

La protection contre la mer aux Pays-Bas : le Plan Delta

La Rédaction¹.

Introduction

Les Pays-Bas sont un pays très plat dont un quart de leur superficie se trouve au-dessous du niveau de la mer. Le point le plus bas, à 6,74 mètres au-dessous du niveau de la mer, se situe dans les environs de Rotterdam. Les Pays-Bas viennent en 3^{ème} position parmi les dix pays dont la proportion de la population vivant à moins de 10 m au-dessus du niveau des mers, est très élevée, en l'occurrence 74% après les Bahamas (88%) et le Suriname (76%).

L'inondation consécutive à l'ouragan du 31 janvier 1953, qui provoqua de grandes brèches dans les digues de protection, eut pour conséquences² le décès de 1 836 personnes³, l'évacuation de 72 000 autres, la mort de 200 000 têtes de bétail, la destruction de 3 000 maisons et 300 fermes, et l'endommagement de 40 000 maisons et 3 000 fermes.

En Sud-Hollande, les digues ont été endommagées sur 91 km et il y eut 17,7 km de brèches⁴. Le Comité du Delta, créé peu après, a pris le problème à bras le corps et, à fin juillet 1953, toutes les brèches avaient été colmatées. Fin 1953, la zone était officiellement déclarée à nouveau

à sec. Les recommandations du Comité du Delta de mars 1953 ont servi de base pour l'élaboration de la Loi Delta du 8 mars 1958 qui a lancé tout le programme de construction de grands barrages.

Pour mener à bien ce programme, le Rijkswaterstaat (Département des voies d'eau et des travaux publics) a décidé de s'en tenir à un ordre logique en passant des petits ouvrages aux grands et des ouvrages simples aux ouvrages compliqués, tout en considérant que la protection contre les marées de tempête était la priorité n°1. Sur cette base, il a été décidé de réaliser les ouvrages dans l'ordre suivant (Fig. 1) :

- Hollandse IJssel.
- Zandkreek.
- Veerse Gat.
- Grevelingen.
- Volkerak.
- Haringvliet.
- Brouwershavense Gat.
- Oosterschelde.

1. Remerciements à Koos Doekes, Helpdesk Water, Rijkswaterstaat, pour son aide dans l'élaboration de ce texte.

2. Source : www.deltawerken.com/English

3. Dont 846 dans la province of Zélande, 247 en Nord-Brabant, 677 en Sud-Hollande et 7 en Nord-Hollande et 40 personnes ultérieurement.

4. Plus de 10 km affectés en Brabant-Nord dont 6,7 km de brèches, 38 km de digues affectés et 3,5 km de brèches en Zélande.



Figure 1. Localisation des grands barrages (source : Helpdeskwater).
Légende : 1. Maeslantkering, 2. Hollandse IJssel Kering, 3. Hartelkering, 4. Haringvlietdam, 5. Volkerdam, 6. Grevelingendam, 7. Philipsdam, 8. Brouwersdam, 9. Oosterscheldedam, 10. Veerse gatdam, 11. Zandkreekdam, 12. Oesterdam.

Ce programme (Plan Delta) a consisté à relever de plus de 5 m les dunes le long de la côte et à relier les îles de la Zélande par des digues et divers ouvrages d'art. Au total, les travaux se sont étalés sur 40 ans comme le

montre le tableau 1 ci-dessous. Il convient d'insister sur le fait que le programme original concernant l'ouvrage majeur qu'est l'Oosterschelde et ses ouvrages associés (Oesterdam et Philipsdam) a été modifié dans les années 70 pour satisfaire plusieurs objectifs : la protection des lacs d'eau salé, les liaisons maritimes et le maintien de la zone de marées.

Au total, 16,5 km de digues environ ont été construits, dont 2,4 km de digues primaires et le solde en digues secondaires, et 300 ouvrages, ce qui en fait une opération exceptionnelle à l'échelle mondiale. Quelques commentaires suivent sur quelques-uns de ces ouvrages.

