

Protection des fonds de mer ou de rivière par des matelas lestés de blocs en béton

Un nouveau procédé néerlandais

Introduction

Dans le cadre du Plan Delta, prévoyant la fermeture de quatre grands bras de mer dans la région sud-ouest des Pays-Bas, la dernière tranche des travaux encore à exécuter est la fermeture de l'Escaut oriental, bras de mer d'une largeur de 9 km, avec une profondeur maximale de 40 m et un volume de marées atteignant 1 100 millions de mètres cubes.

Pour la préparation des travaux de fermeture de l'Escaut oriental, on a construit d'abord deux ports-ateliers — un sur la rive nord et un sur la rive sud — et ensuite trois îles artificielles dans le tracé du barrage. A l'endroit des chenaux de courant, sont aménagées dans le barrage des ouvertures qu'on appelle passes de fermeture. Avant, et surtout pendant la fermeture de ces passes, le courant atteint des vitesses extrêmement élevées, entraînant de grandes quantités de sable, ce qui peut provoquer une forte érosion des fonds.

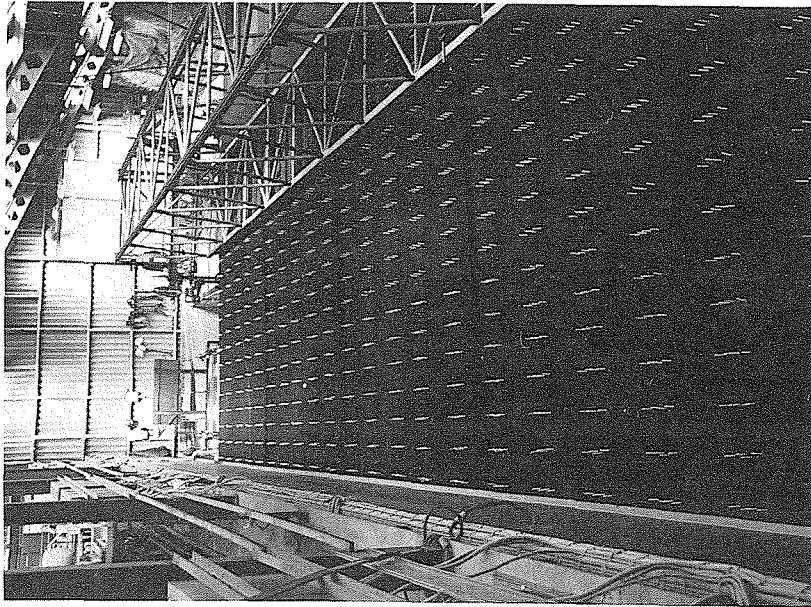
Depuis des siècles, on a utilisé des fascines d'osier ou de roseau pour protéger les fonds et rives non stables contre l'attaque des courants et des vagues. Pendant les vingt dernières années, à mesure qu'il fallait construire aux Pays-Bas des ouvrages d'art hydrauliques toujours plus grands, les limitations et les défauts des méthodes traditionnelles de protection à l'aide de fascines d'osier devenaient de plus en plus évidents. Une couverture en mastic d'asphalte, se composant d'un mélange chaud de sable, de matière de charge et de bitume, ne satisfaisait pas non plus aux conditions à imposer à la fermeture de l'Escaut oriental.

En raison de la grande étendue de la région à protéger, les ingénieurs hydrauliciens néerlandais ont cherché une nouvelle méthode de protection des fonds devant

répondre aux conditions suivantes : la nouvelle construction devrait être bien perméable à l'eau, mais étanche au sable, insensible aux influences biologiques et chimiques et résistante aux courants très puissants ; en outre, la couche de lest devait être solidement fixée sur la toile filtrante afin d'éviter qu'elle glisse vers le bas sur des talus raides immergés. Toutes ces conditions ont conduit au développement du matelas lesté de blocs en béton, appliqué à présent avec beaucoup de succès, et qui est fabriqué suivant un procédé automatisé.

