

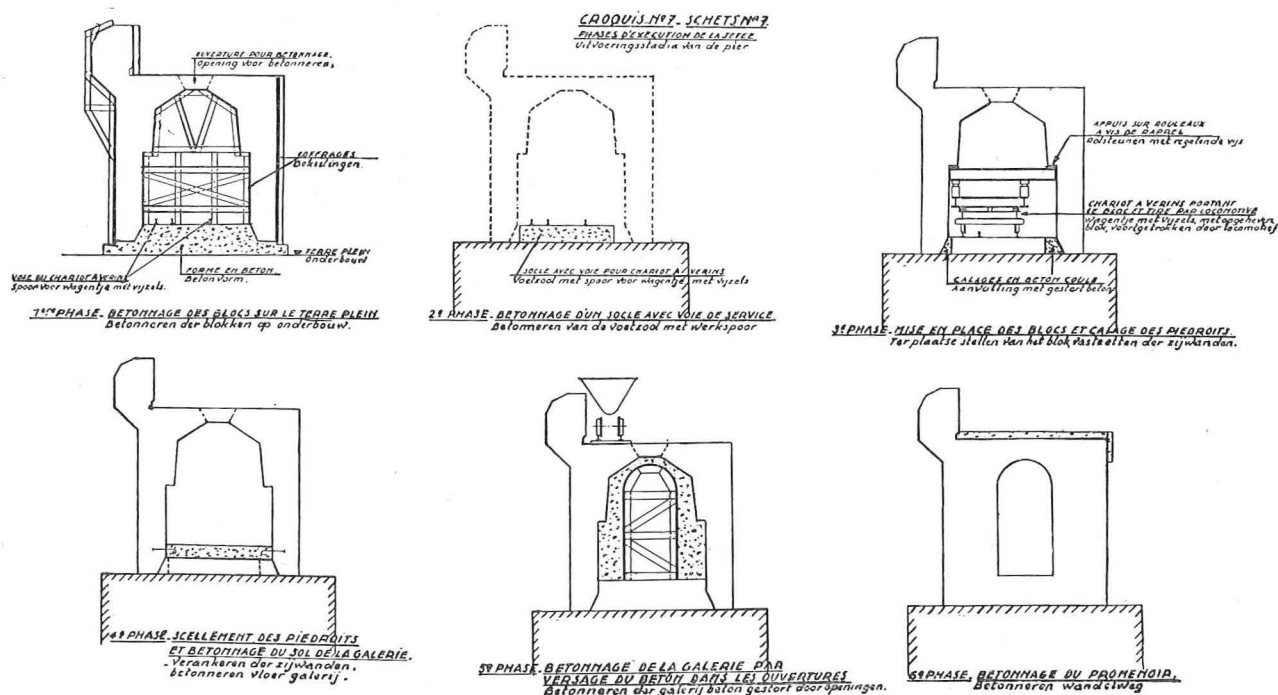


Fig. 5. — Blocs de 62 tonnes pour la reconstruction du pier.

ment à 15 m l'une de l'autre. Les dimensions de jets d'eau et de gaz au moment de leur tirage variaient avec l'importance des explosions provoquées dans leur entourage. Une surface donnée du chenal ayant subi cette opération était draguée sans danger sur 1,50 m de profondeur. Après ce déblai, de nouvelles charges de fond préparaient une nouvelle étape des travaux d'approfondissement.

Pour l'enlèvement des blocs et débris de béton enfouis dans la vase devant le mur, sur une largeur pouvant atteindre 20 à 30 m et à des profondeurs très variables, dépassant parfois 10 m, on a utilisé des grappins de divers types, les uns à coquilles, les autres, plus robustes et plus efficaces, du type Polyp. Pour le relevage des très gros blocs on utilisait un grappin Benoto à 8 bras articulés, capable de lever 60 tonnes. Les blocs repêchés étaient chargés sur des pontons basculants qui se déchargeaient par remplissage d'une chambre à eau, excentrée, après que le ponton avait été remorqué à l'extérieur du môle, au-dessus des enrochements qui en protégeaient le pier.

Des dragues à godets préparaient le travail de déblai devant le mur en dégagant, dans la mesure du possible, les blocs de la vase qui les entourait. Elles reprenaient le travail définitif d'approfondissement du mouillage après que la disparition des blocs avait été vérifiée par l'emploi de gabarits spéciaux trainés sur le fond et dans la vase. Les dragues suceuses n'ont pas encore fait leur réapparition à Zeebrugge. Elle est imminente.

Les travaux de déblais des blocs ne sont pas encore terminés sur toute la longueur du quai du môle mais dès à présent les navires de mer peuvent accoster la partie aval du quai. Ils y trouvent, notamment, l'occasion de charbonner.

Cinq grues, dont trois ACMT de 8 tonnes à 24 m de portée, sont en service sur le môle. Deux hangars sont en reconstruction. L'appareil optique du phare a été livré et mis en service en juin 1948.

Problemen in verband met de Bevaarbaarheid der Zeeschelde

253703

door Ir. H. HOLSTERS, Ingenieur bij de Société Continentale et Coloniale de Construction, Brussel.

Na een korte beschrijving der Zee-Schelde en van haar tijregime worden enkele vraagstukken besproken, die zich stellen in verband met het behoud en eventueel de verbetering van de vaargeul afwaarts Antwerpen. Aansluitend hiermede worden enkele problemen behandeld betreffende de stabiliteit van het uitgebreid tijbekken opwaarts Antwerpen, dat niet alleen voor de binnenscheepvaart van groot belang is, maar waarvan het behoud bovendien een levensnoodzakelijkheid is voor de Beneden-Schelde. Hierbij worden dan de resultaten besproken van enkele in de laatste decennia op de Zee-Schelde of haar bijrivieren uitgevoerde werken.

PROBLEMES CONCERNANT LA NAVIGABILITE DE L'ESTUAIRE DE L'ESCAUT.

Après une courte description de l'Estuaire de l'Escaut et de son régime de marées, l'article traite de quelques problèmes qui se posent lorsqu'il s'agit de préserver et d'améliorer si possible la passe navigable en aval d'Anvers. Il examine en même temps quelques problèmes connexes touchant la stabilité du vaste bassin de chasse en amont d'Anvers, dont l'existence n'a pas seulement une grande importance pour la navigation intérieure, mais dont le maintien est en outre une nécessité absolue pour le Bas-Escaut. A ce propos il cite les résultats de quelques-uns des travaux exécutés pendant les vingt dernières années sur le Bas-Escaut et ses affluents.

