



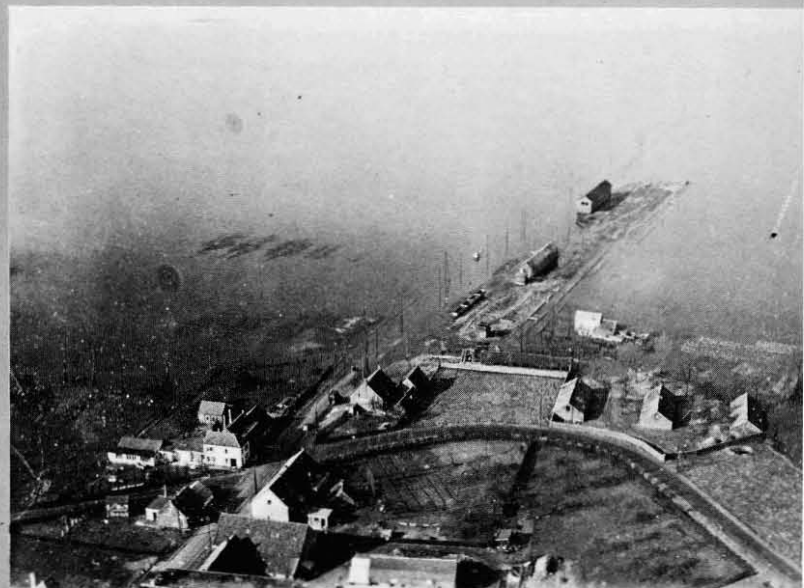
Stormvloeden
en stormvloedbeheersing
in het
Zeescheldebekken*

ir. P. ROOVERS,
Directeur bij het Waterbouwkundig
Laboratorium, Borgerhout

Photos/fotos MTP. MOW

Les marées-tempête
et la protection
du bassin de l'Escaut maritime
contre ces marées*

ir. P. ROOVERS,
Directeur au Laboratoire Hydraulique,
Borgerhout.



Au cours de leur histoire, les habitants des « Bas Pays de la Mer du Nord » ont souvent souffert d'inondations provoquées par les marées-tempête. Pendant des siècles, ils ont lutté contre la mer envahissante pour conserver les terres qu'ils lui avaient arrachées et, dans la mesure du possible, pour en augmenter la superficie. Souvent les digues cédèrent sous la force des éléments déchaînés et les polders furent inondés, mais chaque fois les habitants travaillèrent contre vents et marées pour assécher les terres inondées. Cette persévérance ne permit pas toujours de gagner la bataille. Les terres inondées de Saftinge en sont la preuve puisqu'on n'a jamais réussi à les récupérer.

Les récentes inondations qui ont ravagé notre pays après la marée-tempête du 3 janvier 1976, ont remis en pleine actualité le problème de la protection du bassin de l'Escaut.

(*) Cet article est basé sur un exposé donné à Anvers le 3 mars 1977, devant le « Genootschap Kultuurtechniek » du « Technologisch Instituut - K.VIV. ».

Note de l'éditeur : La version française est traduite du texte original en néerlandais. - Source : « Het Ingenieursblad », organe de l'Association Royale des Ingénieurs flamands (N° 11 - I.XI.1977 pages 309-317).

Kallo, quelques heures après la tempête de la nuit du 31 janvier au 1^{er} février 1953.

Kallo, enkele uren na de storm van de nacht van 31 januari op 1 februari 1953.

In de geschiedenis hebben de Lage Landen aan de Noordzee vaak te lijden gehad van overstromingen als gevolg van stormvloed; eeuwen lang hebben zij gestreden tegen de opdringende zee om het op haar veroverde gebied te behouden en zo mogelijk uit te breiden. Vaak bezweken dijken door de kracht der natuurelementen en werden polders overstroomd, maar even vaak werd met man en macht gewerkt om de overstroomde gebieden weer watervrij te maken. Maar volharding vermocht niet altijd overwinningen te boeken : als voorbeeld van mislukking kan hier het Verdrongen Land van Saftinge aangehaald worden. De jongste overstromingen, die ons land na de recente stormvloed van 3 januari 1976 teisterden, hebben het probleem van de stormvloedbeheersing in het Scheldebekken opnieuw scherp gesteld.

(*) Dit artikel is gebaseerd op een lezing gehouden te Antwerpen op 3 maart 1977 voor het Genootschap Kultuurtechniek van het Technologisch Instituut - K.VIV.

Bron : « Het Ingenieursblad », orgaan van de Koninklijke Vlaamse Ingenieursvereniging (N° 11 - I.XI.1977 - blz. 309-317).



Fig. 1.

Grens getijvoortplanting = limite de la progression de la marée

1. Description hydrographique du bassin de l'Escaut (fig. 1).

L'Escaut et ses affluents sujets aux marées sont protégés sur toute leur longueur par des digues. Le fond de la rivière est essentiellement constitué de sable fin et est donc très mobile.

Le bassin de l'Escaut est en liaison directe avec la Mer du Nord; trois chenaux profonds dans l'estuaire de l'Escaut mènent jusqu'à l'embouchure de l'Escaut Occidental, à Flessingue.

Sur le territoire des Pays-Bas, l'Escaut Occidental a un tracé irrégulier formant des méandres. Malgré cette irrégularité, il se présente en général comme un chenal continu à profil concave, serpentant d'une rive à l'autre en passant par des parties à faible profondeur, appelées seuils. A côté de ce chenal principal, l'Escaut Occidental comporte des chenaux secondaires, continus ou non. Entre ceux-ci se trouvent des parties à très faible profondeur, appelées bancs, dont beaucoup émergent à marée basse. La largeur de l'Escaut Occidental varie de 3 à 5 km. Les chenaux sont relativement profonds, surtout dans les fortes courbes (p.ex. la courbe de Honte : 40 à 50 m à marée basse, celle à Terneuzen : 60 m).

A partir de la frontière belge, la rivière est appelée Escaut maritime et elle coule entre des digues plus ou moins parallèles; les chenaux secondaires sont moins prononcés pour disparaître graduellement, au fur et à mesure qu'on remonte le cours de la rivière. La largeur entre les digues, qui est encore de 2500 m à la frontière, est réduite à 500 m à hauteur d'Anvers, donc à 80 km environ de l'embouchure à Flessingue. La profondeur du chenal continu diminue aussi très sensiblement et, en amont d'Anvers et jusqu'à l'embouchure du Rupel, elle ne dépasse pas beaucoup les 8 m à marée basse.

1. Hydrografische beschrijving van het Scheldebekken (fig. 1)

De Schelde en haar aan getij onderhevige bijrivieren zijn op hun ganse lengte ingedijkt. De bodem van de rivier bestaat in hoofdzaak uit fijn zand en is dus zeer beweegbaar.

Het Scheldebekken staat in vrije verbinding met de Noordzee, drie diepe geulen in het estuarium van de Schelde leiden tot de monding van de Westerschelde te Vlissingen. Op Nederlands grondgebied vertoont deze zee-arm een meandervormig onregelmatig tracé. Niettegenstaande deze onregelmatigheid vertoont de Westerschelde in het algemeen het verschijnsel van een doorlopende geul van holle vorm die van de ene oever naar de andere oever overgaat en bij deze overgang een ondiepte vertoont, drempel genaamd. Naast deze hoofdgeul komen in de Westerschelde nog sekundaire geulen of scharen voor; tussen geulen en scharen bevinden zich zeer ondiepe gebieden waarvan vele bij laag tij droogkomen en die men banken of platen noemt. De breedte van de Westerschelde schommelt tussen 3 en 5 km; de geulen zijn betrekkelijk diep vooral daar waar de kromming van het tracé uitgesproken is (bijv. Honte 40 à 50 m onder laagwater, bij Terneuzen 60 m).

Vanaf de Belgische grens spreekt men van de Zeeschelde en stroomt de rivier tussen min of meer evenwijdige dijken, de scharen zijn minder uitgesproken en verdwijnen praktisch geheel naarmate men opwaarts gaat. De breedte tussen de dijken, nog 2500 m ter hoogte van de grens, bedraagt nog 500 m bij Antwerpen, dit is amper 80 km boven de monding te Vlissingen. De diepte in de doorlopende geul is ook reeds aanzienlijk afgenomen en is opwaarts van Antwerpen tot bij de Rupelmonding niet veel meer dan 8 m onder laagwater.

Le premier affluent de l'Escaut maritime, le Rupel, se jette dans l'Escaut maritime à 15 km environ en amont d'Anvers, c-à-d. à 68 km du barrage de Gentbrugge, où les marées sont arrêtées. En amont de Gand, on ne parle donc plus de l'Escaut maritime, mais de l'Escaut tout court. Entre Rupelmonde et Gand, deux autres affluents se jettent dans l'Escaut maritime : la Durme à Tielrode et la Dendre à Termonde. Les profondeurs et les largeurs de l'Escaut maritime diminuent vers l'amont. C'est ainsi que la largeur à hauteur de Wetteren-Gentbrugge n'est plus que de 50 m environ.

Le Rupel lui-même, le premier affluent de l'Escaut maritime, a une largeur de 200 m; jusqu'à l'écluse de Wintam la profondeur dans les courbes est de 8 m environ et de 5 m environ sur les seuils, à marée basse. En amont de l'écluse de Wintam, la profondeur diminue sensiblement. A 12 km environ de son embouchure, le Rupel se divise en deux pour former la Basse-Nèthe et la Dyle. Jusqu'à Lierre, où elle est formée par la confluence de la Grande et de la Petite Nèthe, la Basse-Nèthe a une longueur de 16 km environ; la largeur entre digues varie de ± 100 m à ± 40 m à Lierre et la profondeur aux seuils n'est plus que de quelques mètres à marée basse.

Dans la Dyle, les marées sont arrêtées par un barrage situé à Malines, c-à-d. à 6,5 km environ en amont de l'embouchure. Un kilomètre en amont de l'embouchure de la Dyle la Senne se jette dans celle-ci.

Au courant des dernières décennies, la Durme, un affluent qui se jette dans l'Escaut maritime à Tielrode, s'est considérablement ensablée, ce qui signifie qu'en tant que rivière sujette aux marées, elle ne compte plus que sur une faible longueur en amont de Hamme.

2. Les marées.

De nombreux facteurs ont une influence sur les niveaux des eaux dans l'Escaut Occidental et dans le bassin de l'Escaut maritime, qui, comme mentionné ci-dessus, sont en liaison directe avec la Mer du Nord. Ces facteurs peuvent être classés en facteurs primaires et en facteurs secondaires.

2.1. Facteurs primaires.

Il est bien connu que les marées sont provoquées par l'attraction du soleil et de la lune qui engendre un mouvement périodique des eaux de notre planète. La période de la marée astronomique est en moyenne de 12.25 h. La Mer du Nord étant en liaison directe avec l'Océan Atlantique, tant au Nord qu'au Sud, ce mouvement périodique se propage dans la Mer du Nord, et, depuis celle-ci, dans l'Escaut Occidental et dans l'Escaut maritime. Ces marées ont ceci de particulier que les influences réciproques de ces trois systèmes (Océan - Mer du Nord - Escaut Occidental) se manifestent en sens unique, c-à-d. que les phénomènes qui se produisent dans le bassin de l'Escaut

De eerste bijrivier van de Zeeschelde, nl. de Rupel, mondt ca. 15 km boven Antwerpen in de Zeeschelde uit, waar deze laatste nog 68 km verwijderd is van de stuw van Gentbrugge, waar de getjebeweging tegengehouden wordt. Opwaarts van Gent spreekt men van de Schelde. Tussen Rupelmonde en Gent monden nog twee bijrivieren in de Zeeschelde uit, nl. de Durme te Tielrode en de Dender te Dendermonde. De diepten, alsmede de breedten van de Zeeschelde, nemen opwaarts regelmatig af. Zo bedraagt de breedte bij Wetteren-Gentbrugge nog ca. 50 m.