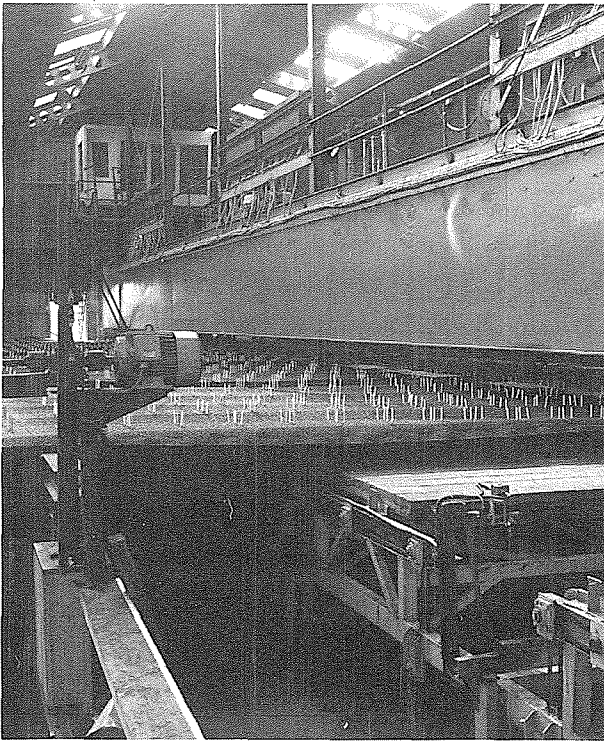
Caractéristiques du matelas lesté de blocs

La base du matelas est une toile en polypropylène spéciale, dont la résistance à la traction s'élève à 30 tonnes/m et le poids à 1 210 g/m². Sur la toile filtrante, les blocs en béton sont disposés de façon à recouvrir 50 % seulement de la toile, portant le poids de lest à 200 kg/m². Après la coulée du mortier sur la toile filtrante suivant un dessin déterminé, les blocs en béton formés ainsi ont trois tailles différentes, notamment 88×33×17 cm, 43×26×17 cm et 43×24×17 cm, et leurs poids s'élèvent respectivement à 120, 47 et 42 kg. Afin de fixer les blocs solidement sur la toile, on utilise des crochets en matière plastique sur lesquels le béton est coulé. Chaque matelas fini a une longueur de 200 m, une largeur de 30 m et un poids de 1 200 tonnes. Aux deux extrémités du matelas est fixée, sur toute la largeur, une poutre de bordure en béton, dont le poids s'élève à 21 tonnes. Ces poutres servent à éviter que le matelas se relève quand il repose sur le fond. Un mate-

