

Over de invloed van de neerslag op de waterstanden in het Scheldebekken

DOOR

J. VERLOOY,

Lic. sc.

(Avec résumé français)

UITTREKSEL VAN HET
TIJDSCHRIFT DER OPENBARE WERKEN VAN BELGIE
JUNI 1947

BRUSSEL
AD. GOEMAERE, DRUKKER DES KONINGS, UITGEVER
21, Grensstraat

1947

Over de invloed van de neerslag op de waterstanden in het Scheldebekken.

J. VERLOOY,

Lic. sc.

A. — Inleiding.

1. — In verband met het in het « Tijdschrift der Openbare Werken van België », Augustus 1946, verschenen verslag: *Tienjarig Overzicht 1931-1940 der Tijwaarnemingen in het Scheldebekken*, van de hand van Ir. R. VEKEMANS, meen ik het nodig enkele aanmerkingen te maken op het hoofdstuk waar de invloed onderzocht wordt van het opperwater op de waterstanden in het Scheldebekken.

De schrijver van het verslag komt na een wiskundig onderzoek, dat gesteund is op de correlatietheorie, tot het besluit dat het opperwater zijn invloed doet gelden tot een punt gelegen tussen Dendermonde en Temsche.

Andere onderzoekers komen tot een ander besluit. In het « Tijdschrift der Openbare Werken van België », 1945, n^{rs} 4 en 5 is een verhandeling opgenomen van de hand van R. HAENECOUR: *Le Problème d'Hydraulique de l'Escaut Maritime*, waarin deze schrijft: « L'onde marée fluviale est donc fonction du débit supérieur, ce qui met à néant la négation de l'influence de celui-ci dans la partie aval du fleuve. » Verder noteren we van de hand van A. STESSELS, in de nog ééntalige « Annales des Travaux Publics de Belgique », 1872, Tome XXIX, het verslag: *Discussion des observations de la marée et de ses effets dans l'Escaut* », waarin we aanstippen: « L'effet des pluies ou des retenues des eaux à Gand, cesse donc son action sur la grandeur des marées, un peu en aval d'Anvers. »

Al deze tegenstrijdigheden in acht genomen, is het wel de moeite waard, het probleem eens nader te onderzoeken.

2. — Het bewijs dat Ir. Vekemans geeft verloopt als volgt:

Hij onderstelt vooreerst, dat een wijziging in het opperdebiet een wijziging in dezelfde zin voor gevolg heeft van het laag- en hoogwaterpeil. Deze verandering vindt men dus ook uitgedrukt in de halftijhoogte. Bij de berekening worden dan vergeleken:

y = de halftijhoogte in cm.;

x = het bovendebiet in m³/sec.

Daar men over twee y -waarden beschikt per dag, tegenover slechts één x -waarde, wordt die x -waarde met beide y -waarden vergeleken.

We kunnen schrijven: $y = f(x, z, \dots)$

waar z een veranderlijke is afhankelijk van de tijdbeweging.

De belangstelling draagt slechts op de afhankelijkheid van y met x , welke ook de verhoudingen wezen van y met de overige veranderlijken.

De afhankelijkheid van y met x wordt gegeven door:

$$d^2xy = 1 - \frac{E^4xy}{E^2xx \cdot E^2yy} \quad (1)$$

waar d^2xy een afwisselende waarde is, tussen 0 voor een lineaire afhankelijkheid, en 1 voor onafhankelijkheid.

Gevonden wordt dan:

a) Te Temsche: $d^2xy = 0,91$

Hetgeen bewijst dat de waterstand te Temsche practisch onafhankelijk is van de bovenafvoer.

b) Te Dendermonde: $d^2xy = 0,38$

Hetgeen bewijst dat de waterstand te Dendermonde sterk afhankelijk is van de bovenafvoer.

Het globale besluit is, dat het opperwater zijn invloed op de waterstanden doet gelden tot een punt gelegen tussen Dendermonde en Temsche.