De Rupel zelf, eerste bijrivier van de Zeeschelde heeft een breedte van 200 m, de diepte in de bochten bedraagt ca. 8 m en op de drempels ca. 5 m onder laagwater, tot bij de sluis te Wintam. Opwaarts van deze sluis neemt de diepte gevoelig af. Ca. 12 km opwaarts van de monding splitst de Rupel zich in Beneden Nete en Dijle. De Beneden Nete heeft tot Lier, waar ze gevormd wordt door de samenloop van Kleine en Grote Nete, een lengte van ongeveer 16 km, de breedte tussen de dijken gaat over van 100 m naar ca. 40 m te Lier en de diepte op de drempels bedraagt slechts een paar meter onder laagwater.

De getjebeweging op de Dijle wordt te Mechelen, d.i. ca. 6,5 km opwaarts van de monding, tegengehouden door een stuw. Een kilometer opwaarts van de monding van de Dijle vloeit de Zenne in deze rivier.

De Durme, een bijrivier die te Tielrode in de Zeeschelde uitmondt, is de laatste decennia voortdurend onderhevig aan aanzanding geweest en heeft als tijrivier nog slechts betekenis tot even opwaarts Hamme.

2. Getjebeweging.

Vele factoren beïnvloeden de waterstanden in de Westerschelde en het Zeescheldebekken dat, zoals gezegd, in open verbinding staat met de Noordzee. Deze factoren kunnen onderverdeeld worden in primaire factoren en sekundaire factoren.

2.1. Primaire factoren.

De eigenlijke getjeverwekkende krachten zijn de aantrekkingskrachten van zon en maan op de aarde uitgeoefend, waardoor op de oceanen een periodieke beweging van de waterspiegel ontstaat. De periode van het astronomische getij bedraagt gemiddeld 12.25 h. Daar de Noordzee zowel in het Noorden als in het Zuiden in open verbinding staat met de Atlantische Oceaan, plaatst deze periodieke beweging zich voort in de Noordzee en zo verder in de vorm van een tijgolf in de Westerschelde en het Zeescheldebekken. Verder is het zo dat de onderlinge invloed van deze drie systemen (Oceaan-Noordzee-Westerschelde) slechts in één richting verloopt, d.w.z. wat in het Scheldebekken en in de Westerschelde gebeurt is van geen invloed op de Noordzee, en wat op de Noordzee gebeurt nauwelijks op de Oceaan, maar omgekeerd is er een onmiddellijke en sterke invloed.

et dans l'Escaut Occidental n'ont aucune influence sur la Mer du Nord et que ce qui se passe dans la Mer du Nord n'a qu'une influence négligeable sur l'Océan. Dans le sens contraire par contre, l'influence est immédiate et importante.

L'amplitude de la marée est fortement influencée par la phase de la Lune, c-à-d. par la position relative de la Lune par rapport à la Terre, au cours de sa révolution autour de notre planète. A nouvelle et pleine lune, on parle d'une marée de vive-eau; à la quadrature entre la nouvelle et la pleine lune, c-à-d. quand la lune est au premier ou au dernier quartier, on parle d'une marée de morte-eau, qui est nettement plus basse.

Abstraction faite de la variation du niveau de l'eau dans l'Océan (qui est de l'ordre de 1,40 m, en plein océan), les trois forces suivantes influencent les marées dans une mer comme la Mer du Nord :

- les forces de friction, qui sont proportionnelles au carré de la vitesse de l'eau;
- les forces d'inertie, qui sont fonction de l'accélération ou de la décélération des masses d'eau;
- la force de Coriolis, provoquée par la rotation de la Terre, qui est proportionnelle à la vitesse de l'eau, perpendiculaire à celle-ci et, sur l'hémisphère Nord, dirigée de gauche à droite en regardant dans le sens de la vitesse.

La variation périodique des niveaux de l'eau dans la partie Sud de la Mer du Nord est de l'ordre de 5 m dans le Pas-de Calais, de 4 m dans l'estuaire de l'Escaut et de 2 m à peine à hauteur de Hoek van Holland et Den Helder. En outre, il existe trois points singuliers en Mer du Nord où aucune variation du niveau de l'eau n'est constatée. La marée qui pénètre dans l'estuaire de l'Escaut Occidental et remonte la rivière est aussi influencée par la forme en entonnoir de ce bras de mer, ainsi que par le tracé et la forme de l'Escaut maritime et ses affluents.

A divers endroits le long du littoral et dans le bassin de l'Escaut, la variation du niveau de l'eau est mesurée continuellement en fonction du temps, à l'aide d'appareils enregistreurs des marées, ce qui permet de déterminer les niveaux maximaux et minimaux de la marée ainsi que ses vitesses de déplacement dans la rivière.

De hoogte van het getij of hoog water is in sterke mate afhankelijk van de maanfaze d.w.z. van de relatieve plaats van de maan in haar baan om de aarde. Bij nieuwe en volle maan spreekt men van springtij, bij de kwartierstanden van de zoveel lagere dode tij.

Afgezien van de variatie van het waterpeil in de Oceaan (waar deze variatie in volle oceaan de orde van grootte van 1,40 m bedraagt) wordt de getijbeweging in een zee zoals de Noordzee beheerst door de drie hiernavolgende krachten :

- wrijvingskrachten, evenredig met het kwadraat van de watersnelheid;
- traagheidskrachten die verband houden met de versnelling of de vertraging der watermassa's;
- corioliskracht - kracht veroorzaakt door de aardrotatie, die evenredig is met de snelheid van het water en loodrecht hierop staat en in het Noordelijk halfmond van links naar rechts gericht is gezien in de richting van de snelheid.

De periodieke variatie van de waterstanden in het zuidelijk deel der Noordzee, is gemiddeld van de orde van grootte van 5 m in het Nauw van Kales, van 4 m in de Scheldemonding en van amper 2 m ter hoogte van Hoek van Holland en Den Helder. Ook komen drie singuliere punten in de Noordzee voor waar geen variatie in de waterpeilen wordt vastgesteld. De tijgolf die aan de monding der Westerschelde binnendringt en zich daarin verder opwaarts voortplant, wordt eveneens beïnvloed door de trechtervormige configuratie van deze zee-arm, alsmede door de verdere loop en configuratie van de Zeeschelde en haar bijrivieren.

Op verschillende plaatsen langs de kust en het Scheldebekken wordt met behulp van getijregistre-rende toestellen kontinu de variatie van de waterstand als functie van de tijd gemeten, waaruit de hoog- en laagwaterstanden van de tijgolf worden bepaald, alsmede de voortplantingssnelheid van de tijgolf op de rivier.

Fig. 2 geeft de tijkrommen voor enkele waarnemingsposten in het Scheldebekken. Men bemerkt enerzijds de invloed van de trechtervormige configuratie van de Westerschelde, waardoor de tijgolf opwaarts verzwaart om een maximum te bereiken boven Antwerpen en dan terug af te zwakken in de richting van Gentbrugge.

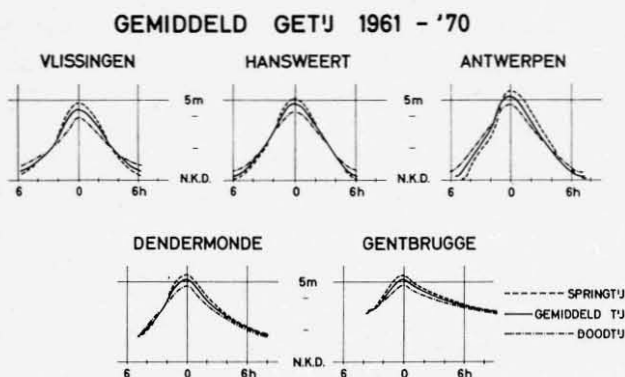


Fig. 2.

La figure 2 montre les courbes des marées de quelques postes d'observation dans le bassin de l'Escaut. On voit l'influence de la forme en entonnoir de l'Escaut Occidental, qui a pour effet d'augmenter l'amplitude de la marée qui atteint un maximum en amont d'Anvers et qui diminue ensuite en direction de Gentbrugge.

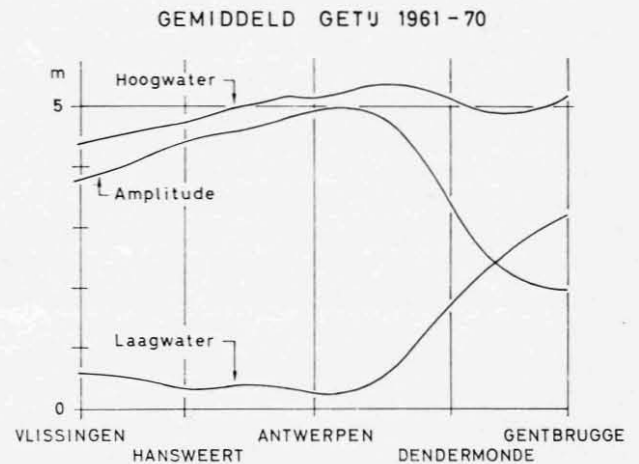
La figure 3 montre le lieu géométrique des marées hautes et basses dans l'axe de l'Escaut maritime. Ici aussi on remarque l'augmentation de l'effet de la marée en remontant la rivière, jusqu'à atteindre un maximum à l'embouchure du Rupel.

MAREE MOYENNE 1961-'70

Hoogwater	=	marée haute
Amplitude	=	amplitude
Laagwater	=	marée basse
Vlissingen	=	Flessingue
Antwerpen	=	Anvers
Dendermonde	=	Termonde

Fig. 3.

Fig. 3 geeft de meetkundige plaats der hoog- en laagwaterstanden volgens de langsas van de Zeeschelde. Ook hier valt de verzwaaring op van de tijgolf landinwaarts met een maximum bij de monding van de Rupel.



2.2. Les effets secondaires.

Tandis que les facteurs primaires ont un caractère périodique, il n'en est pas de même des facteurs secondaires. Ceux-ci ont pour effet d'augmenter ou de diminuer les niveaux moyens des eaux en mer ou dans la rivière, ou encore d'augmenter ou de diminuer les marées hautes ou basses. Ils peuvent être classés en influences accidentelles et en influences permanentes.

2.2.1. Influences accidentelles.

L'influence accidentelle la plus importante est celle due aux conditions météorologiques au-dessus de la Mer du Nord.

Des dépressions atmosphériques se créent habituellement au-dessus de l'Océan Atlantique, à l'Ouest de l'Irlande et traversent la Mer du Nord de l'Ouest vers l'Est. De ce fait, les vents évoluent presque toujours de la même manière : ils viennent d'abord du Sud-ouest, s'orientent vers le Nord-ouest en passant par l'Ouest, pour finalement venir du Nord. Ce mouvement giratoire est généralement doublé d'un accroissement de la force du vent.

Un vent violent et soutenu du Nord-ouest refoule l'eau dans la partie Sud de la Mer du Nord, dans une mesure qui dépend de l'intensité, de la durée et de l'étendue de la zone exposée au vent, et provoque ainsi une augmentation du niveau moyen de la mer.

Par contre, un vent violent et soutenu du Nord-est et de l'Est provoque une diminution des niveaux de l'eau en Mer du Nord.

Ce sont par conséquent surtout les régions côtières et les rivières sujettes aux marées de la partie Sud de la Mer du Nord qui subissent l'effet de ces vents. L'augmentation du niveau moyen des eaux en mer a pour effet de remplir davantage l'Escaut Occidental et l'Escaut maritime. Si cette situation se prolonge, le niveau moyen de tout le

2.2. Sekundaire factoren.

Waar de primaire factoren van periodieke aard zijn, zijn daarentegen de sekundaire niet periodiek. Hun invloed bestaat er in de gemiddelde zee- of rivierstand te verhogen of te verlagen of nog de hoog- of laagwaterstanden te verhogen of te verlagen. Zij kunnen worden onderverdeeld in toevallige invloeden en blijvende invloeden.

2.2.1. Toevallige invloeden.

De voornaamste toevallige invloed is de meteorologische toestand over het Noordzeegebied.

