

ONTSTAAN EN ONTWIKKELING VAN DE WESTERSCHELDE

Ir. I. COEN

Hoofdingenieur-Directeur van Bruggen en Wegen
Ministerie van Openbare Werken - Waterbouwkundig Laboratorium

The West and East Scheldt came into existence during the Dunkerke transgressions of the North Sea. By an age-long erosive process, deep ebb and flow channels were formed in the sandy bottom, with intermediate bars and shoals.

To protect the adjacent land against floods, dikes were build along the banks, starting at about the 10th century.

Until the 15th century most of the sea-going vessels from and to Antwerp sailed by the East Scheldt. Since the 16th century however, the navigation was more and more concentrated in the West

Scheldt, because of his progressive deepening. The two estuaries were completely separated in the 19th century.

The evolution of the hydraulic regime can be roughly reproduced for Antwerp, and used as an indicator for the whole of the West Scheldt.

In the last decades some regulation works, but mainly the dredging works on the bars in the ebb channels and the dumping of the dredged material in the flow channels, have contributed to the maintenance of a continuous and stable navigation channel.

1. INLEIDING

Sedert haar ontstaan heeft de Westerschelde een merkwaardige ontwikkeling ondergaan, die in grote lijnen kan geschetst worden aan de hand van historische, geologische en geografische bevindingen.

Deze ontwikkeling werd veroorzaakt door de Duinkerkaanse zeetransgressies die de estuaria van Ooster- en Westerschelde tot stand brachten. De aanvankelijk vanaf Zandvliet in noordelijke richting stromende Schelde werd, eerst via de Oosterschelde en later via de Westerschelde afgebogen, met verlanding van de noordelijke loop.

In de zandige bodem hebben de eb- en vloedstromen diepe sporen nagelaten met vorming van ebgeulen en vloedscharen met tussenliggende zandplaten. Door deze eeuwenlange eroderende werking werden de Westerschelde en het opwaarts gelegen getijgebied (Zeeschelde) voortdurend verbreed en verdiept en blijven onder invloed van de wisselende stromingen nog steeds aan verandering onderhevig.

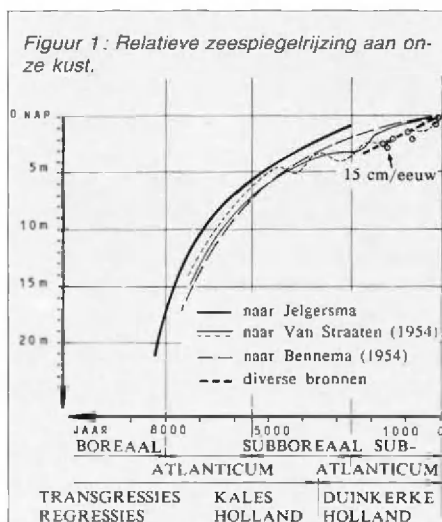
De bedijkingen, die werden uitgevoerd om het langs de oevers gelegen land tegen overstromingen te beveiligen, hebben de ontwikkeling in de goede richting gestuurd. De laatste decennia hebben de baggerwerken op de drempels in de ebgeul en het speciestorten in de vloedscharen belangrijk bijgedragen tot het behoud van een stabiele en veilige vaargeul.

Hierna volgt een zeer beknopt overzicht van de algemene ontwikkeling van de Westerschelde, die vele onbekende aspecten vertoont.

2. ONTSTAAN EN VROEGE ONTWIKKELING VAN DE SCHELDEESTUARIA

Sedert het einde van het Würmglaciaal is het zeepeil voortdurend gestegen. Uit onderzoeken naar de ouderdom van oude veenlagen met de radio-koolstofmethode werd ondermeer door J. Bennema en S. Jelgersma een vrijwel continue zeespiegelrijzing aan onze kusten aangetoond, die aanvankelijk snel verliep om later veel trager te verlopen (zie figuur 1).

De periode, die voor de estuariaontwikke-



ling van bijzonder belang is, omvat de voorbije 2000 jaar. De opvatting dat in deze periode het gemiddeld zeepeil weinig of niet veranderde kan in vraag gesteld worden. De waarnemingen aan onze kust tonen een relatieve stijging aan van 15 à 20 cm per

eeuw sedert het begin van de waarnemingen (2de helft 19de eeuw).

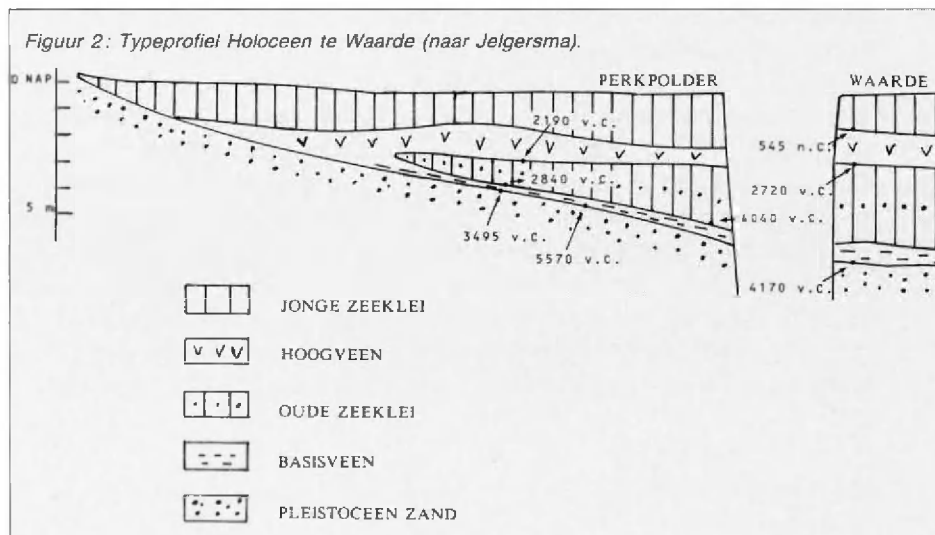
Mogelijke verlopen van de relatieve rijzing die langs verschillende benaderingen werden verkregen, zijn op de figuur 1 weergegeven.

De zeetransgressies deden zich voor tijdens het in geologische termen genoemde Holoceen, volgend op het Pleistoceen.