Tot daar *grosso modo* het bewijs gegeven door Ir. Vekemans.

3. — Omtrent de wiskundige methode, die bij voorgaand bewijs werd gebruikt en ook op de manier waarop ze werd gebruikt, kunnen wel enkele opmerkingen gemaakt worden, die aan de bekomen resultaten een heel ander beeld geven.

Van verschillende zijden werd er reeds gewezen op het gevaar dat schuilt in de correlatietheorie, en niet zonder reden.

De formule (1) is afkomstig uit het werk: « Calcul des Probabilités », door P. Van Deuren. Deze formule is dezelfde als de volgende, die meer expliciet is:

$$r = \frac{\Sigma (x - a) (x - b)}{[\Sigma (x - a)^2 \cdot \Sigma (x - b)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

met $a = \frac{\Sigma x}{n}$ en $b = \frac{\Sigma y}{n}$ waarbij $d^2xy = 1 - r^2$.

r wordt correlatiecoëfficiënt genoemd.

$r = 1$ geeft een lineair verband.

$r = 0$ geeft geen verband.

De werkelijkheid echter van correlatie of verband, hangt niet direct af van de waarde van r . Wanneer r groot is, dan betekent dit dat er werkelijk correlatie is. Wanneer echter r klein is en tot 0 nadert, kan er nog werkelijk correlatie zijn, die verborgen wordt door accidentele fouten en ook omdat het mogelijk is dat er een kromlijnige correlatie bestaat, die r insgelijks tot nul brengt, zelfs wanneer er een functionaal verband bestaat (bv. het sinusoidaal verband).

Men is dan ook tot het besluit gekomen, dat de absolute waarde van r , meer een maat van betrouwbaarheid is van de lineaire correlatie in een gegeven stel waarnemingen.

Verder begaat Ir. Vekemans de vergissing, van uit de bekomen resultaten een besluit te trekken, dat door die resultaten niet gedekt is.

Om een juister inzicht in het probleem te krijgen, zullen we even nagaan welke de factoren zijn, die de halftijhoogte $y = f(x, z, \dots)$ bepalen. We kunnen stellen dat:

$$y = y_1 + y_2 + y_3 \quad (3)$$

De factoren y_1 zijn van astronomischen aard. Ze oefenen hun invloed niet rechtstreeks uit. Periodiek veranderen zij de amplitude van de tijgolf, amplitude die op hare beurt de watervoorraad van het Scheldebekken doet veranderen. We mogen aannemen dat de verandering van de watervoorraad (en dus van de halftijhoogte) evenredig is met de watervoorraad, die oorzaak is van het lager liggen van doodtijlaagwater dan springtijlaagwater in het bovengedeelte van de stroom.

We kunnen dus stellen: $y_1 = \sum A_i \sin n_i t$

Deze sinusoidale veranderlijken, een twintigtal, zijn invloeden door zon en maan veroorzaakt. De perioden van deze veranderlijken zijn zeer verschillend, er zijn er die kleiner zijn dan een dag, doch er zijn er ook met een periode van een halve maand, een maand, een half jaar, een jaar en de grootste met een periode van 18 1/2 jaar.

Van deze veranderlijken met lange periode, heeft de veertiendaagse in het Scheldebekken de grootste invloed.

y_2 geeft de verandering weer die door het opperwater wordt teweeggebracht. Dit opperwater wordt aangegeven door x (aantal m³/sec.). De verandering y_2 is dus een functie van x , en daar x een functie is van de tijd, mogen we schrijven: $y_2 = f[x(t)]$

De veranderlijke y_3 is van meteorologische aard. Bij deze studie mogen we ze verwaarlozen. Haar invloed, die tamelijk onregelmatig is, kan evenwel zeer groot worden bij stormvloeden, die de watervoorraad in het bekken belangrijk doen toenemen.