Depressies ontstaan boven de Atlantische Oceaan ten westen van Ierland en trekken dwars over de Noordzee van West naar Oost; ze hebben tot gevolg dat de winden haast volgens een vast patroon verlopen : ze komen eerst uit zuidwestelijke richting, draaien over het westen naar het noordwesten en tenslotte naar het noorden. Deze draaiing gaat veelal gepaard met een stijging van de windkracht.

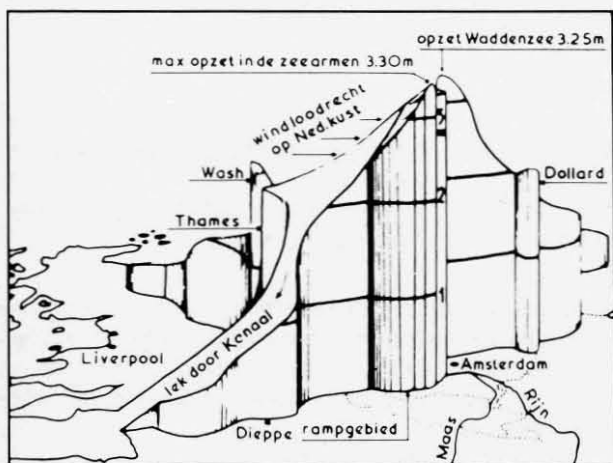
Sterke en aanhoudende wind uit noordwestelijke richting heeft tot gevolg dat het water in het zuidelijke deel van de Noordzee opgestuwd wordt in een mate afhankelijk van de intensiteit, de duur en de uitgestrektheid van het windveld. Deze verhoging van het gemiddelde zeeniveau wordt opwaaiing genoemd.

Daarentegen, bij sterke en aanhoudende noord-oosten- en oostenwind, doet zich een verlaging van de waterstanden op de Noordzee voor.

Het zijn dus vooral de kusten en de tijrivieren van het zuidelijke deel van de Noordzee die lijden onder het effect van opwaaiing. Ingevolge de verheffing van de gemiddelde zeestand vullen zich de Westerschelde en de Zeeschelde. Indien de toestand van opwaaiing lange tijd aanhoudt heeft dit tot gevolg

bassin de l'Escaut sujet aux marées monte et la marée astronomique ou primaire se superpose à cette montée des eaux provoquée par le vent.

Outre ce refoulement des eaux dans le bassin de l'Escaut maritime, causé par la montée des eaux en Mer du Nord sous l'effet du vent, celui-ci peut aussi provoquer un effet similaire dans l'Escaut Occidental lui-même, puisque ce dernier est orienté de l'Ouest vers l'Est. La figure 4 représente les effets du vent dans le Sud de la Mer du Nord, lors de la tempête du 1.2.53.



Un second facteur accidentel qui peut exercer une influence sur les marées hautes dans un bassin en liaison directe avec la mer est la possibilité ou non de débordement au-dessus des digues ainsi que l'apparition de brèches dans les digues.

Un débordement au-dessus des digues et des brèches a non seulement un résultat local favorable, c.-à-d. une diminution du niveau des eaux, mais il a aussi un effet favorable qui se fait sentir loin en amont. Vers l'aval, par contre, l'effet d'abaissement du niveau des eaux disparaît relativement vite.

Ce qui précède pourrait mener à la conclusion que des débordements au-dessus des digues et des brèches n'ont pas que des effets regrettables, mais aussi des effets favorables et que ces avantages relatifs disparaissent si les débordements et la rupture des digues sont rendus impossibles. Une politique de rehaussement et de renforcement des digues peut donc avoir une influence défavorable sur les régions situées en amont.

Un troisième facteur qui peut avoir une influence sur les niveaux des eaux dans le bassin de l'Escaut maritime sujet à marées, est le débit supérieur de l'Escaut et de ses affluents, c.-à-d. le débit dans le cours supérieur.

La figure 5 montre les moyennes mensuelles des débits journaliers de l'Escaut à Schelle, donc juste en aval de l'embouchure du Rupel.

Le débit supérieur est sujet à de fortes variations saisonnières : il est relativement important pendant une courte période hivernale et réduit pendant une très longue période au printemps, en été et en automne. Un grand débit supérieur provoque une augmentation du niveau moyen des eaux dans le

dat het gemiddelde peil van gans het tijbekken van de Schelde verhoogd wordt. De astronomische of primaire golf superponeert zich op de opwaaiing.

Buiten deze opstuwing in het Zeescheldebekken als gevolg van een opwaaiing op de Noordzee kan zich nog een zekere opwaaiing in de Westerschelde zelf voordoen, aangezien de Westerschelde van west naar oost georiënteerd is. Ter illustratie geeft fig. 4 een beeld van de opwaaiing die is opgetreden in het zuidelijke deel van de Noordzee op 1.2.53.

Fig. 4.

Opzet Waddenzee	= refoulement Waddenzee 3,25 m
max. opzet in de zeearmen	= refoulement max. dans l'estuaire 3,30 m
wind loodrecht op Ned. kust	= vent perpendiculaire sur le littoral des Pays-Bas
lek door Kanaal	= passage par le Pas-de-Calais
rampegebied	= zone sinistrée

Een tweede toevallige faktor die de hoogwaterstanden in een tijbekken bij stormvloed beïnvloedt is het al of niet voorkomen van dijkoverloop rond het tijdstip van hoogwater, alsmede het ontstaan van bressen in de dijken.

Dijkoverloop en bressen in een rivierdijk van een tijrivier hebben tot gevolg dat de hoogwaterstanden niet alleen ter plaatse zelf gunstig, dit is in verlagende zin, zullen worden beïnvloed, maar dat ook deze verlagende invloed zich ver opwaarts zal uitstrekken. Verplaatst men zich daarentegen van de plaats van overloop of bresvorming afwaarts, dan deint dit verlagende effect vrij vlug uit.

Uit het voorgaande zou men kunnen afleiden dat dijkoverloop en bressen naast betreurenswaardige ook nuttige effecten kunnen hebben en wanneer de overloop en het ontstaan van bressen onmogelijk worden, ook deze relatieve voordelen wegvallen. Een beleid van dijkverhoging en dijkversterking afwaarts kan dus een nadelige invloed hebben op de gebieden die verder opwaarts gelegen zijn.

Een derde faktor die de waterstanden in het tijgebied van het Zeescheldebekken kan beïnvloeden is het bovendebiet van de Schelde en haar bijrivieren. Fig. 5 geeft een beeld van het gemiddelde maandelijks dagdebiet van de Schelde te Schelle d.i. afwaarts van de samenloop van Rupel en Zeeschelde. Het bovendebiet vertoont grote seizoenschommelingen met vrij belangrijke afvoeren gedurende een korte periode in de winter, daarentegen kleine afvoeren gedurende een zeer lange periode in lente, zomer en herfst. Een grote bovenafvoer zal tot gevolg hebben dat de gemiddelde waterstand in het Scheldebekken zal stijgen. Deze verhoging zal

MAANDGEMIDDELDEN - SCHELDE TE SCHELLE

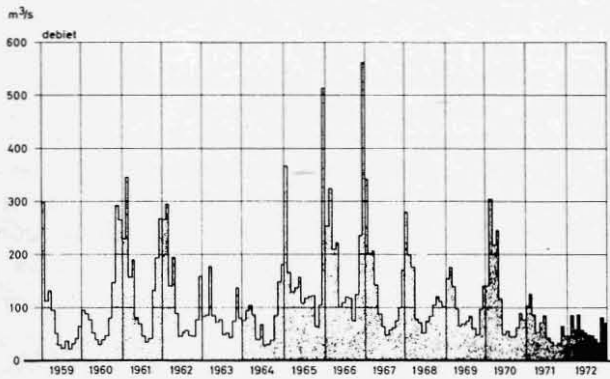


Fig. 5.

MOYENNES MENSUELLES - ESCAUT A SCHELLE
debet = débit

bassin de l'Escaut. Cette augmentation est la plus sensible à l'amont, où la rivière est étroite et peu profonde, et diminue relativement vite au fur et à mesure qu'on descend vers l'aval et qu'on atteint les parties plus larges et plus profondes de l'Escaut maritime.

La figure 6 montre l'influence des débits supérieurs sur les marées hautes de l'Escaut maritime. On voit que l'effet du débit supérieur est beaucoup plus faible que celui dû au vent.

het grootst zijn in het opwaartse gedeelte, waar de rivier smal en ondiep is en zal vrij vlug afnemen naarmate men afwaarts in het bredere en diepere gedeelte van de Zeeschelde komt.

Fig. 6 geeft voor de Zeeschelde de verhoging van de hoogwaterstanden voor verschillende bovendebiten. Men bemerkt dat in vergelijking met het effect van opwaaiing het effect van het bovendebiet veel kleiner is.

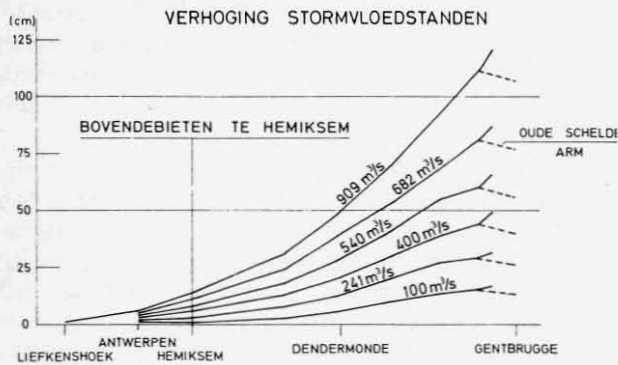


Fig. 6.

AUGMENTATION DES NIVEAUX DES MAREES EXCEPTIONNELLES
Bovendebiten te Hemiksem = débits supérieurs à Hemiksem

2.2.2. Les influences permanentes.

Depuis le début des observations concernant les marées, on a pu constater une augmentation relative du niveau moyen des eaux par rapport au fond de la mer, et ce à tous les postes situés sur la côte de la Mer du Nord.

Cette augmentation relative n'est pas constante et atteint :

- environ 25 cm par siècle à l'embouchure de l'Escaut à Flessingue,
- environ 30 cm pour le siècle dernier à l'embouchure de la Tamise,
- 20 à 30 cm à l'embouchure de l'Elbe.

A Brest aussi, sur l'Océan Atlantique, l'augmentation a atteint environ 20 cm au cours du siècle dernier.

On peut donc admettre que le niveau de la Mer du Nord augmente de 25 cm environ par siècle. Cette hausse se répercute dans tout le bassin de l'Escaut maritime.

2.2.2. Blijvende invloeden.

Sedert het begin van de tijdwaarneming wordt aan verschillende tijposten langs de kusten van de Noordzee een relatieve stijging vastgesteld van het gemiddelde waterpeil t.o.v. de zeebodem.

Deze relatieve stijging is niet konstant en bedraagt :

- aan de Scheldemonding te Vlissingen ca. 25 cm per eeuw;
- aan de Theemsmondig ca. 30 cm gedurende de laatste eeuw;
- aan de Elbemonding 20 à 30 cm.

Ook te Brest, aan de Atlantische Oceaan gelegen, bedraagt de stijging ongeveer 20 cm tijdens de laatste eeuw.

Men mag dus aannemen dat het peil van de Noordzee met ca. 25 cm per eeuw stijgt. Deze verhoging zet zich ongestoord door in gans het tijbekken van de Zeeschelde.

D'après certains, elle serait due à un abaissement du fond de la mer ou de la région côtière; d'autres estiment que c'est une conséquence de la fonte des calottes glaciaires. Il est probable qu'il s'agit d'une combinaison de ces deux facteurs.

Le plan Delta est un deuxième facteur permanent susceptible d'influencer les marées hautes à l'embouchure de l'Escaut Occidental. D'après des calculs détaillés des marées en Mer du Nord avant et après la fermeture, l'effet sur les marées normales serait très faible; pour les marées-tempête par contre, la fermeture provoquerait dans certaines circonstances une augmentation de 5 cm environ du niveau de la marée haute à l'embouchure à Flessingue. L'incidence des travaux du Delta sur les marées hautes serait donc très faible.

