

55x

11487

INSTITUUT VOOR
ZEEWETENSCHAPPELIJK
ONDERZOEK (I.Z.W.O.)
Zeepreventorium
8420 De Haan

Acta geographica Lovaniensia, t. IV, pp 68-82 -1966

ANALYSE van de STRAND- en DUINSEDIMENTEN in de BELGISCHE WESTHOEK

door Frans DEPUYDT

Aspirant van het Belgisch Nationaal
Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek



Vlaams Instituut voor de Zee
Flanders Marine Institute

Abstract

Analysis of the Beach and Dune Sediments in the Westhoek, Belgium.

A morphological and phytogeographical analysis of the coastal dunes of the « WESTHOEK », Belgium (fig. 2), shows a well-marked differentiation into two macroscopic zones, parallel with the beach. The contact area of the northern zone with the beach is a long dune ridge (for-dune), interrupted by many NW-SE blow-outs. An active system of pans is located behind this dune ridge. These pans are bounded by parabolic dunes, the arms of which join each other in a broad wandering dune. The whole northern zone has a scanty cover of Gramineae and of other young dune forming plants. Nevertheless, the central and western parts of the pans show their own typical bush vegetation. Two large pans, shirted by compound parabolic dunes, form the Southern zone. The latter seems to be more stable, its vegetation more dense and better developed. Several superposed fossil soils were found, marked by lixiviation and beginning podzolization. An almost reliefless strip of dunes is situated more to the south. Their humic sands are densely grass-grown and locally planted with Populus species. This strip of Ghijvelde-Adinkerke is divided from the above-mentioned zones by a 1.2 km. wide polder (cf fig. 8).

The sediments were closely investigated to check the genetic significance of this subdivision. Some three hundred samples have been drawn from the whole area, including the beach, the zones of the Westhoek and of Ghijvelde-Adinkerke. These samples belong to both the surface and deeper layers, see fig. 1 and fig. 2.

The study of lime content (fig. 4) reveals a clear distinction between the two zones of the Westhoek. Normally, inside dunes i.e. the oldest ones are less calciferous. But the deeper, almost unweathered sands show a same low percentage (< 4%). Add to this that the decrease of the calcium carbonate percentage from the beach inland is not a gradual one, but there is an abrupt change at the contact of the two Westhoek zones with a leap of two divisions of our classification, from 10-6% to < 4%. This clearly illustrates the real existence of two formations.

A first result of the study of grain size is the correlation between the sands of the beach and the dunes (fig. 3 and fig. 8). Both are enormously well sorted. The standard deviation calculated for the whole mentioned area, varies between $\sigma = 0.25\phi \pm$

0.05φ. The beach sand is better sorted than that of the dunes, but the latter has a smaller admixture of coarse sand. This better sorting is explained by the narrow energy range of wave activity. The above mentioned admixture rather depends on the intensity of the transport competence, which can attain greater values for sea waves than for wind action. The admixture of the finest fraction is of little importance and almost equal for all samples.

The dune sand varies within the same grain size range as beach sand, i.e. for 90 % between 150 μ and 300 μ . Consequently, a clear relationship exists between the sediments of the dunes and those of the beach. The beach sediments are connected with definite values of beach energy and also of the created beach slope or beach angle (C.A. King, 1959). Therefore a well-defined grain size of the beach and dune sands goes with a well-defined beach angle.

The spatial variation of the mode, an important feature of grain size, has been mapped in figure 5. Normally a gradual decrease of the mode with increasing distance to the sea can be expected because wind velocity is checked inland. Resulting in a decline of its transport competence. However once more a great leap occurs, but in the opposite sense (Cf. fig. 5 and fig. 6). In the Northern zone the mode varies between 185 μ and 195 μ , just like that of the upper beach, which is the direct source of the dune material. In the southern parabolic dune zone the mode is comparatively greater (205 μ). As can be concluded from figure 6 the transition between the two zones is an abrupt one. Mode values between 195 μ and 205 μ are not occurring at all, unless in some samples in the extreme east part of the map. Ghijvelde-Adinkerke has a much finer mean grain size, which is not even 175 μ , fig. 8.

