena.

Dedicado a los pájaros marinos, el refugio de forma compleja de "judía" fue construido en arena grava y escolleras duras por la empresa Atlantique Dragage por encargo del Puerto Autónomo de Le Havre en el marco de los trabajos medioambientales de Port 2000.

Durante la duración de los trabajos 544 000 t de arena grava y 57 000 t de escolleras duras fueron transportadas durante las mareas altas por vehículos marítimos y, acto seguido, perfilado durante las mareas bajas por un taller de maquinarias terrestres.

Finalizado en abril de 2005, el puerto Autónomo ha llegado a ser propietario para 20 años y, la Casa del Estuario tiene a su cargo la administración de las obras y el seguimiento ornitológico durante este período.

La réhabilitation des vasières

Le marché en conception-réalisation des aménagements de réalimentation en eau de la zone de vasières située sous le pont de Normandie a été adjugé au groupement d'entreprises Sodranord - Van Oord - In Vivo.

Les travaux proposés sont en partie localisés dans la réserve naturelle, site classé zone de protection spéciale, d'où une attention particulière pour appréhender l'enjeu environnemental. Après réalisation des études, les travaux ont consisté à creuser un chenal par dragage de 100 m de large et 2 800 m de long. Les 2 000 000 m³ de matériaux dragués in situ ont été refoulés en chambre de dépôt dans des bassins créés le long de la Route de l'Estuaire.

Durée des études de conception 4 mois, durée des travaux 12 mois.

Au cours de l'été 2003, Sodranord, filiale du groupe néerlandais Van Oord, s'est mobilisée pour répondre à la consultation lancée par le Port Autonome du Havre portant sur la conception et la réalisation des aménagements de réalimentation en eau de la zone de vasières située en amont du pont de Normandie (figure 1).

La partie conception assez rare dans le domaine des travaux maritimes et le programme environnemental de ce projet ont guidé Sodranord à réunir les compétences de sa maison mère Van Oord active sur le plan International, notamment sur les grands projets de Dubaï (Palm Island, Globe Island) et de la société In Vivo, pour former un groupement d'entreprises Sodranord (mandataire) - Van Oord - In Vivo.

En parallèle à ces travaux de réhabilitation des vasières, élément majeur de la partie environnementale de Port 2000, des aménagements complémentaires dans le cadre d'autres marchés ont été lancés par le PAH. Ces travaux se situent en aval et en amont du pont de Normandie.

En aval :

- ◆ rehaussement de la brèche actuelle ;
- ◆ rehaussement d'une partie de la digue basse nord ;
- ◆ création d'un épi plongeant.

En amont : création d'une brèche, au droit de la vasière artificielle existante.

La complémentarité de certains travaux et leur possible synergie avec les travaux des vasières, en particulier le dragage, ont fortement motivé Sodranord.

■ LA REMISE DE L'OFFRE DES VASIÈRES

Le 15 décembre 2003, le groupement remettait le résultat de ces études. La consultation portait à la

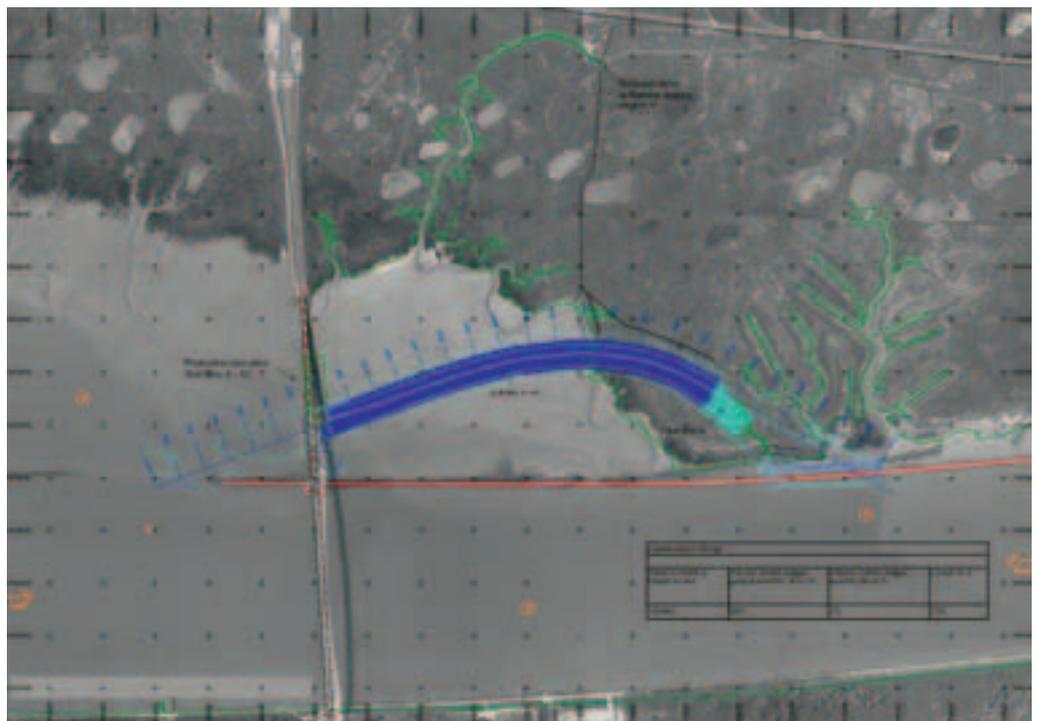


Figure 1
 Tracé du chenal
 Channel layout

fois sur l'établissement des études (tranche ferme – phase conception – délai 4 mois) et l'exécution des travaux (tranche conditionnelle – phase réalisation – délai 12 mois) en tenant compte des exigences techniques et environnementales.

Les travaux proposés sont en partie localisés dans la réserve naturelle, site classé zone de protection spéciale. Toute activité y est proscrite, par arrêté interpréfectoral, de mars à septembre afin de protéger les oiseaux pendant la période de nidification.

Par ailleurs, l'entrepreneur était chargé de valider ou d'adapter les études préliminaires menées antérieurement par Sogreah.

Aux diverses solutions techniques proposées par Sogreah, Sodranord a privilégié une solution exclusivement maritime particulière économique et avantageuse sur le plan environnemental.



Photo 1
Chambres de dépôt
Settling chambers



Dans son mode d'exécution, le groupement a totalement exclu la création de pistes terrestres pour le passage des conduites de refoulement, en préférant traverser dans son axe la réserve naturelle. Cette solution, très complexe pour l'assemblage des conduites dans les zones marécageuses, permettait de réduire de manière sensible les surfaces d'emprise et de limiter les impacts sur la flore ainsi que les nuisances sonores liées au trafic d'engins terrestres.

Comme le prévoyait le règlement de consultation, les candidats étaient invités à défendre leur projet face à un jury constitué du Port Autonome du Havre (PAH), du Port Autonome de Rouen (PAR), de la DIREN, de la Maison de l'Estuaire et de la Chambre de Commerce.

L'audition a permis aux candidats de compléter leur offre et de satisfaire les questions posées par les membres du jury.

Le 30 avril 2004, l'offre présentée par le groupement Sodranord - Van Oord - In Vivo était approuvée par le PAH. Les études prévues dans la phase conception de la tranche ferme du marché pouvaient alors commencer.

■ LES TRAVAUX

Phase conception

Au terme de la période de quatre mois, le groupement devait remettre l'ensemble des études développées au cours de l'appel d'offres pour valider les options retenues, telles que :

- ◆ études environnementales ;
- ◆ études chenal :
 - relevé bathymétrique et topographique,
 - stabilité des talus,
 - courants dans le chenal,
 - plan du chenal ;
- ◆ études protection des piles :

- étude de l'impact de la méthodologie et du passage du dragage sur la protection des piles,
- stabilité de la protection y compris les études du régime des vagues ;

◆ études dépôt :

- études géotechniques, détermination sable/vase/foisonnement,
- stabilité des digues de dépôt,
- stabilité des digues et de la voie ferrée,
- plan du dépôt ;

◆ études diverses :

- plan d'installation général du chantier,
- études des co-activités avec les travaux des brèches,
- préparation du Plan général de coordination (PGC),
- note relative aux éventuelles modifications du projet.

Ces études ont été menées par le bureau d'études interne Sodranord à l'exception des études de courantométries confiées à Delft Hydraulics.

L'ensemble de ces documents a été remis début septembre 2004, dans le cadre des dispositions prévues à l'article 3 du CCAP fixant les modalités de rémunération du coût des travaux.

Si la plupart des études ont confirmé les options originales prises par le groupement, les résultats relatifs aux études sur le foisonnement et la ségrégation des sédiments vases-sables ont nécessité quelques adaptations sur la méthodologie des dragages et la construction des digues de dépôt. Ces dispositions ont nécessité de modifier la surface et le volume du terrain de dépôt afin d'assurer une contenance suffisante de ce dernier et d'éviter tout risque d'arrêt du train de dragage.

A ce sujet, sont venus s'ajouter les phénomènes naturels du site, tels que l'engraissement des surfaces à draguer et le comblement nécessaire des fosses en cours de formation situées au droit des piles du pont de Normandie.

Au fur et à mesure de l'avancement de ces études, des réunions entre les Services du PAH et les membres du groupement faisaient le point sur les sujets à traiter ou terminés afin de permettre une analyse définitive dans les meilleurs délais.

Dans ces conditions, la personne responsable du marché a été en mesure de valider le projet du groupement et de lui donner un ordre de service de commencer les travaux de la tranche conditionnelle, le 1^{er} novembre 2004.

Entre-temps, Sodranord a obtenu les autres travaux d'aménagement des brèches amont et aval au travers de deux marchés distincts. La maîtrise d'ouvrage de ces marchés a été assurée par le PAH et la maîtrise d'œuvre par le PAR.

Phase travaux

Au titre de ce marché conception-réalisation, les termes du cahier des charges imposaient à l'entreprise outre la réalisation des travaux, d'agir en tant que maître d'œuvre. Peu habitué à ce rôle

de contrôle et de suivi permanent des travaux, le groupement s'est acquitté de cette tâche avec succès.

L'enjeu consistait à creuser un chenal amont avec pour objectif de prolonger la fosse nord actuelle jusqu'à la nouvelle brèche amont, d'améliorer la circulation de l'eau et créer des vasières complémentaires à l'amont du pont de Normandie pour préserver les nourriceries. Le volume à draguer in situ représente environ 1 800 000 m³ de vases et sables dont une poche de matériaux légèrement pollués de ± 100 000 m³. Les dimensions du chenal après dragage sont de 100 m sur sa largeur (nord-sud) et 2 800 m sur sa longueur (ouest-est).

Pour entreposer ces matériaux, une chambre de dépôt a été aménagée au nord de la Route de l'Estuaire soit à 2,5 km de la zone de dragage. En préalable au dragage environnemental, le groupement devait assurer la protection des piles d'accès du pont de Normandie pour éviter toute érosion des assises de l'ouvrage.

Le groupement devait respecter les impératifs techniques suivants :

- ◆ l'implantation de l'axe du chenal ;
- ◆ un plafond du chenal compris entre les cotes 0,00 et + 2,00 CM ;
- ◆ trois sections courantes avec surface minimale d'écoulement ;
- ◆ évasement progressif des sections permettant le raccordement géométrique aux brèches amont et aval.

■ CONSTRUCTION DES CHAMBRES DE DÉPÔT

(photo 1)

Dès l'ordre de service, le groupement a sous-traité la réalisation des chambres de dépôt à l'entreprise dunkerquoise EPV - Prensier Vermeulen.

Après avoir décapé l'emprise des digues, débroussaillée et déboisée l'emprise du futur dépôt, les pelles, les bouteurs et tombereaux articulés sont entrés en action au rythme de 6 500 m³/jour de terrassement. Au total, plus de 470 000 m³ de terrassement pour édifier 4 000 m de digues aux dimensions suivantes :

- ◆ crête de digue 4 m ;
- ◆ cotes variables + 12,50 à 13,70 CMH ;
- ◆ profil intérieur variable 2,5 pour 1 à 2 pour 1 ;
- ◆ profil extérieur variable 3 pour 1 à 2,5 pour 1.

Pour collecter les éventuelles eaux de percolation, un fossé a été réalisé en périphérie du dépôt. La méthode de compactage mise en œuvre par le sous-traitant a satisfait à l'ensemble des contrôles requis. Les digues du bassin destiné à recevoir les produits pollués ont été protégées par un film polyane.

Après quatre mois d'activité, EPV s'est acquittée



Photo 2
Protection des piles
Protection of the piers

avec ponctualité et qualité de sa prestation aux conditions convenues.

■ LA PROTECTION DES PILES

(photo 2)

Cette prestation de grande précision, très attendue par l'ensemble des intervenants et plus particulièrement par son gestionnaire du pont de Normandie, la CCIH, a nécessité une longue préparation de l'organisation de chantier pour éviter toutes collisions possibles par les matériels nautiques avec l'ouvrage prestigieux. La protection des piles est assurée par des conduites flottantes ceinturant les piles concernées par la navigation courante. Pour ce dispositif, une procédure particulière aux engins nautiques a été mise en place avec test en situation pour familiariser leurs opérateurs avec les spécificités du site notamment les variations de courants. Les travaux ont consisté en préalable à la stabilisation d'une fosse existante à proximité des piles n° 2 et 3 par le clapage d'environ 15 000 t de tout-venant. Puis les travaux de protection ont pu démarrer. Ces travaux se sont déroulés par phases successives et répétées entre les piles de l'ouvrage. Dans un premier temps, s'est effectué le dragage d'une souille de 20 m de large, dans l'axe des piles, à la cote variable de 0,00 à + 2,00 CMH selon les sections, puis mise en place de la couche filtrante (graves 10/80 mm) antipoinçonnement sur une épaisseur de 30 cm et finalement mise en place de la couche de protection sur 70 cm (enrochements 10 - 200 kg).