PROBLEMS TOUCHING THE NAVIGABLENESS OF THE SEA-SCHELDT.

After a short description of the Sea-Scheldt and its tidal regime, the author treats of a few problems connected with preserving and possibly bettering the channel downwards from Antwerp. He considers as well a few points

about the stability of the wide tidal basis upstream, which is important not only to barge navigation, but the maintenance of which is also an utmost necessity for the Sea-Scheldt channels. He discusses the results of a few works executed during the last decades, on the Sea-Scheldt as well as on its affluents.

DIE SCHIFFBARKEIT DER SEESCHELDE.

An eine kurze Schilderung der See-Schelde und ihrer Gezeiten anschliessend, befasst sich die Abhandlung mit einigen Problemen, die sich aus der Aufrechterhaltung und der eventuellen Verbesserung der Schiffabstrasse flussabwärts von Antwerpen ergeben. Der Verfasser behandelt einige Punkte, die hiermit im Zusammenhange stehen. Sie betreffen die Dauerhaftigkeit des grossen Flutbeckens oberhalb von Antwerpen, dessen Erhaltung nicht nur für den Binnenverkehr von grösster Bedeutung ist, sondern auch eine unerlässliche Lebensnotwendigkeit für die Schifffahrt auf der Schelde darstellt. Anschliessend werden die Ergebnisse besprochen, welche durch Verbesserungen an der See-Schelde und ihren Zuflüssen in den letzten Jahrzehnten erreicht wurden.



Ir. H. HOLSTERS, Burgerlijk Bouwkundig Ingenieur (Gent 1937). Tot 1946 was hij Ingenieur van Bruggen en Wegen bij de Dienst der Zeeschelde te Antwerpen. Sinds 1946 ingenieur bij de Société Continentale et Coloniale de Constructions te Brussel.

INLEIDING.

De bevaarbaarheid der Zeeschelde, levensbelang voor de haven van Antwerpen, is een onderwerp dat reeds lang aanleiding geeft tot studie en discussie. En dit niet alleen op technisch gebied, maar ook in verband met de juridische en politieke aspecten van sommige vraagstukken, b.v. de inpolderingen op de Wester-Schelde, die hierop betrekking hebben. Vanzelfsprekend zullen wij ons hier uitsluitend op technisch terrein houden.

Maar ook zuiver technisch zijn de vraagstukken die met de bevaarbaarheid der Zeeschelde samenhangen, zeer talrijk en uiterst ingewikkeld, zodat zich ook hier een zekere beperking opdringt.

Hoofdzakelijk is natuurlijk hoe de 90 km lange toegangsweg van de Noordzee naar Antwerpen, waar op het ogenblik door baggering een vaargeul van minstens 200 meter breed en 9 meter diep onder laagwater wordt verwezenlijkt, te behouden en eventueel te verbeteren.

Het regime van deze toegangsweg is bijna uitsluitend maritiem, waarmede bedoeld wordt dat de bedding voornamelijk door de werking van de tij wordt onderhouden, en slechts in uiterst geringe mate door de afvoer van het neerslagwater aangevoerd door de bovenrivieren. De verbetering op gebied van bevaarbaarheid is hier dus onafscheidelijk verbonden met de versterking der vloed- en ebstromingen, t.z. met de betere ontwikkeling van het riviergetij.

Boven Antwerpen strekt de Zee-Schelde zich uit tot Gentbrugge, waar het getij, op 160 km van de monding, door een stuw wordt opgehouden. Ook de bijrivieren Rupel en Nete, die in deze stroom uitmonden, zijn aan getij onderhevig.

De leefbaarheid van dit uitgestrekte maritieme gebied opwaarts Antwerpen — gebied dat voor de binnenscheepvaart uiterst belangrijk is — hangt in sterke mate af van de toestand der Beneden-Schelde, die de "toelaat" tot dit gebied vormt. Omgekeerd levert de capaciteit of het "kombergingsvermogen" van dit bekken een belangrijke bijdrage tot het onderhoud van de toelaat. Het zal dus niet mogelijk zijn de Beneden-Schelde afzonderlijk te behandelen, zonder rekening te houden met wat er opwaarts Antwerpen geschiedt.

REGIEM VAN DE ZEE-SCHELDE.

De opvattingen over wat er dient gedaan of vermeden te worden om de bevaarbaarheid van een bij uitstek maritieme stroom zoals de Zee-Schelde te waarborgen, hangen in zeer nauwe mate samen met de voorstellingen, die men zich vormt aangaande de natuur van het riviergetij.

Het is dan ook noodzakelijk hieraan enkele beschouwingen te wijden.

Verticaal en horizontaal getij.

Het getij op de Schelde wordt veroorzaakt door de verticale schommelingen van de zeespiegel aan haar monding te Vlissingen. De amplitude of getijhoogte aldaar bedraagt ongeveer 4 m, en de periode 12 h 25 min.

Deze verticale schommelingen planten zich in stroomopwaartse richting voort met een bepaalde, hoofdzakelijk van de diepte afhangelijke snelheid.

Met dit verticale getij, of periodieke schommeling van de waterstand, gaat gepaard een horizontaal getij of periodieke variatie in snelheid en richting der stromingen.

Bij opkomende tij is er een landinwaarts verhang en gaat er over het algemeen vloed. Bij dalende tij is het verhang meest zeewaarts gericht en gaat er over het algemeen eb. Tijdens de eb wordt niet alleen het vloedwater afgevoerd, maar ook het oppervlaktewater, dat tijdens de vloed werd opgehouden. Met dit oppervlaktewater wordt niet alleen bedoeld het door de bovenrivieren aangevoerde debiet, maar ook het zijdelingse debiet, dat langs sluisjes en kleppen in de Schelde vloeit, wanneer de waterstand het toelaat.

Vloed en eb vallen niet volledig samen met stijging en daling van de waterstand. Er bestaat inderdaad, wegens de inertie der in beweging zijnde massa's, een zekere decalage tussen oorzaak en gevolg, tussen verhang en stroom. De vloed zet in een tijd na laagwater (op het ogenblik der ebkentering); de eb zet in een tijd na hoogwater (op het ogenblik der vloedkentering). Dit tijdsverschil bedraagt over het algemeen bijna één uur.