As illustrated by figure 7, the small lime content

is not the reason of the higher mode of the southern sediments.

The differentiation north-south is statistically significant. So the hypothesis concerning the individual genesis of both Westhoek zones becomes inevitable.

Considering the relation beach - dune sand and the specific morphological and sedimentological character of the different dune zones the following hypothetical picture of the genesis of the west Belgium coast can be sketched.

Before the Dunkirk II transgression (4 th. century A.D.) the strip of Ghijvelde-Adinkerke was built up by fine material which was blown up from a « little energy » beach with smooth slope (Cf. CC' of fig. 9). The latter, whether eroded or not during the transgression, is now covered with clay, forming a \pm 1.2 km. wide polder.

In front of this polder a more recent dune zone, the southern parabolic one, has been originated from a coarser beach sand (BB' of fig. 9), with a slope much steeper than the preceding one. Probably this beach, the result of higher wave energy, is still situated under the present-day evolving northern zone. The deepest fossil soil dates from A.D. 1400 \pm 70. Consequently the origin of that southern zone must be located before that time.

Finally the northern dunes and the present-day beach are much younger. They are now in full development and have a grain size, beach slope and beach energy, the values of which are between those of the preceding and older zones of Ghijvelde-Adinkerke and southern Westhoek.

This study clearly illustrates that even sedimentology can contribute to the solution of problems of dune morphology and genesis.

1. INLEIDING : PROBLEEMSTELLING EN WERKWIJZE

De morfologische studie van het kustduingebied « De Westhoek », gelegen tussen de Frans-Belgische grens en de gemeentekernen van De Panne

en Adinkerke brengt duidelijk- gedifferentieerde makroskopische eenheden naar voor. Reeds lieten R. Blanchard (1906) en A. Briquet (1930) vermoeden dat de fundamenten van het bedoeld gebied wellicht veel complexer zijn dan het oppervlakte-beeld. Ze