Pour s'assurer de la bonne mise en œuvre et du respect des tolérances des bathymétries quotidiennes ont été opérées avec des moyens sophistiqués permettant une couverture maximum sous l'ouvrage.

L'ensemble des travaux a été réalisé par le dipper Dredge "Dinopotes", deux chalands automoteurs "Topi et Ville" de 500 t et l'assistance d'un re-



Photo 3
Dragage du chenal
Channel dredging

► morqueur. Les matériaux de carrières en provenance de Cherbourg ont été approvisionnés par voie maritime jusqu'aux quais du port d'Honfleur et transbordés directement dans les chalands.

■ DRAGAGE DU CHENAL (photo 3)

Pour relier le train de dragage à la zone de dépôt d'une distance moyenne de 2,5 km, plus de 4,5 km de conduite en acier d'une longueur de 12 m ont été mobilisés des Pays-Bas (4 km de conduite terrestre, 0,5 km de conduite flottante d'un diamètre 600 mm). L'essentiel de ces conduites a servi au transport hydraulique des sédiments, le restant au retour d'eau des chambres de dépôts pour alimenter la filandre existante, comme le souhaitait la Maison de l'Estuaire, et la zone de rejet située en limite du nouveau chenal. L'enjeu environnemental était d'installer ces conduites, pendant une période hivernale, dans l'axe de la zone naturelle sur une section limitée constituée pour partie de vasières et de roselières, avant le 1^{er} mars 2005, date d'entrée en vigueur de l'arrêté préfectoral protégeant la nidification, la traversée des voies SNCF et la Route de l'Estuaire également réglementées par décrets. La parfaite organisation du chantier a permis de remporter ce pari dans les délais impartis et de commencer les tests de dragage à la fin février 2005.

Le choix d'une drague de faible tirant d'eau de forte puissance s'est avéré nécessaire au cours de l'avancement du chantier. La récente fusion entre l'ancien actionnaire de Sodranord et son actuelle maison mère Van Oord a permis de mobiliser la drague aspiratrice stationnaire "Aegir" dotée d'une puissance totale de 2000 CV dont près de 400 CV sur le désagrégateur, un chariot à pieux mobiles pour ses déplacements, deux bras d'ancrage pour assurer son papillonnage (mouvement de rotation en arc de cercle pour déplacer le désagréga-

teur sous l'eau) et un système GPS de positionnement. La drague est arrivée des Pays-Bas par remorquage, puis stationnée quelques jours dans le bassin du port d'Honfleur pour permettre l'enlèvement de la toilette de mer et l'installation des systèmes informatiques de bord.

En préalable aux travaux de dragage, les surfaces occupées par des roseaux dans l'emprise du futur chenal situées dans la zone naturelle ont été coupées et récoltées pour éviter la nidification dans cette zone.

La conduite flottante a été assemblée dans le bassin de commerce du port d'Honfleur puis remorquée avec la drague sur le site des travaux. Les dragages ont commencé en amont du pont de Normandie pour progresser vers l'est. Ces travaux se sont déroulés à la marée, sept jours sur sept. De plus, pour augmenter les créneaux de marée disponibles et satisfaire le tirant d'eau de la drague, deux niveaux de coupe selon les sections du chenal ont été étudiés afin d'assurer les cotes définitives requises de 0,00 à + 2,00 CMH.

Le fonctionnement d'une drague stationnaire peut être résumé ainsi, le sol dragué est désagrégé par la rotation du cutter (désagrégateur) muni de dents et de lames et transporté simultanément de manière hydraulique grâce à la puissance de la pompe centrifuge installée à bord. Le cutter est actionné par un moteur hydraulique ou électrique. La puissance du moteur est retransmise au cutter par un arbre porté par une structure métallique qui supporte aussi le cutter. Cette structure métallique dénommée élinde permet une rotation verticale et donc le réglage de la profondeur de dragage. Le réglage vertical de l'élinde est réalisé par l'intermédiaire d'un treuil. Le désagrégateur peut ainsi libérer les sols du fond marin. Juste derrière le cutter, un bec d'aspiration est positionné et relié à la pompe de dragage. Les matériaux libérés du fond sont ainsi aspirés par la pompe et ensuite refoulés dans le dépôt par le système de conduites de refoulement décrit ci-dessus.

Le mouvement d'avancement de la drague, dit "papillonnage", est assuré par deux treuils qui, tour à tour, tirent sur le câble relié à l'ancre. Quand la drague est arrivée en position "en coin" (position 3) qui est le déplacement latéral maximum pour une coupe, la drague fait un "pas" en avant en actionnant le pieux mobile sur vérin hydraulique (position 4) et reprend ensuite son déplacement latéral vers l'autre ancre (figure 2).

Chaque semaine, entre 80 000 et 90 000 m³ de sédiments en place ont été évacués vers les chambres de dépôts auxquels il faut ajouter 80 % d'eau pour permettre le transport hydraulique. Les rendements de la drague varient selon la nature des matériaux rencontrés, des épaisseurs, des coefficients de marée et des heures de service de l'engin. Toute la puissance de la drague s'est avérée utile lors du dragage des zones de roselières.

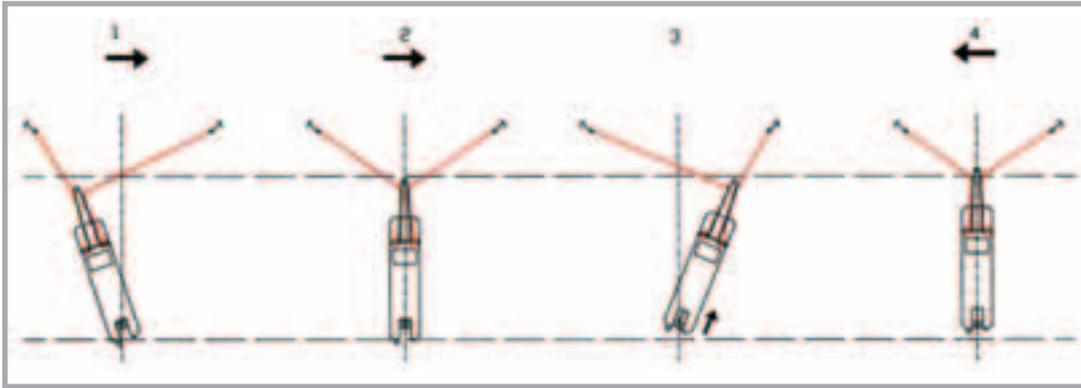


Figure 2
Modes d'avancement
de la drague stationnaire
*Stationary dredger modes
of movement*

Bien que les surfaces de ces zones eussent été préalablement décapées, les racines profondes ralentissaient de manière sensible le rendement de la drague au risque de provoquer des bouchons à l'intérieur des conduites de refoulement. La puissance de la drague s'est également justifiée lors de la rencontre fortuite de l'ancienne digue sud constituée de tout-venant et blocs.

Alors que Sodranord était également active au niveau de la brèche amont avec d'autres équipements, la jonction avec la drague "Aegir" pouvait se faire. Pour limiter l'impact des effets de la courantologie du site et des risques de sédimentation vers la Seine, les dragages du chenal dans le sens ouest-est ont été stoppés pour laisser place à un bouchon. Le train de dragage a été déplacé vers la Seine pour reprendre son activité dans l'autre sens est-ouest grâce à un accès créé par le dipper Dredge, mobilisé pour excaver l'assise de la nouvelle brèche amont et mettre en œuvre les enrochements à la cote + 2,50 CMH. Ces travaux achevés dans un "timing" précis ont permis l'ouverture du bouchon par le désagrégateur sans aucune incidence sur les installations environnantes.

■ GESTION DU DÉPÔT (photo 4)

Le dépôt a été fractionné en six casiers, quatre pour recevoir les sédiments courants, l'un pour recevoir les sédiments contaminés et le plus petit pour recevoir les eaux de décantation (bassin de décantation) avant retour dans le milieu naturel. Selon la nature des sédiments, le coefficient de foisonnement varie sensiblement. Pour recueillir les 2 000 000 m³ de sédiments en place, la capacité des chambres de dépôt a été portée à près de 3 500 000 m³ auxquels il faut ajouter 500 000 m³ d'espace disponible pour assurer la décantation en fin de cycle et l'espace de sécurité. Chaque casier du dépôt est muni d'une éclusette (caisse de décantation) dont la fonction est de réguler le flux des eaux occupant les bassins. La gestion de ces éclusettes est assurée manuellement par le rehaussement ou l'abaissement du seuil du déversoir par le personnel affecté au dépôt.

Ces éclusettes ont été disposées de manière à guider les eaux décantées des casiers de dragage vers le casier dit bassin de décantation. Au cours de premières semaines de dragage, tout le disposi-



Photo 4
Remplissage
d'une chambre
de dépôt
*Filling a settling
chamber*



Photo 5
Inventaire botanique
de la zone naturelle
*Botanical inventory
of the natural area*

tif de retour est resté fermé afin de laisser le niveau d'eau monter dans les chambres de décantation évitant ainsi la nidification dans le fond des bassins. Par la suite, les casiers ont été remplis en partant du casier est vers l'ouest. Pour assurer le retour d'eau, une pompe de 200 kW a été installée dans le bassin de décantation.

■ GESTION ENVIRONNEMENTALE ET DES MATIÈRES EN SUSPENSION "MES" (photo 5)

En mai 2004, dans le cadre des travaux de préparation, une expertise botanique et environnementale a été menée sur le site des futurs travaux par

► In Vivo. Cette démarche a permis d'observer, de répertorier et de situer l'ensemble des espèces et des habitats associés susceptibles d'être perturbés par la réalisation de chenal dans la vasière. Le tracé du projet d'installation temporaire de canalisations de transport des déblais de dragage sur la rive droite de la Seine en amont du pont de Normandie a été particulièrement étudié afin de minimiser leur implantation dans la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine. Cette mission a été réalisée en concertation et avec le soutien de la Maison de l'Estuaire, gestionnaire du site. Cinq types de végétation ont été observés sur le tracé du projet: la mégaphorbiaie oligohaline, la roselière à phragmite, la végétation prairiale, la prairie haute à chiendent piquant et la roselière à scirpe maritime.

La phase opérationnelle de dragage a fait l'objet d'un protocole de suivi des matières en suspension dans l'estuaire en huit points de mesures. Ce suivi a engendré près de 340 mesures de turbidité en différents points du site et les analyses faites par le laboratoire de Rouen ont permis de suivre l'évolution des incidences du chantier sur l'environnement.

La surveillance de la zone de dépôt fut particulièrement attentive afin de prévenir l'implantation d'espèces avicoles qui auraient pu être ensuite perturbées par le refoulement des sédiments.

Les mesures de turbidité ainsi que les analyses en MES sur les différents points n'ont jamais montré d'incidences directes des opérations de dragage sur la qualité des eaux estuariennes. Les analyses faites sur les eaux de ressuyage, issues de la décantation des sédiments dans la chambre de dépôt, ont montré que les teneurs en MES étaient, la plupart du temps, inférieures aux teneurs témoins de la Seine.

Les incidences environnementales du chantier ont été mesurées et limitées durant toute la durée des travaux. La maîtrise technique du projet fut un des éléments primordiaux de la réussite des travaux. Cette opération, menée au bénéfice des espaces naturels de l'estuaire de la Seine, constitue une approche nouvelle de la gestion des projets d'aménagement.

ABSTRACT

Rehabilitation of the mud flats

D. Poissonnier

The Design and Build contract for development works to restore the water supply to the mud flats area located under the Normandy Bridge was awarded to the consortium of Sodranord, Van Oord and In Vivo.

The proposed works are partly located in the natural reserve, a site classified as a special protection area, so that special care is required to grasp the environmental implications. After design engineering, the work involved digging a channel 100 metres wide and 2,800 metres long by dredging. The 2,000,000 cu. m of materials dredged in situ were discharged into settling chambers in basins created along the estuary road. Design engineering took 4 months, while the works lasted 12 months.

RESUMEN ESPAÑOL

Rehabilitación de los depósitos salineros

D. Poissonnier

El contrato de diseño-realización de los acondicionamientos de realimentación en agua de la zona de depósitos salineros ubicada por debajo del puente de Normandía fue adjudicado a la agrupación de empresas Sodranord - Van Oord - In Vivo.

Los trabajos propuestos se encuentran localizados parcialmente en la reserva natural, sitio clasificado zona de protección especial, de lo cual una atención particular para comprender el reto medioambiental. Tras realización de los estudios, los trabajos han consistido en perforar un canal por dragado de 100 m de anchura y 2800 m de longitud. Los 2 000 000 de m³ de materiales dragados in situ fueron rechazados en cámara de sedimentación en los depósitos creados a lo largo de la Carretera del Estuario.

Duración de los estudios de diseño 4 meses, duración de los trabajos 12 meses.

L'assistance au management de projet sur Port 2000

Kahlil Whitmore



INGÉNIEUR GESTION
DE PROJET
Setec Organisation

Pour des opérations de grande ampleur, telles que Port 2000, le management de projet revêt une importance fondamentale. Il consiste à piloter en temps réel l'ensemble des processus contribuant au respect des objectifs que s'est fixé le maître d'ouvrage en termes de délais, de coûts ou de performances à atteindre.

Setec Organisation, spécialiste de la gestion de projet appliquée aux grands travaux d'infrastructures de transport, a participé activement au management de projet sur le chantier Port 2000, intervenant en tant qu'assistant à maîtrise d'ouvrage en gestion de projet (AMO gestion de projet) auprès du Port Autonome du Havre (PAH), maître d'ouvrage de l'opération. La mission d'AMO gestion de projet a porté sur trois volets essentiels du management de projet¹:

- ordonnancement et gestion des délais;
- contrôle budgétaire;
- maîtrise des risques.

Elle s'est déroulée tout au long de la phase de construction de Port 2000, entre 2001 et 2006 (photo 1).