Hieruit volgt, dat de vloed, die aanvangt wanneer het water reeds merkkelijk is gestegen en voorbij hoogwater voortduurt tot wanneer het peil reeds merkkelijk is gedaald, plaatsvindt bij overwegend hogere waterstanden dan wel de eb. Dit leidt tot een essentieel verschil van werking; de werking van de vloed strekt zich uit over geheel de breedte der bedding, terwijl de eb zich meer concentreert in de diepere laagwatergeul. Kenmerkend voor dit verschil van werking is, dat de scharen, of doodlopende aftakkingen van de hoofdgeul, bijna steeds naar opwaarts, t.z. in de richting van de vloedstromen zijn gericht. De uitschuring van zulke ondiepere takken kan inderdaad slechts geschieden bij betrekkelijk hoge waterstanden, zodat de eb hiervoor minder in aanmerking komt.

Vervormingen van het getij.

Bij zijn voortplanting naar opwaarts verliest de tijgolf geleidelijk aan energie, ten gevolge van de weerstand der bedding. Bij gelijkblijvende breedte moet dan ook de amplitude geleidelijk verminderen van afwaarts naar opwaarts. Deze vermindering wordt echter tegengewerkt door de algemene trechtervorm der bedding; hierdoor kan de amplitude toch aangroeien, daar de golf in steeds kleinere breedten wordt samengedrukt. Dit is b.v. het geval op de Beneden-Schelde, waar de getijhoogte van ongeveer 4 m te Vlissingen aangroeit tot bijna 5 m te Antwerpen, dit dank zij een zeer snelle vernauwing van 5000 m tot 500 m.

Niet alleen de amplitude maar ook de vorm zelf van het tijverloop is volgens de lengtes van de stroom veranderlijk. Aan de monding is het tijverloop in functie van de tijd nagenoeg een sinusoid. De top van de tijgolf plant zich voort in diep water; het laagwater integendeel ontmoet over het algemeen kleinere diepten tijdens zijn

voortplanting. Daar de wrijvingsweerstand sterk aangroeit bij vermindering van diepte, zal dan ook hoogwater minder weerstand ontmoeten dan laagwater en zich vlugger voortplanten. Hieruit volgt dat, van afwaarts naar opwaarts, de duur der stijging vermindert tegenover deze der daling. De sinusoida vervormt zich langzaam tot een dissymmetrische kromme, die een zeer snelle stijging vertoont, gevolgd door een zeer trage daling (*).

De duur van eb en vloed houdt rechtstreeks verband met deze van daling en stijging. Naarmate men zich verder opwaarts begeeft, vermindert dus de duur van de vloed ten opzichte van deze der eb. Deze eigenschap is, zoals wij verder zullen zien, van grote betekenis in verband met de stabiliteitsmogelijkheden van een maritiem regime.

Vorm der bedding in het algemeen.

Zoals voor een gewone rivier passen de dwarsprofielen van een tijrivier zich in oppervlakte aan bij het gemiddelde doorstromend debiet, met dien verstande dat de gemiddelde stroomsnelheid steeds een bepaalde, voornamelijk van de aard van de grond afhangende waarde gaat aannemen (voor zandachtige gronden iets minder dan voor kleiachtige). Deze evenwichtssnelheid hangt ook in zekere mate van de diepte af; kleinere diepten vergen iets kleinere stroomsnelheden dan wel grotere diepten.

Voor de Zee-Schelde is deze grenssnelheid tamelijk constant en bedraagt van 0,60 tot 0,80 m/sec.

De totale waterhoeveelheid, die zich doorheen een bepaald profiel beweegt, hangt hoofdzakelijk af van de capaciteit of kombergingsvermogen, die opwaarts dit profiel aanwezig is. Deze capaciteit is maximum voor de beginsectie aan de monding en is nul aan het uiteinde van het tijgebied. Hieruit volgt, dat de dwarsdoorsnede, maximum aan de monding, geleidelijk moet verminderen, om oneindig klein te worden aan het bovenuiteinde, althans zo er geen bovenafvoer voorhanden is. Is deze bovenafvoer er wel, dan wordt hierdoor de oppervlakte van het eindprofiel bepaald. Op de Zee-Schelde vermindert het dwarsprofiel van ongeveer 85 000 m² aan de monding, tot 100 m² te Gentbrugge, hetzij in de verhouding 850 : 1.

Vorm in dwarsdoorsnede.

De Zee-Schelde vertoont over het algemeen, en dit voornamelijk op de Wester-Schelde, dwarsprofielen met één of meer diepe geulen onder laagwater. Boven laagwaterpeil zijn de taluds zeer flauw, zodat de breedte bij hoogwater in belangrijke mate deze bij laagwater overtreft, soms met verscheidene kilometer.

Er bestaat hier een zekere analogie met zomer- en winterbed van een gewone rivier.

Men kan aannemen, dat deze karakteristieke vorm, die voor de scheepvaart zeer nuttig is en zoveel mogelijk zou moeten behouden worden, ook de voordeligste is voor wat de voortplanting van het getij betreft. De grote breedten boven laagwater waarborgen inderdaad een grote bergcapaciteit, dus een groot hydraulisch vermogen. Van de andere kant bewerkt de diepere laagwatergeul een snellere voortplanting van laagwater. Hierdoor wordt het achterblijven van laag- op hoogwater, waardoor een gevaarlijke dissymmetrie ontstaat, zoveel mogelijk tegengewerkt.

Uitschuring en aanzanding der bedding. Rol van het bovendebiet.

Zoals hoger gezegd, passen de dwarsdoorsneden zich bij de doorstromende debieten aan.

Net als bij gewone rivieren gaan dwarsdoorsneden, die te groot zijn, aanzanden; daar waar de sectie te klein is, dus de snelheid te groot, krijgt men uitschuring (dit natuurlijk slechts in zoverre de aard van de bodem het toelaat). Maar waar het voor een gewone rivier hierbij blijft — het debiet is hier immers praktisch onafhankelijk van de vorm der bedding —, is zulks voor een tijrivier niet het geval.

(*) Te Vlissingen stijgt het water gedurende 5 h 56 min, en daalt gedurende 6 h 29 min, wat een verhouding geeft van 0,95 : 1. Om Temsche, ongeveer 100 km opwaarts te bereiken, heeft H.W. 3 h 5 min nodig; L.W. echter 3 h 53 min. Een kleine berekening toont aan, dat te Temsche de stijging dan 5 h 8 min zal duren, tegen een daling van 7 h 17 min, wat een verhouding geeft van 0,70 : 1.