De formule (3) wordt dan :

$$y = \sum A_i \sin n_i t + f [x (t)] \quad (4)$$

We mogen aannemen dat de verandering door het opperwater aan de halftijhoogte teweeggebracht recht evenredig is met de hoeveelheid opperwater, of dat : $f [x (t)] = a x$

Stellen we verder : $\sum A_i \sin n_i t = \mu$

dan wordt (4) : $y = a x + \mu$ (5)

In de practijk beschikken we over een gegeven stel corresponderende waarden x en y . Om een lineair verband tussen deze waarden op te sporen, maakt men gebruik van de correlatietheorie en berekent men de waarde r (2). Om deze formule (2) te bewijzen, vertrekt men in de theorie van de vergelijking $y = ax$. Hier echter hebben we te doen met een betrekking $y = ax + \mu$, waarbij μ geen constante doch een veranderlijke is. De vraag rijst : welk is de invloed van de waarde μ op de correlatiecoëfficiënt.

Uit de betrekking (5) volgt : $\mu = y - ax$

Stellen we nu door S_μ , S_x en S_y de gemiddelde kwadratische afwijking voor van μ , x , y , dan kunnen we schrijven :

$$S_\mu^2 = \frac{\sum \mu^2}{n} = \frac{\sum y^2 + a^2 \sum x^2 - 2 a \sum xy^2}{n} = S_y^2 + a^2 S_x^2 - \frac{2 a \sum xy}{n} \quad (6)$$

Nu is : $r = \frac{\sum xy}{[\sum x^2 \cdot \sum y^2]^{\frac{1}{2}}} = \frac{\sum xy}{n S_x S_y}$ (7)

Verder kan men met de methode der kleinste kwadraten a bepalen :

$$a = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{\sum xy}{n S_x^2} \quad (8)$$

(7) en (8) geeft : $a = r \frac{S_y}{S_x}$ (9)

Uit (6), (7) en (9) volgt : $r^2 = 1 - \frac{S_\mu^2}{S_y^2}$ (10)

Deze formule laat zien welke de invloed is van μ op de bepaling van r . Indien S_μ^2 van de grootteorde van S_y^2 is, dan nadert r tot nul, zelfs indien er een verband tussen y en x bestaat.

De verandering μ der halftijhoogte, die van astronomische oorsprong is, is tamelijk groot en is bijzonder in het maritiem gedeelte van de stroom nagenoeg gelijk aan de verandering van de halftijhoogte y . In het maritiem gedeelte van de stroom is dus

$$S_\mu^2 \cong S_y^2 \quad \text{of} \quad r \cong 0.$$

Ons besluit is, dat in het maritiem gedeelte van de stroom, de waarde van r op een dergelijke wijze berekend geen criterium is voor het aanwijzen van het niet-bestaan van een invloed van het opperwater. Zelfs indien de waarde van r wijst op het niet-bestaan van een verband tussen x en y , dan is het toch nog mogelijk dat er tussen x en y een afhankelijkheid bestaat.

Hierin ligt trouwens de fout die Ir. Vekemans begaat bij de formulering van het correlatietheorema: hij gebruikt foutief het woord onafhankelijk, daar waar moest staan: geen verband. Van Deuren, in zijn hogervernoemd werk, legt hierop zelfs de nadruk, wanneer hij na het formuleren van de stelling: « Lorsque l'indice $d^2 xy$ est égal à un, les deux variables x et y sont conjuguées », er onmiddellijk aan toevoegt: « En principe, le fait que deux variables x et y sont conjuguées, n'implique pas qu'elles soient indépendantes. » In bijzondere gevallen kan, mits er voldaan is aan een bijkomende voorwaarde, gesproken worden van onafhankelijkheid, doch dit is hier niet het geval.

Verder is het geheel onbegrijpelijk, waarom er aan het einde van het bewijs nog een uitbreiding aan de gevolgtrekkingen wordt gegeven. Daar waar sprake is van het punt G, snijpunt der gemiddelde geometrische laagwaterlijnen van spring- en doodtij, volgt het besluit: « In het eigenlijk maritiem gebied hebben opperwater en watervoorraad practisch geen invloed op de waterstanden. Hoe het « niet invloed hebben op de waterstanden » van de watervoorraad bewezen wordt is niet vermeld.