■ UNE OPÉRATION COMPLEXE NÉCESSITANT UNE MAÎTRISE FINE DES COÛTS, DÉLAIS ET RISQUES

Le projet Port 2000, de par sa taille et ses enjeux, fait partie des plus grands chantiers d'infrastructures portuaires actuellement en cours au niveau européen. Consistant à agrandir l'actuel port à conteneurs du Havre par la construction d'un nouveau port capable d'accueillir à terme, par toutes conditions de marée, les plus gros navires porte-conteneurs actuellement en service sur les lignes maritimes internationales, le projet comprend :

- ◆ la construction de plus de 9 km de digues;
- ◆ le dragage ou le terrassement de plus de 60 millions de mètres cubes de matériaux;
- ◆ la construction d'un quai d'une longueur de 4,2 km (dont 1,4 km en première phase);
- ◆ d'importants travaux de réhabilitation et de mise en valeur environnementale du site²;
- ◆ la création de nouvelles dessertes routières, ferroviaires et fluviales.

Les interfaces nombreuses entre les éléments constitutifs du chantier, ainsi que le nombre important d'intervenants directs en phase de réali-



Photo 1
Avancement des travaux à fin septembre 2005
(source: Port Autonome du Havre)

Work progress at end September 2005
(source: Port Autonome du Havre)

sation (financeurs, maître d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises) ont conduit le PAH à se doter de moyens spécifiques destinés à optimiser le pilotage de l'opération.

■ L'AMO GESTION DE PROJET SUR PORT 2000

La mission de l'AMO gestion de projet a consisté à recueillir, traiter et analyser en continu les informations et données-clés relatives aux délais, coûts et risques du projet. L'objectif étant de fournir à la direction de projet une information objective, fiable et régulièrement mise à jour, de nature à inciter des prises de décisions contribuant à un pilotage optimisé de l'opération.



1. Il en existe d'autres : gestion des ressources (humaines, matérielles...), maîtrise de la qualité...

2. En plus des travaux de construction du nouveau port, le projet Port 2000 comprend également la réalisation de nombreux chantiers environnementaux visant à réhabiliter, mettre en valeur et assurer la préservation du site de l'estuaire de la Seine en y favorisant la biodiversité.

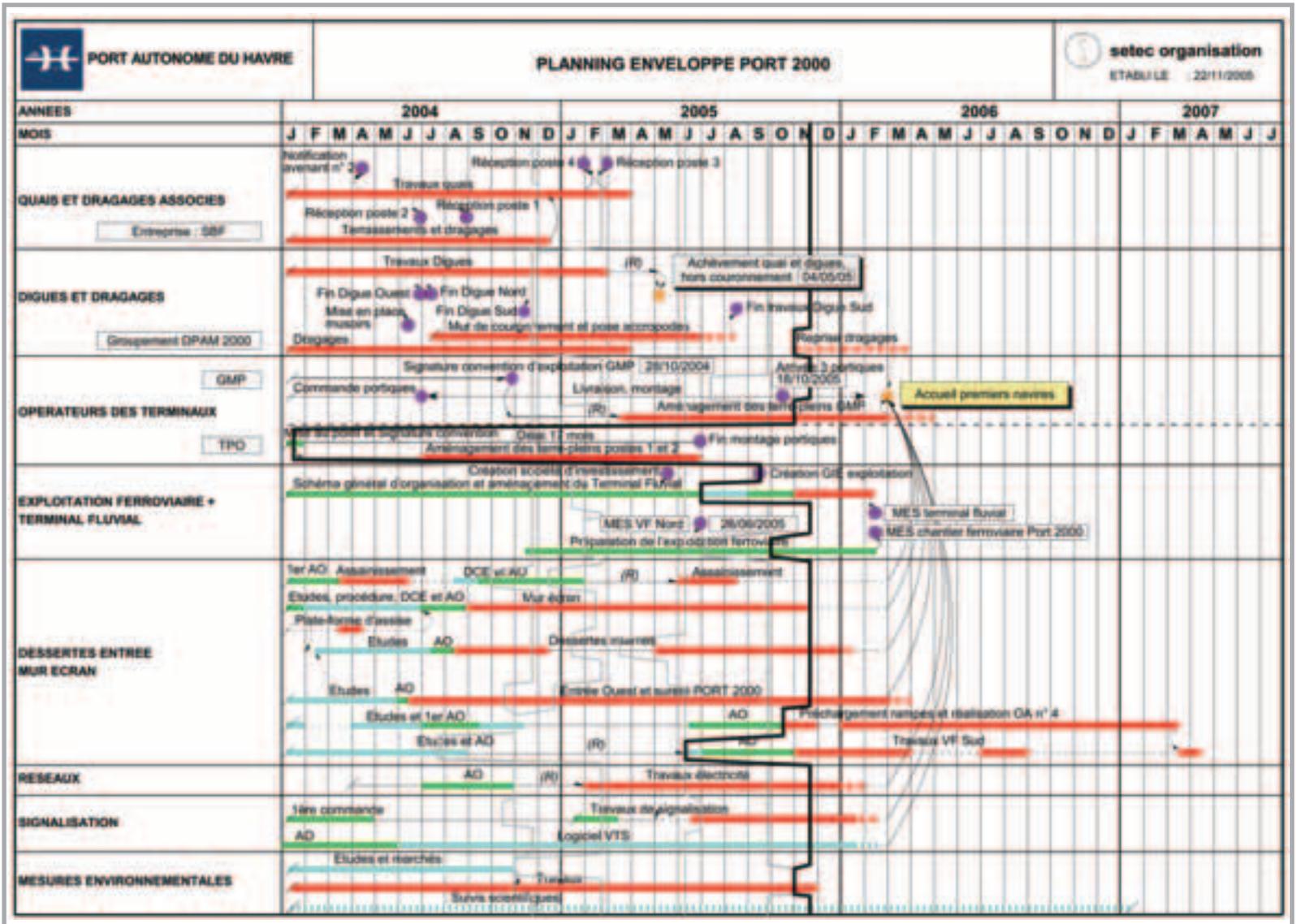


Figure 1
Planning enveloppe
des travaux Port 2000.
Novembre 2005
Overall work schedule
for Port 2000. November 2005

Ordonnancement et gestion des délais

Port 2000 a fait l'objet, dès la phase études, d'un travail approfondi d'ordonnancement initial. Ce travail a consisté à recenser l'ensemble des tâches à réaliser pour mener à bien le projet, à savoir les tâches d'études (techniques, économiques, environnementales), les procédures juridico-administratives (procédures liées à la maîtrise foncière, à l'urbanisme, à la protection de l'environnement, à la réglementation de la navigation, etc.), ainsi que les tâches de travaux.

En parallèle, les enchaînements et les liens entre tâches ont été identifiés, ce qui a permis de bâtir le planning de référence (ou planning enveloppe) de l'opération (figure 1).

Référence partagée par l'ensemble des acteurs (maître d'ouvrage, maîtres d'œuvre), le planning enveloppe constitue la base de la gestion des délais. Il a été complété par des plannings détaillés consacrés à des chantiers spécifiques : digues et dragages, quai, dessertes, balisage maritime, chantiers liés à l'environnement.

Une fois le planning de référence établi, s'est

ensuivie une phase de gestion opérationnelle des délais, consistant à "faire vivre" le planning de l'opération. Pendant cette phase, la mission de l'AMO gestion de projet a consisté à veiller en continu au respect du planning de référence, en recueillant auprès de l'ensemble des intervenants du projet toutes les informations pouvant avoir un impact sur le planning, en anticipant les effets de retards sur le chemin critique et en alertant la direction de projet lorsque des risques de dérapage ont été identifiés.

L'AMO gestion de projet a par ailleurs animé auprès de la direction de projet des réunions régulières de revues de projet, contribuant ainsi à un partage des informations entre intervenants et au traitement des difficultés rencontrées.

Contrôle budgétaire

Le deuxième volet sur lequel est intervenu l'AMO gestion de projet concerne la maîtrise du budget de l'opération, par le biais d'outils de contrôle budgétaire. Ces outils permettent d'estimer, à intervalles réguliers, le coût final prévisionnel du projet, en euros constants et courants.

Le coût final estimé est donné par la formule suivante :

$$\text{Coût final estimé} = \text{Somme des engagements pris} + \text{Somme des prévisions d'engagements}$$

Ainsi, le coût final estimé du projet est calculé sur la base : d'une part d'informations issues de la comptabilité (pour ce qui est des engagements pris), d'autre part de prévisions estimées directement par les maîtres d'œuvre.

Au final, la comparaison entre le coût final estimé et le budget permet de mettre en évidence d'éventuels dépassements partiels ou globaux du budget de l'opération.

La consolidation des coûts permet également de calculer l'échéancier des dépenses sur l'ensemble de l'opération. Ce dernier sert à dimensionner les besoins annuels et mensuels en trésorerie. Sur Port 2000, dont le budget en valeur courante dépasse les 600 millions d'euros pour la première phase³, le profil des dépenses est le suivant (figure 2).

Maîtrise des risques

La maîtrise des risques constitue également un volet important du management de projet. Elle consiste à identifier et à évaluer les principaux facteurs de risque pouvant impacter le projet, puis à mettre en œuvre, lorsque cela est possible, des actions de traitement.

Sur un projet comme Port 2000, les risques peuvent être de plusieurs ordres : techniques, juridiques, contractuels, politiques, organisationnels... Il importe donc de les identifier au plus tôt et d'en évaluer l'impact probable (sur les délais, coûts ou performances de l'opération), à savoir la gravité, ainsi que la probabilité d'occurrence.

Cela permet d'estimer, pour chaque risque, sa criticité :

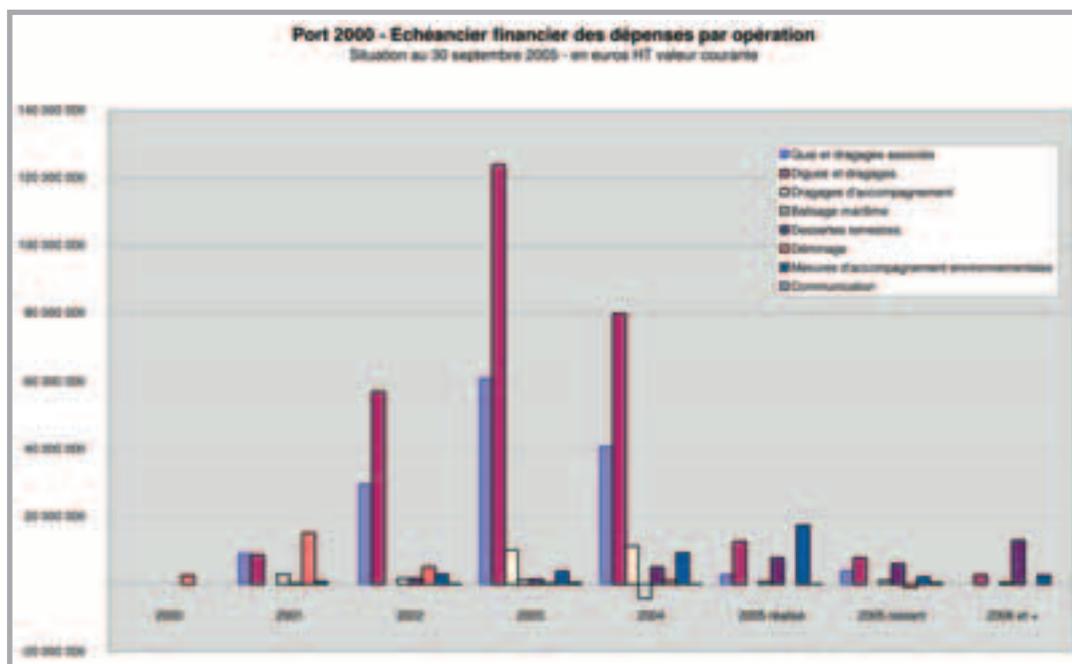
$$\text{Criticité} = \text{Probabilité d'occurrence} \times \text{Gravité}$$

En ce qui concerne Port 2000, s'il n'a pas toujours été possible de quantifier avec précision la criticité d'un risque, le classement des impacts et de la probabilité d'occurrence sur une échelle simplifiée de 1 à 3 a permis de mettre en évidence les risques dont la criticité était jugée élevée.

Pour cette dernière catégorie de risques, des actions de traitement ont été mises en place, en vue, soit de réduire la probabilité d'occurrence du risque, soit d'en diminuer l'impact.

Ainsi, sur le chantier Port 2000, la mise en place

3. Ce budget recouvre l'ensemble des travaux de digues et dragages pour la création du nouveau port, les mesures environnementales et l'aménagement des dessertes terrestres, ainsi que la création des quatre premiers postes à quai.



d'un système de maîtrise des risques, animé par l'AMO gestion de projet, a permis d'anticiper certaines difficultés touchant à l'organisation du chantier (concernant par exemple des retards dans la livraison de certains travaux préliminaires) et d'y consacrer des moyens spécifiques.

CONCLUSION

La première phase de Port 2000 entre aujourd'hui en exploitation commerciale. Les différents chantiers, qui se sont déroulés de fin 2001 à 2005, auront répondu à un double enjeu : étendre de manière significative les capacités d'accueil du port, tout en minimisant l'impact du projet sur le site exceptionnel que constitue l'estuaire de la Seine.

Au-delà de ce défi technique et environnemental, Port 2000 aura également constitué un défi en matière d'organisation et de coordination. La complexité de ce projet est venue :

- ◆ de la présence d'engins de guerre nécessitant un déminage préalable du site ;
- ◆ d'interventions complexes liées à l'archéologie préventive ;
- ◆ de la nécessité de réaliser d'importants travaux préliminaires, notamment de déplacements de canalisations industrielles ;
- ◆ de la réalisation en parallèle de deux chantiers d'infrastructure de grande envergure (réalisation de digues et dragages d'une part ; construction d'un quai d'autre part) ;
- ◆ du lancement de nombreux chantiers de réhabilitation et de mise en valeur environnementale de l'estuaire ;
- ◆ de la refonte complète des dessertes terrestres du site.