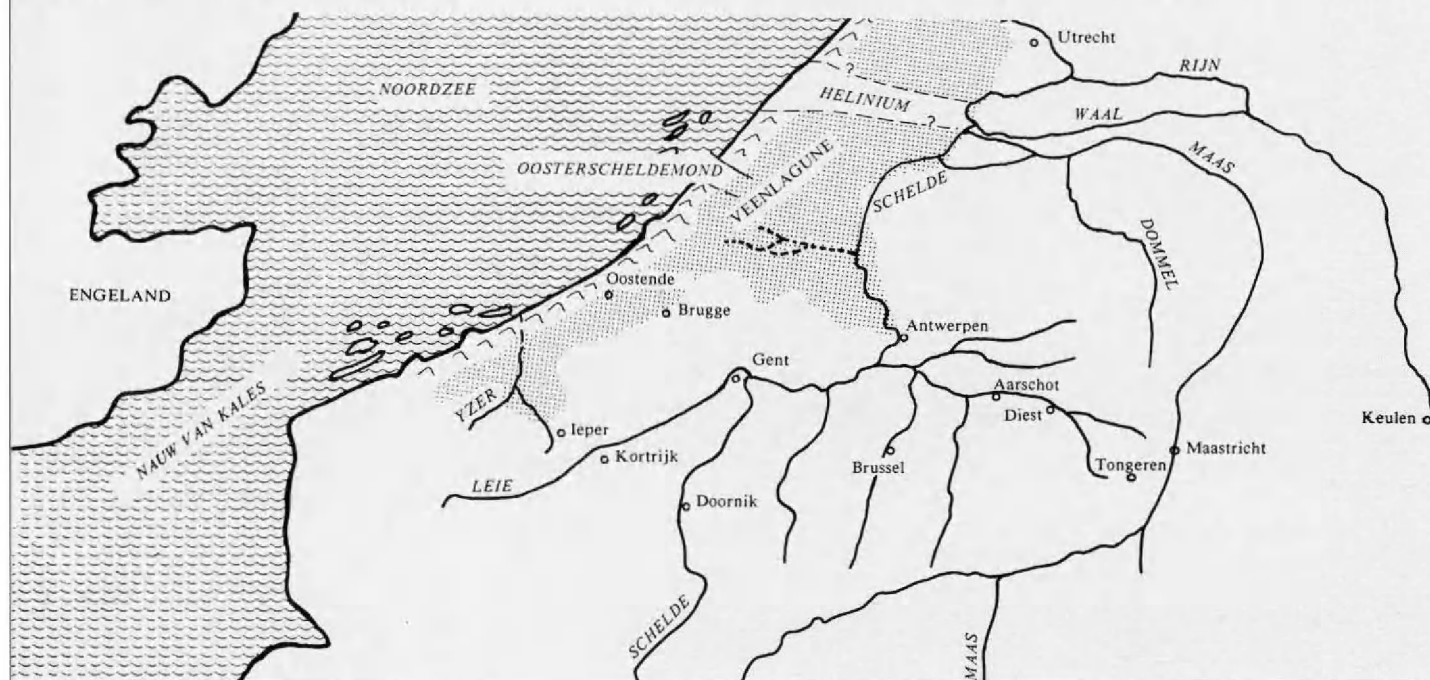
Op het einde van laatstgenoemde periode lag het zuidelijk deel van de huidige Noordzee droog. Engeland was door een landbrug met het vasteland verbonden, Maas, Schelde en Theems vloeiden samen met de Rijn en vormden een delta ter hoogte van de Doggersbank.

De wind had vrij spel op de kale zandige bodem en bedekte het land met een laag fijn zand: de Pleistocene dekzanden.

De verschillende zeetransgressies verlegden de kustlijn aanzienlijk landwaarts, overstromden de naar het noorden en noordwesten afhellende rivierenvallei en vulden ze in opeenvolgende fasen met alluvium. Nadat het grondwaterpeil voldoende gestegen was vormde zich veen (aanvankelijk brakwaterveen van riet, later zoetwatergebonden moerasveen en zelfs bosveen) op



Figuur 3: Vermoedelijke situatie Romeinse Tijd.



de pleistocene zandbodem van de valleien: het basisveen. De verdere transgressies verdrongen het basisveen en bedekten het met dikke lagen zeekleiafzettingen: de 'oude' getijafzettingen (Kales - Holland). Het basisveen werd hierdoor samengeperst.

Tijdens een regressieve fase werd opnieuw veen - het hoogveen - gevormd dat tenslotte door de Duinkerkeaanse transgressies overstroomd werd en vervolgens afgedekt met 'jonge' zeekleiafzettingen. De figuur 2 toont een typeprofiel van deze geologische opbouw dwars over de Westerschelde te Waarde.

Het is vermoedelijk omstreeks 5000 jaar v.C. dat het Nauw van Kales doorgang verleende aan zuid-noord gerichte getijstromingen in de Noordzee en hierdoor ook het getijbeeld grondig gewijzigd werd, met verstrekende gevolgen voor onze kusten. Door de stromingen werd zand aangevoerd in noordelijke richting langsheen de kust, met vorming van zandbanken. Golfslag en wind werkten samen tot vorming van een zogenoemde strandwal, met onder water bankvorming en boven water duinvorming. De strandwal werd onderbroken door de rivieruitmondingen en vertoonde ook doorbraken van de zee uit. Nadat de zee vat kreeg op het achtergelegen land werd een lagunair gebied gevormd met de kenmerken van een waddenzee, waarin zeeklei werd afgezet.

De lokale doorbraken resulteerden uiteindelijk in het tot stand komen van tijeulen en estuaria in het mondingsgebied van Rijn en Maas. Deze estuaria maakten de voorbije eeuwen een diepgaande ontwikkeling door en veranderden grondig het karakter van de erin uitmondende rivieren, zoals de Schelde.

Transgressieperioden wisselden dus af met regressieperioden. Voor onbedijkt land wijst dit eerder op een bepaalde toestand van de

beschermende strandwal - of deze namelijk sterk aangetast was, of niet - en niet noodzakelijk op een fluctuatie van het gemiddeld zeepeil.

Rond het begin van onze tijdrekening, tijdens de Duinkerke I - transgressie, mondde, volgens een vermelding bij Julius Caesar (33 v.C.), de Schelde niet rechtstreeks in de Noordzee uit, maar wel in de Maas. Vanaf Zandvliet vloede de Schelde vermoedelijk via Kreekkrak, Eendracht en Striene naar de Maas in de omgeving van Strienemonde. In 73 n.C. maakt Plinius gewag van het Helinium als gemeenschappelijke uitmonding van Rijn en Maas. De estuaria Ooster- en Westerschelde waren dan blijkbaar nog niet gevormd, de Oosterscheldemond tussen Walcheren en Schouwen vermoedelijk wel. De situatie kan men zich dan voorstellen zoals op de figuur 3 werd geschilderd.