Immers de voortplanting en de demping van het getij hangen af van de vorm der bedding. Wijzigingen aan de bedding, door uitschuring en aanzanding, beïnvloeden het tijregime; hierdoor worden weer de debieten gewijzigd, wat dan weer nieuwe wijzigingen der bedding zal teweegbrengen. Hierbij spelen ook de grensvoorwaarden een rol. Neemt het getij op zee in amplitude toe, dan wordt de tijgolf sterker en kan men zich aan uitschuring verwachten; hetzelfde doet zich voor, in mindere mate, wanneer de bovenaanvoer aangroeit.

Om de zaak enigszins te vereenvoudigen, nemen wij een ogenblik aan, dat de grensvoorwaarden constant blijven.

Dan bestaan er twee mogelijkheden:

- de wisselwerking tussen het getij en de bedding maakt dat de rivier naar een stabiele evenwichtstoestand streeft;
- de aanpassing geschiedt zo, dat na enige tijd een toestand van maximumuitbreiding der rivier bereikt wordt, die echter niet stabiel is en gevolgd wordt door een teruggang, welke leidt tot gedeeltelijke of volledige verzanding.

Ontegensprekelijk is het van groot belang, voor wat de bevaarbaarheid van de Zee-Schelde betreft, uit te maken, welke van deze twee mogelijkheden met de werkelijkheid overeenstemt, en kan dit probleem als het kernvraagstuk ten opzichte van de leefbaarheid der Schelde worden gesteld.

Is de eerste veronderstelling juist, dan hoeft men zich ten opzichte van de toekomst van de Schelde en van Antwerpen geen zorgen te maken; de natuur zal dan automatisch het beste gebruik weten te maken van de beschikbare energie. Voor wat de uit te voeren werken betreft, kan men er zich toe bepalen de natuurlijke evolutie aan te moedigen en te versnellen; en zelfs bij een gebeurlijke misrekening zal de verslechting slechts tijdelijk zijn.

Indien de tweede veronderstelling juist is, ziet de toestand er heel anders uit. In dit geval ware het verkeerd werken uit te voeren, die de evolutie kunnen bespoedigen en moet men reeds van nu af de maatregelen overwegen, welke een mogelijke teruggang kunnen verijdelen.

Nu zijn er enkele factoren, die er schijnen op te wijzen, dat de eerste mogelijkheid ener inherente stabiliteit niet a priori als vaststaand mag worden aangenomen.

Vooreerst weze gezegd, dat zulk regime, bij afwezigheid van bovendebiet, erg onwaarschijnlijk is. In deze zin, dat bij afwezigheid van bovendebiet een aanzanding van opwaarts uit moet ontstaan, welke zich steeds verder in afwaartse richting gaat uitbreiden.

Dit is een gevolg van de dissymmetrie tussen vloed en eb, waarbij de vloed steeds korter van duur wordt tegenover de eb, wanneer men zich naar opwaarts verplaatst. Hierbij ontstaat uiteindelijk een toestand, waarbij de vloed zich voordoet als een korte en hevige stroomstoot, gevolgd door een langzaam terugvloeien van het water tijdens de eb. Daar het transporterend vermogen nu in sterke mate van de snelheid afhangt, wordt in deze omstandigheden door de vloed meer zand aangebracht dan door de eb kan worden afgevoerd. Het kan zelfs gebeuren, dat de ebstroom de grenssnelheid, nodig voor het verplaatsen van materialen, niet meer bereikt, terwijl de vloed deze nog in meerdere of mindere mate overtreft; in dit geval is er enkel aanvoer door de vloed, maar geen afvoer door de eb.

In elk geval moeten zulke verhoudingen aanleiding geven tot aanzanding in het opwaartse uiteinde van het tijgebied. Hierdoor wordt de voortplanting van het getij dan weer meer geremd, zodat de dissymmetrie zich nog sterker gaat voordoen en de kritische toestand van overwicht van vloed op eb ook meer afwaarts zal te voorschijn treden.

Bij aanwezigheid van bovendebiet echter wordt de vloedstroom verzwakt, de ebstroom daarentegen versterkt. Is er voldoende bovendebiet aanwezig, dan is een regime mogelijk, waar nergens de kritische toestand bestaat, zodat aanzanding van opwaarts uit dan niet te vrezen is. (*)

(*) In verband hiermede is het duidelijk, dat bij een vermindering van bovendebiet een algemeen zandtransport van afwaarts naar opwaarts zal plaatsvinden; vergroting van bovendebiet zal een algemeen zandtransport van opwaarts naar afwaarts teweegbrengen. Deze per-

Hiermede is echter niet gezegd, dat deze voorwaarde voldoende is om een stabiel regime te waarborgen. Er is inderdaad nog een andere factor, welke het evenwicht in gevaar brengt.

Veronderstellen wij een vak in het benedengedeelte van de stroom, dat globaal genomen in evenwicht verkeert, in deze zin dat de dwarsprofielen in oppervlakte constant blijven. In zulk riviergedeelte heeft men wegens de voortdurende variaties der stroomsnelheden enige uitschuring tijdens de perioden van maximum vloed- en ebsnelheden, en enige aanzanding nabij de stroomkenteringen; uitschuring en aanzanding compenseren zich onderling.

De neerslag der materialen geschiedt echter niet in dezelfde omstandigheden bij eb- dan wel bij vloedkentering. Bij ebkentering bezinken de materialen in de diepere gedeelten van de stroom, die steeds onder water blijven en waar deze materialen gemakkelijk weer in beweging kunnen komen bij de daaropvolgende vloed.

De bezinking bij vloedkentering geschiedt over geheel de breedte van de stroom, en vooral in de ondiepere gedeelten tussen laag- en hoogwaterlijn, waar de materialen het vlugst de bodem bereiken. Een zeker gedeelte der materialen zal aldaar blijven liggen. Inderdaad gaat er in deze ondiepten steeds weinig stroom. Bovendien oefent de op vloedkentering volgende eb haar werking slechts uit, wanneer het waterpeil reeds merkkelijk gedaald is, en kan de hoger liggende materialen dus niet meer bereiken. Uitschuring kan slechts optreden bij de volgende vloed, nadat de materialen gedurende vele uren de gelegenheid hebben gehad uit te drogen en zich enigszins vast te zetten.