La réalisation de cet ensemble de chantiers a été d'autant plus délicate que le site du nouveau port présente d'importantes contraintes, liées à l'accessibilité ainsi qu'à la vulnérabilité à la houle.

Ainsi, la mission de l'AMO gestion de projet aura-

Figure 2
Port 2000 première phase :
échéancier des dépenses
par chantier.
Mise à jour : septembre 2005
Port 2000 Phase One : schedule
of expenses by project.
Updated : September 2005

telle contribué au management du projet Port 2000 et à la gestion de ses nombreuses interfaces techniques et organisationnelles, grâce à :

- ◆ la production de plannings complets et à jour destinés à la direction de projet ;
- ◆ la mise en cohérence, en continu, d'informations relatives aux délais de l'opération recueillies auprès des services du PAH ;
- ◆ la production de documents de consolidation des coûts du projet ;
- ◆ la mise en place d'un système de gestion des risques ;
- ◆ l'animation régulière de revues de projet.

L'ensemble de ces outils a eu pour vocation d'assister la direction de projet dans ses prises de décisions, notamment concernant :

- ◆ l'allotissement des marchés ;
- ◆ le lancement des appels d'offres ;
- ◆ la gestion opérationnelle des interfaces techniques ;
- ◆ la gestion du budget.

Au-delà, une gestion de projet réussie permet, sur de grands projets d'infrastructures tels que Port 2000, le développement d'une culture projet partagée au sein des équipes de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre, basée sur l'objectivité, la fiabilité et la transparence de l'information, ainsi que sur la participation active de tous les intervenants à des points d'avancement réguliers, en vue d'un objectif commun.

ABSTRACT

Project management assistance on Port 2000

K. Whitmore

For large-scale projects such as Port 2000, project management is of fundamental importance. It involves real-time management of all the processes contributing to compliance with the objectives set by the Owner in terms of completion times, cost and performance to be achieved.

Setec Organisation, a specialist in project management applied to major transport infrastructure works, took an active part in project management on the Port 2000 site, acting as project management assistant to the Owner for Port Autonome du Havre, client for the project.

The role of project management assistant to the Owner covered three essential aspects of project management :

- Scheduling and completion time management ;
- Budget control ;
- Risk management.

This assignment took place throughout the Port 2000 construction phase, between 2001 and 2006.

RESUMEN ESPAÑOL

La asistencia para la gestión de proyecto en Port 2000

K. Whitmore

Para las operaciones de gran envergadura, como por ejemplo, aquella de Port 2000, la gestión de proyecto toma una importancia fundamental. Esta gestión consiste en pilotar en tiempo real el conjunto de los procesos que contribuyen al respeto de los objetivos que se ha fijado el responsable del proyecto en términos de plazos, de costes o de rendimiento a alcanzar.

Setec Organisation, especialista de la gestión de proyecto aplicada a los importantes trabajos de infraestructuras de transporte, ha participado activamente en la gestión de proyecto en las obras de Port 2000, actuando a título de asistente del director de las obras para la gestión del proyecto (AMO gestión de proyecto) ante el Puerto Autónomo de Le Havre (PAH), entidad contratante de la operación.

La misión de AMO gestión de proyecto se ha referido a tres capítulos esenciales de la gestión de proyecto :

- planificación del trabajo y gestión de los plazos ;
- control presupuestario ;
- control de los riesgos.

Esta misión se ha desarrollado durante toda la etapa de construcción de Port 2000, entre 2001 y 2006.

Les dessertes terrestres de Port 2000

La concertation initiée dans le cadre de Port 2000 a été le point d'origine d'une réflexion portant sur l'aménagement des dessertes terrestres, qui constituent un enjeu stratégique pour le Port du Havre: faire face, entre 2006 et 2020, au triplement du nombre de conteneurs à acheminer par les voies terrestres. Port 2000 vise donc à mettre en place une organisation des espaces cohérente et fonctionnelle, à réorganiser et à optimiser la collecte des conteneurs sur l'ensemble des terminaux maritimes du port du Havre.

Dès leur mise en service, les terminaux de ce nouveau port dédié aux conteneurs seront directement connectés aux modes routier et ferroviaire et le mode fluvial sera, dans un premier temps, traité sur un terminal spécifique relié par brouettage ferroviaire aux nouveaux terminaux. En permettant de renforcer les liaisons terrestres du Havre aussi bien au niveau ferroviaire, routier que fluvial, Port 2000 contribue à améliorer la position de la France dans la logistique européenne.

Port 2000 permet de renforcer les liaisons terrestres du Havre aussi bien au niveau ferroviaire, routier que fluvial, contribuant ainsi à améliorer la position de la France dans la logistique européenne. Dès leur mise en service, les terminaux de Port 2000 seront directement connectés aux modes routier et ferroviaire et le mode fluvial sera, dans un premier temps, traité sur un terminal dédié relié par brouettage ferroviaire aux nouveaux terminaux.

Les enjeux: faire face, entre 2006 et 2020, au triplement du nombre de conteneurs à acheminer par les voies terrestres

Depuis plus de 10 ans, le trafic de conteneurs du Port de Havre s'inscrit dans une dynamique de croissance continue, fruit d'un commerce international actif dont le rayon d'action est de plus en plus large, ainsi que des mutations profondes de l'organisation des transports maritimes, dont les principales illustrations sont l'accroissement de la taille des navires, la concentration des compagnies comme l'émergence d'opérateurs globaux de manutention. Aujourd'hui, les capacités maximales du port en matière de conteneurs sont atteintes, aux alentours de 2,1 millions d'EVP (conteneurs équivalents vingt pieds). Sur ce trafic, actuellement plus de 30 % repart par la mer (transbordements) et cette proportion est encore appelée à croître (estimation de plus de 40 % de transbordements en 2020). Grâce à l'ouverture de Port 2000, Le Havre peut accroître son volume de plus d'un million d'EVP pour 2010 et quatre millions – voire plus – pour 2020, sur les deux fonctions principales du port que sont la desserte du territoire et l'activité de transbor-

dement générée par l'organisation maritime mondiale des grandes compagnies de ligne régulière. En ce qui concerne l'accès au marché terrestre, encore largement dominé par le transport routier – avec une part de marché d'environ 85 % du trafic terrestre en 2005 –, des modifications significatives sont intervenues dans le pré/post acheminement ces 10 dernières années.

Ainsi, la voie fluviale, alternative marginale en 1995 avec 12 000 EVP et moins de 0,5 % du trafic, a connu depuis une très forte progression. L'émergence de nouveaux opérateurs et de services de transports fluviaux sur la Seine a permis d'opérer, en 2005, 98 000 EVP et plus de 6 % du trafic terrestre.

A contrario, le mode ferroviaire, malgré des initiatives locales visant à maintenir un volume de 150 000 EVP (réalisé en 1995), se situe en 2005 presque à parité avec le transport fluvial aux alentours 100 000 EVP. Les difficultés chroniques du mode ferroviaire sont en effet momentanément aggravées par les mutations structurelles de l'activité fret au niveau national.

Pour les prochaines années, Port 2000 offrira de meilleures conditions de remplissage de ces modes de transport dits "massifiants". Dans un environnement ferroviaire en pleine renaissance, le Port Autonome intervient de plus en plus fortement pour susciter des partenariats efficaces et surtout pour faciliter les opérations dites "du dernier kilomètre". La loi lui donne d'ailleurs l'occasion d'être, dès 2006, propriétaire et gestionnaire des 250 km de voies ferrées comprises dans sa circonscription, mettant fin à la période de flou consécutive à la création de RFF en 1997.

Jean-Damien Poncet



DIRECTEUR
DU DÉVELOPPEMENT
Port Autonome du Havre

Pascal Vaudour



CHEF DU SERVICE
AMÉNAGEMENT
ET MAÎTRISE D'OUVRAGE
Port Autonome du Havre

Jean-Pierre Ternon



SERVICE
DES TRANSPORTS
TERRESTRES
Port Autonome du Havre

Thierry Vaillant



CHEF DU SERVICE
DES TRANSPORTS
TERRESTRES
Port Autonome du Havre

Figure 1
Port 2000
 à l'horizon 4 postes
Port 2000
 on the 4-berth horizon



Figure 2
Port 2000
 à l'horizon 6 postes
Port 2000
 on the 6-berth horizon



Figure 3
Port 2000
 à l'horizon 12 postes
Port 2000
 on the 12-berth horizon





Un recours accru au fleuve et au fer est la condition d'un développement plus durable du Port du Havre car, outre l'aspect environnemental évident, seul un transport ferroviaire performant peut lui permettre de prendre des parts de marché sur l'hinterland lointain desservi concurremment par les autres ports du Range Nord. Tout en favorisant le développement des modes de transport alternatifs, Port 2000 intègre également des dispositifs visant à servir les poids lourds dans les meilleures conditions, tout ceci s'inscrivant dans l'engagement plus général du Port Autonome pour un développement partenarial et durable.

■ LES DESSERTES TERRESTRES – PRINCIPES D'AMÉNAGEMENT

(figures 1 à 3)

Dessertes routières

Les dessertes terrestres de Port 2000 comprennent un volet routier important et complexe, à l'image du trafic attendu et des grands nombres d'entreprises de transports (dont 400 relativement régulières) et de commissionnaires de transport (200 donneurs d'ordre sur Le Havre) qui auront à y effectuer de multiples opérations.

Un des principaux défis de Port 2000 aura donc été et restera, dans cette phase d'ouverture, la mise en place d'une organisation des espaces cohérente et fonctionnelle. Celle-ci n'a pu voir le jour qu'à travers une concertation approfondie avec l'ensemble des acteurs de la place portuaire havraise, les administrations impliquées dans le transit des marchandises et les services du SDIS et de la préfecture. Les principales attentes sont à ce titre :

- ◆ une fluidification des entrées aux terminaux ;
- ◆ une facilitation des échanges entre terminaux ;
- ◆ une sécurisation des accès prenant en compte la sûreté et les risques industriels ;
- ◆ l'intégration paysagère ;
- ◆ et bien entendu un dimensionnement phasé et évolutif des infrastructures.

Sur la base de ces éléments de programmation, une organisation à l'horizon "12 postes à quai à Port 2000" a été élaborée, puis déclinée en un passage pertinent des aménagements. Une zone Port 2000 intégrant le terminal de Normandie, le terminal pétrolier et les futurs terminaux de Port 2000 est créée en attendant, dans un second temps, l'intégration du terminal de l'Océan. A terme, plus de 80 % du trafic conteneurisé du port du Havre transitera par cet espace.

La porte d'entrée routière de cet espace regroupe ainsi les équipements et moyens permettant de répondre aux principales fonctions suivantes :

- ◆ **une fluidification des entrées aux terminaux par l'enregistrement de données administratives** : la porte d'entrée de la zone Port 2000 fonctionne com-



Figure 4
Photomontage
de l'auvent

Photomontage
of the awning

me une porte d'enregistrement d'informations administratives. Cette fonction évolutive permet aux opérateurs de terminaux un pré-tri des poids lourds (PL) en fonction de différents critères et une régulation des arrivées de PL à chaque terminal. Notamment, les PL non conformes sont réorientés vers des zones de mises en conformité en amont ou aval de la porte d'entrée de la zone ;

- ◆ **sûreté** : la porte d'entrée de la zone Port 2000 assure les obligations de contrôles d'identités et de marchandises dans le cadre de l'application du code ISPS (International Ships and Ports Security code), pour l'ensemble des opérateurs concernés et desservis par cet accès ;

- ◆ **sécurité industrielle** : réduire les risques industriels et technologiques sur les dessertes de la zone, ainsi que les "effets domino" avec les stocks d'hydrocarbures situés à proximité ;

- ◆ **paysage** : Port 2000 s'intègre à un linéaire paysager de 11 km jusqu'au pont de Normandie, au cœur de l'estuaire de la Seine et en contrebas des falaises du Havre et de Honfleur. Le projet a donc fait l'objet d'une étude paysagère qui a positionné les espaces pour une meilleure insertion [équipe architecte B+C, architecte - urbaniste (Jiovanni Bellaviti, Constantin Coursaris et Frédéric El Bekkay) associé au paysagiste François Neveu et à la coloriste Jacqueline Doriac pour l'étude générale et au bureau d'études Architecture Environnement et Infrastructure pour le mur écran].

L'auvent est le signal fort qui donne sa pleine dimension à la porte d'entrée de la zone Port 2000 (architecte Béguin et Macchini) (cf. encadré sur l'auvent, page suivante) (figure 4).

Moyens et équipements

Un système automatique à badge (dans un premier temps) permettra l'enregistrement de données administratives et l'identification des personnes pénétrant dans la zone. Des caméras enregistreront les visages. L'ensemble de la zone est clôturé. Les poids lourds (PL) non autorisés doivent passer une zone de validation de leur droit d'accès avant de pénétrer dans la zone.



Photo 1
Murs de conteneurs
et voies de dessertes

*Container walls
and service roads*



Moyens et équipements spécifiques à la sécurité industrielle

Il comprennent les éléments suivants :

◆ **prévention :**

- mur écran permettant la protection des différents espaces les uns par rapport aux autres et notamment vis-à-vis du terminal pétrolier de la CIM (photo 1),
- dispositif d'identification des PL de marchandises dangereuses,
- panneaux à messages variables (PMV) et panneaux lumineux ;

AUVENT D'ENTRÉE DE PORT 2000

Jean-André Macchini

CABINET D'ARCHITECTE BÉGUIN ET MACCHINI

Le Port Autonome du Havre a entrepris la réalisation de Port 2000, vaste opération de développement du port actuel qui vise tant à l'augmentation de la capacité et donc du trafic conteneur (création des terminaux de Port 2000), qu'à la mise en cohérence de l'exploitation des terminaux existants (terminal de l'Océan et terminal de Normandie). L'ambition générale de ce projet a pour but de positionner le Port du Havre en situation optimale dans le contexte international en proposant, outre le développement capacitair, des infrastructures adaptées aux contraintes de fluidité, de sûreté et d'assistance à chaque étape du parcours, et ce, dès l'entrée dans l'enceinte de la zone portuaire.

turale (la démesure du site portuaire est en réalité la vraie prouesse), ni une simple structure métallique oubliant son rôle symbolique. Par contre, il doit subtilement décliner une actualisation contemporaine d'une certaine matérialité, grâce à une déclinaison de matériaux dialoguant subtilement avec le site, en sus du signal clair indiquant les entrées et sorties des poids lourds.