B. — De invloed van het opperwater en de watervoorraad op de waterstanden.

1. — Uit wat voorafgaat kan men besluiten dat, om de invloed van het opperwater op de waterstanden te bepalen, op een andere wijze dient te werk gegaan.

Wanneer men opnieuw gebruik wil maken van de correlatietheorie, dan moet men de veranderlijke μ uit de vergelijking (5) trachten te herleiden tot een constante waarde. Deze methode zal de systematische fout van μ op r uitschakelen, daar bij een constante waarde van μ , $S^2_{\mu} = 0$ zal zijn (de accidentele fouten buiten beschouwing gelaten). Het herleiden van μ tot een constante waarde is mogelijk, wanneer men over enige stellen waarden μ_i beschikt, zodanig dat voor elk stel waar-

$\frac{\sum \mu_i}{n} = c^{te}$. Voor X en Y neemt men dan bij de berekening van r ,

de gemiddelden der aan de μ_i 's corresponderende waarden van x en y :

$$X = \frac{\sum x}{n} \quad Y = \frac{\sum y}{n}$$

en de vergelijking tussen X en Y wordt dan: $Y = aX + c^{to}$.

Onder deze voorwaarden zal er geen derde veranderlijke meer zijn, die een storende invloed op de berekening van r kan uitoefenen, afgezien weer van de accidentele fouten.

De waarden μ_i veranderen ten opzichte van hun gemiddelde waarde op een nagenoeg sinusoïdale wijze. Op een volledige periode heeft men dus $\sum \mu_i = 0$. Daar men echter verschillende sinusoïdale veranderlijken heeft die μ bepalen, zou men van al de perioden van deze veranderlijken het kleinste gemeen veelvoud moeten nemen. Dit geeft echter dat voor X- en Y-waarden een gemiddelde der x - en y -waarden zou moeten genomen worden over een periode van 18 1/2 jaar. Met een dergelijke grote periode zouden slechts weinig X- en Y-waarden voor de berekening van r beschikbaar zijn. Daarom werden bij de berekeningen die volgen, voor X en Y gemiddelde waarden van x en y genomen over een periode van één jaar, dit is de tweede langste periode.

Dit geeft wel een groot aantal waarden voor X en Y, doch deze zijn niet allen bruikbaar, daar er andere moeilijkheden zijn die een dispersie veroorzaken, die men niet over het hoofd mag zien, daar ze aan r weer een verkeerd beeld geven.

Deze moeilijkheden spruiten voort uit:

a) de verbeteringswerken aan de Schelde uitgevoerd, die na een groot tijdsinterval de voortplanting der tijgolf sterk beïnvloed hebben en aldus ook de waterstanden gewijzigd;

b) de verandering van de bodem met dezelfde gevolgen.

Daarom moest een compromis worden gemaakt en worden bij de berekeningen slechts waarden gebruikt over een relatief korte periode, namelijk van 1911-1930.

2. — De berekening van r werd gemaakt voor de plaatsen Dendermonde, Temsche, Antwerpen en Vlissingen. Voor Y werd genomen de gemiddelde jaarlijkse halftijhoogte, voor X de gemiddelde jaarlijkse neerslag te Ukkel. Dit laatste werd gedaan bij gebrek aan de waarden der bovendebieten te Gentbrugge voor de bewuste periode.

De bekomen waarden zijn:

te Dendermonde	$r = 0,820$	te Antwerpen	$r = 0,593$
te Temsche	$r = 0,660$	te Vlissingen	$r = 0,393$

Hieruit kan afgeleid worden dat het verband tussen neerslag en half-

tijlhoogte vermindert naarmate men de monding van de stroom nadert. Dit wijst op een minder zekere invloed van het opperwater naar de monding toe. Niettemin is er uit af te leiden, dat het opperwater nog steeds een invloed heeft te Antwerpen.