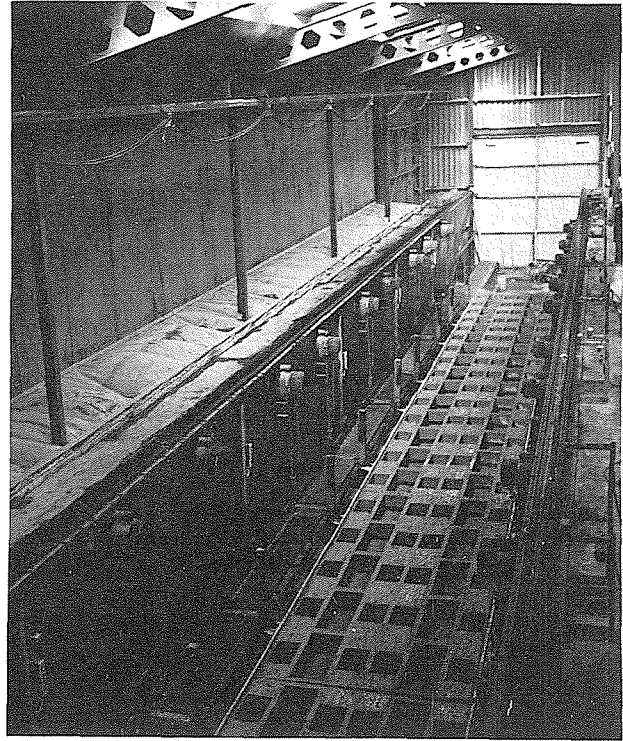


- 1/ La toile en polypropylène de 30 m de largeur étalée dans l'usine pour la fabrication des matelas lestés de blocs en béton. Une machine automatique à insérer des crochets projette quatre crochets en plastique à travers la toile à l'emplacement de chaque bloc en béton.
- 2/ Un système à rails glisse des palettes en bois sous la toile, après quoi le mortier est coulé sur cette partie de la toile.
- 3/ Des gabarits de coffrage en acier ont été abaissés sur toute la largeur de la toile en polypropylène et le mortier a déjà été coulé sur les crochets.

1/



2/



3/

las de 200×30 m porte 18 000 blocs en béton et pour la fixation des blocs 72 000 crochets en plastique sont utilisés.

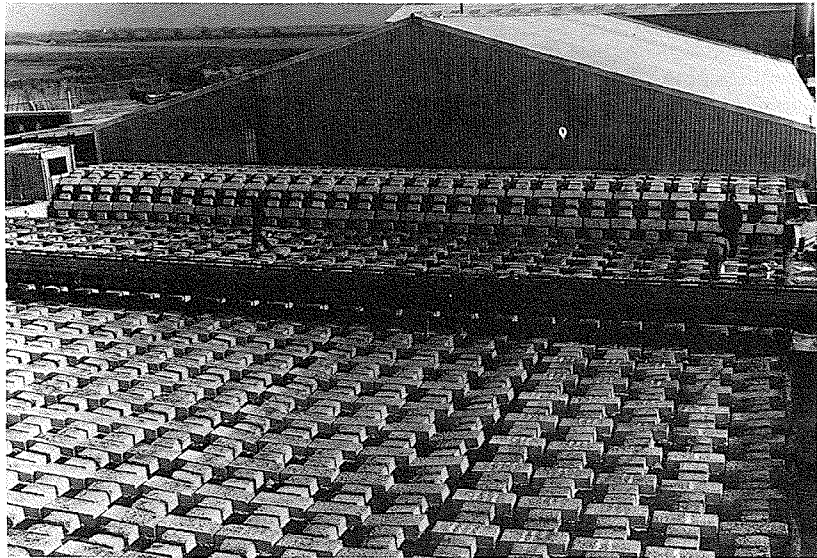
Pour déterminer la résistance de la toile filtrante et des crochets, il a fallu tenir compte d'une profondeur d'immersion de 40 m, à laquelle des forces considérables s'exercent sur les blocs ainsi que sur les crochets.

Après l'immersion du matelas, une couche de couverture composée de laitier de plomb ou d'acier d'un poids de 200 kg/m^2 est déposée sur le matelas. Cette couche maintient le tapis étalé immuablement sur le fond.