Finalement nous mentionnons l'influence des modifications artificielles et naturelles du lit de la rivière. Par modifications naturelles on entend la normalisation naturelle continue du lit d'une rivière, qui a pour effet de provoquer un approfondissement du lit d'étiage et un lent ensablement ou envasement des bancs de sable et des bas-fonds. Ceci a pour résultat que la marée se propage plus facilement vers l'intérieur du pays et que les possibilités d'emmagasinage latéral diminuent, ce qui provoque une hausse du niveau des eaux à marée haute.

Cette évolution naturelle a, de tous temps, été favorisée par l'homme qui continue à le faire :

- en endiguant les bas-fonds ou en favorisant artificiellement leur envasement et l'ensablement des bancs,
- en exécutant des travaux de dragage et en exploitant le sable de l'Escaut maritime, soit pour des raisons nautiques, soit pour aménager des polders en terrains à bâtir.

Comme, en fait, ces modifications naturelles et artificielles se produisent simultanément, il est impossible de déterminer par mesurage leur influence spécifique sur les niveaux des eaux.

Au moyen de calculs des marées, on est arrivé à la conclusion que les modifications qui ont eu lieu au courant des vingt dernières années ont provoqué une augmentation d'environ 1 dm des niveaux des hautes eaux en amont d'Anvers.

3. Les marées-tempête dans le passé.

Les instructions à respecter lors des marées-tempête, mises au point par l'Administration des Voies Hydrauliques du Ministère des Travaux Publics, sont les suivantes :

Si le niveau de la marée haute attendue à Ostende est de (Z + 5,50), sans qu'il y ait pour autant risque d'atteindre la cote (Z + 5,75), le Service du Littoral envoie un avis mentionnant « Marée haute ». Cet avis a pour but d'avertir qu'il pourrait y avoir du danger et a pour effet d'instaurer une surveillance limitée. Une telle marée se produit normalement une fois par an.

Als reden voor deze stijging wordt door sommigen opgegeven dat ze het gevolg is van een zakkings van de zee- of kustbodem; anderen beweren dat ze een gevolg is van de afsmelting der ijskappen. Waarschijnlijk treden beide factoren gekombineerd op.

Een tweede blijvende faktor die de hoogwaterstanden aan de monding van de Westerschelde kan beïnvloeden is het Deltaplan. Uitvoerige getijberekeningen van de getijbeweging in de Noordzee, vóór en ná de sluitingen werden uitgevoerd. Er werd bevonden dat de invloed bij het normale tij zeer klein is; voor stormvloed werd evenwel gekonstateerd dat in bepaalde omstandigheden de afsluiting een verhoging van ca. 5 cm van de hoogwaterstand aan de monding te Vlissingen kan tot gevolg hebben. De invloed van de Deltawerken op de hoogwaterstanden is dus heel klein.

Ten slotte vernoemen wij de invloed van kunstmatige en natuurlijke wijzigingen in de rivierbedding. Onder natuurlijke wijzigingen verstaat men de voortdurende natuurlijke normalisatie van de rivierbedding bestaande uit een uitdieping van de laagwaterbedding en een langzame aanzanding of aanslibbing van zandbanken, slikke- en schorregebieden.

Als gevolg hiervan zal de tijgolf zich makkelijker landinwaarts kunnen voortplanten en neemt het zijdelingse kombergingsvermogen af met als gevolg een verhoging der hoogwaterstanden.

Aan deze natuurlijke evolutie heeft de mens in het verleden en nog steeds een helpende hand toegevoerd :

- door het verwezenlijken van indijkingen of door het kunstmatig bevorderen van aanslibbingen op slikke- en schorregebieden alsmede van aanzandingen op de zandbanken;
- door het uitvoeren van baggerwerken en zandwinnings in de Zeeschelde om nautische redenen of voor het bouwrijp maken van laaggelegen poldergebieden.

Aangezien beide wijzigingen, natuurlijke en kunstmatige, zich in werkelijkheid simultaan voordoen, is het onmogelijk hun afzonderlijke invloed op de waterstanden door metingen vast te stellen.

Aan de hand van getijberekeningen werd bevonden dat de invloed van wijzigingen gedurende de laatste 20 jaar opgetreden een verhoging van ca. 1 dm van de hoogwaterstanden opwaarts van Antwerpen heeft tot gevolg gehad.

3. Opgetreden stormvloed.

De onderrichtingen bij optreden van stormtij, opgesteld door het Bestuur der Waterwegen van het Ministerie van Openbare Werken, vermelden het volgende :

Indien een hoogwaterpeil te Oostende van (Z + 5,50) verwacht wordt zonder Z + 5,75 te gaan bereiken, wordt door de Dienst der Kust een bericht verstuurd met de vermelding « Hoogtij ». Dit bericht is bedoeld als waarschuwing voor mogelijk

Si une marée haute de (Z+5,75) ou plus est attendue à Ostende, un avis mentionnant « Marée-tempête dangereuse » est envoyé, ce qui oblige tous les services impliqués à mettre en place une surveillance étendue. Un tel niveau des eaux est atteint en moyenne deux fois en dix ans.

On peut donc admettre que, pour l'Escaut maritime, une marée-tempête est celle qui fait monter les eaux à un niveau qui risque d'être dépassé deux fois en dix ans.

Les critères qui furent admis aux siècles passés pour considérer une marée comme exceptionnelle ou marée-tempête étaient complètement différents et il est probable que seules les marées provoquant d'importants dégâts étaient considérées comme exceptionnelles. Le terme « importants dégâts » est d'ailleurs aussi fort relatif.

Dans la littérature, on fait état de 124 marées-tempête entre 900 et 1900 pour la partie Sud de la Mer du Nord. Ces marées-tempête sont indiquées sur le graphique de la figure 7. On peut constater une recrudescence du nombre de marées-tempête vers le 17^{ième} siècle, ainsi que vers le 19^{ième} siècle.

gevaar en heeft het instellen van een beperkte bewaking tot gevolg. Een dergelijk hoogwaterpeil wordt gemiddeld éénmaal per jaar verwacht.

Indien een hoogwaterstand van Z + 5,75 of meer te Oostende verwacht wordt, wordt een bericht verstuurd met vermelding « Gevaarlijk stormtij », hetgeen voor alle betrokken diensten het inzetten van een uitgebreide bewaking tot gevolg heeft. Een dergelijk hoogwaterpeil komt gemiddeld tweemaal in de tien jaar voor.

Men kan nu stellen dat men voor het Zeeschelde-bekken van stormvloeden spreekt zodra een hoogwaterpeil bereikt wordt dat een overschrijdingskans bezit van tweemaal in de tien jaar.

De maatstaven die in de vorige eeuwen gehanteerd werden om een hoogwaterpeil als stormvloed te bestempelen waren geheel anders, en men beschouwde wellicht uitsluitend als stormvloeden de vloeden die zware schade teweegbrachten. Ook het begrip zware schade is weer relatief.

In de literatuur wordt melding gemaakt van 124 stormvloeden tussen 900 en 1900 in het zuidelijke deel der Noordzee. Deze stormvloeden zijn op fig. 7 grafisch uitgezet. Deze figuur toont een toename van het aantal stormvloeden naar de 17^e eeuw alsmede naar de 19^e eeuw toe.

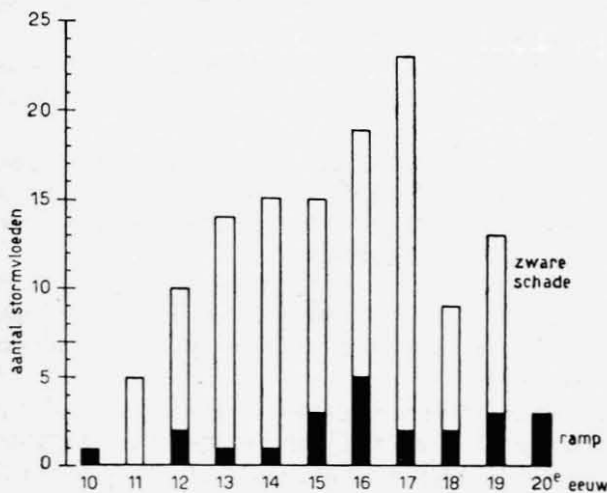


Fig. 7.

Aantal stormvloeden = nombre de marées-tempête
 zware schade = dégâts importants
 ramp = catastrophe
 eeuw = siècle

Les définitions n'étant pas les mêmes, il est difficile d'établir une corrélation avec le nombre de marées-tempête au 20^{ième} siècle, d'autant plus que les données du Moyen-Age, sans être rares, sont très souvent sujettes à caution et qu'il existait jadis quantité de terrains non endigués qui ne souffraient pas des inondations.

La répartition des marées-tempête au cours d'une année est indiquée sur la figure 8. C'est dans la période s'étalant du mois de novembre jusqu'au mois de janvier qu'il y a le plus de risques que des marées-tempête se produisent.

Des marées-tempête d'avant 900, deux seulement ont été décrites : celle du 26 décembre 838 et celle du 4 novembre 839. Il y en eut certainement d'autres antérieurement.

Een korrelatie met het aantal opgetreden stormvloeden in de 20^e eeuw is moeilijk wegens het verschil in definitie, omdat de berichten uit de Middeleeuwen, zonet schaars dan toch dikwijls onbetrouwbaar zijn en omdat vroeger vele onbedijkte gronden voorkwamen die geen stormvloed-schade ondervonden.

De verdeling van de stormvloeden over de maanden van het jaar wordt gegeven op fig. 8. De grootste kans van voorkomen valt in de periode van november tot januari.

Van de stormvloeden vóór 900 zijn er slechts twee beschreven, namelijk deze van 26 december 838 en 4 november 839. Er zijn er zeker vroeger nog geweest.

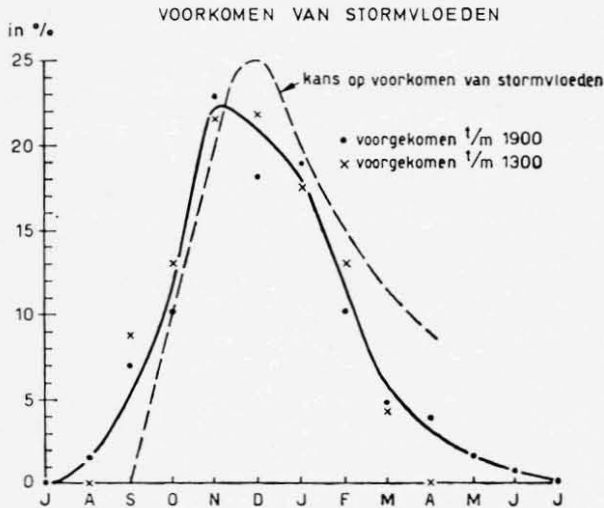


Fig. 8.

FREQUENCE DES MAREES-TEMPETE

kans op voorkomen van stormvloed = probabilité d'apparition de marées-tempête

La marée-tempête du 14 décembre 1287 a sans doute été une véritable catastrophe; on a estimé que, lors de cette inondation 50.000 personnes se sont noyées et qu'une grande partie des Bas Pays a été inondée.

Le 19 novembre 1404, le jour de la Ste-Elisabeth, eut lieu l'inondation qui, d'après les historiens, a eu des conséquences désastreuses pour la Flandre. Cette inondation fut l'une des causes de la création du Grote Braakman.

Les dégâts provoqués par cette tempête n'étaient pas encore entièrement réparés quand une nouvelle marée-tempête se produisit le 18 novembre 1421, appelée la marée de la Ste-Elisabeth. C'est de cette époque que date l'apparition du Biesbos en Hollande.

Le 16^{ème} siècle a été spécialement touché par les inondations et partout de graves ruptures de digues furent notées. La marée-tempête du 1^{er} novembre 1570, appelée la marée de la Toussaint, sévit surtout dans le Nord de la Flandre et plusieurs villages disparurent définitivement, e.a. Saaftinge.

Le 26 janvier 1682 c'était plus spécialement la Zélande qui fut ravagée. Ce jour, le niveau de l'eau à Middelburg dépassait celui de la marée de la Toussaint de 1570. Des ruptures des digues furent notées à l'embouchure du Rupel et Ruisbroek resta inondé pendant 5 mois.