3. — Nu is de verhouding tussen de grootste en de kleinste waarde van de neerslag per jaar kleiner dan 2. Dit is slechts een kleine variatie tegenover de verandering van het opperdebiet van maand tot maand. De verhouding tussen een zomermaand, met een minimum bovendeblot, en een wintermaand, met een maximum bovendeblot, is groter dan 10. In de bijgaande figuur werden de geometrische lijnen de gemiddelde maandelijks halfthoogten getekend bij verschillende waarden van het opperdeblot. De waarden der halfthoogten werden aangegeven ten opzichte van een halfthoogte gelijk aan nul te Vlissingen. Deze geometrische lijnen, welke overeenstemmen met hoge, lage en gemiddelde waarden van het opperdeblot werden gekozen onder de maanden van het jaar 1943. Uit de figuur kan afgeleid worden dat zelfs te Bath nog een verschil bestaat van ongeveer 5 cm. tussen de halfthoogten bij het grootste en het kleinste bovendeblot, en wel in die zin, dat met een stijging van het opperdeblot een stijging der halfthoogte overeenstemt.

4. — Wanneer bij de berekening van r gebruik wordt gemaakt van de gemiddelde halfthoogte, dan wordt uitgegaan van de hypothese dat hoog- en laagwater op dezelfde wijze beïnvloed worden door het opperwater. Niets echter wettigt deze veronderstelling die, wanneer ze waar moest zijn, de berekening der halfthoogte overbodig maakt, door het gebruik der hoog- of laagwaterstanden dezelfde waarde voor r zouden geven.

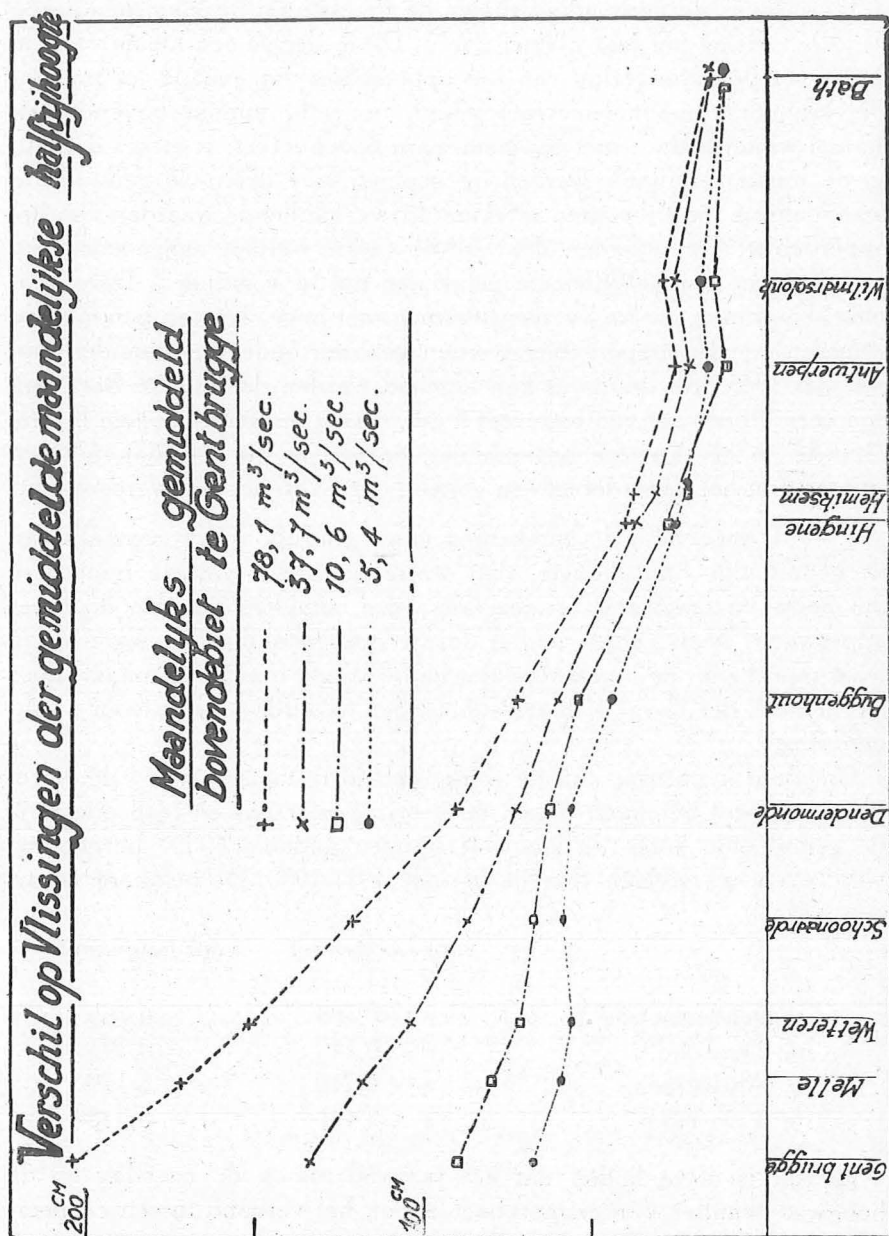
Om deze hypothese aan de werkelijkheid te toetsen, werd de correlatiecoëfficiënt berekend tussen de neerslag enerzijds en respectievelijk de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden anderzijds. De berekening werd eveneens gedaan voor de periode 1911-1930. De bekomen waarden zijn :