IJssel hollandais

L'IJssel hollandais correspond à l'estuaire du Nouveau Maas, qui relie Rotterdam à la mer. Dans l'éventualité d'une inondation, l'eau de rivière ne pourrait être évacuée à marée montante. Or c'est une région de très basse altitude et très densément peuplée. L'idée initiale d'un barrage semi-fermé n'a pas été retenue car elle aurait rendu le trafic maritime impossible et il passe 250 navires par jour en cet endroit. D'où l'idée d'un barrage anti-tempête qui ne serait fermé qu'en hautes eaux.

Ouvrage (n° sur la carte)	Construction	Commentaires
Stormvloedkering Hollandse IJssel (2)	1954-1958	Barrage anti-tempête. Deux tours de part et d'autre associées à deux portes de 80 m de large.
Zandkreekdam (11)	1957-1961	Partie du programme des 3 îles. Construction par caissons.
Veerse Gatdam (10)	1958-1961	Partie du programme des 3 îles. La force du courant a imposé l'emploi de caissons de drainage pour la construction.
Grevelingendam (6)	1958-1965	Barrage et écluse. Construction répartie entre téléphérique, caissons et apport de sable.
Volkerakdam (5)	1960-1969	Barrage secondaire, destiné à permettre la construction d'autres barrages comme Oosterschelde, Brouwers et Haringvliet dam.
Haringvlietdam (4)	1956-1972	Complexe d'écluses sur environ 1 km.
Brouwersdam (8)	1964-1971	Barrage et écluse. Type de barrage similaire à celui de Greveling.
Markiezaatskade	1980-1983	Digue d'environ 4 km de long.
Oosterscheldekering (9)	1960-1973 puis 1976-1986	Barrage de l'Escaut oriental : près de 9 km de long. Opposition initiale des mytiliculteurs, des ostréiculteurs et des associations de la protection de la nature, d'où le choix d'un barrage à écluses conservant la zone de marées, mais pouvant être fermé en cas de hautes eaux. De grandes glissières peuvent être abaissées en cas de fortes tempêtes. Les portes sont fermées à + 3m au-dessus niveau NAP ⁵ d'Amsterdam. Fermeture à 23 reprises entre 1986 et 2004. Le 1 ^{er} projet prévoyait la fermeture complète de l'Escaut oriental.
Oesterdam (12)	1979-1987	Digue de 11 km et écluses.
Philipsdam (7)	1976-1978 puis 1986-1987	Barrage et écluse.
Maeslantkering ⁶ (1)	1991-1997	2 portes monumentales. Barrage fermé à plus de 3 m du niveau NAP à Rotterdam.
Hartelkering ⁷ (3)	1991-1997	2 structures en forme d'ellipse mobiles.

Tableau 1. Récapitulatif des grands barrages, 1958-1997 (source : www.deltawerken.com/English).

5. Niveau de référence 0 de la mer à marée basse mesuré à Amsterdam.

6. Ouvrage ne faisant pas partie du plan Delta au départ.

7. Idem note 2.

Avant de construire le barrage, il a fallu retirer l'argile du fond, qui n'aurait pas supporté le barrage, et la remplacer par du sable, qu'il a fallu extraire du Nouveau Maas et acheminer par bateau. En tout état de cause un dragage était nécessaire pour approfondir le chenal. Deux tours ont été placées de chaque côté de la rivière, qui fait 250 m de large en cet endroit, accompagnées de deux grandes portes de 80 m de large, accrochées entre les tours. En cas de risque d'inondation, les portes sont descendues dans l'eau. En outre, une écluse spécifique de 120 m de long et 24 m de large a été construite pour les navires trop hauts pour passer sous les portes. On peut noter que durant les 20 premières années, lorsqu'une forte marée était prévue, on fermait le barrage à la mer étale afin d'éviter de forts déplacements du cours d'eau si l'opération de fermeture se faisait par courant fort. En fait, il s'est avéré que ce genre de déplacement ne se produisait pas et, depuis les années 70, la fermeture du barrage se fait à n'importe quel moment du cycle de marée.