Ter hoogte van de huidige Westerschelde situeerde zich dan vermoedelijk een krekensysteem dat in oostelijke richting naar de Schelde afvloede met uitmonding te Hontemuiden.

Vanaf ongeveer 300 n.C. kreeg de zee meer en meer invloed op het achter de kustwal gelegen gebied (Snacken).

In de 6e eeuw komt tijdens Duinkerke II de Oosterschelde tot ontwikkeling, waarin de Schelde dan een nieuwe afvloeiing vond. De vorming van de Zeeuwse eilanden is overigens vermoedelijk begonnen door inbraken en geulvorming vanuit het noorden. Of het estuarium van de Honte (later Westerschelde) in de 6e eeuw reeds permanent en duidelijk in verbinding stond met de Schelde te Zandvliet is een open vraag. Volgens Cambier zijn het Zwin en de Westerscheldemond ontstaan in de loop der 4e eeuw. Blanchard toonde aan dat in het begin van de 5e eeuw de vorming van de Westvlaamse kustpolders een aanvang nam.

Tegen het jaar 700 was volgens Nijhoff de verlegging van de uitmonding van de Schelde naar de Oosterschelde een voldongen feit.

Na lange tijd was ook de Honte voldoende in capaciteit toegenomen om via het bestaande krekensysteem de Schelde te bereiken. De erosiebasis werd dus verlegd, eerst via de Oosterschelde, later via de Westerschelde. Het uiteindelijk evenwicht van de Westerschelde is te verklaren door de bijzondere tijomstandigheden aan de kust: hogere hoogwaterstanden en lagere laagwaterstanden in de Westerschelde - dan in de Oosterscheldemond.

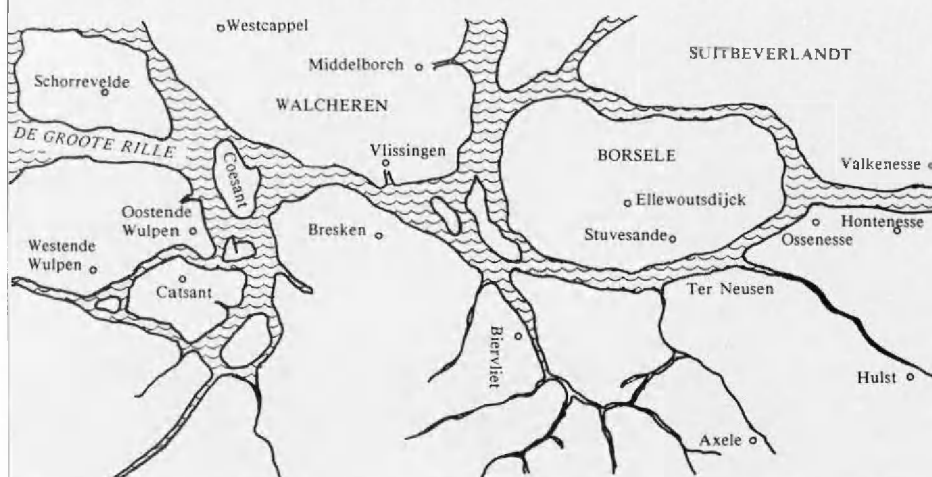
De aftapping door de Westerschelde volgde vermoedelijk na de 8e eeuw. Jelgersma stelde overigens vast dat omstreeks het jaar 500 te Waarde een einde kwam aan de veengroei door bedekking ervan met jonge zeeklei.

Volgens Snacken moet de ontwikkeling van de Westerschelde tot een werkelijk estuarium zich tussen 1000 en 1200, tijdens de Duinkerke III transgressie voorgedaan hebben. Hij wijst ook op een aantal in de Pleistocene zandbodem gevormde evenwijdige stuifzandruggen van het zuid-westen naar het noord-oosten gericht, met een verharde kern die de vrije meandering verhinderden en de Schelde dwongen van het ene naar het andere doorgangspunt te stromen.

De stuifzandrug die van Hulst over het land van Saeftinge naar Ossendrecht - Woensdrecht liep speelde een belangrijke rol in de ontwikkeling. Volgens K. Brand waren in het Westerscheldegebied ten westen ervan gelegen, de mariene invloeden reeds vroeg (500 à 700) merkbaar. In het gebied ten oosten ervan, voornamelijk in het Land van Saeftinge is de veengroei tot ver na 700 doorgedaan.

In de 12e - 13e eeuw vertoonde de Westerschelde een volkomen estuariumkarakter

Figuur 4: De Honte omstreeks 1300 (naar Ortelius, 1592).



Figuur 5: Zeeland omstreeks 1300 (naar Beekman, 1932).



De Dampierrekaart van Ortelius toont de eilanden Schorrevelde en Coesant in de monding, aanzienlijk minder breedte in de monding ter hoogte van Vlissingen maar ook meer naar opwaarts toe dan in latere tijden; Stuyvesande nog niet verdronken; geen werkelijke estuariumvorm; het Zwin goed ontwikkeld, de Braakman nauwelijks gevormd (zie figuur 4).

De reconstructie voor 1300 (Beekman 1932) geeft een enigszins ander beeld (zie figuur 5): alleen Coesant en Wulpen als eilanden resten in de monding; estuarium gevormd; nauwe geul in het opwaarts gedeelte; Land van Saeftinge en Stuyvesande niet verdronken; vrij smalle gestrekte geul tussen Bath en Saeftinge. Volgens deze reconstructie waren in 1300 de bedijkingen aangelegd van Vlissingen tot Zandvliet.

Uit de 15e eeuw stamt een kaart van de loop van de Schelde van Vlissingen tot Rupelmonde. Ze hoort bij een charter uit 1469 van Karel de Stoute over de tolheffingen op de Scheldevaart.

Men kan er geen duidelijk beeld over de vormgeving van de Westerschelde van afleiden (figuur 6).

3. ONTWIKKELING VAN DE 16e EEUW TOT 1800

Het is slechts vanaf de 16e eeuw dat op terreinmetingen gebaseerde en betrouwbare geografische kaarten werden gemaakt. Ze geven informatie over de algemene vormgeving in plattegrond van de Westerschelde. Een hydrografische betekenis hebben ze verder niet. Als voorbeelden van de 16e eeuwse cartografie kan men vermelden: de kaarten van J. Van Deventer, G. Mercator, C. Sgrooten, G. de Jode. De kaart van Van Deventer, daterende van 1545, is de oudste.