La série de désastres continua au 18^{ème} et au 19^{ème} siècle. Pour le 20^{ème} siècle nous rappelons les faits suivants.

La première marée-tempête se produisit le 12 mars 1906. Le niveau de l'eau atteignait une cote d'environ 2 dm au-dessus du couronnement du mur de quai à Anvers. Cette tempête fut de courte durée, mais coïncida avec une marée de vive-eau, ce qui provoqua de telles augmentations des niveaux des eaux à marée haute que de grandes étendues de terres en bordure de l'Escaut Occidental, de l'Escaut maritime et du Rupel furent inondées et que d'énormes dégâts furent causés.

Een echte ramp moet de stormvloed van 14 december 1287 zijn geweest, de zg. Sint-Nicasiusvloed, waarbij naar schatting 50.000 mensen verdronken en een groot gedeelte van de Lage Landen overstroomde.

Op 19 november 1404, op St.-Elisabethsdag, vond de overstroming plaats die volgens de geschiedschrijving de vreselijkste gevolgen in Vlaanderen heeft gehad. Deze vloed was mede oorzaak voor het tot stand komen van de Grote Braakman.

De wonden van deze storm waren nog niet geheeld of een nieuwe zware stormvloed sloeg toe op 18 november 1421 - St.-Elisabethsvloed genaamd. Uit deze tijd dateert het ontstaan van de Biesbos in Nederland.

De 16^e eeuw was de eeuw van de watersnood en overal werden zware dijkbreuken genoteerd. De stormvloed van 1 november 1570, Allerheiligenvloed genaamd, trof vooral Zeeuws-Vlaanderen en verscheidene dorpen verdwenen voorgoed van de kaart, waaronder Saaftinge.

Op 26 januari 1682 werd speciaal Zeeland het kind van de rekening en stond te Middelburg het water hoger dan tijdens de Allerheiligenvloed van 1570. Dijkbreuken werden genoteerd aan de Rupelmonding en Ruisbroek stond gedurende vijf maanden onder water.

De reeks loopt door in de 18^e en de 19^e eeuw; wat de 20^{ste} eeuw betreft herinneren wij aan het volgende.

De eerste stormvloed deed zich voor op 12 maart 1906, waarbij het waterpeil ca. 2 dm boven de deksteen van de kaaimuur te Antwerpen kwam te staan. Deze storm, alhoewel van korte duur, maar door het feit dat hij samenviel met een springtij, veroorzaakte zodanige verhogingen van de hoogwaterstanden dat uitgestrekte gebieden langs de Westerschelde, de Zeeschelde en de Rupel overstroomden en enorme schade werd aangericht.

Le 13 janvier 1916, le 26 novembre 1928 et le 23 novembre 1930 d'autres marées-tempête eurent lieu, qui causèrent également l'inondation des terres en bordure de l'Escaut, affectant surtout la région de Buggenhout en 1930.

Les 7 avril 1943 et 1 mars 1949 eurent lieu des marées-tempête qui provoquèrent des inondations limitées.

La marée exceptionnelle du 1^{er} février 1953 (fig. 9) mérite qu'on s'y attarde.

Op 13 januari 1916, 26 november 1928 alsmede op 23 november 1930 kwamen de volgende stormvloedden voor, waarbij ook tal van gebieden langs de Schelde overstromden en waarbij in 1930 vooral de streek van Buggenhout werd getroffen.

Op 7 april 1943 en 1 maart 1949 traden stormvloedden op met beperkte overstromingen.

Wij weiden even uit over de buitengewone stormvloed van 1 februari 1953 (fig. 9).

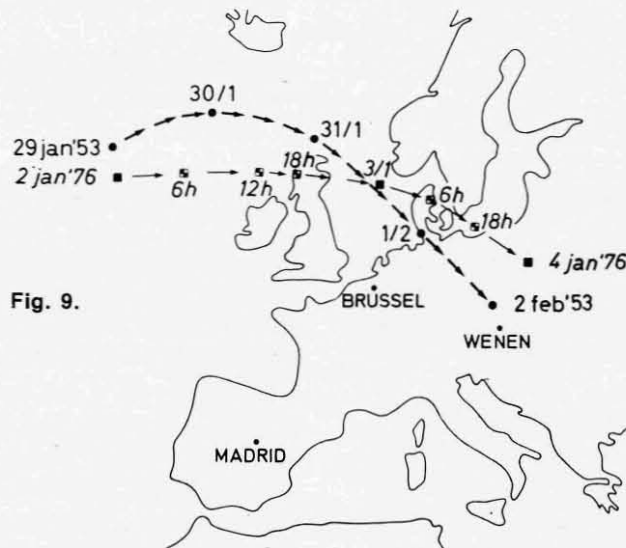


Fig. 9.

Le 29 janvier, une perturbation atmosphérique se développa à l'Ouest de l'Irlande, prit de l'extension, se déplaça vers le Nord et, le 30 janvier, elle rejoignit une ancienne dépression au Sud de l'Islande.

Le 31 janvier, la dépression atmosphérique, qui devenait de plus en plus importante, se trouva au Nord de l'Ecosse. La proximité d'un anticyclone à l'Ouest augmenta encore le gradient de la pression atmosphérique, ce qui eut pour effet que la zone des tempêtes à l'Ouest de la dépression devint encore plus importante en étendue et en force et se mua en ouragan. Contrairement à ce qui se passe habituellement, la dépression se déplaça vers le Sud-est, ce qui eut pour résultat que la zone des tempêtes s'étendit sur toute la Mer du Nord. Pour notre pays, la tempête était à son maximum dans la matinée du 1^{er} février; à ce moment, le centre de la dépression se trouva au-dessus du littoral allemand et l'anticyclone avait atteint la côte occidentale de l'Irlande. Toute la Mer du Nord se trouva dans la zone des tempêtes et le vent atteignit une vitesse moyenne d'environ 110 km/h dans le Sud de la Mer du Nord.

Dans l'après-midi du 1^{er} février, le centre de la dépression se trouva déjà au-dessus du Sud-est de l'Allemagne et la tempête se calma.

Le 1^{er} février, l'eau atteignit à Anvers une cote qui n'avait jamais été atteinte auparavant : 7,85 m, c.-à-d. près de 3 m au-dessus du niveau prévu pour

Op 29 januari bleek zich een storing te ontwikkelen ten westen van Ierland, die in betekenis toenam, zich in noordelijke richting bewoog en zich verenigde met een ten zuiden van IJsland gelegen oud gebied van lage luchtdruk. Deze vereniging kwam tot stand op 30 januari.

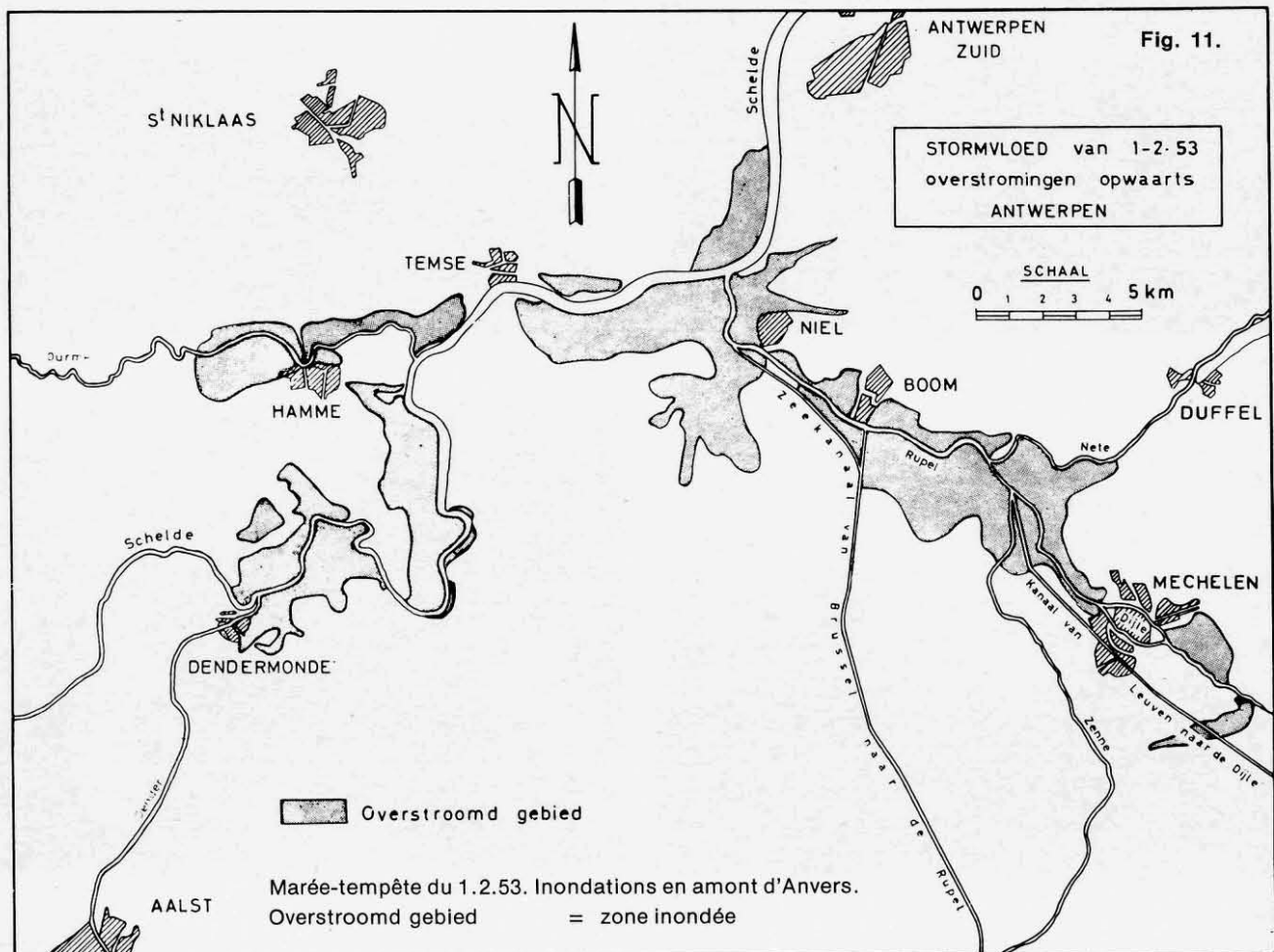
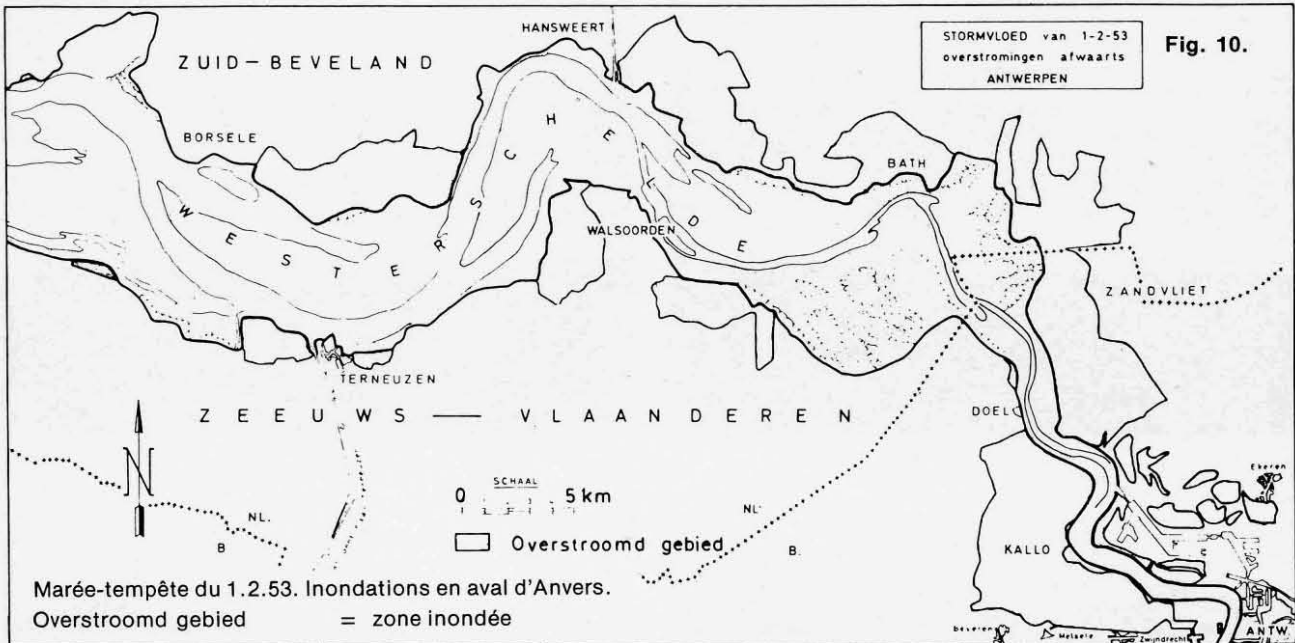
Op 31 januari bevond de zich steeds uitdiepende depressie zich ten noorden van Schotland. De nabijheid van een westwaarts gelegen krachtig hogedrukgebied deed de luchtdrukgradiënt nog toenemen, waardoor het stormveld aan de westzijde van de depressie in betekenis en omvang toenam en zich tot een orkaan ontwikkelde. Tegen de gewoonte in ging de depressie in zuid-oostelijke richting afbuigen waardoor het stormveld zich over de gehele Noordzee ging uitbreiden. Op 1 februari 's morgens was de storm voor ons land het hevigst, het centrum van de depressie lag boven de Duitse Bocht en het hogedrukgebied had de westkust van Ierland bereikt. De gehele Noordzee bevond zich in het stormveld en de gemiddelde windsnelheid bedroeg ongeveer 110 km/h in het zuidelijke deel der Noordzee.