L'auvent abrite en effet :

- ◆ deux voies d'entrée véhicules légers et poids lourds ;
 - ◆ quatre voies d'entrée poids lourds conteneurisés ;
 - ◆ deux voies mixtes entrées/sorties poids lourds conteneurisés ;
 - ◆ deux voies de sorties véhicules légers et poids lourds.
- L'auvent dégage une vision très unitaire, soulignée par une portée de 70 m. Il est habillé de plaques en panneau composite aluminium (Alucobond) thermolaqué gris clair métallisé. Ce matériau unique, qui habille également les points d'appui et le bâtiment de sûreté, transforme l'auvent en une sculpture contemporaine. Enfin, le dessin des pignons de l'auvent évoque les images des paquebots et cargos représentés dans les affiches des années 1930 (photo 2).

Caractéristiques de l'ouvrage

- La longueur de l'auvent est de 70 m et sa largeur de 17,40 m.
- La hauteur de l'ouvrage par rapport à la dalle est de 8,50 m côté entrée.
- Sa structure est métallique et constituée d'un tube porteur de 2,40 mm de diamètre portant sur 70 m sur lequel est fixé la structure métallique secondaire. Ce tube a été fabriqué en atelier et amené sur le site par convoi exceptionnel en deux tronçons de 35 m qui ont ensuite été soudés sur place.
- Les îlots de séparation des voies sont en éléments de béton préfabriqué.
- Le bâtiment de sûreté abrite, au rez-de-chaussée, le local de surveillance et un local technique et, à l'étage, une salle de détente/restauration avec kitchenette et deux ensembles vestiaires sanitaires.
- La nuit, il est prévu un éclairage de mise en valeur de l'auvent par des projecteurs fixés sur des mâts de 3,50 m de haut et des projecteurs encastrés au sol au niveau des poteaux de l'auvent. Les projecteurs encastrés au sol diffuseront une lumière bleue.

Photo 2
L'auvent
en janvier 2006

*The awning
in January 2006*



A cet égard, la création d'une desserte marquée par une entrée principale joue un rôle majeur pour l'articulation générale et la fonctionnalité du site. Le site de Port 2000 est un élément paysager portuaire fort constitué de gigantesques terminaux à conteneurs ponctués par la silhouette des portiques et des porte-conteneurs à quai. Au loin, les falaises du bord de Seine bordent le paysage, la ville du Havre n'est pas visible mais reste suggérée.

Dans ce dispositif ouvert, l'auvent d'entrée doit exercer avant tout sa fonction première d'élément de repérage des circuits routiers. Il doit également s'inscrire dans une logique territoriale.

Cet auvent ne doit être ni une fausse prouesse architec-

◆ **surveillance** : vidéosurveillance de la desserte nord terminaux;

◆ **bouclage** : panneaux à messages variables (PMV) à l'entrée de la desserte nord terminaux pour informer les usagers de la fermeture d'accès. Pistes d'évacuation d'urgence et d'arrivée des secours;

◆ **intervention** : niches à incendie tous les 400 m : poteaux incendie de 120 m³/h sur trois points en simultané. Manche à air à l'entrée de la desserte nord terminaux.

Dessertes ferroviaires

Les principes d'aménagement des voies ferrées se sont appuyés sur différentes études de faisabilité réalisées par la SNCF, sur des opérations de benchmarking des services du PAH auprès des autres grands ports européens et sur des contacts réguliers avec les manutentionnaires et les acteurs du monde ferroviaire.

Dans un monde du fret ferroviaire en pleine mutation, le principe premier des aménagements est l'adaptabilité au regard :

◆ des évolutions des modes d'exploitation, sur chantier ferroviaire mutualisé ou non, centralisé à l'est de Port 2000 ou en arrière quai, multiple ou unique;

◆ des modes de desserte, direct ou avec brouetage local;

◆ de la gestion des wagons;

◆ des déséquilibres import-export;

◆ de la réglementation applicable au statut des voies ferrées de quai en cours d'évolution;

◆ des phasages du projet et notamment la création d'un lien fluvial direct qui oblige au passage ferroviaire sur les ponts mixtes ferroviaires et routiers.

La difficulté majeure pour réaliser cet aménagement réside dans la proximité entre les points de livraison routier et ferroviaire en arrière du terminal maritime. Pour gérer la complexité des intersections dans un espace aussi restreint, le PAH s'est appuyé sur le BET Scetauroute (Egis-Rail).

Montant des travaux :

- Voie ferrée nord : 1800000 euros (entreprise Amec Spie).

- Voie ferrée sud : en cours d'appel d'offres.

Dessertes fluviales

La desserte fluviale s'appuie sur un terminal fluvial dédié et une desserte par navette ferroviaire, le tout géré par la SAITH (cf. encadré SAITH) (figure 5).

Par ailleurs, le Port Autonome du Havre participe largement aux études menées par la DRE de Haute-Normandie en vue de la réalisation d'une écluse fluviale entre Port 2000 et les bassins à niveau constant du port pour permettre un accostage direct des bateaux fluviaux à Port 2000.

VERS UNE OPTIMISATION DES INTERFACES FER/MER ET FLEUVE/MER

Christophe Buisson PRÉSIDENT DE LA SAITH

La desserte de Port 2000 pour les modes de transport massifiants que sont les modes fluvial et ferroviaire se devait d'être organisée, face aux contraintes physiques (absence de liaison directe) et/ou organisationnelle. En mai 2002, le Port Autonome du Havre a lancé un appel à candidatures pour la conception, la mise en œuvre et l'exploitation d'un terminal fluvial unique et d'un chantier ferroviaire Port 2000.

Un groupement s'est constitué autour des opérateurs de manutention portuaires titulaires et/ou candidats à l'exploitation de postes à quai sur Port 2000 (GMP – Générale de Manutention Portuaire –, TPO – Terminal Porte Océane,

société commune entre Maersk Sealand et Terminaux de Normandie – TN) et les représentants des modes massifiants (Paris Terminal pour le mode fluvial et Sealogis pour le mode ferroviaire).

La raison d'être de ce groupement est exclusivement l'amélioration des interfaces

fer/mer et fleuve/mer, avec une véritable prise en compte des intérêts et attentes de chacune des parties.

Il est organisé autour d'une société dénommée SAITH (SAS au capital d'un million d'euros détenue à 35 % par GMP, 35 % à parité par TN et TPO, 15 % par Paris Terminal et 15 % par Sealogis). La proposition du groupement repose sur une mutualisation des volumes fer/fleuve dans une organisation de transfert et de manutention des conteneurs sur le chantier fer Port 2000 en dynamique.

Cela passe par :

◆ la création d'un terminal fluvial unique (sis quai de l'Europe) avec sa connexion ferroviaire et son outil de (dé)chargement barges adapté (un portique fluvial pouvant traiter deux barges à couple avec une productivité moyenne attendue de 20 mouvements/heure);

◆ la création d'un chantier "Fer Port 2000"

(quatre voies de 1 100 ml) – en arrière des postes à quai –, équipé de deux portiques rail type PMG permettant une réception-expédition dynamique des convois ferroviaires avec mise en place d'une zone tampon (buffer) le long de ce linéaire de voies ferrées;

◆ un investissement (engins de traction type rail/route - wagons);

◆ une organisation des moyens de transfert physique des conteneurs entre d'une part, le faisceau d'interchange avec les entreprises ferroviaires et les différents terminaux sud (Port 2000, Normandie, Océan) et d'autre part, le terminal fluvial unique et le chantier Fer Port 2000, représentant un investissement de plus de 19 millions d'euros ayant fait l'objet d'un soutien public très important.

Les services proposés par la SAITH doivent

permettre, à court terme, de compenser l'absence d'infrastructures et/ou de processus organisationnels autres.

La SAITH se veut être l'entité d'intérêt général qui optimise les interfaces fer/port et fleuve/port. Elle apporte une solution à

la desserte des six premiers postes à quai de Port 2000.

Elle se veut évolutive dans son concept et son organisation, dans l'intérêt de la marchandise et de la compétitivité du passage portuaire pour les modes massifiants, offrant un service équitable et non discriminant à tout opérateur de transport combiné.

La SAITH présente l'originalité et l'avantage de mutualiser en son sein :

◆ différents opérateurs de manutention portuaire impliqués sur Port 2000;

◆ les représentants des modes de transport massifiants, dans un objectif partagé et unique de recherche de toutes les pistes de progrès favorables à un meilleur traitement du ferroviaire et du mode fluvial.

L'initialisation des services SAITH est attendue à la mise en exploitation commerciale des premiers postes à quai Port 2000.

Elle devrait raisonnablement monter en charge au cours du second semestre 2006.

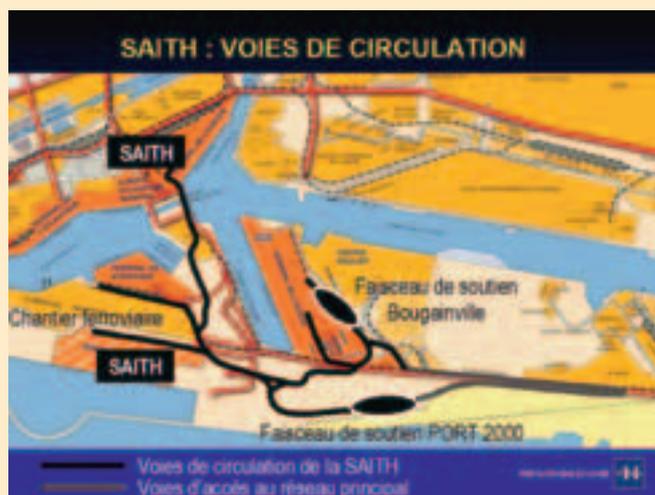


Figure 5
Plan de circulation SAITH
SAITH traffic plan

► ■ **LE PORT DU HAVRE, ACTEUR DU SYSTÈME FERROVIAIRE**

Plusieurs paramètres entrent en ligne de compte.

La libéralisation ferroviaire

L'ouverture à la concurrence pour le cabotage du transport ferroviaire de marchandises en général, et de conteneurs maritimes en particulier, prendra effet le 1^{er} avril 2006 en France, soit 9 mois avant la date officielle du 1^{er} janvier 2007. Cette directive européenne appelée "Second paquet ferroviaire" autorise des entreprises ferroviaires (autres que la SNCF), françaises ou européennes, à tracer des trains de fret à l'intérieur du territoire français.

L'offre ferroviaire de transport combiné à destination des régions françaises mais aussi des pays limitrophes à la France est indispensable au

développement du Port du Havre. Au moment où Port 2000 devient opérationnel, l'amélioration de la fréquence de l'offre commerciale, de l'offre ferroviaire ainsi que de sa fiabilité est un atout nécessaire.

Les nouveaux entrants

Le Port Autonome du Havre reste très attentif aux évolutions des nouveaux entrants ferroviaires qui ont déjà des objectifs de développement à partir de la France et pour qui les ports maritimes français sont un élément important de leur stratégie. Les clients du Port du Havre ont tout autant besoin de services de transport combiné ferroviaire réguliers et fréquents que de terminaux intérieurs, appelés communément "ports secs", capables de répondre aux besoins des clients de l'intérieur.

Les ports secs

Récemment et suite à un repositionnement de l'offre commerciale de Naviland Cargo (ex. CNC), Réseau Ferré de France (RFF) a lancé un appel à manifestation d'intérêts auprès des groupements des acteurs du transport et de la logistique, tant en France qu'en Europe, pour leur proposer d'exercer la fonction de gestionnaire des chantiers de transport combiné.

Le PAH étudie toute forme de partenariat possible avec ces terminaux intérieurs et en particulier avec ceux qui sont reliés ou pourraient l'être prochainement par des services ferroviaires vers le Port du Havre.

L'importance du mode ferroviaire

Le mode ferroviaire est indispensable au développement du trafic conteneurisé du Port du Havre. Afin d'offrir une desserte ferroviaire de qualité aux nouveaux terminaux de Port 2000, des financements importants sont consacrés aux infrastructures ferroviaires (plus de 100 M€) (cf. encadré "Modernisation de la desserte ferroviaire").

Le système de collecte locale, assuré depuis l'origine par la SNCF, va évoluer avec la diversification des entreprises ferroviaires et le changement de statut des voies ferrées portuaires. Le Port Autonome du Havre deviendra en effet prochainement un gestionnaire d'infrastructures, qui aura à gérer l'exploitation des flux ferroviaires de trains conventionnels et de transport combiné. Différentes solutions de livraison et réception sur les terminaux maritimes havrais sont donc étudiées pour préparer une forte augmentation du trafic ferroviaire.

La desserte ferroviaire de Port 2000

L'évolution des trafics ferroviaires mais aussi fluviaux nécessite une réorganisation et une optimisation de la collecte des conteneurs sur l'ensemble des terminaux maritimes du Port du Havre. Le volume d'activité des terminaux de Port 2000 devrait augmenter l'ensemble du trafic conteneurisé du

MODERNISATION DE LA DESSERTE FERROVIAIRE DU PORT DU HAVRE

Thierry Vaillant

CHEF DU SERVICE DES TRANSPORTS TERRESTRES DU PAH

Les dessertes immédiates des terminaux de Port 2000

- La déviation des voies existantes permettant d'alimenter les terminaux de Port 2000 est terminée. Le second tronçon, dit "voies sud", incluant un nouveau faisceau de soutien, sera mis en service à l'été 2006.
- Maîtrise d'ouvrage PAH - Investissement: 14 M€

Les dessertes proches

- La première tranche, permettant une importante amélioration de la constitution des trains par lots, et non par tri de wagons, est entrée en phase travaux fin 2005 et sera complètement opérationnelle fin 2007.