Uit de 17e eeuw zijn vooral de kaarten van W. Blaeu, C.J. Visscher, A.G. Verbist, H. Hondius en J. Janssonius bekend.

Voor de 18e eeuw zijn de kaarten van I. Tirion (1747), de Hattinga's (2e helft 18e

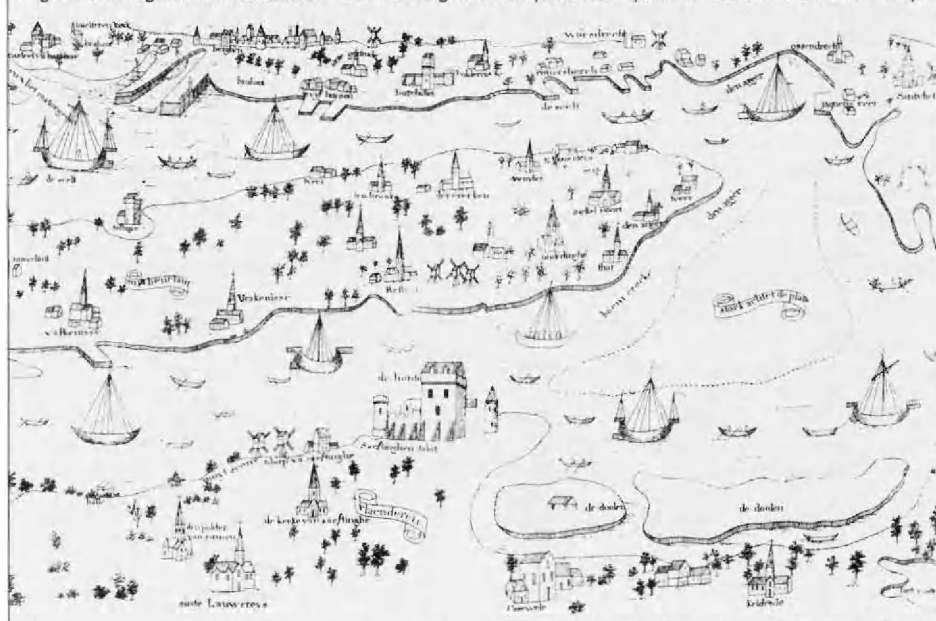
want volgens oude kronieken wordt de Honte te Ossenisse in 1183 en te Saeftinge in 1280 'de zee' geheten (Waterschoot).

Tegen het stijgende waterpeil aan de kust en langs de Schelde en Honte werden wellicht ter bescherming van het aangrenzende land tegen overstromingen. Deze zeedijken werden in de loop der eeuwen verhoogd en versterkt en moesten na doorbraken door stormvloeduren voortdurend hersteld worden.

Waar de dagelijkse laagwaterstanden voldoende laag waren om de afwatering te kunnen verzekeren werden de aan de rivier grenzende landen ingepolderd, langzaam maar zeker sedert de 13e eeuw, op grote schaal vanaf de 14e-15e eeuw.

Van de vroege ontwikkeling van de Westerschelde werd gepoogd reconstructies te maken, zoals deze van Utrecht Dresselhuis (1836), de toestand weergevend van rond 1200, of deze van Ortelius (1592) en van Van Thuyne (1617) voor de toestand rond 1300. In hoeverre ze met de werkelijkheid overeenstemmen is niet volkomen duidelijk.

Figuur 6: Fragment kaart Schelde van Vlissingen tot Rupelmonde (Charter Karel de Stoute, 1469).



eeuw) S. Van der Loef en B. Cau (zeekaart van 1774) te vermelden.

Van het kaartenmateriaal kan men afleiden dat het Westerscheldeestuarium globaal genomen in de 16e eeuw gevormd was, de noordelijke loop van de Schelde naar de Oosterschelde sedert 1300 in belangrijkheid was afgenomen, dat bepaalde oevergelanden sedertdien verdrongen en/of weggeërodeerd zijn: bijvoorbeeld Saeftinghe, definitief verdrongen in 1570, Stuyvesande (bij Van Deventer als geïnundeerd gebied aangegeven). In het mondingsgebied was in de 16e eeuw nog een eilandenrest namelijk Wulpen overgebleven.

Anderzijds zijn ook zekere geulen sedert de 16e eeuw aangezand en werden grote schorgebieden ingedijkt en dus op het water herwonnen. Voorbeelden hiervan zijn het Sloe, de Agger, Borssele, Hontenisse en vooral de Braakman die na vorming in de 13e eeuw, slechts door bedijkningen die zich uitstrekten over eeuwen kon ingepolderd worden. Hetzelfde geldt voor het Sloe. De inpoldering van Borssele dateert van 1616. Een groot gebied gelegen tussen Rilland en Reijmerswaal in Zuid Beveland, was in 1545 (kaart Van Deventer) overstroomd.

De Westerschelde was tussen Saeftinghe en Bath nog aanzienlijk minder breed. Het uitbochten van de rivier was ook veel minder uitgesproken dan tegenwoordig.

Uit de 16e eeuw dateren ook enkele Zeevaartkaarten van het mondingsgebied zoals deze van L.J. Waghenauer (anno 1584) waarop ook dieptepeilingen worden aangegeven (figuur 7).

Deze kaarten laten toe te besluiten dat sedert de 16e eeuw het mondingsgebied van de Westerschelde verbreed en verdiept is en dat eilandenresten sedertdien door de stromingen werden geërodeerd.

Vanaf de 17e eeuw werden ook om militaire redenen grote gebieden kunstmatig geïnundeerd. Op de kaart van Janssonius (1635) zijn bijvoorbeeld de polders ten noorden van Antwerpen tot Zandvliet met het geulen- en krekennet en de Kruispolder te Hulst, als geïnundeerde gebieden aangegeven.

De kunstmatige overstromingen van gebieden die soms slechts vele tientallen jaren later opnieuw werden ingedijkt hebben de ontwikkeling van de Schelde beïnvloed door het in standhouden van krombergingsgebieden die uiteindelijk minstens de lokale erosie van geulen bevorderden en de tijdebieten vergroot hebben.