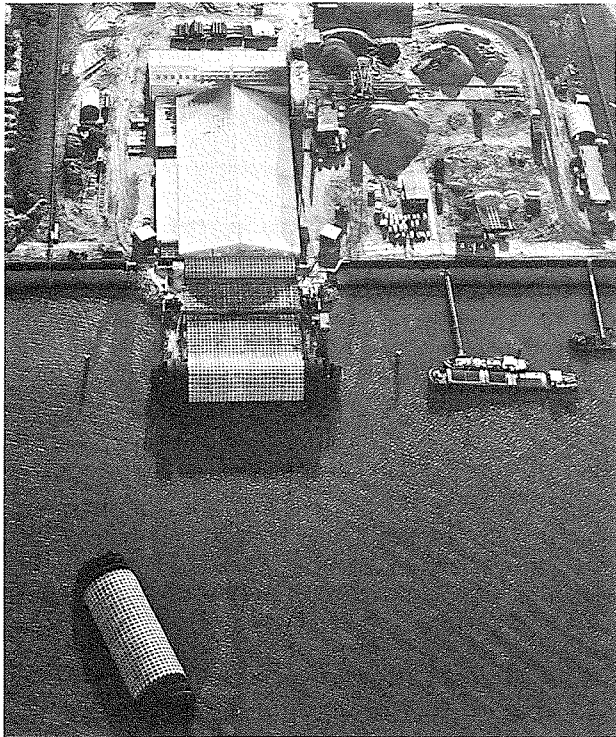
Le procédé de fabrication

Les matelas lestés sont confectionnés suivant un procédé automatisé dans une usine spécialement aménagée à cette fin et qui est implantée à terre près des lieux d'immersion. La fabrication se fait suivant un système de production à la chaîne, comportant un plancher mobile composé de palettes juxtaposées, de façon à former une sorte de large bande transporteuse. Dans l'usine, le bout d'un matelas fini est provisoirement relié au début

- 4/ Un matelas sortant de l'usine est conduit, en passant par un puits-tampon, au cylindre en acier flottant. Au milieu on voit la poutre d'immersion en acier qui est fixée à l'extrémité de chaque tranche de matelas finie.
- 5/ Vue aérienne de l'usine au bord de l'Escaut oriental. A terre un matelas lesté de blocs est enroulé sur le cylindre flottant; au premier plan un cylindre chargé est prêt pour le transport au ponton d'immersion (Photo aérienne Slagboom et Peeters).
- 6/ L'immersion d'un matelas . Le cylindre portant le matelas est verrouillé dans une niche du ponton et celui-ci est déhalé à vitesse régulière sur un trajet en ligne droite prédéterminé (Photo aérienne Slagboom et Peeters).



4/



5/



6/

du matelas suivant, assurant le déroulement en continu du processus de fabrication. En dehors de l'usine, ce raccordement provisoire est défait après que le matelas précédent ait été enroulé à peu près entièrement sur le cylindre de transport flottant. Le processus se déroule comme suit : à l'extérieur de l'usine, se trouvent six échafaudages juxtaposés de différentes hauteurs; les rouleaux de toile en polypropylène sont suspendus dans ces échafaudages. Six bandes de toile, d'une largeur de 5 m chacune, sont introduites dans l'usine par des fentes et ensuite assemblées par couture automatique en un

seul matelas d'une largeur de 30 m environ. Ensuite, une machine automatique à insérer les crochets en plastique se déplace sous la toile; à chaque emplacement d'un bloc en béton, la machine projette quatre crochets verticalement à travers la toile. Le plancher mobile est roulé sur des rails sous la toile, après quoi un cadre de gabarits de coffrage en acier est baissé sur les crochets perçant la toile. Une machine à couler le béton se déplace au-dessus des gabarits de coffrage et les remplit de béton. Après le serrage du béton par des vibrations à haute fréquence, la machine à couler retourne au-dessus

des gabarits pour compléter le remplissage. Les blocs ayant à ce moment une température de 60 °C, on utilise une machine de décoffrage spéciale afin d'éviter d'endommager les blocs pendant le retrait du coffrage. Cette machine de décoffrage est équipée, à l'emplacement des trous dans les gabarits, de tampons qui s'emboîtent exactement dans les trous et qui maintiennent les blocs en position quand le cadre est retiré vers le haut. Cette méthode permet de confectionner deux mètres de matelas environ en huit minutes, après quoi le matelas s'achemine plus loin dans l'usine sur le plancher mobile, et le cycle de fabrication recommence pour les deux mètres suivants.

Le plancher mobile, dont la longueur s'accroît au fur et à mesure du processus de fabrication, conduit le matelas par un tunnel à vapeur d'une longueur de 60 m, dans lequel de la vapeur à 60 °C est injectée dans les blocs pour accélérer le durcissement et donner au béton une résistance à la compression d'au moins 100 kg/m².