Barrage anti-tempête de l'Oosterschelde (Escaut Est)

Au départ, on avait envisagé la fermeture de l'Oosterschelde par un barrage et, en 1967, on avait déjà commencé à construire trois îles artificielles entre lesquelles auraient été installés des ouvrages en béton. Le projet n'a pas été plus loin en raison des conséquences sur l'environnement (richesse de la faune et de la flore notamment). On a alors envisagé de rehausser les 150 km de digues entourant l'Oosterschelde. En 1975 enfin, il a été proposé de construire une barrière libre, composée de piles sur lesquelles seraient accrochées des glissières, permettant de fermer l'Oosterschelde en cas de nécessité. Comme le coût était beaucoup plus élevé que celui d'un barrage ordinaire, le Parlement a donné son accord pour la construction de deux barrages auxiliaires (Philipsdam et Oesterdam) ce qui a permis de restreindre la superficie de l'Oosterschelde et de renforcer les mouvements de marée. En outre, un itinéraire sans marée a été créé pour les navires, entre Anvers et le Rhin.

Long de 3 km, le barrage est construit sur 3 chenaux (Hammen, Schaar van Roggeplaat et Roompot). Il est composé de 65 piles préfabriquées en béton, au sein desquelles sont installées 62 glissières d'acier (Photo 1). Lorsque les glissières sont ouvertes, les trois quarts du flot de marée d'origine sont maintenus, ce qui a semblé suffisant pour préserver l'environnement de l'Oosterschelde. Certains bancs sableux (Roggeplaat et Geul) avaient déjà été surélevés en prévision de la fermeture de l'Oosterschelde.



Photo 1. Une vue de l'Oosterschelde (cliché Rijkswaterstaat).

Le fond s'étant avéré trop faible pour supporter le barrage, plusieurs opérations ont été conduites :

- renforcement de la cohésion du sable sur une puissance de 15 m à l'aide de tubes à vibration implantés dans le fond et dans lesquels étaient transmises des vibrations émises du navire Mytilus ;
- mise en place de matelas synthétiques sur le fond autour de l'emplacement futur du barrage, matelas ultérieurement couverts de blocs de béton ;
- dragage des silts et remplacement par du sable.

Comme le résultat était encore insuffisant, on a fabriqué, à terre, des matelas remplis de sable et gravier adaptés à chaque tronçon du barrage.

Les piles constituaient les éléments les plus importants du barrage et elles furent construites dans des docks d'environ 1 km² à 15,2 m sous le niveau de la mer, entourés d'une digue destinée à maintenir l'eau de mer en dehors de l'excavation. Chaque dock était coupé en 4 parties. Une fois la pile d'une partie terminée, elle était acheminée et mise en place à l'emplacement prévu dans le barrage. Chaque pile représentant 7 000 m³ de béton, ce sont 450 000 m³ de béton qui seront au total fabriqués entre 1979 et 1983. Il fallait environ 1 an et demi pour construire une pile et 30 piles étaient en construction en même temps, ce qui a imposé une organisation très complexe de la production. Chacun des 65 piles faisait entre 20,25 et 38,75 m de haut et pesait 18 000 t. Deux piles supplémentaires ont été construites par mesure de sécurité.

La mise en place des piles devait se faire avec une précision absolue, lorsque le courant était le plus faible possible à marée étale. L'espace entre les piles était rempli de façon à ce que la liaison pile-matelas soit aussi parfaite que possible. En outre, pour accroître la stabilité, les piles ont été remplies de sable, puis finalement enveloppées de

béton. Il était indispensable que le barrage soit parfaitement stable car en cas de non fermeture d'une glissière, le courant dans la brèche pouvait devenir gigantesque. Ensuite, 5 Mt de pierres de 10 t chacune, d'une roche faisant 2,8 à 3 de densité pour éviter qu'elle ne soit déplacée par la marée, ont été placées autour des pontons. Certaines de ces pierres ont été importées d'Allemagne, Finlande, Suède et Belgique, faute d'une ressource suffisante aux Pays-Bas.

Une fois les piles bien installées sur le fond, on a pu installer les pièces sommitales sur lesquelles ont été fixées les glissières dont le mouvement est assuré par des cylindres hydrauliques.