La seconde tranche est constituée du raccordement direct à la voie principale au lieu dit "de la Brèque", au niveau d'un nœud routier à l'entrée de l'agglomération havraise.

- Maîtrise d'ouvrage RFF - Investissement: 92 M€

Les dessertes éloignées: Motteville/Monterolier - Buchy

- Les travaux (renouvellement de la voie, remise en état d'ouvrages d'art, électrification et modernisation de la signalisation) ont débuté en décembre 2004. La livraison est prévue au 2^e trimestre 2007. Ces travaux constituent l'amorce d'un contournement ferroviaire fret de la région parisienne, devant relier les ports normands aux pôles économiques de l'Est de la France et du centre de l'Europe. Il existe également des sections modernisées dans les régions limitrophes Picardie et Champagne-Ardenne, également inscrites dans les contrats de plan. RFF a fait une étude d'estimation des coûts de remise à niveau et doit lancer une étude socio-économique. Il est important de relancer la dynamique et sensibiliser les décideurs nationaux et régionaux à l'importance de cet axe alternatif structurant pour le fret est-ouest.

- Maîtrise d'ouvrage RFF - Investissement de 53 M€ financé dans le cadre du CPER

L'ENGAGEMENT ET LE DÉCOUPAGE DES APPELS D'OFFRES RELATIFS À LA RÉALISATION DES DESSERTES ROUTIÈRES ET FERROVIAIRES DU PROJET



Emmanuel Ludot
CHEF DU SERVICE DES CHAUSSÉES,
TERRE-PLEINS ET BÂTIMENTS DU PAH

La réalisation de l'ensemble des travaux s'est concentrée sur les 24 mois précédant la mise en service des premiers postes à quai. La problématique rencontrée pour les équipes de maîtrise d'œuvre fut double :

- ◆ attendre la libération des emprises par les deux marchés principaux (digues et quais), ainsi que la mise à disposition des matériaux de remblais issus des dragages nécessaires à la réalisation des plates-formes et structures de chaussées ;

- ◆ prévoir un ordonnancement des travaux qui garantisse la continuité des dessertes ferroviaires et routières existantes tout en coordonnant des métiers divers tels que :

- les équipements ferroviaires,
- les travaux de terrassements,
- les travaux de bâtiments,
- les équipements électriques en courants forts et faibles,
- les aménagement paysagers.

Au total, cela représente quelque 23 marchés sur 2004-2005, avec un objectif d'atterrissage opérationnel courant mars 2006.

En plus d'un découpage par métiers, l'option retenue a été un découpage vertical classique (terrassements, puis chaussées, puis équipement) et spatial pour "coller" au plus près des zones libérées, soit comme indiqué précédemment par les marchés "Digues et quais", soit par les marchés antérieurs concourant à la réalisation d'un même ouvrage.

Ainsi, pour la réalisation de l'entrée ouest (photo 3 et figure 6), le découpage vertical a été le suivant :

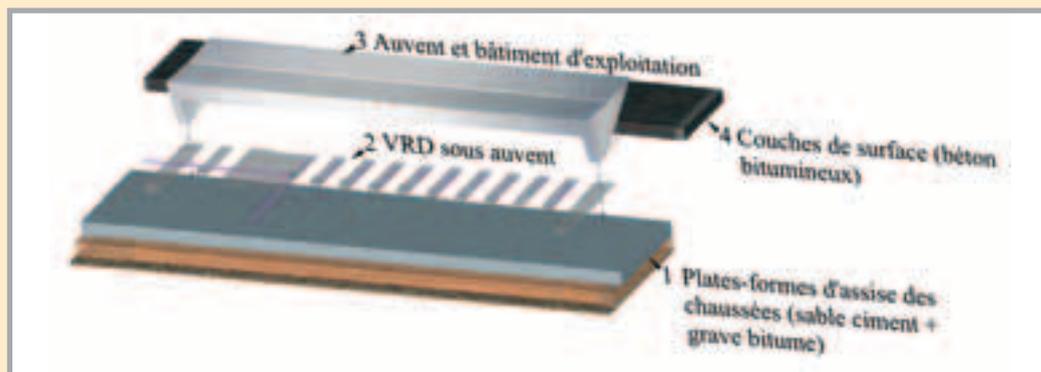


1. Réalisation des plates-formes d'assise des chaussées, auvent et bâtiments ;
2. Réalisation des "VRD" sous auvent (réseaux, ouvrages béton tels que îlots séparateurs des voies et musoirs, de type péage autoroutier) ;
3. Réalisation de l'auvent et du bâtiment d'exploitation au-dessus de ces ouvrages (sous maîtrise d'œuvre du cabinet d'architecte Beguin et Macchini) ;
4. Enfin, réalisation des couches de surface et raccordements aux voies publiques.

La maîtrise d'œuvre des dessertes et l'ensemble des entreprises intervenantes ont réussi un pari audacieux, dans le respect des délais, tout en mettant en œuvre des solutions techniques innovantes et sans dépassement de budget.

Photo 3
Dessertes internes
et entrée ouest
de Port 2000
*Internal access
and western entrance
to Port 2000*

Figure 6
Entrée ouest. Découpage des différentes tâches
Western entrance. Breakdown of the various tasks



► Port du Havre de 50 % dans les 5 ans à venir. La gestion du "dernier kilomètre" est cruciale dans la chaîne du transport combiné tant sur son coût que sur sa rapidité d'exécution.

Dès l'ouverture de Port 2000, la société SAITH – Société d'Aménagement des Interfaces Terrestres du Havre –, créée à cet effet, sera en charge de l'organisation de la collecte des conteneurs maritimes sur les terminaux sud, dont Port 2000. Le périmètre des activités de la SAITH s'étend :

◆ pour le trafic fluvial, à partir du terminal fluvial spécialisé (situé sur la partie ouest du quai de l'Europe donc en amont de l'écluse François I^{er}), sur un quai desservi par les voies du chantier ferroviaire voisin (CDFH);

◆ pour le trafic ferroviaire, à partir du faisceau de soutien de Port 2000 et/ou du faisceau de la darse de l'Océan qui servent de point de livraison/départ des rames constituées à partir du faisceau principal de la plaine alluviale (F.A.).

L'ensemble de la collecte est basé sur un système de brouettage ferroviaire du trafic fluvial entre le terminal fluvial et Port 2000. De même, la traction des wagons se fera entre les faisceaux de soutien de Bougainville d'abord, puis celui de Port 2000 qui sera opérationnel dès octobre 2006. Par extension, les terminaux sud (Asie/Osaka et Bougainville) seront desservis par la SAITH à partir des mêmes faisceaux de soutien.

ABSTRACT

Port 2000 land access

J.-D. Poncet, P. Vaudour, J.-P. Ternon, Th. Vaillant

The consultation initiated within the framework of Port 2000 was the starting point for thinking concerning land access development, which is a strategic issue for Le Havre Port: to cope, between 2006 and 2020, with a tripling in the number of containers to be transported by land. Port 2000 therefore aims to establish coherent, functional space organisation, and to reorganise and optimise the collection of containers on all the sea terminals of Le Havre Port.

As soon as they are put into operation, the terminals of this new port dedicated to containers will be connected directly to the road and rail modes and the river mode will initially be handled on a specific terminal linked by rail transport to the new terminals. By strengthening the land connections of Le Havre on both the rail, road and river levels, Port 2000 helps improve France's position in European logistics.

RESUMEN ESPAÑOL

Los transportes terrestres de Port 2000

J.-D. Poncet, P. Vaudour, J.-P. Ternon y Th. Vaillant

La concertación iniciada en el marco de Port 2000 fue el punto de origen de una reflexión relativa a la ordenación de los transportes terrestres, que constituyen un reto estratégico para el Puerto de Le Havre: hacer frente, entre 2006 y 2020, a la triplicación del número de contenedores que se deberán transportar por las vías terrestres. Por consiguiente, Port 2000 se propone implantar una organización coherente y funcional de los espacios, reorganizar y optimizar la recogida de los contenedores para la totalidad de los terminales marítimos del puerto de Le Havre. A partir de su entrada en servicio, los terminales de este nuevo puerto dedicado a los contenedores estarán directamente conectados con los transportes viales y ferroviarios y el transporte fluvial estará, en una primera etapa, tratado sobre un terminal específico conectado por transporte ferroviario con los nuevos terminales. Al permitir el refuerzo

de los enlaces terrestres de Le Havre tanto a nivel ferroviario, vial como fluvial, Port 2000 contribuye a mejorar la posición de Francia en la logística europea.

Attribution des terminaux de Port 2000

Jean-Yves Le Ven



DIRECTEUR
DE L'OUTILLAGE
Port Autonome du Havre

Eric Durand



CHARGÉ DE MISSION
AVENIR DES TERMINAUX
DIRECTION
DE L'OUTILLAGE
Port Autonome du Havre



Perspective de Port 2000
à l'horizon 12 postes à quai

Perspective view of Port 2000
on the 12-berth horizon

Le Port Autonome du Havre (PAH) a décidé de confier l'exploitation des terminaux à conteneurs de Port 2000 à des manutentionnaires spécialisés dans le cadre d'une convention d'exploitation de terminal. A l'issue d'une campagne d'information diffusée internationalement par voie de presse fin 2001, le Port Autonome du Havre a reçu 10 manifestations d'intérêt de la part d'opérateurs nationaux et internationaux candidats à l'exploitation des six premiers postes à quai, chacun de ces opérateurs s'appuyant sur un partenariat étroit avec un transporteur maritime ou des chargeurs majeurs. Le conseil d'administration du PAH a retenu en première étape les projets présentés par MSC/TN, CMA-CGM/GMP, Maersk Sealand/Perigault. Ceux-ci ont donc fait l'objet de la signature de protocoles d'intention avec le PAH, confortés par la signature de conventions d'exploitation de terminal pour les deux premiers candidats précités. Dans le cadre de ces conventions, le Port Autonome du Havre met à la disposition de l'exploitant le quai dragué, les fondations des rails de roulement des portiques de quai, le terrain destiné à recevoir les aménagements réalisés par l'exploitant. Il assure aussi la réalisation des entrées-sorties générales de Port 2000 ainsi que des infrastructures des terminaux ferroviaire et fluvial (cf. article

sur les dessertes de Port 2000). En contrepartie, les exploitants fournissent au Port Autonome du Havre un certain nombre d'informations et d'engagements portant notamment sur les garanties de trafic et leur capacité à investir.

Les exploitants de terminal ont notamment en charge :

- ◆ le chargement et le déchargement des navires porte-conteneurs ;
- ◆ la gestion et l'exploitation du parc à conteneurs avec ses interfaces routières et ferroviaires, soit par terminal, soit selon un dispositif d'ensemble ;
- ◆ l'équipement complet du terminal en portiques de quai, en engins de parc, en système informatique de gestion de parc et de liaison avec les partenaires portuaires, la constitution de terre-pleins et, de manière générale, la réalisation de tous les équipements nécessaires à son exploitation ;
- ◆ la promotion commerciale du terminal auprès des armateurs et chargeurs.

Dans ce cadre, ils disposent notamment d'engagements de la part des armements ou des chargeurs relatifs à l'utilisation du terminal.

Le premier terminal opérationnel à Port 2000 est le terminal de France exploité par la Générale de Manutention Portuaire associée au troisième armement mondial : la CMA-CGM.

Le terminal de France.

SUIVI DE PROJET

Etudes et Conseils

- Maître d'œuvre infrastructure: groupement PAH - Beture Infrastructure
- Sécurité Prévention Santé: Présents
- Sondages: Fugro Géotechnique, Terrasol
- Géotechnique: Epsilon
- Programme des constructions: DA&DU
- Maître d'œuvre bâtiment: groupement Amoyal Architecte - Auxitec Bâtiment - ASP ingénierie
- Bureau de contrôle: Bureau Veritas
- Assistant maître d'ouvrage, OPC: Ouest Coordination
- Maître d'œuvre outillage: GMP
- Bureau de contrôle: Bureau Veritas International (Chine)
- Maître d'œuvre informatique: GMP
- Architecture réseaux: Vision
- Assistance: Auxitec Technologie
- Conseil Energie: ISL

Communication

- Animations: Jérôme Terrier
- Photos: Foto Graphic
- Film: Ellipse Studio

Compte tenu de la croissance de la demande, de la saturation des terminaux existants et de l'opportunité offerte par la construction de Port 2000, GMP en partenariat avec le troisième armement mondial CMA-CGM se sont positionnés, en répondant à l'appel d'offres lancé en 2002 par le Port Autonome du Havre (PAH), pour exploiter deux postes à quai sur les quatre programmés en première phase.

La proposition de GMP, adossée à CMA-CGM pour les engagements sur les volumes de conteneurs, a été retenue en 2003.

Plus d'une année de négociations entre le PAH et GMP a été nécessaire pour aboutir à une convention d'exploitation de terminal sur les bases du cahier des charges type mis en place en 2000.

Le 28 octobre 2004, la convention a été signée par le PAH et GMP pour une période de 36 ans: elle comporte deux postes à quai, soit 700 m de quai (déjà réalisé), et un poste à l'Est des deux précédents de 350 m en tranche conditionnelle (à réaliser). A sa charge, la GMP édifie et entretient, pendant la période précitée, l'ensemble des constructions et outillages nécessaires aux opérations de manutention.

Ces postes à quai sont dotés d'un terrain en arrière de 510 m de large environ.

Le projet de GMP, au nom de code Pélican, est le projet d'équipement en outillage, de construction et de mise en exploitation de ce terminal.