In de namiddag van 1 februari bevond het centrum van de depressie zich reeds boven zuid-oost Duitsland en was de storm aan het luwen.

Op 1 februari werd te Antwerpen een hoogwater genoteerd dat nog nooit eerder was voorgekomen, nl. 7,85 m, dit is bijna 3 m meer dan de voorspelling van het astronomische getij. Als gelukkige

la marée astronomique. Heureusement, la marée-tempête du 1^{er} février 1953 ne coïncida pas avec une marée de vive-eau et le débit supérieur était très réduit. Les figures 10 et 11 montrent les régions inondées. La figure 12 montre les niveaux des hautes eaux lors de cette marée-tempête et de celle du 1^{er} janvier 1976.

omstandigheid voor de stormvloed van 1 februari 1953 kan aangevoerd worden dat hij samenviel met een gemiddeld tij en niet met een springtij, en ook dat het bovendebiet uiterst gering was. De figuren 10 en 11 illustreren de overstromingsgebieden. Fig. 12 illustreert de hoogwaterstanden tijdens deze vloed en de volgende, die plaatsvond op 1 januari 1976.



L'INONDATION DU 1 FEVRIER 1953



LILLO

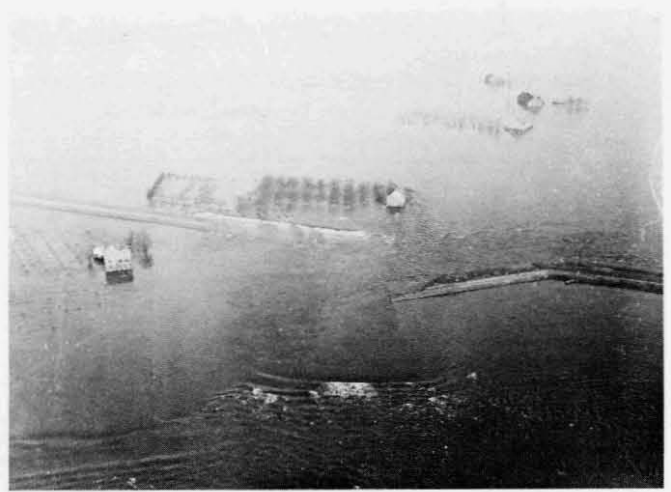
DE OVERSTROMING VAN 1 FEBRUARI 1953.



LILLO



BERENDRECHT



BERENDRECHT

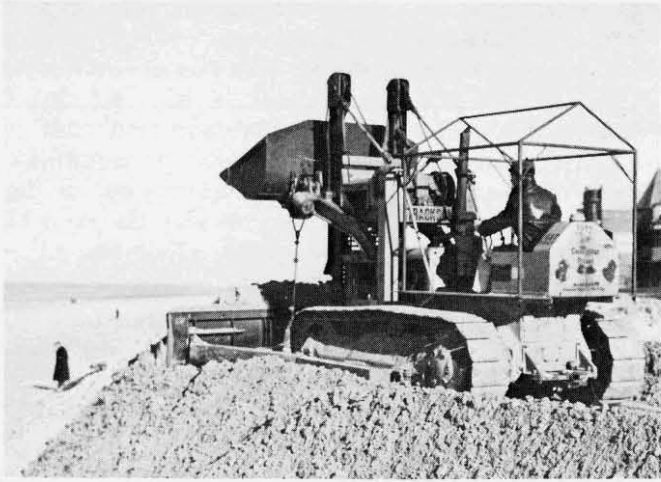


RUPEL



RUPEL

Photos/Foto's MTP MOW



Et à la côte également...
Nettoyage de la digue à De Panne.

Ook aan de kust...
Opruimen van de dijk te De Panne.



Une partie de la digue a été arrachée à Knokke-le-Zoute et les brèches durent être comblées d'urgence.

Te Knokke-Zoute werd een deel van de dijk vernield en moesten de bressen dringend gedicht worden.



Nettoyage au bulldozer des masses de boue charriées par les flots déchainés dans les rues de Tamise.

Opruimen met bulldozers van de massa's slijk die door het water in de straten van Temse werden achtergelaten.

Photos/Fotos : TEDESCO frères Bruxelles/Brussel - février 1953 - februari 1953

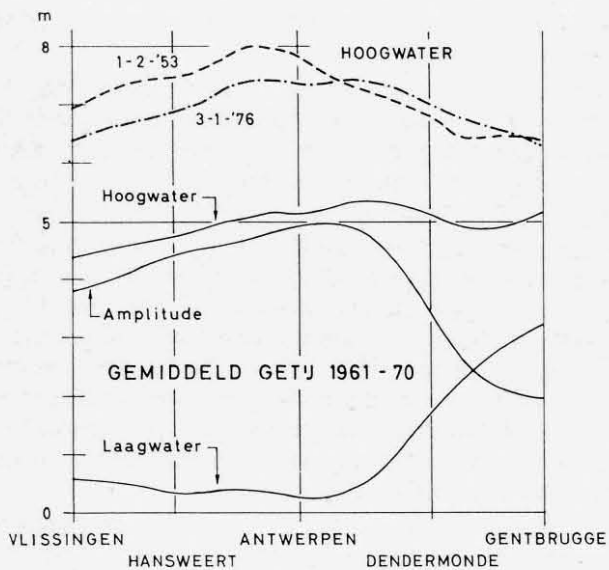


Fig. 12.

Hoogwater = marée haute
 amplitude = amplitude
 gemiddeld getij 1961-'70 = marée moyenne 1961-'70
 laagwater = marée basse

La dépression qui provoqua la tempête du 3 janvier 1976 apparut pour la première fois sur la carte météorologique du 2 janvier, à l'Ouest de l'Irlande (voir fig. 9). Ce qui frappe ici est le fait que la vitesse de déplacement vers l'Est de cette dépression était relativement grande par rapport à celle de la dépression de 1953. Ceci eut pour effet que la tempête de 1976 fut d'une durée beaucoup plus courte qu'en 1953, quoique les vitesses du vent fussent plus élevées.

Une circonstance malheureuse du 3 janvier 1976 fut le fait que, tout comme le 12 mars 1906, cette marée-tempête coïncida avec une marée de vive-eau, heureusement compensée par un débit supérieur très faible.

Le 3 janvier 1976, l'eau atteignit la cote 7,39 m à Anvers, c.-à-d. 4 dm environ au-dessus du couronnement du mur de quai.

La figure 13 montre les régions inondées le 3 janvier 1976.

De depressie die verantwoordelijk was voor de storm van 3 januari 1976 ziet men voor het eerst op de weerkaart van 2 januari, ten westen van Ierland (zie fig. 9). Wat hier opvalt is het feit dat de snelheid waarmee deze depressie zich naar het Oosten verplaatste vrij groot was in vergelijking met deze van 1953. Dit had tot gevolg dat de duur van de storm in 1976 veel korter was dan in 1953, hoewel de windsnelheden groter uitvielen.

Een ongelukkige omstandigheid op 3 januari 1976 was echter het feit dat, juist zoals op 12 maart 1906, de stormvloed samenviel met een springtij, een gelukkige omstandigheid was dat het boven-debiet uiterst gering was.

De waterstand bereikte op 3 januari 1976 te Antwerpen het peil 7,39 m, dit is ca. 4 dm boven de deksteen van de kaaimuur.

Fig. 13 toont de overstromingsgebieden op 3 januari 1976.



Fig. 13.

Overstromingen 3 januari 1976 = inondations du 3 janvier 1976

4. Mesures contre les inondations provoquées par les marées-tempête.

Avant d'établir des plans d'amélioration ou d'aménagement de grands ouvrages de retenue des eaux, il est indispensable de déterminer les niveaux des marées exceptionnelles qui doivent servir de base pour fixer les dimensions principales de ces ouvrages d'art. A cet effet, une étude détaillée des marées exceptionnelles ayant eu lieu dans le passé est nécessaire et le risque relatif aux marées-tempête futures doit être évalué.

Des données dont on dispose depuis le début des observations systématiques des marées dans le bassin de l'Escaut maritime se dégagent une certaine périodicité dans l'apparition des marées-tempête.

Cette périodicité apparaît clairement dans le graphique de la figure 14. Quand, après classement des marées hautes pendant une certaine période en fonction des cotes atteintes, on met en abscisse le nombre de fois que le niveau de marée haute est atteint ou dépassé et en ordonnée les cotes des marées-tempête, les points représentatifs se situent sensiblement sur une droite, sur une échelle semi-logarithmique.

Un graphique de ce type, valable pour Anvers, est reproduit sur la figure 14. Ce graphique est appelé graphique des dépassements.

4. Maatregelen tegen overstromingen bij stormvloed.

Alvorens plannen tot verbetering of aanleg van hoofdwaterkeringen te ontwerpen, is het nodig de stormvloedstanden vast te leggen, die als grondslag voor de bepaling van de hoofdafmetingen van de waterkeringen moeten dienen. In de eerste plaats is hiervoor een grondige studie van de voorgekomen hoogwaterstanden vereist. In de tweede plaats moet het risico worden bepaald voor de stormvloedstanden die in de toekomst kunnen verwacht worden.

Het waarnemingsmateriaal waarover men sinds het begin van de systematische tijwaarnemingen in het Zeescheldebekken beschikt, wijst op een zekere wetmatigheid in het voorkomen van stormvloeden.

Deze wetmatigheid blijkt duidelijk uit het op fig. 14 afgebeelde diagram. Wanneer men, na rangschikking van de gedurende een zeker tijdvak opgetreden hoogwatertoestanden naar het peil dat ze hebben bereikt, als abscis uitzet het aantal malen dat op een beschouwde plaats de hoogwaterstand is bereikt of overschreden, en als ordinaat de stormvloedstanden, dan liggen de representatieve punten in de regel niet ver van een rechte lijn op een half-logaritmische schaal.

Een dergelijk diagram is voor Antwerpen getekend op fig. 14; dit diagram wordt ook nog overschrijdingslijn genoemd.