	voor hoogwater	voor laagwater
te Dendermonde	$r = 0,788$	$r = 0,766$
te Tamsche	$r = 0,749$	$r = 0,393$
te Antwerpen	$r = 0,710$	$r = 0,179$
te Vlissingen	$r = 0,461$	$r = 0,218$

Hieruit is af te leiden dat het verband tussen de neerslag en de hoogwaterstanden verder merkbaar is dan het verband tussen de neerslag en de laagwaterstanden. Terwijl er voor de hoogwaterstanden te

Antwerpen nog een verband bestaat, is dit voor de laagwaterstanden al niet meer waar te Temsche.

5. — Deze verschillen kunnen slechts het gevolg zijn van een verandering in de amplitude. Daarom werd ook de correlatiecoëfficiënt



berekend tussen de amplitude en de neerslag. Hiervoor moest echter de invloed van de 18 1/2-jaarlijkse periode, die een grote invloed op de amplitude heeft, uitgeschakeld worden. Op 18 1/2 jaar vertoont de amplitude een sinusoïdale schommeling. Bij de berekening werd de invloed van deze schommeling uitgeschakeld.

De waarden van r die bij de berekening bekomen werden, zijn :

te Dendermonde	$r = 0,000$	te Antwerpen	$r = 0,816$
te Temsche	$r = 0,802$	te Vlissingen	$r = 0,664$

Hieruit kan men afleiden, dat in het bovengedeelte van de stroom met een stijging van de neerslag een stijging van de amplitude overeenstemt. Te Dendermonde evenwel schijnt eerder een omgekeerde neiging te bestaan.

6. — Wat de invloed van de watervoorraad betreft, deze is het best merkbaar bij spring- en bij doodtij. Immers, bij springtij is de tijamplitude belangrijk groter dan bij doodtij, en wordt er een belangrijke watervoorraad in het bovengedeelte van de stroom gedeponeerd. Deze watervoorraad is te groot om gedurende de ebperiode volledig de weg naar zee terug te vinden. Eerst gedurende de doodtijperiode, wanneer de aanvoer van water merkkelijk kleiner is, zal dit mogelijk zijn. Uit deze redenering volgt, dat de aanwezigheid van deze watervoorraad zijn uitdrukking moet vinden in een verhoging der gemiddelde halftijhoogte bij springtij tegenover deze bij doodtij. In de onderstaande tabel werden voor de onderscheidene posten van de Schelde de verschillen aangegeven tussen de halftijhoogte bij springtij en deze bij doodtij, voor de periode 1931-1940. Tussen haakjes zijn dezelfde verschillen voor de periode 1921-1930 aangegeven.