LES PRINCIPES DIRECTEURS

Les études préliminaires ont été réalisées par GMP en 2002 et 2003, un programme a alors été défini sur les grands principes suivants:

◆ **fiabilité**: avec le choix d'un mode d'exploitation qui a fait ses preuves: cavaliers 3 hauteurs et portiques à simple manutention à forte capacité de levage. Deux innovations marginales concernent la mise en place de la lecture optique de conteneurs et du DGPS;

◆ **sécurité**: les conflits entre modes – piétons, engins de manutention et camions – ont été minimisés: d'une part, par la mise en place d'une voie de desserte de bord à quai sans manutention et d'une plate-forme sur portique isolant les dockers des cavaliers et d'autre part, par la création d'un portique ferroviaire original qui enjambe la route d'accès des camions se rendant en zone d'échange;

◆ **sûreté**: la mise en place des règles de sûreté

(ISPS) imposant une clôture complète du terminal et un contrôle de tous les individus entrant sur le terminal a permis de rendre le stockage des conteneurs plus sûr. Des caméras de contrôle des clôtures et des zones d'opérations complètent le dispositif;

◆ **développement durable**: la conception et la mise en œuvre de techniques de construction adaptées en utilisant les matériaux du site, sans apport de granulats ou matériaux extérieurs, a permis de préserver les ressources et la tranquillité des abords du chantier. De plus, les eaux de pluies sont récupérées et traitées pour éviter toute pollution du milieu naturel.

Des dispositions très structurées d'organisation institutionnelle du projet ont été mises en place dès le début, afin d'assurer un contrôle permanent de l'avancement quantitatif, qualitatif et financier du projet. Ainsi, les réunions du Comité de pilotage et de la Commission d'appel d'offres jalonnent mensuellement le travail du directeur de projet dont les pouvoirs sont clairement définis. Plusieurs audits ont confirmé la pertinence de ce dispositif.

LE BUDGET (figure 1)

Acte majeur dans un projet, le budget a été élaboré très tôt. Il s'est affiné au cours des études d'avant-projet et a été approuvé par les actionnaires en juillet 2004 pour un montant hors taxes de 103 millions d'euros pour deux postes à quai se décomposant en (milliers d'euros):

- ◆ études: 2 000;
- ◆ travaux: 30 000;
- ◆ portiques: 42 000;
- ◆ équipements de parc: 22 000;
- ◆ informatique et ISPS: 5 000;
- ◆ aléas: 2 000.

ORGANISATION

Autour du directeur de projet, l'option prise a été de sous-traiter le maximum de prestations d'études et de conseil avec un suivi interne hebdomadaire. Le projet comporte de multiples aspects, notamment:

- ◆ techniques (infra et superstructures, outillages, réseaux, etc.);
- ◆ administratifs (autorisations, déclarations, etc.);
- ◆ financiers (financement, suivi, etc.);

Projet Pélican

Michel Henry



**DIRECTEUR DE PROJET
Général de Manutention
Portuaire (GMP)**

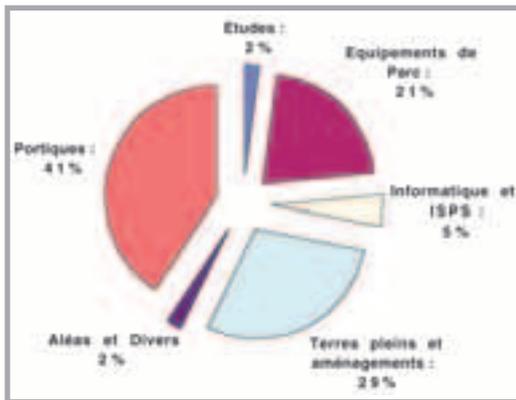


Figure 1
Répartition du budget

Budget allocation

◆ organisation et ressources humaines (négociation, recrutements, formations, etc.).

Le suivi du projet est assuré par des prestataires dans le cadre de l'organisation suivante: pilote, assistance à maîtrise d'ouvrage: ALGOE (cf. encadré "Suivi de projet").

Les travaux de construction ont été confiés aux entreprises mentionnées dans l'encadré "Les intervenants construction".

Pour illustrer ces travaux, on peut noter quelques éléments techniques:

◆ Portiques de quai (6 unités):

- portée 60 m, hauteur 115 m
- portée en conteneurs 22, charge de levage 100 t sous câble
- tandem 40', Twin 20'
- poids 1800 t.

◆ Portique ferroviaire (2 unités):

- portée utile 63,5 m, largeur 75,4 m
- charge de levage 65 t sous spreader
- twin lift avec rotateur
- poids: 800 t.

◆ Chariots cavaliers (28 unités au démarrage):

- hauteur: 15,9 m en 3 plus 1
- poids à vide: 70 t
- poids en charge: 120 t.

◆ Bâtiments atelier, bureaux et locaux sociaux, douane:

- surface: 3900 m²
- hauteur: 24 m
- autres bâtiments d'exploitation et locaux techniques: 600 m²
- 67 pieux de fondations spéciales.

◆ Infrastructures:

- surface: 52 ha
- terrassements: 600 000 m³

LES INTERVENANTS CONSTRUCTION

Infrastructure

- Pilotage général, terrassements, assainissement, voiries terrassements: Siorat (sous-traitants: Gagneraud, Dambre, Agilis, Sobat)
- Réseaux: Coca
- Energie, éclairage: Ineo (sous-traitant: Damael)
- Génie civil: groupement Quille TP/Eiffel
- Voie ferrée: Vossloh Infrastructure Service
- Clôtures et portails: Mariette (sous-traitant: Eurovia béton)
- Serrurerie: groupement TEG/TERH
- Signalisation marquage: Techniques Nouvelles

Bâtiment

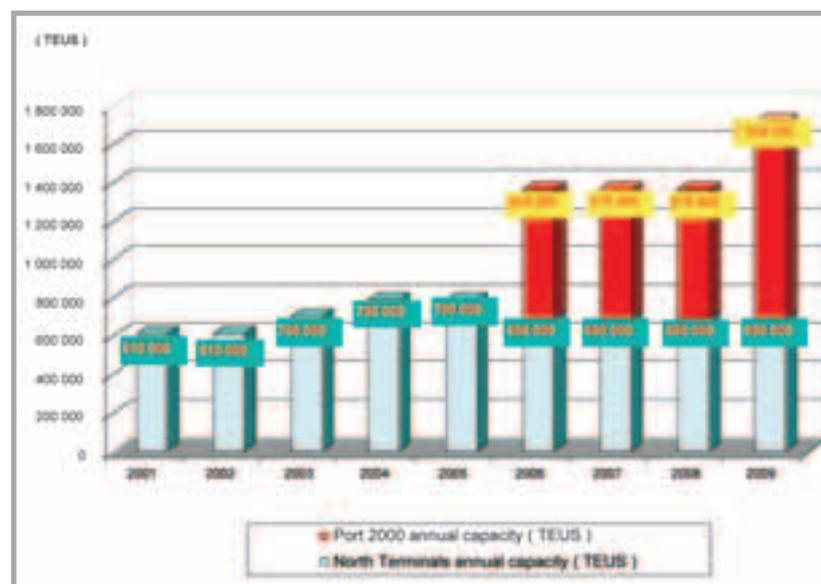
- Mandataire, couvreur, étanchéité: Rosay Techniques Couverture
- Gros œuvre, second œuvre archi: Quille
- Charpente: Baudin Chateauneuf
- Plomberie, chauffage: Cristal Rosay Technologie
- Electricité: Ineo
- Bâtiments préfabriqués: Cougnaud, Martin Calais

Courants faibles et systèmes d'information

- Logiciel et développements: Cosmos
- Réseaux, contrôle d'accès, téléphonie, éléments actifs: Cegelec (sous-traitant: Securitas)
- Matériel informatique: Activ Alo, Quadria, Software Spectrum, Aptoa
- Lecture optique conteneur: Camco Technologie
- DGPS: Sattel
- Radio: DES
- Radio transmission: Psion Teklogix

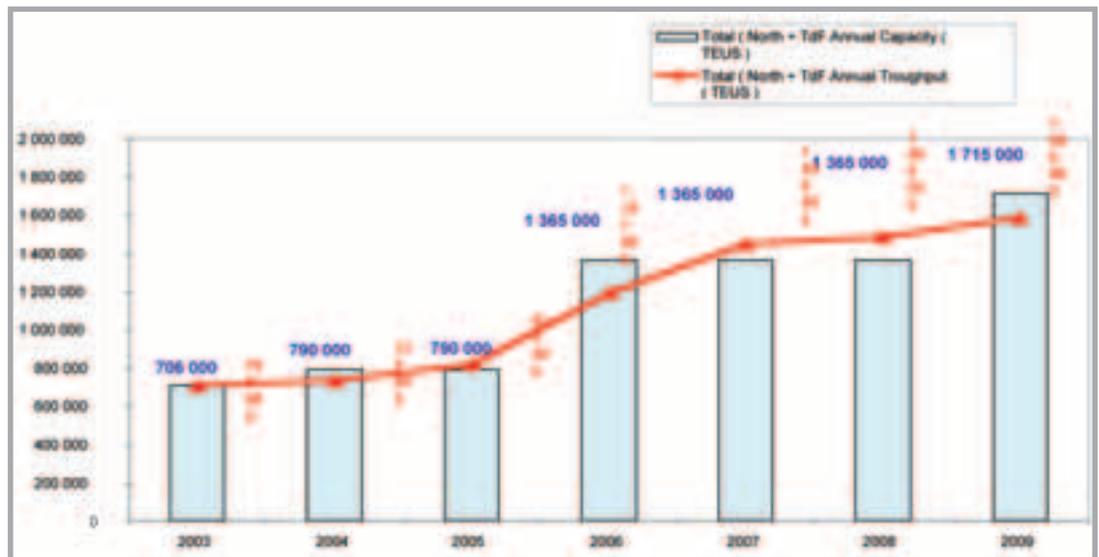
Outillage et engins

- Grues: Zhenhua Port Machinery Co (ZPMC)
- Cavaliers équipements de parc: Kalmar - Noell - Consens
- Engins divers: SDMO, Truckelev, Euromachine, MPI, SNEC, Viard

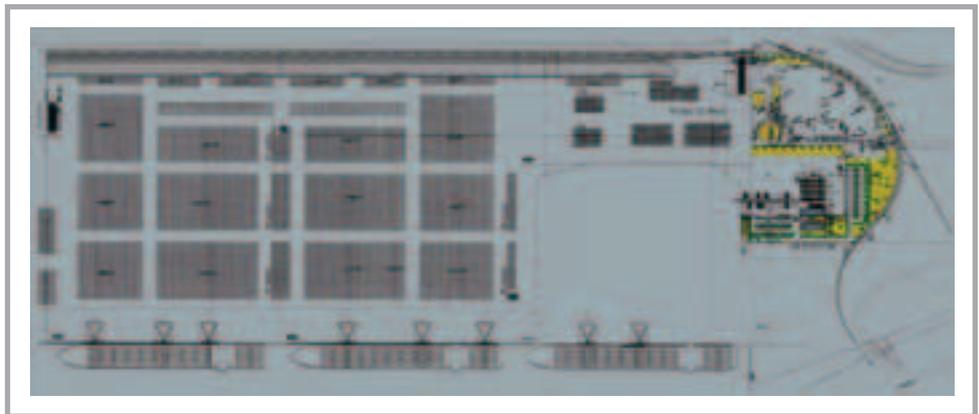


Evolution des capacités GMP
Development of GMP's capacity

Evolution prévisionnelle
des trafics
*Projected traffic
growth*



Terminal
design
*Terminal
design*



Evolution
des effectifs
*Workforce
trend*

Personnel	2002	2005	2007
GMP	62	112	184 / 220
MTN (Manutention Terminaux Nord) (Dockers)	360	540	710 / 730

- ▶ - chaussées : 520 000 t (56 cm de graves traitées)
- béton routier compacté : 40 000 t
- revêtements : 60 000 t (5 cm d'enrobés 0/10)
- assainissement : 6 500 m de réseaux et 12 stations de traitement des eaux
- tranchées communes : 8,5 km
- câbles : 60 km
- énergie disponible : 6 mégawatts
- voie ferrée : 4 150 m.

LE SITE

Le projet se situe sur la commune du Havre en baie de Seine, sur le site géré et aménagé par le Port Autonome du Havre dénommé Port 2000.

Les principaux aménagements primaires réalisés par le PAH sont :

- ◆ une digue de protection du port de 6 000 m avec musoirs d'entrée et le dragage du port et du chenal ;

- ◆ 1 400 m de quai armé d'une magistrale et des équipements d'arrimage des navires ;
- ◆ une voie de grue bord à quai de 35 m d'empattement (pour le compte de l'opérateur) ;
- ◆ un terrassement bord à quai de 75 m de large à la côte ;
- ◆ les accès routiers et ferroviaires en limite de parcelle ;
- ◆ l'amenée de l'énergie et des réseaux de télécommunication en limite de parcelle.

Ces terrains nus, en l'état, sont mis à disposition des opérateurs de manutention portuaire, pour une longue durée, pour y effectuer des opérations de chargement et déchargement de navires porte-conteneurs et travaux annexes.

- Les travaux permettent la mise à disposition de :
- ◆ 5 400 équivalents 20' au sol pour le terre-plein ;
 - ◆ 335 équivalents 20' au sol pour le buffer ferroviaire ;
 - ◆ 332 prises reefer sur deux niveaux ;
 - ◆ stockage de vides environ 4 000 équivalents 20' (700 EVP au sol).

Prévision de mise en exploitation : mars 2006.

Solutions techniques pertinentes et développement durable

A l'issue d'une procédure de consultation internationale, le groupement Port Autonome du Havre (PAH)/Béture Infrastructure s'est vu confier par le maître d'ouvrage GMP (Générale de Maintenance Portuaire) la maîtrise d'œuvre des travaux d'infrastructure relatifs à la création d'un terminal à conteneurs couvrant une surface d'environ 46 hectares.