Er bestaat dus ten slotte overwicht van aanzanding, of aanslijking, op uitschuring op de hogere, vlakke gedeelten der bedding; hiermede kan al of niet gepaard gaan overwicht van uitschuring op aanzanding in de diepere gedeelten.

De tijrivier bezit dus een neiging zichzelf op te sluiten tussen steeds nauwer wordende oevers, waarbij dan eventueel uitschuring der diepere gedeelten kan optreden.

Bij een gewone afvoerrivier, en ook in het bovengedeelte van het tijgebied waar de invloed van het oppervlaktewater overwegend is, levert dit geen bezwaar. In het benedengedeelte kunnen hierdoor echter wel moeilijkheden ontstaan.

Aanslijking der oevers en schorren betekent immers vermindering van het kombergingsvermogen; hierdoor ontstaat dan weer het gevaar, dat de vloed- en ebstromen ten slotte ook de diepere gedeelten niet meer kunnen onderhouden.

Ontstaan der tijrivier.

Indien deze eerder pessimistische opvattingen zouden gegrond zijn, kan men zich afvragen hoe het mogelijk is dat de Zee-Schelde, die sinds meer dan vijf eeuwen de bron van welvaart voor Antwerpen uitmaakt, met haar huidige grote breedten en diepten kan bestaan. In verband hiermede is het nodig enkele, noodzakelijk zeer schematische, beschouwingen te wijden aan het ontstaan der Zee-Schelde.

Lang vóór deze stroom zich als tijrivier heeft ontwikkeld, bestond reeds een stelsel van gewone afvoerrivieren

turbaties van de bedding door veranderingen van het bovendebiet zullen zich echter voornamelijk in het bovenuiteinde van het tijgebied doen gevoelen, waar dit bovendebiet betrekkelijk groot is ten opzichte van de tijstromen. In het benedengedeelte, waar het bovendebiet minimeel wordt ten opzichte van vloed en eb, zal men hiervan wel niet veel bemerken.

Sommigen menen een verband te zien tussen de vorming van de drempel te Bath en de schommelingen van het bovendebiet. Deze drempel zou zich voordoen bij een belangrijke aangroei van het bovendebiet en de daarmee gepaard gaande uitschuring der bedding in het bovenuiteinde van de stroom.

In het bestek van deze voordracht kan hierop niet verder worden ingegaan. Nochtans weze aangestipt, dat nog andere factoren dan wel het bovendebiet het verschijnen van deze drempel, die het gevolg is van een verplaatsing der stromingen, kunnen veroorzaken, zoals b.v. de windinvloed.

De toestand te Bath is trouwens uiterst instabiel. Het hoofdvaarwater maakt hier een zeer scherpe bocht, die voortdurend gevaar loopt afgesneden te worden door een uitbreiding van de Schaar van de Noord.

met betrekkelijk klein debiet, waarvan het tracé in grote lijnen overeenstemde met dit van de huidige rivieren.

Dit bekken is in verbinding gekomen met de Noordzee, vooreerst langs de Ooster-Schelde, later langs de Westerschelde, ten gevolge van twee met elkander in verband staande omstandigheden: geleidelijke daling van het land ten opzichte van de zee, waardoor uitgestrekte overstromingsmogelijkheden ontstonden; aangroei van de amplitude van het getij der Noordzee, die ten slotte geleid heeft tot doorbraak der beschermende duinenrij en tot invasie van het getij.

Wanneer de zee in verbinding komt met een nauwe rivier, waarvan de oevers merkkelijk lager liggen dan hoogwaterpeil, ontstaan in deze rivier zeer sterke stromingen, welke de bedding gaan uitschuren. Deze stromingen komen niet zozeer voort uit het vullen en ledigen der bedding zelf, dan wel uit het vullen en ledigen der uitgestrekte zijdelingse bergingsgebieden.

Het mechanisme der uitschuring is dan als volgt. Bij opkomende tij schuurt de machtige vloedstroom, die de overstromingsgebieden gaat vullen, de bedding uit en zet zijn uitschuringsproducten af op deze overstromingsgebieden. Het bij eb terugvloeiende water gaat opnieuw de bedding uitschuren, maar voert de hiervan voortkomende materialen zeewaarts.

Naarmate de uitschuring vordert en de zijdelingse overstromingsgebieden allengs worden opgevuld, gaat de tijgolf in het zich vormende estuaire minder gedempt worden en zich verder stroomopwaarts uitbreiden. Hierbij speelt ook het bovendebiet een zeer voorname rol door het bovenuiteinde van het tijgebied van aanzanding vrij te houden.

Volgens deze opvatting wordt de vorming en de uitbreiding van een machtige tijrivier zoals de Zee-Schelde hoofdzakelijk in de hand gewerkt door de aanwezigheid van een voldoende uitgestrekt overstromingsgebied. En dit in dubbel opzicht. Enerzijds geeft deze bergcapaciteit aanleiding tot sterke stromingen. Anderzijds biedt dit bergingsgebied veel plaats voor het afzetten van de materialen. Hierdoor wordt het tijdstip, waarop door opvulling der oevers de rivier zichzelf haar definitieve begrenzing zal gegeven hebben en verdere uitbreiding uitgesloten is, zover mogelijk in de toekomst verlegd.

In verband hiermede kan van de Zee-Schelde gezegd worden, dat zij zich in een der laatste stadia van zulke evolutie bevindt. Dat deze evolutie reeds sinds meer dan 10 eeuwen aan de gang is, kan o.i. worden toegeschreven aan de grote bergingsreserves, die de Schelde, onder meer op de Westerschelde en ook opwaarts Antwerpen, heeft bezeten, en ook aan het feit, dat de omstandigheden welke aanleiding hebben gegeven aan haar ontstaan — aangroei van het getij op de Noordzee, daling van de bodem, vergroting van het opperdebiet — nog steeds, zij het met verminderde intensiteit, blijven voortduren.

INVLOED VAN INDIJKINGEN OP DE WESTERSCHELDE.

Beschouwen we nu, aan de hand van voorgaande uiteenzetting betreffende het regime der Schelde, een der meestbesproken vraagstukken, die de leefbaarheid van deze stroom aanbelangen, namelijk de opportuniteit van het uitvoeren van indijkingswerken op de Westerschelde.