	Halftijhoogte Springtij-Doodtij	
Vlissingen	11	(12)
Terneuzen	8	(11)
Hansweert	18	(7)
Bath	—	(16)
Liloo	18	(19)
Wilmarndonk	20	(19)
Antwerpen	19	(19)
Hemiksem	20	(23)
Hingene	23	(24)
Temsche	26	(28)
Buggenhout	37	(38)
Dendermonde	39	(39)

Schoonaarde	37	(36)
Wetteren	36	(29)
Melle	36	(33)
Gentbrugge	32	(32)

Hieruit kan afgeleid worden dat de watervoorraad zijn invloed laat gelden over heel de lengte van de stroom en wel, zoals kon voorzien worden, in afnemende mate naar de monding toe. De in bovenstaande tabel aangehaalde waarden geven trouwens een idee omtrent de grootte der afwijkingen μ . Immers bij springtij heeft μ een maximale waarde tegenover een minimum bij doottij.

7. — Het besluit dat uit al deze gegevens kan getrokken worden is, dat het opperwater en de watervoorraad hun invloed uitoefenen over de ganse lengte van de stroom. De invloed van het opperwater komt echter niet overal op dezelfde wijze tot uiting. In het bovengedeelte van de stroom heeft hij een statisch aspect, daar de verhoging van de aanwezige hoeveelheid water eenvoudig een verhoging van de waterstand na zich sleept. In het lager gedeelte van de stroom wordt echter de tijgolf beïnvloed. Hier kan men meer van een dynamisch effect spreken, daar de invloed het gevolg moet zijn van een omzetting van energie.

Daar het niet uitgesloten, en trouwens waarschijnlijk is, dat het opperwater een rol speelt bij het zandtransport, menen we dat het niet zonder belang zou zijn dat in deze richting verdere onderzoekingen zouden plaats hebben. Hierbij denken we vooral aan de verzanding van het Zwyn en aan de huidige toestand van de Durme.

RÉSUMÉ :

*L'influence des précipitations atmosphériques
sur les niveaux de marée dans le bassin de l'Escaut.*

A) L'influence du débit supérieur de l'Escaut sur les niveaux de marée a été jusqu'ici l'objet d'études diverses. Dans une étude théorique, qui fait partie du Tienjarig Overzicht 1931-1940 (« Annales des Travaux Publics de Belgique », 1946, n° 4), M. l'ingénieur R. Veke-mans a démontré que l'influence du débit supérieur n'est décelable que jusqu'à un point situé entre Termonde et Tamise. Dans ses calculs, l'auteur utilise l'indice de la dépendance de 2 variables, $d^2 xy$. Pour établir cet indice on suppose que $y = ax$. Après un examen critique on trouve que dans ce cas, cette équation est accompagnée d'une variable μ : $y = ax + \mu$. Théoriquement on peut démontrer que cette variable μ a une influence sur l'indice de la dépendance, qu'on peut écrire :

$$d^2 xy = 1 - r^2 = \frac{S^2_{\mu}}{S^2_y}$$

B) En employant une moyenne des variables y et x , durant une période bien choisie, on parvient à éliminer la variable μ . Les calculs refaits selon cette nouvelle manière montrent qu'il existe un rapport entre les précipitations et les niveaux de mi-marée jusqu'à Anvers.

Continuant les calculs, on trouve que le rapport entre les précipitations et les niveaux de marée haute est décelable plus loin que le rapport entre les précipitations et les niveaux de marée basse.

Comme cette différence ne peut être le résultat que d'une variation d'amplitude, on a fait également ce calcul, qui démontre que dans la partie maritime du fleuve l'amplitude varie avec les précipitations.