Les études ont été conduites par le groupement entre avril et novembre 2004. Il a été décidé de découper le projet en neuf lots techniques :

- ◆ lot n° 1: Terrassement OPC - Titulaire: Siorat;
- ◆ lot n° 2: Assainissement - Titulaire: Siorat et sous-traitant: Gagneraud;
- ◆ lot n° 3: Génie civil des réseaux (courants forts, BT et faibles) - Titulaire: Coca;
- ◆ lot n° 4: Génie civil du rail de portique ferroviaire - Titulaire: Quille/Eiffel;
- ◆ lot n° 5: Voirie - Titulaire: Siorat;
- ◆ lot n° 6: Courant fort et éclairage - Titulaire: Ineo;
- ◆ lot n° 7: Clôtures - Titulaire: Mariette;
- ◆ lot n° 8: Serrurerie - Titulaire: TEG/TERH;
- ◆ lot n° 9: Voie ferrée et équipements - Titulaire: Vossloh.

L'objet de cet article est de détailler le processus d'étude et la conduite des travaux, objet des lots n° 1 et 5, la mission DET (Direction de l'exécution des travaux) de l'ensemble des travaux étant confiée à Béture.

Le PAH, mandataire du groupement en charge sur ces lots des études APS (avant-projet sommaire) jusqu'à la mission ACT, s'est adjoint les compétences du laboratoire Epsilon¹ dans l'objectif commun de rechercher les techniques les plus pertinentes et d'utiliser au maximum les ressources en matériaux du site (matériaux sablo-graveleux issus des dragages et mis en casiers) pour garantir un projet à moindre coût tout en préservant le patrimoine minéral extérieur.

En effet, les quantités à mettre en œuvre dans le cadre de ce projet sont importantes: approximativement 500 000 t de matériaux traités aux liants hydrauliques et 60 000 t de matériaux traités aux liants hydrocarbonés.

Pour ce faire et après de nombreux essais de faisabilité, le choix s'est porté sur une plate-forme non traitée de classe PF2, réalisée à partir des sables en place issus des mouvements de terre.

1. Spécialisé dans le domaine routier, Epsilon a pour vocation tant en France qu'à l'étranger, la formation, l'assistance technique, les expertises techniques, la réalisation d'études de formulation en matériaux hydrauliques et hydrocarbonés, le dimensionnement de structures, le contrôle externe ou extérieur des chantiers et le suivi de carrières. Son laboratoire est équipé du matériel d'études et contrôles le plus moderne du marché.

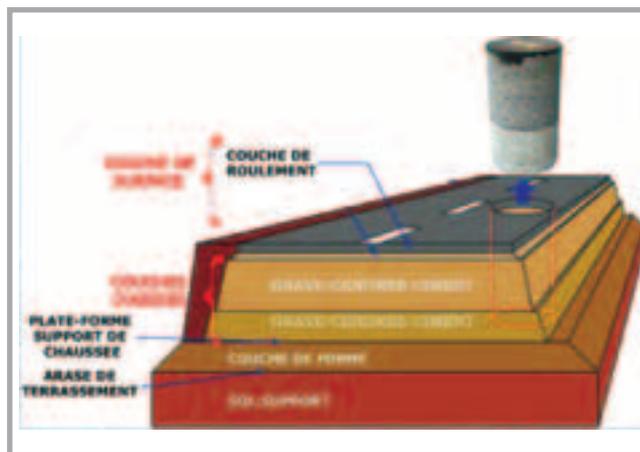


Figure 1
Structure de base retenue
Basic structure selected

Ce matériau est relativement homogène et est constitué d'un sable fin plus ou moins argileux dont la portance est globalement satisfaisante. Après des purges locales, on peut compter sur une plate-forme de type PF2 (50 MPa de module à l'essai de plaque).

Certains casiers contenaient des matériaux de dragage dont la granulométrie proche d'un 0/80 laissait espérer, après criblage, l'obtention d'une grave naturelle 0/20 qui, après traitement approprié, serait compatible avec les impératifs du dimensionnement. Cette grave subnormale devait permettre l'obtention d'une classe mécanique G3 selon la norme NF P 98 116. Différentes techniques et différents liants ont été testés afin d'appréhender le meilleur compromis.

La figure 1 donne la structure de base retenue dans les dossiers de consultations.

Emmanuel Ludot



CHEF DU SERVICE
DES CHAUSSEES,
TERRE-PLEINS
ET BÂTIMENTS
Port Autonome du Havre

Jean-Louis Duchez

DIRECTEUR GÉNÉRAL
Epsilon

Eric Boulanger

DIRECTEUR DES TRAVAUX
Siorat

Photo 1
Vue générale
des installations
de chantier

General view
of construction
plant



► **RÉALISATION DES TRAVAUX**

Après appel d'offres, l'entreprise Siorat, basée en Corrèze, a été désignée adjudicatrice des marchés assainissement, terrassement, structure, voiries et OPC (ordonnancement, pilotage et coordination des travaux). Les opérations d'assainissement ont été en partie sous-traitées à l'entreprise Gagneraud (agence d'Harfleur) et les opérations de terrassement à l'entreprise Dambre basée dans le Nord de la France.

Dans la logique de la réutilisation des matériaux issus des dragages mis à disposition, l'entreprise (via son laboratoire) a étudié et proposé un ensemble de solutions originales qui ont fait l'objet d'un long processus de vérification de la part de la maîtrise d'œuvre. Ainsi, en lieu et place de la grave 0/20, une solution "grave cendres volantes ciment" répondant aux spécifications prescrites a finalement été élaborée.

A noter que certaines zones à contraintes particulières (gares d'échanges, espaces ferroviaires, alentours d'ateliers...) seront réalisées grâce à la technique des bétons compactés routiers (BCR) en utilisant la même courbe granulométrique que précédemment.

Les matériaux de la couche de roulement de type BBSG 0/10 sont issus du concassage et du criblage du supérieur à 20 mm des matériaux de la grave cendres - ciment.

Un sable calcaire correcteur est introduit dans la formule pour corriger la courbe granulométrique (photo 1).

Les performances à l'orniérage visées sont celles d'un BBSG de classe 3 selon la norme NF P 98130.

Elles sont atteintes grâce à l'incorporation d'un asphaltite naturel, venant durcir le bitume 35/50 de base.

Un dope d'adhésivité est également prévu pour améliorer la tenue du film de liant en présence d'eau sur les granulats siliceux.

Graves hydrauliques

Agrégats

Après analyse des sondages complémentaires réalisés par le laboratoire de l'entreprise, une opération consistant au criblage de la grave en trois coupures 0/10 – 10/20 – 20/D est apparue nécessaire.

En effet, le respect de la courbe granulométrique moyenne de l'étude conduisant à de bonnes performances impose une recombinaison en centrale permettant de gérer les dérives.

La nature des matériaux, l'humidité et les rendements souhaités ont également nécessité la mise en place en tête d'un matériel particulier, plus courant dans les centres de tri et de recyclage que dans les carrières : un crible à étoile de 300 t/h de capacité servant de "précriblage". Ce matériel permet une séparation aisée des coupures, ce qui aurait été impossible avec un matériel classique (photos 2 et 3).

Fabrication

Après stockage des coupures 0/10 et 10/20, la formule est reconstituée en centrale. Siorat a installé sur le site trois centrales de fabrication (deux centrales Technifrance de 600 t/h et une centrale SAE de 300 t/h) permettant une puissance théo-

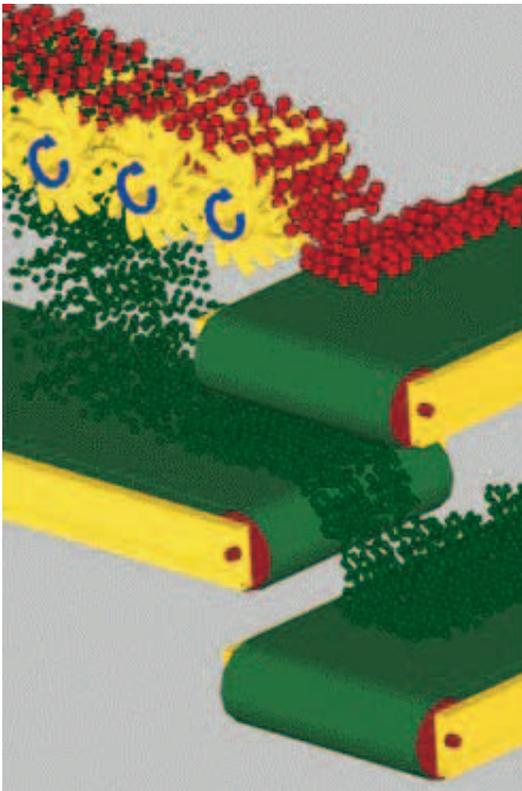


Photo 2
Principe de fonctionnement d'un crible en étoile
Operating principle of a star-shaped screen

rique d'environ 1 500 t/h. En fait, les fabrications journalières varient de 2 500 à 7 000 t de graves par jour.

Mise en œuvre

(Cf. figure 2).

Atelier de mise en œuvre

La grave est étalée par un bouteur Caterpillar. Deux niveleuses 140 G guidées laser assurent le réglage et le réglage fin. Le compactage est assuré par un cylindre Caterpillar V4, deux pneus 50 KN par roue (P1).

La couche de cure et un cloutage réalisé à partir de gravillons 6/10 sont ensuite mis en œuvre en fin de journée.

Béton bitumineux 0/10

Le béton bitumineux 0/10 est réalisé à partir du refus à 20 mm du criblage de la grave 0/80 brut. Le rapport de concassage est donc de 2. Ce matériau est extrait du crible en étoile sous la forme d'un 20/80 et concassé en coupures 0/4, 4/6 et 6/10 à partir d'une installation mobile spécialement amenée sur le site. La nature siliceuse des matériaux et sa faible fillérisation ont imposé l'ajout d'un sable correcteur calcaire.

Les premières études ont mis en évidence une faible tenue à la déformation permanente (essai d'orniérage) lors de l'utilisation d'un bitume clas-



Photo 3
Vue sur site
View on site



Figure 2
Principe de mise en œuvre
Application technique

sique de grade 35/50. L'incorporation d'un asphaltite naturel en augmentant la viscosité et la valeur de bille et anneau ont toutefois permis la mise au point d'un BBSG de classe 3, selon la norme NF P 98 130 des BBSG semi-grenus. L'incorporation d'un dope d'adhésivité était également impérative en raison de la nature pétrographique des matériaux.

Fabrication

La fabrication est réalisée à partir d'un poste mobile monté sur le site. Il s'agit d'une centrale Ermont de type TSM 21 d'une cadence nominale d'environ 250 t/h.

Mise en œuvre

La mise en œuvre est assurée par un finisseur Titan 421 monté en 7 m de large. L'atelier de compactage est constitué par deux tandems V2/V3.

CONCLUSION

Le challenge technique et humain de la réalisation de 500 000 t de matériaux traités aux liants hydrauliques et de 60 000 t de matériaux bitumineux est en passe d'être tenu.

► Cette opération se sera distinguée par la volonté très forte de mettre en œuvre des solutions techniques innovantes, par le souci permanent de toujours prendre en compte la préservation de l'environnement et du patrimoine des ressources en matériaux et par la réactivité sans faille de l'ensemble des acteurs pour régler au mieux et au plus vite les problèmes inhérents aux chantiers de cette taille.

L'expérience de l'équipe de maîtrise d'œuvre (PAH/Epsilon/Beture/Scetauroute) pour ce type d'opération, relayée par une bonne gestion des ressources humaines et matérielles, a permis pour l'ensemble des tâches d'identifier les risques techniques et de les limiter. On notera également que la complexité des tâches imbriquées ainsi que l'obligation du respect des délais ont nécessité une organisation et une coordination des travaux exemplaires (tâches imparties à l'entreprise Siorat).

Pour être menée à terme dans le strict respect des objectifs énoncés au marché, cette opération se sera nourrie de la somme des énergies humaines et matérielles, disponibles en permanence sur le chantier, et alimentée par la volonté de réussite sous l'impulsion directe de la maîtrise d'ouvrage représentée par Michel Henry.

La synergie développée entre tous les intervenants, de la conception à la réalisation, en passant par les bureaux d'études et de contrôles aura permis de tout mener à bien, en temps et en heure.

ABSTRACT

Appropriate technical solutions and sustainable development

E. Ludot, J.-L. Duchez, E. Boulanger

Following an international invitation to tender, the consortium formed by Port Autonome du Havre (PAH) and Béture Infrastructure was awarded by the Owner GMP (Générale de Manutention Portuaire) the project management contract for the work of establishing esplanades and miscellaneous networks for the creation of a container terminal covering an area of about 46 hectares.

The design engineering was conducted by the consortium between April and November 2004, with a very proactive policy of applying innovative technical solutions, recycling the site materials insofar as possible and taking into account environmental conservation. The synergies developed between all those involved in the work, from design to construction and including engineering and inspection offices, enabled the work to be performed in optimum conditions despite a rather harsh winter.

RESUMEN ESPAÑOL

Soluciones técnicas pertinentes y desarrollo sostenible

E. Ludot, J.-L. Duchez y E. Boulanger

Al término de un procedimiento de consulta internacional, la agrupación Puerto Autónomo de Le Havre (PAH)/Béture Infrastructure fueron encargados por la entidad contratante GMP (Générale de Manutention Portuaire) de la dirección del proyecto de los trabajos de creación de explanadas y diversas redes relativas a la creación de un terminal para contenedores de una superficie de aproximadamente 46 hectáreas.

Los estudios fueron dirigidos por la agrupación entre abril y noviembre de 2004, con una voluntad sumamente fuerte de poner en aplicación diversas soluciones técnicas innovadoras que reutilizan intensamente los materiales del emplazamiento y que integran la preservación del medio ambiente. La sinergia desarrollada entre todos los participantes, desde el establecimiento del concepto hasta la ejecución y

pasando por las oficinas de estudios y de controles, habrá permitido llevar a cabo los trabajos según las mejores condiciones pese a un invierno bastante frío.