Sedert de laatste 50 jaar neemt men op de Westerschelde een merkkelijke vermindering der breedten bij hoogwater waar, vooral in het gedeelte gaande van Hansweert tot Lillo. In hoeverre deze vernauwing kunstmatig werd bekomen, dan wel aan de natuurlijke evolutie van de stroom kan worden toegeschreven, is moeilijk uit te maken. Waarschijnlijk is hieraan de afdamming van de Ooster-Schelde te Bath niet vreemd. Gedeeltelijk zal deze aanslijking ook wel kunnen voortvloeiën uit de natuurlijke neiging der rivier haar hoogwateroevers te vernauwen. Ten slotte is er nog de algemene neiging tot regularisatie, eigen aan de vormingsperiode van een rivier, waardoor te grote breedten worden verminderd, te kleine breedten worden vergroot enz.

Vergelijking tussen vroeger en nu toont ook plaatselijke verruimingen van de laagwatergeul, die niet erg belangrijk zijn. Deze verruiming kan misschien met de aanslijking der oevers in verband worden gebracht. Maar ook weer andere factoren kunnen daarop hun invloed hebben uit-

geoevend: de verhoging der tijamplitude te Vlissingen, misschien in zekere mate ook de aangroei van het bovendebiet, de daling van de bodem en ten slotte, en niet in het minst, de regelmatig uitgevoerde onderhoudsbaggerwerken.

De toestand is dus uiterst ingewikkeld en het is bijna niet doenbaar, juist uit te maken welk verband er tussen al deze factoren en de vormverandering der bedding bestaat.

De grootste relatieve breedtevermindering vindt men in het vak tussen Bath en Lillo; tussen de perioden 1888-1895 en 1921-1930 verminderde de gemiddelde breedte bij hoogwater hier van 4006 m tot 2796 m, hetzij met 1210 m of 33 % (*).

Wanneer men nu het onmiddellijk afwaarts gelegen pand Hansweert-Bath beschouwt, bemerkt men, dat aldaar de laagwatersectie niet vergroot is, zoals meer afwaarts wel het geval is, en de gemiddelde diepte bij laagwater zelfs belangrijk is verminderd.

Uit de vergelijking van deze cijfers kan men afleiden, dat spijts de gunstige invloeden van getijversterking op zee, aangroei van bovendebiet, bodemdaling en baggerwerken, een belangrijke vermindering van kombergingsvermogen in een bepaald vak, de toestand in het onmiddellijk afwaarts gelegen vak geenszins verbetert, maar eerder iets verslechtert.

Nu zou men, van Nederlandse zijde, deze vermindering van kombergingsvermogen op de Wester-Schelde nog verder willen doordrijven, nl. door het indijken van het uitgestrekte "Verdronken Land van Saaftinge", waarvan de oppervlakte ongeveer 2000 ha en het bergingsvermogen ongeveer 30 000 000 m³ bedraagt, hetzij ongeveer 30 % van het totale bergingsvermogen der Belgische Schelde opwaarts Lillo.

Men kan door berekening enigszins nagaan, welke de onmiddellijke invloed van zulke indijking op het getij zal zijn. Als voorlopige uitslag kan men het volgende aanstippen: a) verhoging van het hoogwaterpeil met ongeveer 10 cm te Bath en vervroeging van het hoogwater aldaar met 5 à 10 minuten; b) geen verandering bij laagwater; c) opwaarts de indijking een lichte vergroting der debieten, in verband met de vergroting van amplitude; d) afwaarts de indijking een vermindering der debieten, die bijzonder belangrijk is onmiddellijk afwaarts de indijking en rond 10 % kan bedragen.

Zo er dus opwaarts een lichte verbetering, met als gevolg misschien enige uitschuring, kan aangestipt worden, is er afwaarts betrekkelijk veel aanzanding te vrezen, welke na verloop van tijd de verbetering opwaarts kan te niet doen.

Hoewel wegens de op het ogenblik nog voortdurende verbetering der grensvoorwaarden zulke indijking in den beginne misschien weinig of geen voelbare verslechting zou teweegbrengen, zijn de mogelijke gevolgen op lange termijn te belangrijk om zonder nadere studie tot zulke belangrijke wijziging der Wester-Schelde over te gaan.

Enkel indien men met zekerheid zou weten, dat de Schelde automatisch naar een blijvende evenwichtstoestand streeft, zou aan indijking kunnen gedacht worden; maar in dit geval kan men evengoed wachten tot de rivier zelf voor volledige ophoging harer schorgebieden heeft gezorgd.

In het tegenovergestelde geval, zo men aanneemt dat de rivier, na een periode van uitbreiding dank zij de aanwezigheid van voldoende bergingsreserves, ten slotte een periode van teruggang tegemoet gaat, is het vanzelfsprekend, dat in geen geval tot indijking mag worden besloten.

In verband met wat hoger werd gezegd betreffende de invloed van vernauwing op het tijverloop, weze het volgende aangestipt. Te Vlissingen is tussen 1888 en 1895 en 1921 en 1930 H.W. met 14 cm gestegen, L.W. met 6 cm. Te Lillo bedroeg deze stijging voor H.W. 21 cm en voor L.W. 6 cm. De laagwaterverhoudingen zijn dus op de Wester-Schelde, globaal genomen, onveranderd gebleven, wat op een stationnaire toestand wijst, dan wanneer men

zich aan een verbetering mocht verwachten. Hoogwaterpeil vertoont te Lillo een abnormale verhoging van 7 cm, welke echter volledig overeenstemt met wat door berekening uit de vermindering van kombergingsvermogen Bath-Lillo zou kunnen afgeleid worden.

Ook de vergelijking der voortplantingssnelheden leidt tot dezelfde conclusies: L.W. heeft nu 2 h 11 min nodig om Lillo te bereiken en deed het vroeger in 2 h 10 min; hoogwater legde de afstand vroeger in 2 h 3 min af, maar doet het nu veel vlugger, nl. in 1 h 54 min.

DE TOESTAND OP DE BELGISCHE SCHELDE.

Op Belgische bodem kan het Scheldebekken gesplitst worden in twee gebieden. Enerzijds het betrekkelijk diepe pand, dat zich uitstrekt van de grens tot aan de monding van de Rupel te Hingene; anderzijds het complex van aan tij onderhevige rivieren opwaarts Hingene, gevormd door de Zee-Schelde tot Gentbrugge en haar bijrivieren Rupel en Durme met hun vertakkingen.