4. ONTWIKKELING SEDERT 1800

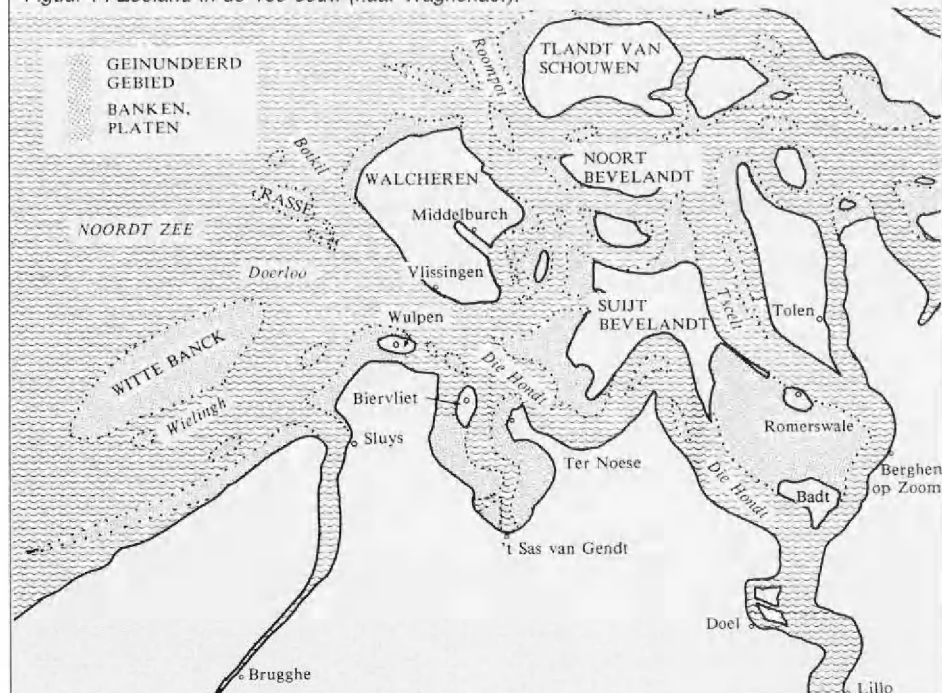
Sedert 1800 beschikt men over nauwkeurige hydrografische kaarten van de Schelde. De eerste hydrografische kaart is deze van Beauteemps - Beaupré. De opnamen dateren van 1799 - 1800 (figuur 8).

Deze kaart vertoont voor het eerst de bodemsituatie van de Westerschelde. Sedert deze opname werden steeds meer systematische peilingen verricht en in kaart gebracht, waardoor een nauwkeuriger inzicht in de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde mogelijk is geworden.

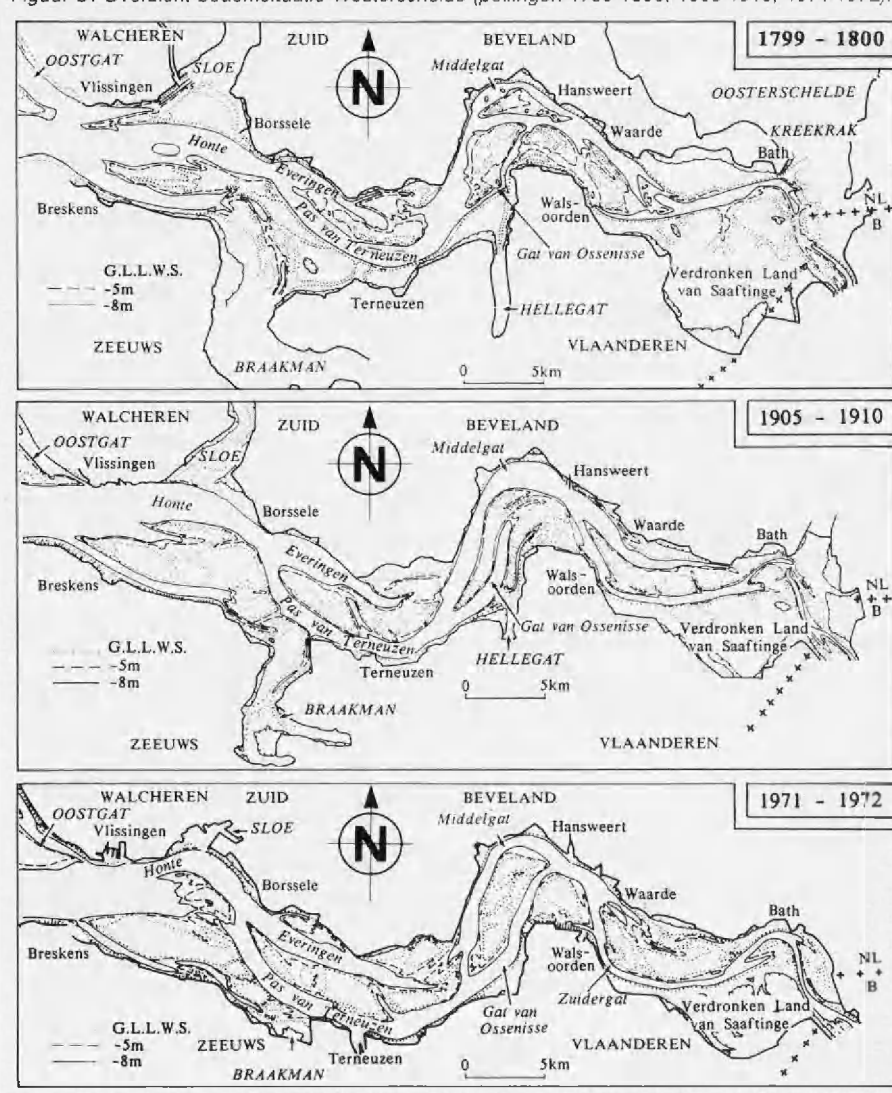
Een overzicht van enkele kaarten illustreert dit (figuur 8).

De kaart van Beauteemps - Beaupré toont aan dat door de Braakman in 1800 nog een

Figuur 7: Zeeland in de 16e eeuw (naar Waghenauer).



Figuur 8: Overzicht bodemsituatie Westerschelde (peilingen 1799-1800, 1905-1910, 1971-1972).



belangrijke afvoergeul in de Schelde onderhouden werd en dat de scheepvaart naar Gent via deze geul naar Sas van Gent verliep. De Braakman werd, gedeeltelijk medio 19e eeuw, en volledig in 1952 ingedijkt. De ebgeul afwaarts Terneuzen (Pas van Terneuzen) onderging hierdoor, sedert 1850, belangrijke wijzigingen en werd over een 2-tal km naar afwaarts verlegd.

In 1867 werden voor de aanleg van de spoorweglijn Zuid Beveland - Walcheren het Sloe en de Kreekrak, die reeds aanzienlijk waren aangezand, afgedamd.