Dès la sortie du matelas de l'usine, le plancher mobile, qui s'étend à un moment donné sous l'ensemble du matelas dans le tunnel, retourne par tronçons dans l'usine sur un rail de retour pour y être glissé sous un nouveau matelas à confectionner.

A la sortie de l'usine, le matelas est introduit dans un puits tampon rempli d'eau, dans lequel un petit stock est constitué. Ce stock, sous forme d'une boucle, est nécessaire afin d'assurer le fonctionnement continu du cylindre d'enroulage et de transport indépendamment du rythme de production dans l'usine. En sortant du puits, le matelas est conduit, sur un deuxième plancher mobile, vers le cylindre d'enroulage. Celui-ci flotte dans l'eau contre des appuis sur le quai; diverses paires de câbles de treuil le retiennent à sa place et mettent en marche la rotation pour enrouler le matelas. Dès qu'un matelas a été enroulé à peu près entièrement sur le cylindre, une lourde poutre d'immersion en acier est fixée à l'extrémité du matelas, après quoi le cylindre est traîné à sa destination par des remorqueurs. Ensuite, un cylindre vide est placé devant le quai et une sorte d'entrait est fixé au début du matelas suivant. Des câbles de treuil sont raccordés à l'entrait et le matelas est enroulé sur le cylindre.

Le cylindre d'enroulage et de transport a une largeur de 45,2 m et un diamètre de 10 m; il est fait de tôle d'acier et comporte un renforcement intérieur. Le cylindre est équipé de divers appareils tels que des poulies pour câbles de treuil et un dispositif d'accouplement pour le verrouiller dans une sorte de niche dans le ponton d'immersion.

L'usine doit confectionner 2 millions de mètres carrés de matelas au total, ce qui revient, avec une production moyenne de trois matelas par semaine, à une durée d'opération de deux ans.

Le ponton d'immersion

Le ponton d'immersion sert à diriger le cylindre, chargé d'un matelas dans la position requise pendant l'immersion du matelas, tout en déroulant celui-ci à la vitesse requise.

Dans un côté du ponton, est aménagé un évidement rectangulaire, une sorte de niche, dans laquelle se loge le cylindre portant un matelas. Le ponton a une longueur de 60,9 m, une largeur de 34,3 m et une hauteur de 5 m environ (2,2 m au-dessus du niveau de l'eau). Il est équipé des treuils nécessaires au largage et au déhalage et d'appareils de navigation modernes. Les forces qui s'exercent sur le matelas et sur le ponton pendant l'opération d'immersion, ont été calculées sur la base des résultats obtenus au cours d'essais complets sur modèle dans le Laboratoire Hydrographique Néerlandais et dans la Station Expérimentale Néerlandaise pour la construction navale.

L'opération d'immersion

Deux heures et demie avant le reflux de la marée basse, le cylindre chargé est traîné par deux remorqueurs vers le ponton d'immersion. Quand le cylindre se trouve à une distance de 100 m du ponton, un câble en acier est transmis du ponton au cylindre. Ensuite, le cylindre est tiré à l'aide de treuils dans la niche du ponton où il est verrouillé, de façon à lui permettre de tourner librement et de se mouvoir dans le sens vertical par rapport au ponton. Ce mouvement vertical est nécessaire parce que le cylindre se lève progressivement de l'eau pendant le déroulage du matelas et l'effet des vagues sur ses mouvements s'accroît de plus en plus.