Het eerste gedeelte vormt een betrekkelijk nauwe "toelaat" tot het tweede. Dit "kombergingsgebied" opwaarts Hingene vertoont inderdaad nog betrekkelijk grote debieten en de dijken waren er nog niet lang geleden (en nu nog op sommige plaatsen) betrekkelijk zwak, zodat er zich vooral bij stormtij talrijke en langdurige overstromingen voordeden.

Deze verhouding van nauwe toelaat tot belangrijk kombergingsgebied komt ten andere tot uiting in de geometrische lijn der hoogwaterstanden, die voorbij Hingene een diepe "kuil" vertoont.

Gelet op het feit dat de getijverhoudingen op zee nog steeds in de gunstige richting verlopen en dat ook op gebied van opperwater in het kombergingsgebied nog steeds enige verbetering is waar te nemen, zou men zich redelijkerwijze aan een merkelijke uitschuring der bedding in de toelaat tussen de grens en Hingene mogen verwachten. Nu is er wel enige verbetering te bemerken, vooral tussen de grens en Antwerpen, maar deze moet hoofdzakelijk worden toegeschreven aan het feit, dat hier tamelijk intensief gebaggerd wordt.

Dit baggeren levert voor het ogenblik geen onoverkomelijk bezwaar. Nochtans is het van groot belang te belletten, dat het te baggeren volume in de toekomst nog zou aangroeien.

Hiervoor is nodig, dat de verhoudingen in de Wester-Schelde niet zouden verslechteren, waarvoor gevaar zou kunnen ontstaan door ondoordachte indijkingen.

Maar ook in het kombergingsgebied opwaarts Hingene moet ernaar gestreefd worden de bestaande toestand te behouden of te verbeteren.

Vergelijking tussen vroeger en nu toont, dat hier de toestand enigszins verbeterd is (vergroting van bergcapaciteit), maar weer niet in verhouding tot de verbetering der grensvoorwaarden. Vooral wanneer men zich op het o.i. enigszins overdreven standpunt plaatst, dat de opperaanvoer de doorslaggevende factor zou zijn bij vorming en onderhoud der rivier, is de evolutie hier weinig hoopgevend. Inderdaad is de totale capaciteit opwaarts Hingene met ongeveer 10 % vergroot, wat ongeveer klopt met de plaatselijke vergroting der tijamplitude, dan wanneer het bovendebiet ongeveer verdubbeld is. Dat zulke grote toename van bovendebiet weinig of geen invloed heeft gehad, zal wel voor een groot deel voortvloeien uit het feit, dat de tijgolf, hoewel enigermate versterkt door de toename van amplitude, minder gunstig is op gebied van vorm. Het tijverloop is inderdaad meer en meer dissymmetrisch geworden, mede door de breedtevermindering op de Wester-Schelde, waardoor het transporterend vermogen van de vloed toegenomen is ten opzichte van de eb. Om deze vergrote neiging tot aanzanding opwaarts tegen te gaan, is dan ook nu meer bovendebiet nodig dan vroeger.

Het behoud of de vergroting van het kombergingsvermogen opwaarts Antwerpen is terecht steeds een der grootste bekommernissen geweest van de betrokken diensten. In dit opzicht werden vroeger tal van verbeteringswerken uitgevoerd, waarvan sommige waarschijnlijk gunstig, andere misschien ongunstig hebben gewerkt. Met zekerheid kan men de resultaten echter niet beoordelen, daar het moeilijk te bepalen is, welke de evolutie van de stroom zou zijn geweest zonder deze werken.

(*) Voor de vergelijking tussen vroeger en nu, wordt enerzijds de periode 1888-1895, anderzijds 1921-1930 genomen, omdat hiervoor tamelijk juiste cijfers voorhanden zijn, te vinden in de studiën van PIERROT-VAN BRABANDT en BONNET-BLOCKMANS.

Dat in sommige gevallen de resultaten die men verwachtte niet werden bereikt, is hieraan toe te schrijven, dat van een algemeen programma bij gebrek aan middelen slechts een gedeelte kon worden uitgevoerd, of ook dat het vereiste tempo en de nodige continuïteit van uitvoering niet konden worden bereikt.

Het zou ons te ver leiden deze werken hier uitvoerig te behandelen; daarom zullen wij er ons toe beperken een der karakteristiekste gevallen te bespreken, namelijk de verbeteringswerken der Durme.

Deze rivier heeft niet veel belang op gebied van scheepvaart; zij is echter op theoretisch gebied zeer interessant. Zij is een bijna zuiver maritieme rivier, waar de verhoudingen tussen bovendebiet en tijstromingen van dezelfde orde van grootte zijn als op de Zee-Schelde. De hier opgedane ervaringen tonen, hoe moeilijk het is de aanzandingen in zulke rivier in te tomen, eens dat zij begonnen zijn.

De moeilijkheden met de Durme vinden voor een groot gedeelte hun oorzaak in het graven van het kanaal Gent-Terneuzen, waardoor een belangrijk gedeelte van het stroomgebied werd afgesneden. Hierdoor werd het bovendebiet gevoelig verminderd en moest er dus wel enige aanzanding ontstaan.

Vanaf het einde der vorige eeuw vorderde de aanzanding in steeds sneller tempo, wat duidelijk tot uiting komt in de evolutie der laagwaterstanden in de opeenvolgende tienjaarlijkse tijdperken. Vanaf de periode 1881-1895 stijgen deze laagwaterstanden te Daknam achtereenvolgens met 1 cm, daarna met 7 cm, daarna met 14 cm en uiteindelijk met 26 cm per tienjaarlijkse periode.

Deze bijna geometrische aangroei van het aanzandings-tempo kan op de volgende wijze verklaard worden. Een belangrijk gedeelte van het opperdebiet der Durme, evenals trouwens van de meeste tijrivieren, wordt geleverd door de afwatering der polders. Deze afwatering, die voornamelijk intens is rond laagwater, wordt des te moeilijker, naarmate de rivier aanzandt en het laagwaterpeil stijgt. Hierdoor wordt dan weer het rivierdebiet verminderd, waaruit dan ten slotte nog vluggere aanzanding voortvloeit.