In het algemeen valt er sedert 1800 een grotere accentuering van de bochten waar te nemen, de ebgeulen lopen dichter tegen de oevers. De ontwikkeling van nieuwe geulen en de achteruitgang of het verleggen van andere kunnen via de peilingen aangetoond worden. Het Gat van Ossensisse destijds een vrij onbelangrijke vloedgeul, werd na 1970 officieel hoofdvaarwater.

Door het baggeren van de drempels in de ebgeul en het storten van de baggerspecie in de vloedscharen, werd sedert de laatste decennia de vaargeul meer gestabiliseerd en in de diepere ebgeul geconcentreerd. In dit verband is het merkwaardig verschil tussen de estuaria van Ooster- en Westerschelde op te merken: de Oosterschelde vertoont een verwilderd geulenpatroon, de Westerschelde daarentegen een goed ontwikkelde doorlopende diepe ebgeul en een regelmatige opvolging van de ondiepere vloedscharen.

5. DE SCHELDE ALS SCHEEPVAARTWEG

De ontwikkeling van de Schelde als scheepvaartweg kan onrechtstreeks gevolgd worden via de geschiedenis van het tolwezen op de Zeeuwse wateren zoals door ondermeer Waterschoot beschreven werd. Tot aan de 13e eeuw was de Honte van weinig betekenis voor de zeevaart of voor de vaart op de Maas- en Rijnlanden. De tol werd te Yersekeroord (Oosterschelde) geheven. Van zodra op de Honte enige zeevaart van betekenis voorkwam, werd de heffing tot deze vaargeul uitgebreid. In 1276 wordt melding gemaakt van een wacht te Hontemuiden en in 1331 van een toluhuis te Vlissingen. De tolheffing was toen echter op de Honte nog ondergeschikt aan deze te Yersekeroord.

Verliep de zeescheepvaart naar Antwerpen gedurende enkele eeuwen hoofdzakelijk langs de Oosterschelde, dan moet men op grond van een vonnis van het Hof van Mechelen onder Jacoba van Beieren (1400-1436) aannemen dat in het begin van de 15e eeuw de Honte ten gevolge van merkelijke verdiepingen, als scheepvaartweg intensiever in gebruik werd genomen. Ook uit het charter van Karel de Stoute van 1469 blijkt dat de Honte beter bevaarbaar was geworden dan voorheen voor de grootste schepen uit die tijd.

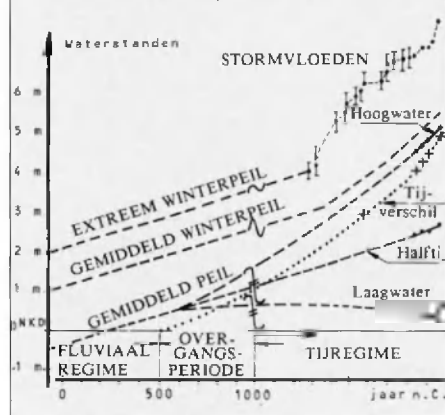
Vanaf de 16e eeuw verliep de zeescheepvaart naar Antwerpen meer en meer via de Westerschelde. In de 20e eeuw kon, door gepaste baggerprogramma's, wat het tracé betreft, de vaargeul voor de huidige superzeeschepen verdiept en verbeterd worden.

6. ONTWIKKELING VAN HET HYDRAULISCH REGIME

Schematisch kan men, wat het hydraulisch regime betreft, voor de Zeeschelde drie perioden onderscheiden: een fluviale, met seizoengebonden afvoer, die te Antwerpen eindigt rond de 5e-6e eeuw; een overgangperiode naar tijregime tussen de 6e en 10e eeuw; een periode van tijregime, met verdere ontwikkeling naar het huidige regime vanaf de 10e eeuw.

Een mogelijk verloop van de waterstanden en tijverschillen met de tijd is voor Antwerpen op de figuur 9 weergegeven. De schematische reconstructie voor Antwerpen kan als indicator gelden voor de ontwikkeling van de Westerschelde.

Figuur 9: Reconstructie waterstanden en tijverschillen te Antwerpen.



Stormvloedstanden kunnen bepaald worden sedert de 13e eeuw. Van eeuw tot eeuw werden steeds opnieuw de recordhoogten overschreden. Te Antwerpen van $\pm 4,00$ m in de 13e eeuw tot 7,85 m in 1953 boven het nulvlak.

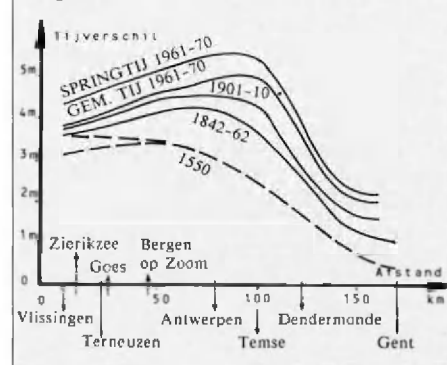
De stormvloeden hebben een belangrijke rol gespeeld bij het ontstaan en de ontwikkeling van de Westerschelde. Vermoedelijk in de 14e eeuw, maar ook in het begin van de 15e eeuw werd het mondinggebied verruimd tijdens een periode van frequente stormvloeden. Vooral in de 16e eeuw hebben een opeenvolging van zware stormvloeden het estuarium van aanzien veranderd en de capaciteit vergroot. Stormvloeden braken de strandwal open, verdiepten en verbreedden de monding, vergrooten de komberging. De algemene erosie van het estuarium moet evenwel in de eerste plaats toegeschreven worden aan de dagelijkse getijstroomingen.

Door de bedijkingen ter vrijwaring tegen overstromingen, verhoogden de waterstanden, verhangen en watersnelheden en dus ook de zandtransporten en erosie. In langzinn kan men het tijverschillenverloop voorstellen zoals op de figuur 10.

De tijdebieten evolueerden zodanig dat ze thans de bovendeelten volledig overheersen, van een 100% invloed van het boven-debiet tijdens de fluviale periode blijven er thans nog slechts een paar procenten (± 100 m³/s tegen 4500 m³/s voor Antwerpen).

De stroomsnelheden in de fluviale Schelde

Figuur 10: Tijverschillenverloop Schelde in langszin.



bereikten gemiddeld wellicht 0,30 m/s, terwijl thans gemiddelde snelheden van 0,65 m/s te Antwerpen worden waargenomen. De toename van de gemiddelde snelheden geeft een verklaring voor de merkwaardige erosie van de Scheldebedding, daar de zandtransporten zich verhouden tot de vierde macht van de watersnelheden en de 'evenwichtssecties' tot de derde macht ervan.