Au total, la construction de ce barrage a impliqué de multiples performances techniques, y compris la construction de navires spécifiques capables d'accomplir les tâches imposées par la construction du barrage. Ainsi, le *Mytilus* (La moule) a été chargé de la compaction des sédiments du fond par vibration, le *Cardium* (La Coque) de la mise en place des matelas (36 cm d'épaisseur, 42 m de large, 200 m de long) sur le fond, l'*Ostrea* (L'Huître) de transporter les piles des docks de construction à leur emplacement dans le barrage, le *Macoma* (La Nonne) de se positionner exactement en face du site de déchargement d'une pile par l'*Ostrea*, et également d'éviter toute présence de sable entre la pile et le matelas disposé sur le fond, une tâche rendue difficile par les transferts de sable avec les courants de marée, tandis que le *Wijker Rib* (poisson) était le porteur de l'engin d'inspection *Portunus* se déplaçant sur le fond.

Brouwersdam

La localisation optimale du barrage de Brouwer a été longuement débattue entre quatre solutions possibles. Finalement, on a choisi le tracé reliant Schouwen Duiveland, les bancs de sable de Middelpmaat et Kabbe-laarsmaat et Goeree Overflakkee. L'avantage de ce tracé était de minimiser la distance entre les barrages de Brouwer et d'Oosterschelde, un avantage pour le trafic maritime. Un autre avantage était financier, le tracé retenu coûtant entre 25 et 30% de moins que les autres.

À eux deux, les barrages de Grevelingen à l'est et de Brouwer à l'ouest ont permis la création du lac de Grevelingen. En ce qui concerne le barrage de Brouwer, il s'agissait de fermer 6,5 km entre Goeree-Overflakkee et Schouwen-Duiveland. Pour cela on a utilisé des caissons et un téléphérique comme cela avait été le cas pour le barrage de Grevelingen. Après avoir relié les deux bancs de sable dans le lac de Brouwershaven (« Brouwershavense Gat »), le bras nord a été fermé par des caissons de 68 m

de long sur 18 m de large et 16,2 m de haut, chacun équipé de 12 ouvertures de 5 m à travers lesquels l'eau pouvait circuler jusqu'à la fermeture finale. Pour le bras sud on a utilisé un téléphérique (pont roulant) équipé de chariots chargés d'acheminer les 600 000 t de blocs de béton à déverser sur le fond. En 1971, le barrage était terminé, mais 10 ans plus tard on a aménagé une écluse dans le barrage pour permettre le passage de l'eau salée, comme on l'avait fait en 1978 pour le barrage de Grevelingen. Il s'en est suivi des changements graduels dans la flore et la faune.

Haringvlietsluices

Ce barrage, qu'il a fallu 14 ans pour construire, s'étend sur 4,5 km entre Goeree-Overflakkee et Voorne Putten. Barrage ouvert, il a une double fonction : protéger contre une inondation potentielle, et assurer le drainage de l'eau du Rhin et du Maas dans la mer du Nord. À cette fin, 17 ouvertures dans le barrage assurent la régulation de la quantité d'eau qui circule en direction de la mer du Nord. Lorsque les niveaux d'eau près de Rotterdam deviennent trop élevés, des couloirs spécifiques de drainage peuvent évacuer une quantité d'eau plus importante en direction de la mer. Le barrage comporte une écluse pour les navires.

Pour la construction, on a utilisé principalement un téléphérique pour déverser des blocs de béton sur le fond (100 000 blocs de 2,5 t chacun) ; le système de caissons n'a pas été utilisé. L'usage du téléphérique n'a pas été nécessaire pour le chenal sud, car il a suffi de rehausser le niveau du sable le long du barrage. Des tunnels spécifiques ont été construits pour permettre le passage des poissons dans les deux sens, même lorsque toutes les ouvertures sont fermées.

Barrage de Maeslant (*Maeslant Barrier*)

Comme indiqué précédemment⁸, les barrages de Maeslant et Hartel ne faisaient pas partie du Plan Delta d'origine. En 1987, après achèvement des travaux du Plan Delta *sensu stricto*, il a été décidé de construire un barrage dans le Nieuwe Waterweg, pour éviter le renforcement coûteux des digues le long des branches du bas Rhin et de la Meuse. Dans la région de Rotterdam, plus d'un million de personnes vivent dans des habitations entourées d'eau, qui seraient inondées jusqu'au deuxième étage si les multiples digues et barrages venaient à être submergés. Mais depuis 1997, un barrage colossal, l'ouvrage final du Plan Delta, veille sur ce territoire. Situé sur le Nieuwe Waterweg, principal canal d'acheminement maritime vers le port de Rotterdam, le Maeslantkering garde l'entrée d'une zone industrielle et portuaire. La fermeture des

8. Cf. tableau p. 54.

deux portes de 210 m de long se fait en une fois lorsque le NAP dépasse les 3 mètres.