Toen ten slotte in de jaren '30 de aanzanding reeds ongeveer 5 cm per jaar bedroeg, werd tot het uitvoeren van verbeteringswerken besloten.

Met deze werken werd het volgende beoogd:

- de macht van de tijgolf in zulke mate versterken, dat deze grotendeels voor het onderhoud van de nieuwe bedding zou kunnen instaan;
- tegelijkertijd het bovendebiet vergroten door de laagwaterstanden te doen dalen en aldus de afwatering van het stroomgebied te verbeteren.

De uitgevoerde werken bestonden in het rechtekken van sommige bochten en in een algemene uitbaggering; hiervan werd verwacht een betere voortplanting van het getij, grotere amplituden en lager laagwater.

De uitslagen beantwoordden evenwel niet aan de verwachtingen. Na een aanvankelijke verbetering is de aanzanding reeds vlug herbegonnen, in zulke mate dat op het ogenblik de toestand bijna even slecht en op sommige plaatsen zelfs slechter is dan vroeger.

Dit resultaat kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan het feit, dat de rivier opwaarts de bochtafsnijdingen wel verdiept, maar niet verbreed wordt. Door het afsnijden der bochten komt het riviergedeelte opwaarts de rechtekking ongeveer 2,3 km dichter bij de monding. Zo nu de rivier in dit opwaarts gedeelte niet verbreed wordt, ten einde de breedten te verwezenlijken die vroeger op dezelfde afstand van de monding bestonden, dan bewerkt men in feite een vermindering van capaciteit, welke niet door de verdieping der bedding kan worden goedge maakt.

Deze principiefout is ten andere weer te vinden bij de opvatting van sommige andere werken, onder andere de kalibreringswerken in het bovendebiet der Zee-Schelde en op de Beneden-Dijle.

Zonder in nadere bijzonderheden te treden kan men dezelfde fout weervinden bij het ontwerp van de zogenaamde "Grote Coupure" nabij Antwerpen, ontwerp dat op het einde van de vorige eeuw veel inkt heeft doen vloeien en dat gelukkig niet uitgevoerd werd.

De mislukking van vele der vroeger uitgevoerde werken is trouwens begrijpelijk, wanneer men er rekening mede

houdt, dat te dien tijde eerder op kwalitatieve en empirische wijze moest worden te werk gegaan bij het opstellen der verbeteringsprogramma's.

Verbetering ener tijrivier kan in principe geschieden ofwel door te verdiepen (betere toelaat) ofwel door te verbreden (waardoor de kombergingsvergroot); beide werkwijzen, of een combinatie hiervan, zijn kwalitatief gezien evenwaardig. Het is slechts door grondige berekeningen of door modelproeven uit te maken, welke de juiste oplossing is. Daar deze hulpmiddelen vroeger niet, of niet in voldoende mate aanwezig waren, is het niet te verwonderen, dat de verwachtingen in vele gevallen bedrogen werden. Deze opmerking geldt voornamelijk voor zuiver maritieme rivieren, zoals de Schelde, en minder voor tijrivieren met groot bovendebiet, waar de klassieke methoden gewoonlijk betere uitslagen geven.

SAMENVATTING EN BESLUIT.

De eventuele verbetering of het behoud van de bestaande toestand op gebied van bevaarbaarheid der Schelde is in hoofdzaak een getijprobleem.

Op een maritieme rivier bestaat er voortdurend wisselwerking tussen het tijregime en de bedding.

Deze wisselwerking, waarbij vervorming der bedding tot wijziging der stromingen en deze wijzigingen weer tot nieuwe vervormingen leiden, kan a priori in twee richtingen verlopen:

- ofwel naar een stabiele evenwichtstoestand;
- ofwel, na een periode van bloei, naar geleidelijke aanzanding.

Het zou gevaarlijk zijn de eerste mogelijkheid als vaststaand te aanzien; voorzichtigheidshalve zou eerder van de tweede veronderstelling dienen uitgegaan te worden om de maatregelen te bestuderen, die voor het behoud van de stroom dienen genomen te worden.

Dat deze tweede mogelijkheid niet uitgesloten is (een illustratie hiervan is trouwens de aanzanding van het Zwin), volgt uit twee eigenschappen van het fluviaal tijregime:

1) Dat aanzanding van het bovengedeelte moet optreden, wanneer er geen voldoende bovendebiet aanwezig is. Het voorbeeld van de Durme toont, dat zulke aanzanding, eens begonnen, steeds intensiever wordt, naarmate de laagwaterstanden stijgen en de afwatering van het stroomgebied verslecht.

2) Dat een tijrivier steeds de neiging bezit zelf haar oevers te vernauwen.

De tweede factor kan in verband gebracht worden met de historische evolutie van het tijregime, wanneer men aanneemt, dat een maritieme rivier ontstaat door overstroming van het land door de zee, waarbij een geul wordt uitgediept, en de nevenliggende overstromingsgebieden geleidelijk door de vloedafzettingen worden aangevuld.

Van dit standpunt uit is het duidelijk, dat indijkingen, b.v. op de Wester-Schelde, uit den boze zijn, en namelijk om twee redenen: enerzijds verlies aan kombergingsvermogen, waardoor de stromingen in sterkte verminderen; anderzijds vermindering van beschikbare oppervlakte voor het neerzetten van de door de vloed aangevoerde materialen.

Bij de vergelijking van de huidige toestand met deze 50 jaar geleden, dient er op gelet, dat de evolutie van de grensvoorwaarden — getijamplitude op zee, bovendebiet — nog steeds in gunstige richting verloopt.

Hiermede rekening gehouden dient er op gewezen, dat de bedding van de stroom in verhouding niet verbeterd is, en op sommige plaatsen zelfs verslecht, dit niettegenstaande voortdurend baggeren. Wel zijn de getijamplituden op vele plaatsen vergroot, maar de vorm van het getijverloop is ongunstiger geworden. Het aanzandingsgevaar in het bovengedeelte van de stroom is hierdoor vergroot, zodat nu een veel groter bovendebiet vereist is dan vroeger, om de toestand enigszins meester te blijven.

Het is dan ook van het grootste belang de evolutie van het tijregime en van de bedding met de meeste waakzaamheid te volgen en tegelijkertijd de theoretische studie, zowel door berekeningen als door modelstudie, verder uit te diepen, opdat men ten gepasten tijde de nodige maatregelen zou kunnen treffen voor het behoud van de Schelde.