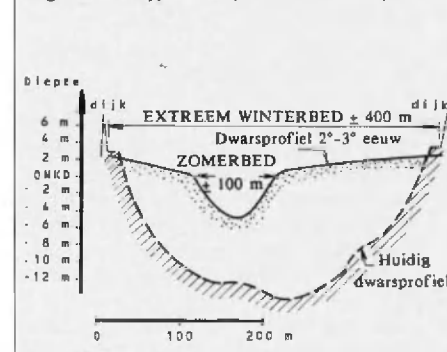
Zie ter vergelijking dwarsprofielen te Antwerpen (figuur 11).

Sedert de laatste 100 jaar is het gemiddeld zeepeil te Vlissingen met 22 cm gestegen, het tijverschil met 14 cm. In de Westerschelde zelf blijkt, dat relatief ten opzichte van Vlissingen, de hoogwaters een geringe (naar het oosten toenemende) stijging vertonen en de laagwaters een analoge geringe daling. De tijverschillen nemen dus toe. Verder naar opwaarts toe is vooral de laagwaterdaling en de tijverschilverhoging meer uitgesproken. Deze trend is sedert 1970 toegezien.

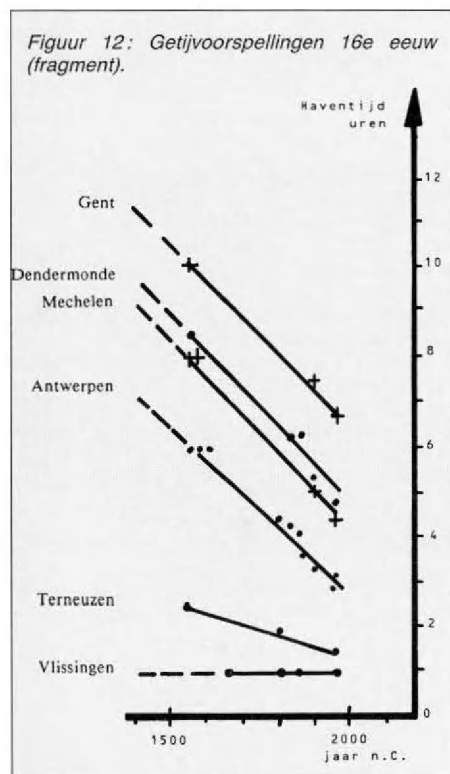
Een parameter die toelaat de ontwikkeling van de voortplanting van het getij te volgen is de haventijd, waarmee hier bedoeld wordt het tijdsverschil tussen de meridiaandoorgang van de maan bij nieuwe of volle maan en het eerstvolgend hoogwater in de beschouwde plaats.

Sedert eeuwen heeft men voor voorspellingen van hoogwatertijdstippen ten behoeve van de scheepvaart gebruik gemaakt van haventijden. In de 16e eeuw was het gebruik van de haventijden zeer algemeen in de scheepvaart om de hoog- en laagwatertijdstippen te voorspellen. In handleidingen

Figuur 11: Typedwarsprofielen Antwerpen.



voor de zeevaart, en op de oude zeekaarten, in historische werken (bijv. Guicciardini's 'Beschrijvinghe van alle de Nederlande' (1567)) en sedert 1556 ook in almanakken vindt men ze terug. Een almanak van 1556 onder andere geeft voorspellingen van Rembert Dodoens (de beroemde plantenkundige) voor 9 havens. Voor Antwerpen worden dagelijkse hoogwatertijdstippen aangegeven op derde delen van een uur na. De oudste 'tijboekjes' dateren blijkbaar dus uit de 16e eeuw (figuur 12).

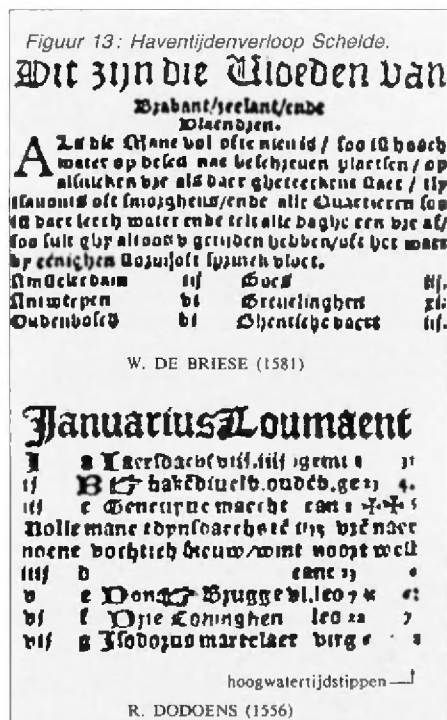


Aan de kust zijn de haventijden onveranderd gebleven. Te Terneuzen liepen ze sedert de 16e eeuw met ongeveer 1 uur terug. Te Antwerpen en opwaarts ervan verschillen ze ongeveer 3 uur met de tegenwoordige (figuur 13).

Dit wijst erop dat sedert de 16e eeuw de voortplantingssnelheid van de tijgolf aanzienlijk is toegenomen in het riviergedeelte afwaarts Antwerpen en veel minder in het opwaarts gedeelte. De voortschrijdende verdieping van de Westerschelde, vermindering van de kombergingsmogelijkheden (o.a. de Braakman) en vooral de langzame verlanding van belangrijke zijgeulen (Sloen en Agger) zijn hieraan niet vreemd.

7. SLOTBESCHOUWINGEN

In de loop der voorbije eeuwen heeft de Westerschelde een voor de scheepvaart zeer voordelige ontwikkeling ondergaan, ingezet door zuiver natuurlijke oorzaken (zeetransgressies) maar door menselijke ingrepen uiteindelijk in de goede richting gestuurd. Door de bedijkingen werden de zijdelingse kombergingsmogelijkheden bevestigd wat tot stijging van de tijverschillen, verhangen en snelheden leidde. Dit resul-



teerde in een eeuwenlang proces van geulverdieping en verruiming over het volledig estuarium.