Lors de sa construction il était prévu que le Maeslantkering ne soit fermé qu'environ une à deux fois tous les dix ans, or il s'avère que dans moins de cinquante ans, en raison de la hausse du niveau de la mer, le barrage devra être fermé tous les cinq ans et peut-être même plus. Le Maeslantkering a été construit en tenant compte des prévisions pour les 100 prochaines années, il peut contenir un niveau de 5 mètres au dessus du NAP, cependant ce n'est pas un barrage que l'on peut fermer trop souvent car cela coûterait trop d'argent du fait de l'interruption du trafic maritime (Photo 2). Depuis 1996, un test de fermeture du barrage a été réalisé chaque année. En 2007, il a paru utile de réaliser ce test durant une tempête réelle, ce qui fut fait le 9 novembre 2007 date à laquelle se produisit la plus forte tempête depuis 2003. Lors de cette tempête le niveau d'eau à Hoek van Holland atteignit NAP + 3,18 m.

Conclusion

La hausse du niveau de la mer, l'augmentation des précipitations provoquant des crues plus fréquentes et puissantes, l'affaissement des terres, les tempêtes, la Hollande craint finalement plus une conjugaison de tous ces éléments et s'y prépare en conséquence tous les jours, toute l'année.

Cependant, il y a un débat fondamental à propos des fondements du Plan Delta : le niveau de la terre bais-



Photo 2. Une vue du Maeslantkering (cliché Rijkswaterstaat).

se et celle-ci est soumise au réchauffement global et au changement climatique. Parallèlement, le niveau des océans monte. Les digues vont sans doute devoir être renforcées et rehaussées, créant davantage d'enfoncement du terrain. Certains avancent que le déplacement des villes et l'abandon de terres à la mer seraient, à long terme, une solution plus viable qu'une bataille contre les eaux. Mais il faut ici rappeler que cette question concerne un quart du territoire d'un pays, déjà très densément peuplé. On peut aussi noter que le succès n'a pas été partout au rendez-vous : développement croissant des algues dans le lac d'eau douce (Volkerak-Zoomer) situé à l'arrière du Philipsdam et de l'Oesterdam, perte de territoire intertidal dans le bassin résiduel de l'Oosterschelde faute d'apport sableux suffisant provenant de la mer du Nord.

Entre temps, les travaux d'entretien des barrages se poursuivent, notamment dans les ouvrages d'Oosterschelde et Westerschelde dont il convient de changer les revêtements. Les travaux ont commencé en 1996 et devraient être terminés en 2015. Durant cette période, plus de 400 km de digues auront été renforcés.

En 1993 et 1995, de nouvelles inondations eurent lieu aux Pays-Bas, qui ne firent certes aucune victime, mais occasionnèrent d'énormes dégâts matériels. Cette fois-ci l'eau ne venait pas de la mer, mais de l'arrière-pays. En 1995, gonflés par les eaux de fonte et de fortes pluies, le Rhin et la Meuse sortirent de leur lit et plus de 250 000 personnes durent être évacuées. Immédiatement après cette catastrophe, fut mis au point le plan Delta des grands fleuves (*Deltaplan Grote Rivieren*), qui prévoit de redonner plus d'espace aux grands fleuves et de rehausser de nombreuses digues. Une loi concernant le renforcement et le rehaussement des digues a été promulguée, portant principalement sur le raccourcissement et la simplification des procédures juridiques. Le Plan ne porte pas sur le développement de nouveaux barrages et autres travaux, mais simplement sur une réalisation accélérée de travaux déjà planifiés.

Pour en savoir plus : sites internet

- www.helpdeskwater.nl
- www.deltawerken.com/English
- www.maaswerken.nl/main
- www.ruimtevoorderivier.nl
- www.deltacommissie.com