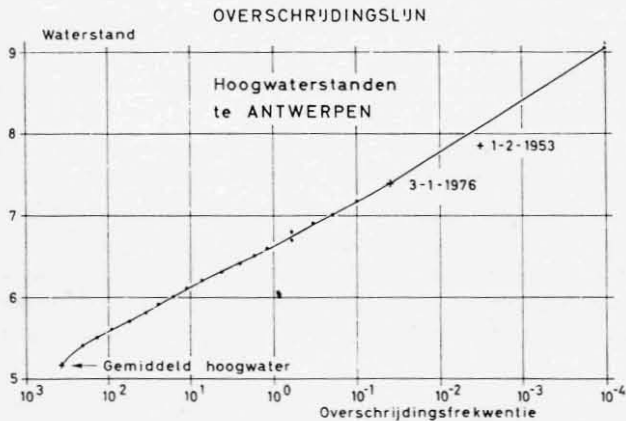


Fig. 14.

Graphique des dépassements

Waterstand	= niveau de l'eau
hoogwaterstanden te Antwerpen	= marées hautes à Anvers
gemiddeld hoogwater	= marée haute moyenne
overschrijdingsfrequentie	= fréquence de dépassement

On voit qu'on peut admettre avec une certitude relativement grande qu'à l'heure actuelle la probabilité d'une marée-tempête de NKD + 7,00 est d'environ deux fois en dix ans.

La certitude est moins grande quand il s'agit de déterminer la probabilité d'une marée-tempête plus haute, puisqu'il faut, pour ce faire, procéder à une extrapolation très poussée des données disponibles.

Les moyens disponibles pour éviter des inondations dans le bassin de l'Escaut maritime sont les suivants :

- Un rehaussement général des digues et leur renforcement, de telle manière que toute inondation par les digues et les rives devienne pratiquement impossible.
- L'installation dans l'Escaut maritime, en aval d'Anvers, d'un barrage-tempête mobile, qui pourrait être fermé chaque fois qu'une marée-tempête est annoncée.

On peut aussi envisager l'installation d'un ou de plusieurs barrages plus petits quelque part dans le bassin de l'Escaut et de compléter ces ouvrages par un rehaussement général de toutes les digues en aval de ces barrages.

- Un rehaussement général des digues des régions où des besoins vitaux doivent être protégés, complété par l'aménagement de bassins d'inondation contrôlés, ainsi que par la subdivision en secteurs des zones où le danger d'inondation existe, pour limiter l'étendue des terres inondées. Dans ce dernier cas, l'installation de barrages peut être envisagée pour compléter le système.

4.1 Rehaussement et renforcement de toutes les digues.

L'expérience du passé nous a appris que les ruptures des digues sont généralement amorcées par un débordement des eaux. Ceci a pour effet de ramollir le talus intérieur de la digue, ce qui peut provoquer des glissements, des brèches et finalement la rupture de la digue. La crête de la digue doit donc dépasser d'une certaine valeur, appelée la *hauteur de garde*, le niveau de la marée-tempête ayant servi de base à l'étude du projet.

Zoals men opmerkt kan men met tamelijk grote zekerheid zeggen dat op het huidige ogenblik de kans van optreden van een stormvloedstand van NKD + 7,00 in een bepaalde winter gemiddeld tweemaal in de tien jaar bedraagt.

Groter wordt de onzekerheid wanneer men de kans op een hogere stormvloedstand wil vaststellen, aangezien hiervoor een ver doorgedreven extrapolatie van de beschikbare gegevens vereist is.

De mogelijke maatregelen ter voorkoming van overstroming in het Zeescheldebekken zijn de volgende :

- Algemene dijkverhoging en dijkversterking, zodat alle dijken en oevers praktisch gesproken onoverstroombaar worden.
- Op de Zeeschelde, afwaarts van Antwerpen, kan aan een beweegbare stormvloedkering gedacht worden, die zou kunnen gesloten worden telkens wanneer een stormvloed voorspeld wordt.

Er kan ook gedacht worden aan het bouwen van één of meer kleinere stormvloedkeringen in het Scheldebekken gekoppeld met algemene dijkverhoging afwaarts van deze keringen.

- Algemene dijkverhoging voor de gebieden waar vitale belangen moeten beschermd worden samen met het inrichten van gecontroleerde inundatiebekkens, alsmede het kompartimenteren van risico-lopemde gebieden om overstroming en uitbreiding van overstromingsvelden zoveel mogelijk te beperken. Ook hier kunnen stormvloedkeringen bij in de beschouwing worden betrokken.

4.1. Algemene dijkverhoging en dijkversterking.

Uit het verleden leert men dat dijkdoorbraak meestal ingeleid wordt door overstromend of overslaand water. Hierdoor verweekt het binnenbeloop van de dijk, hetgeen afschuiving, dijkbreuk en stroomgatvorming tot gevolg kan hebben. De kruinhoogte moet bijgevolg een *waakhoogte* hebben t.o.v. de *maatgevende stormvloedstand*.

La hauteur de garde offre :

- une certaine sécurité à long terme par rapport à l'augmentation constatée des niveaux des hautes eaux, due à l'élévation du niveau moyen de la mer et aux modifications du lit de la rivière;
- une sécurité par rapport au débordement des vagues, leurs oscillations et les coups de bélier.

Pour la zone belge du bassin de l'Escaut maritime, cette hauteur de garde peut être estimée à un mètre au maximum. Elle doit cependant être augmentée après la construction ou le rehaussement de la digue, pour tenir compte des tassements.

Le niveau de la marée-tempête devant servir de base à l'étude du projet est celui pour lequel on veut éviter le risque d'inondation dans le futur. Ce risque d'inondation peut être limité à une fois en dix ans, une fois en cent ans, ou encore plus.

Pour la conception des travaux du Delta, on s'est basé sur une marée-tempête qui pourrait être dépassée une fois en 10.000 ans ou 1% par siècle. Pour certaines parties des Pays-Bas, ce niveau projeté a été ramené à une valeur correspondant à une marée-tempête tous les 4.000 ans, en appliquant un coefficient de réduction économique. Pour ce qui concerne le rehaussement des digues du bassin de l'Escaut oriental, exécuté en attendant l'achèvement du barrage à piles dans l'Escaut oriental prévu pour 1985, on opta pour une chance en 500 ans.

Pour les digues de l'Escaut occidental, un rehaussement général conforme à la règle précitée est prévu dans le cadre du plan du Delta. Comme les mouvements des marées ne tiennent nullement compte des frontières, il paraît logique qu'en Belgique les mêmes normes que celles valables pour la partie aval de la rivière, située sur le territoire des Pays-Bas, soient adoptées pour protéger le bassin de l'Escaut en Belgique. Le rehaussement général qui devrait ainsi être prévu pour les digues et les rives du bassin de l'Escaut, compte tenu de la situation existante globale, dépasserait les 2 m.

Pareil rehaussement général des digues, abstraction faite du coût d'une telle entreprise et du facteur temps, n'est pas tellement facile à réaliser en pratique. Ainsi, par exemple, le rehaussement des murs de quai dans l'agglomération anversoise pose de graves problèmes. Cette agglomération, les zones industrielles existantes sur les rives gauche et droite en amont d'Anvers, les communes de Burcht et de Kruibeke, le chantier naval Boel à Tamise, les villes de Malines et de Lierre, etc... resteraient insuffisamment protégés parce que dans ces zones pareils rehaussements sont simplement irréalisables. Ces régions, qui doivent incontestablement être considérées comme des régions très vitales, devraient donc se contenter d'une protection moins efficace.

De waakhoogte zorgt voor :

- een zekere veiligheid in de tijd tegenover de vastgestelde verhoging der hoogwaterstanden door middenzeestandrijzing en wijzigingen in de riviermorfologie;
- veiligheid tegen golfoverloop en golfvertopping, golfoscillaties en buisstooteffecten.

Deze waakhoogte kan voor het Belgische gedeelte van het Zeescheldebekken op ten hoogste 1 m worden geschat. Deze waakhoogte moet evenwel nog worden verhoogd na de bouw of de verhoging van de dijk om rekening te houden met de klink.

De maatgevende stormvloedstand is die stand waartegen men zich in de toekomst veilig wil stellen. Hierbij kan men het risico van overstroming beperken tot ééns in de 10 jaar, ééns in de 100 jaar of nog zeldzamer.

Bij het concept van de Deltawerken werd uitgegaan van een stormvloedstand met een overschrijdingskans van éénmaal in de 10.000 jaar of nog 1 % per eeuw. Voor sommige delen in Nederland werd, door toepassing van een economische reductiefactor, dat ontwerppeil teruggebracht tot éénmaal in de 4.000 jaar. Wat de tussentijdse verhoging van de dijken van het Oosterscheldebekken aangaat, in afwachting van het klaarkomen van de afdamming of beter gezegd van de pijlerdam in de Oosterschelde tegen 1985, werd geopteerd voor de kans eenmaal in de 500 jaar.

Voor de dijken langs de Westerschelde wordt in het kader van het Deltaplan een algemene dijkverhoging toegepast overeenkomstig de aangehaalde regel. Daar de getijbeweging van het bestaan van staatsgrenzen niets afweet, lijkt het logisch dat voor de beveiliging van het Scheldebekken in België dezelfde normen zouden worden toegepast als voor het afwaartse gedeelte in Nederland. De daaruitvolgende algemene dijkverhoging zou tot gevolg hebben dat de dijken en oevers in het Scheldebekken, rekening houdend met de bestaande toestanden in het algemeen, met meer dan 2 m zouden moeten verhoogd worden.

Een dergelijke algemene dijkverhoging is, afgezien van de kostprijs en de tijdfactor, in de praktijk niet zo gemakkelijk te realiseren. Zo doen zich grote moeilijkheden voor in de Antwerpse agglomeratie in verband met de verhoging van de kaaimuren; deze agglomeratie, de bestaande industriegebieden op linker- en rechteroever opwaarts van Antwerpen, Burcht, Kruibeke, de Boelwerf te Temse, Mechelen, Lier, enz., zouden onvoldoende beschermd blijven omdat dergelijke verhogingen gewoonweg niet te verwezenlijken zijn in deze zones. Deze gebieden, die men toch als zeer vitale gebieden moet beschouwen, zouden het bijgevolg met een kleinere graad van veiligheid moeten stellen.

Ceci n'empêche pas que, compte tenu de l'état actuel des digues et des rives, on a décidé de procéder à un rehaussement et renforcement général limité, de telle manière que les régions limitrophes bénéficieront à brève échéance d'une sécurité plus grande qu'à l'heure actuelle.

4.2. Barrage-tempête mobile.

Il s'agirait d'un barrage qui, par temps normal, resterait ouvert et laisserait passer librement les marées, mais qui peut être fermé quand un marée-tempête est attendue. De cette manière, le bassin situé en amont est isolé du bassin sujet aux marées et est complètement protégé contre la marée-tempête annoncée.

Pour assurer une protection optimale de la partie du bassin de l'Escaut située sur le territoire de la Belgique, ce barrage devrait être situé à une distance suffisante vers l'aval. L'implantation du barrage dépend cependant de plusieurs facteurs.

Pour éviter d'importants rehaussements des digues qui, comme déjà mentionné, ne sont pas réalisables partout, et pour assurer tout de même la protection des zones vitales, ce barrage devrait être situé en aval de la ville d'Anvers. Par ailleurs, il faut tenir compte des exigences de la navigation, c.-à-d. que les constructions fixes installées dans le lit de la rivière devraient entraver le moins possible le trafic sur le fleuve et plus spécialement celui des navires de haute mer.

Il est donc souhaitable que pareil ouvrage d'art soit installé en amont de l'écluse de Kallo. En outre, il faut que l'implantation soit prévue dans une partie droite du chenal navigable, pour des raisons évidentes de facilité de la navigation. En tenant compte de ces considérations et exigences, le site le plus favorable semble être une zone située aux abords d'Oosterweel.

En aval du barrage, les digues des deux rives devraient donc être rehaussées, ce qui ne présenterait pas de problèmes. Des travaux de rehaussement y sont d'ailleurs en cours depuis tout un temps, conformément aux normes du plan du Delta, d'une part dans le cadre du traité Escaut-Rhin et, d'autre part, dans le cadre de l'extension des installations portuaires sur la rive gauche de l'Escaut et du projet de traité du Baalhoek, qui s'y rapporte.