Des câbles enroulés lors de l'enroulage du matelas sur des poulies du cylindre, sont raccordés, en passant par un compensateur de houle, à un treuil sur le pont du ponton. Ce compensateur de houle élimine les tensions qui pourraient se produire par une différence entre le mouvement du ponton et celui du cylindre. Il assure en outre une tension constante des câbles de déroulage. Ensuite, la rotation du cylindre est mise en marche et la lourde poutre d'immersion est dirigée dans une position donnée, après quoi des câbles pourvus d'ancres sont fixés à la poutre; en plus, des câbles de largage sont raccordés au cylindre par un dispositif spécial. Pendant le déroulage du matelas, ces câbles de largage reprennent les tensions provoquées par la force du courant et par le poids du matelas. Dès que la poutre d'immersion a été positionnée correctement au-dessus du fond, commencent le largage du matelas et le déhalage synchronisés du ponton suivant un trajet prédéterminé. Le déhalage s'effectue parallèlement au courant en devançant celui-ci à une vitesse maximale de 4 m/min. L'ensemble de l'opération d'immersion prend une heure et demie environ.

Puisque la poutre d'immersion est ancrée au fond exactement dans la position requise, on est assuré que le matelas est étalé aussi exactement à l'endroit choisi.

Pendant l'immersion, la partie suspendue du matelas entre le cylindre et le fond est contrôlée constamment à l'aide d'un sonar, dit le profilage, qu'on fait descendre en passant par une gaine sous le ponton. Ce système permet de corriger rapidement tout écart de la position correcte, provoqué par exemple par un courant en biais ou par le largage trop rapide ou trop lent du matelas.

Comme déjà dit, un entrain est fixé au début du matelas, de sorte qu'il est immergé en dernier. Les extrémités des matelas consécutifs doivent se recouvrir sur trois mètres, ce qui est contrôlé pendant l'immersion de l'entrain. En cas d'écarts inadmissibles, il est possible de réenrouler le matelas sur le cylindre et de recommencer l'opération. Si l'immersion s'est déroulée correctement, la poutre d'immersion, ainsi que l'entrain, sont dégagés du matelas, relevés et fixés au cylindre, lequel est remorqué vide vers l'usine.

La détermination de la position du ponton

Un élément extrêmement important de l'opération d'immersion est la détermination précise de la position du ponton. Pour déhaler le ponton à une vitesse régulière sur un trajet en ligne droite, déterminé au préalable, il faut contrôler systématiquement, et au besoin corriger, la direction et la distance par rapport à la terre. Des géomètres néerlandais ont développé à cette fin un nouveau système de détermination de position, utilisant un AGA Geodimeter 700; c'est une combinaison d'un théodolite et d'un télémètre à laser. Cet instrument, installé à une place fixe sur une des rives, détermine en continu la distance et la direction par rapport à un prisme installé sur le ponton. La mesure de la

distance se fait à une précision de 5 mm environ et celle des angles à une précision de deux secondes d'arc. Ceci signifie qu'il est possible de déterminer la position du ponton à un décimètre près.

Le géodimètre transmet systématiquement les résultats de mesure obtenus à un ordinateur programmé. Cet ordinateur calcule la position du ponton et compare le résultat au trajet programmé. Tout écart est signalé par l'ordinateur et transmis au ponton par un système de télémétrie. Après réception au ponton des signaux, ceux-ci sont démodulés, convertis, puis enregistrés sur un enregistreur indiquant le trajet parcouru et l'écart. Ces données servent à la commande des treuils de déhalage à bord du ponton, permettant de maintenir la route correcte à l'aide d'un gyrocompas.

Entre-temps, on a acquis beaucoup d'expérience de la fabrication de ces matelas et de leur immersion, et il est apparu que le système répond parfaitement aux attentes. Il va de soi que l'usine en question est adaptée à la situation de l'Escaut oriental, mais le groupement d'entrepreneurs exécutant les travaux estime que ce système se prête à l'application partout dans le monde, au besoin sous une forme modifiée et adaptée à la situation sur place. Les travaux sont exécutés par Combinatie Dijkbouw Oosterschelde, qui a son siège à Burgh-Haamstede (Pays-Bas). Ce groupement réunit sept entreprises de construction néerlandaises bien connues, qui ont toutes collaboré au développement du matelas lesté de blocs en béton et de l'usine, en coopération avec le Service du Delta du Rijkswaterstaat.