Bepaalde normalisatiewerken (leidammen, oeververdediging, afdammen van geulen, ...) maar vooral de baggerwerken der laatste decennia op de drempels en het storten van de baggerspecie in de vloedscharen hebben de rivier behoorlijk genormaliseerd en een stabiele vaargeul gecreëerd, met een voldoening gevend tracé in plattegrond, met

veilige diepten en stromingen, een regelmatige opvolging van de vloedscharen en een continu doorlopende ebgeul. De snelle voortplanting van het getij vanaf de monding, met naar opwaarts toe stijgende tijverschillen, verzekert bij vloed voldoende komberging, zodat tijdens de ebstroom het schurend vermogen maximaal benut wordt. Het erosiemechanisme waarvoor het getij als een werkelijke motor fungeert is blijkbaar al vele eeuwen draaiende. Zolang in het mondingsgebied geen drastische stroomwijzigingen aanleiding geven tot belangrijke aanzandingen die het vrij binnendringen van het getij zouden bemoeilijken, is er gewettigde hoop dat deze motor zal blijven draaien. Achteruitgang van de volledige zeearm is zeker op kortere termijn niet te verwachten. Lokale aanzandingen zijn geen maatstaf voor de ontwikkeling van het estuarium in zijn geheel gezien.

Op lange termijn beschouwd zijn begrippen als evenwichtstoestand of frequenties van waterstanden moeilijk definieerbaar. Voor de stormvloed met name blijkt de frequentie van voorkomen een uitgesproken dynamische en tijdsafhankelijke grootte te zijn. Hiermede moet bij het uitwerken van projecten op lange termijn rekening gehouden worden.

De complexe morfologische en hydraulische verschijnselen die bij de ontwikkeling van een estuarium als de Westerschelde optreden werden gedurende de voorbije decennia met behulp van fysische en mathematische modellen steeds diepgaander bestudeerd. Talrijke studies werden ondermeer op diverse modellen in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout onderzocht (figuur 14).

Figuur 14: Getijmodel Westerschelde Waterbouwkundig Laboratorium - Zicht vanaf Zandvliet naar afwaarts.



Er kan hier niet nader ingegaan worden op deze technieken, alleen enkele voorbeelden van modelstudies ter illustratie: inkorting van het Oude Hoofd van Walsoorden, het Leidammenproject, waarvan uiteindelijk de leidammen der Ballastplaat en Oude Doel werden gerealiseerd, de bochtafsnijding bij Bath, diverse toegangseuilen naar sluizen (bijv. Zandvliet, Berendrecht, Terneuzen, Baalhoek, Kallo, Hingene, vaste oeververbinding). De fysische modellen bieden de mogelijkheid de zandbewegingen en morfologische veranderingen na te bootsen en de gevolgen van geplande normalisatiewerken te bestuderen.

Met mathematische modellen werden voornamelijk getijberekeningen verricht o.a. voor de stormvloedkering te Oosterweel, voor waterkwaliteitsonderzoek, voor het 48/43 voet verdiepingsprogramma. Voor de beschrijving van de aanzandings- en erosieverschijnselen is men aangewezen op semi-empirische relaties. Stabiliteitscriteria voor de geulprofielen zijn hierbij essentieel. Het is duidelijk dat met de moderne meet- en studiemogelijkheden eventuele nadelige evoluties vlug onderkend en bestudeerd kunnen worden en door gepaste maatregelen kunnen worden tegengegaan. De ontwikkeling van de Westerschelde die

mede door menselijke beïnvloeding in de hand werd gewerkt en in een bepaalde richting werd gestuurd, kan aldus in de toekomst blijvend beheerd en beheerst worden.

ir. I. COEN
Ministerie van Openbare Werken
Bestuur der Waterwegen
Waterbouwkundig Laboratorium
Berchemlei 115
2200 Borgerhout - Antwerpen

LITERATUUR

ASAERT G. De Antwerpse Scheepvaart in de XV^e eeuw (1394-1480). Verh. Kon. Acad. Lett. en Sch. Kunsten van België. 1973.
BEEKMAN A. Nederland als Polderland. Zutphen 1932.
BRAND K. Over het ontstaan van het Oost Zeeuws Vlaamse Polderland. Zeeuws Tijdschrift nr. 6 - 1978.
BLANCHARD R. La Flandre - Etude géographique de la Plaine Flamand en France, Belgique et Hollande. 1906. Paris.
BOSSU J. Vlaanderen in Oude Kaarten. Drie eeuwen Cartografie. Lannoo, Tielt/Bussum (1983).
DE LANGHE J. De oorsprong der Vlaamsche Kustvlakte - 1939.
EDELMAN T. Bodemdaling en zeespiegelrijzing. Land en Water. Juni 1959.

GERNEZ D. Les indications relatives aux marées dans les anciens livres de mer. Extr. Arch. Intern. d'Hist. Sc. n° 7, 1949.
GERRITSEN F. EN DE JONG H. Stabiliteit van doorstroomprofielen in de Westerschelde. Rijkswaterstaat - november 1983.
GITTENBERGER F., WEISS H. Zeeland in Oude Kaarten. Lannoo, Tielt/Bussum (1983).
GOTTSCALK M. Historische geografie van Westelijk Zeeuws Vlaanderen I en II.
GUICCIARDINI L. Beschrijvinghe van alle de Nederlande (Kiliaanvertaling 1612).
HAENECOUR R. Etude sur la formation de l'Escaut maritime et des rivières à marée de Belgique. Leur entretien et leur amélioration. Ann. Trav. Publ. Belg. 1944.
JELGERSMA S. Holocene sea level changes in the Netherlands. Med. Geol. Sticht. Maastricht 1961.
MIJS M. De landschapsgeschiedenis van de Scheldepolders ten Noorden van Antwerpen.

Tijdschr. Belg. Ver. Aandr. Studies 1973.
NIJHOFF G. Schets van de ontwikkeling der Schelde. s' Gravenhage 1930-31.
SNACKEN F. De ontwikkeling van het Scheldepolderlandschap. Verslagboek Vierde Internationaal Havencongres Antwerpen 1964 (K.V.I.V.).
STESSELS M. Mémoire sur les marées de l'Escaut. Ann. Trav. Publ. Belg. 1863-64.
STRUBBE J. De Belgische Zeehavens erfgoed voor morgen. Lannoo, Tielt (1987).
UTRECHT DRESSELHUIS J. De Provincie Zeeland, in hare aloude gesteldheid en geregelde vorming beschouwd. Middelburg 1836.
VAN VEEN J. Eb- en vloedsechaarsystemen in de Nederlandse getijwateren (1950).
VAN VEEN J. Onderzoekingen in de Hoofden.
WATERSCHOOT M. De Vlaamsche Kustvlakte. 1939.
WOLTERS Mémoire sur le projet de diminuer les inondations de l'Escaut, de la Lys et de la Durme. 1844.