Si on envisage la construction d'un barrage à Oosterweel, cet ouvrage aura certainement des dimensions exceptionnelles, compte tenu de la section transversale de la rivière et des conditions nautiques. Il faudra donc beaucoup de temps pour étudier et réaliser ces travaux et les frais seront très élevés.

Dit belet niet dat men, rekening houdend met de thans bestaande toestand der dijken en oevers, beslist heeft een beperkte algemene dijkverhoging en versterking toch uit te voeren, zodat de aanpalende gebieden op korte termijn een grotere graad van veiligheid bezitten als deze die thans geboden wordt.

4.2. Stormvloedkering.

Een stormvloedkering is een stuw die in normale omstandigheden openstaat en het getij ongehinderd doorlaat maar die in uitzonderlijke omstandigheden - wanneer een stormvloed verwacht wordt - kan gesloten worden. Zodoende wordt het opwaarts gelegen bekken afgesneden van het tijgebied en ligt het volledig beschermt tegen de aankomende vloed.

Om het Scheldebekken op Belgisch grondgebied zoveel mogelijk veilig te stellen tegen overstromingsgevaar zou zo een stormvloedkering ver genoeg afwaarts moeten gelegen zijn. De lokalizatie van een stormvloedkering is echter afhankelijk van verschillende factoren.

Om aanzienlijke dijkverhogingen te vermijden, die zoals gezegd niet overal mogelijk zijn, en om dus vitale zones toch te beveiligen, dient deze kering afwaarts van de stad Antwerpen komen te liggen.

Anderzijds moet rekening worden gehouden met de nautische eis wat wil zeggen dat de scheepvaart en in het bijzonder de zeescheepvaart zo weinig mogelijk hinder mag ondervinden van vaste konstrukties in de rivier. Het is derhalve aangegeven dat een dergelijk kunstwerk zich opwaarts van de Kallosluis zou bevinden. Voorts is het om nautische redenen aangegeven dat de vestigingsplaats in een rechtlijnig gedeelte van het vaarwater zou liggen. In verband met deze overwegingen en eisen lijkt de meest aangewezen plaats de omgeving van Oosterweel te zijn.

Afwaarts van de kering moeten de dijken aan beide oevers dientengevolge verhoogd worden, waarbij geen moeilijkheden rijzen. Verhogingswerken zijn hier reeds geruime tijd aan de gang, overeenkomstig de normen van het Deltaplan, enerzijds in het kader van het Schelde-Rijntraktaat, anderzijds in het kader van de havenuitbreiding langs de linker Scheldeoever en het daarmee verband houdende ontwerp van Baalhoekverdrag.

Als men nu aan een dergelijk kunstwerk te Oosterweel denkt zal dat, in verband met de afmetingen van de dwarssektie van de rivier en de gestelde nautische eisen, zeker uitzonderlijke afmetingen hebben. Daarom zal de tijd voor studie en uitvoering van deze werken lang zijn en zullen de kosten zeer hoog oplopen.

Si l'on pose la question si pareil ouvrage d'art assurera une protection absolue pour le bassin en amont, il faut reconnaître qu'une protection absolue contre les inondations ne peut jamais être garantie et qu'il est indispensable que les digues existantes du bassin de l'Escaut sujet à marées, en amont du barrage, soient maintenues en bon état, comme digues secondaires.

Dans les années cinquante, un barrage d'un type comparable a été construit sur l'Yssel hollandais. Un autre est en construction sur la Tamise, en aval de Londres. Et pour l'Elbe à Hambourg, des études sont en cours pour un ouvrage similaire.

Compte tenu des graves problèmes qui se posent au sujet de la construction d'un barrage mobile à Oosterweel, on pourrait aussi imaginer plusieurs petits barrages sur l'Escaut et ses affluents, qui poseraient moins de problèmes techniques, coûteraient moins cher et pourraient aussi être réalisés plus rapidement. Des implantations à Weert sur l'Escaut et à Niel sur le Rupel par exemple semblent fort favorables. Toutefois, par le fait que ces emplacements sont situés plus en amont, les digues en aval devraient être rehaussées sur une longueur bien plus importante. Si, en outre, on tient compte du refoulement supplémentaire en aval du barrage, les régions vitales qui y sont situées, où se posent déjà tant de problèmes pour un rehaussement général des digues, resteraient insuffisamment protégées.

4.3. Les bassins d'inondation.

Des bassins d'inondation sont des zones basses entourées de digues dans lesquelles l'eau peut être emmagasinée temporairement, c.-à-d. à peu près quand la marée-tempête atteint son niveau le plus haut, de telle manière que les niveaux maximaux sont réduits. Il est évident que seules des zones non vitales peuvent être prises en considération comme zones d'inondation, c.-à-d. celles où n'existent pas de constructions ou d'industries et où celles-ci ne seront jamais autorisées.

L'importance de l'abaissement des niveaux des hautes eaux dépend de plusieurs facteurs, p. ex.

- du genre de marée-tempête,
- de la situation, de la superficie et du niveau moyen du terrain du bassin d'inondation,
- de la longueur et du niveau de la crête de la digue servant de déversoir.

Des calculs ont démontré qu'en choisissant judicieusement ces bassins, un abaissement sensible du niveau des hautes eaux peut être obtenu en amont; vers l'aval, l'effet favorable disparaît relativement vite.

Il est évident que la seule solution des bassins d'inondation ne suffirait pas pour protéger les zones vitales le long de l'Escaut et de ses affluents. Ces travaux ne pourraient donc constituer qu'une des mesures prises dans le cadre d'une politique générale.

Op de vraag of een dergelijk kunstwerk een absolute beveiliging biedt voor het opwaarts gelegen bekken, moet worden toegegeven dat een absolute veiligheid tegen overstromingen nooit kan gewaarborgd worden en dat het noodzakelijk is de bestaande dijken van het tijbekken der Schelde opwaarts van de kering als sekundaire dijken in goede staat te houden.

Een stormvloedkering is in de jaren vijftig gebouwd op de Hollandse IJssel. Er is er ook een in aanbouw op de Theems afwaarts van Londen. En voor de Elbe te Hamburg is een stormvloedkering ter studie.

Gezien de zware problemen die rijzen voor een stormvloedkering te Oosterweel, zou men zich ook verschillende kleinere kunnen indenken op de Schelde en bijrivieren, die elk technisch minder problemen zullen stellen, minder zullen kosten en ook vlugger zouden kunnen gerealiseerd worden. Als aangewezen plaatsen lijken hiervoor bijv. Weert aan de Schelde en Niel aan de Rupel in aanmerking te komen. Het probleem is echter dat, door de meer opwaartse ligging van de keringen de dijken afwaarts over een veel grotere lengte moeten verhoogd worden. Als men dan nog rekening houdt met de bijkomende opstuwing afwaarts van de kering zullen de daar gelegen vitale zones, waar men nu reeds zoveel moeilijkheden ondervindt bij een algemene dijkverhoging, onvoldoende beschermd blijven.

4.3. Inundatiebekkens.

Inundatiebekkens zijn laag gelegen bedijkte gebieden waarin tijdelijk d.w.z. omstreeks het ogenblik van hoogwater bij stormvloed water kan in geborgen worden om alzo de hoogwaterstanden in de rivier te verlagen. Het spreekt vanzelf dat als inundatiegebieden uitsluitend niet vitale zones in aanmerking kunnen komen, dus zones waar geen bebouwing en geen industrie in voorkomen of in toegelaten worden.

De grootte van de verlaging van de hoogwaterstanden hangt af van verschillende factoren als daar zijn :

- aard van het stormtij;
- ligging, oppervlakte en gemiddeld bodempeil van het inundatiebekken;
- lengte en hoogte van de kruin van de overlaatdijk.

Berekeningen hebben aangetoond dat met een oordeelkundige keuze van deze bekkens opwaarts hiervan een gevoelige verlaging van de hoogwaterstanden kan verkregen worden; in afwaartse richting is het gunstig effect vrij vlug uitgedempt.

Natuurlijk zullen inundatiebekkens alleen niet volstaan om de vitale zones langs Schelde en bijrivieren te beschermen en kunnen deze werken dan ook slechts een onderdeel vormen van een algemene dijkpolitiek.

Il faut malheureusement répondre par la négative si on pose la question si pareils bassins d'inondation avec déversement contrôlé peuvent encore être aménagés en bordure de l'Escaut maritime et de ses affluents, tout au moins sur les rives droites du Rupel et de l'Escaut maritime en aval de Rupelmonde et sur la rive gauche en aval de Kruibeke. Comme des bassins d'inondation ne pourraient être aménagés qu'à une distance relativement importante en amont d'Anvers, leur effet salubre sur les marées exceptionnelles à Anvers même serait très faible.

De tout ce qui précède, il apparaît clairement que les dépenses seront extrêmement importantes, quelles que soient les mesures retenues, et que la protection complète de tout le bassin de l'Escaut et de ses affluents ne pourra pas être réalisée à court terme.

C'est pour cette raison qu'il est indispensable que les grands polders bas existants soient subdivisés en des zones plus petites, par la construction ou le renforcement de digues intérieures, pour que, lors d'un débordement à la digue principale, l'inondation soit limitée et que, lors d'une rupture d'une digue, la formation de la brèche soit limitée à un minimum.

Un examen des lieux a démontré que la construction de digues dites de compartimentage sur l'Escaut maritime, le Rupel et ses affluents, ainsi que le rehaussement et le renforcement des digues intérieures existantes, pourrait encore nettement améliorer la sécurité.

L'auteur

P. Roovers est ingénieur civil des constructions. Il travailla d'abord pendant deux ans dans une entreprise de travaux. En septembre 1951, il entra au Ministère des Travaux Publics et, jusqu'en 1960, il était attaché au Service Maritime d'Anvers, en qualité d'ingénieur des Ponts et Chaussées. Le 1^{er} septembre 1960, il fut nommé Ingénieur en Chef-Directeur des Ponts et Chaussées au Laboratoire Hydraulique à Borgerhout et actuellement il en assume la direction.

Of dergelijke inundatiebekkens, met gecontroleerde overloop, nog langs de oevers van Zeeschelde en bijrivieren kunnen ingericht worden, moet helaas negatief worden beantwoord, tenminste voor de rechteroever van de Rupel en van de Zeeschelde afwaarts van de Rupelmonding en voor de linkeroever afwaarts van Kruibeke. Daar inundatiebekkens slechts vrij ver opwaarts van Antwerpen kunnen aangelegd worden, zal het verlagend effect op de stormvloedhoogwaterstanden te Antwerpen zelf gering zijn.

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat, welke maatregelen ook worden gekozen, de uitgaven zeer groot zullen zijn en de voltooiing van de beveiliging van het ganse Scheldebekken met bijrivieren niet op korte termijn zal worden verwezenlijkt.

Daarom is het nodig dat bestaande grote laag gelegen polders door het bouwen of versterken van binnendijken in verschillende kleinere gebieden zouden ingedeeld worden, opdat bij dijkoverloop op een bepaalde plaats van de hoofdwaterkering de overstrooming zou worden beperkt en dat bij doorbraak van een dijk ook de stroomgatvorming tot een minimum zou beperkt blijven.

Een terreinonderzoek heeft uitgewezen dat op de Zeeschelde, Rupel en bijrivieren door aanleg van nieuwe zogenaamde kompartimenteringsdijken, alsmede door verhoging en versterking van bestaande binnendijken nog heel wat aan veiligheid kan worden gewonnen.

De auteur

P. Roovers is burgerlijk bouwkundig ingenieur. Hij was eerst gedurende twee jaar werkzaam bij een aannemersbedrijf; trad op 1 september 1951 in dienst bij het Ministerie van Openbare Werken en was tot in 1960 als ingenieur van Bruggen en Wegen verbonden aan de Antwerpse Zeediensten. Sedert 1 september 1960 is hij aangesteld als Hoofdingenieur-Direkteur van Bruggen en Wegen bij het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout en thans belast met de leiding van deze instelling.