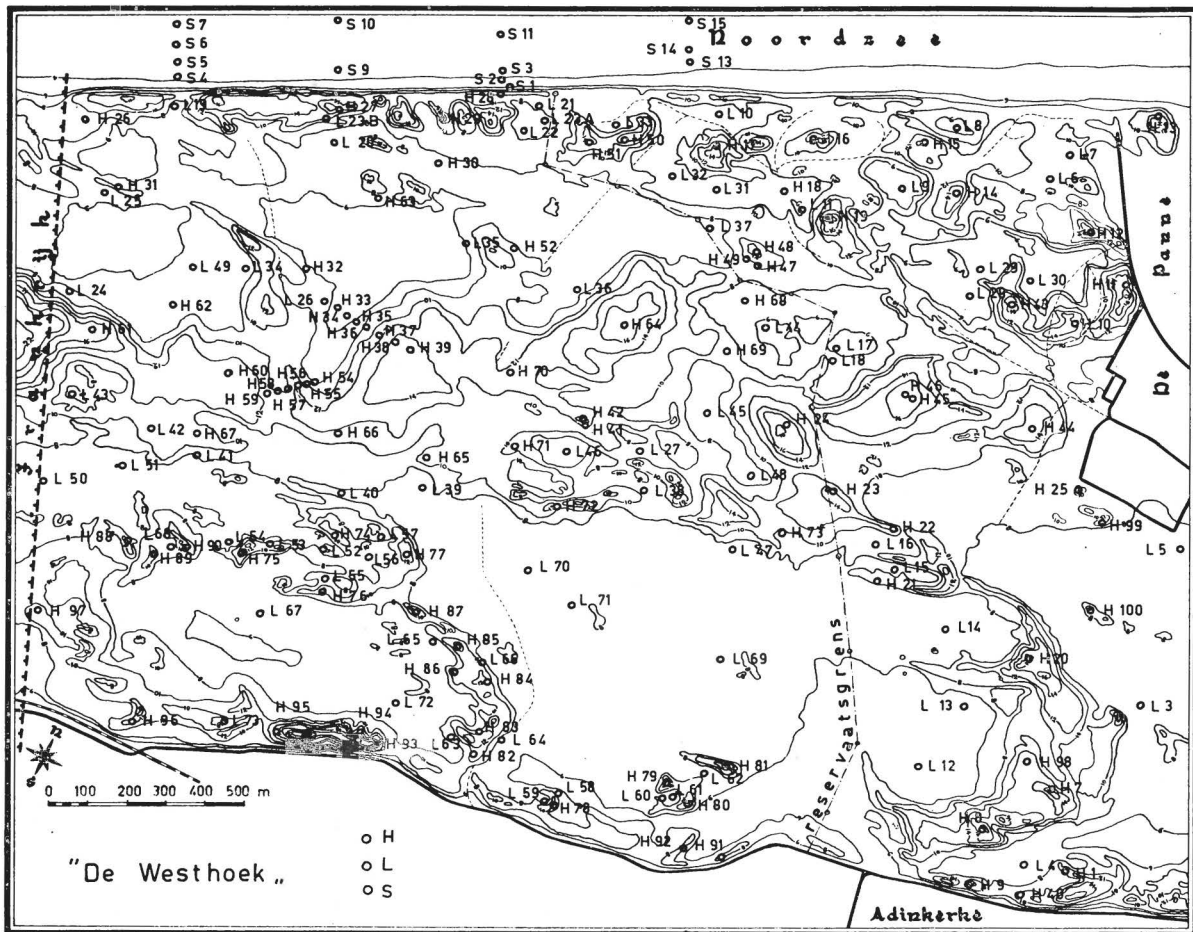


Fig. 1. Monsternamen aan de oppervlakte van het strand en de duinen tussen De Panne en de Frans-Belgische grens (De Westhoek).

Location of samples from the surface of the beach and the dunes between De Panne and the Franco-Belgian border.

H - Duintop ; Dune summit. L - Duindepressie ; Dune depression. S - Strand ; Beach.

maakten evenwel geen gewag van een differentiatie van het huidig landschapsgeheel. Het is M.A. Lefèvre (1931) die voor het eerst een inlandse parabolengordel opmerkt, welke onderscheiden wordt van de actieve duinen tegenaan het strand. Haar gegevens zijn nog weinig gedetailleerd net als bij E. Polinard (1937), die de genese van de ganse Belgische kustlijn onder de loupe nam, maar geen rechtstreeks verband legde met de duinen, althans niet voor de Westhoek. In 1960 corrigeerde R.

Paep de zienswijze van A. Briquet voor de aanpalende duingordel in Frankrijk en het is pas eind 1961 dat G. Van Daele een duidelijke morfologische indeling maakt van de Westhoekduinen in een noordelijke- en een zuidelijke helft. Door de auteur zelf (1964, a en b) werd een fytogeografische-, pedologische- en palynologische analyse van de Westhoek gedaan alsook een gedetailleerde geomorfologische kartering ervan. De resultaten van elk dezer ontledingen wijzen op een positief antwoord op de

vraag naar de quantitative gebiedsdifferentiatie van de eolische Westhoekformatie. Twee aaneensluitende duinstroken lopen evenwijdig aan de strandlijn (fig. 1 en 8). De noordelijke gordel paalt aan het strand met een langgerekte zeereep, die door kloven is met meerdere NW-SE gerichte windgeulen. Daarachter ligt een actief systeem van pannen omgeven door paraboolduinen waarvan de zuidelijke armen samenvloeien in een breed uitgewaaid wandelduin. Buiten de typische struikbegroeiing van het centraal- en westelijk gedeelte der pannen, bestaat de weinige plantengroei voornamelijk uit Gra-

mineae en andere frisse duinvormers. De zuidelijke gordel vormt een geheel van twee uitgestrekte pannen, elk omkranst door een samengesteld paraboolduin. Deze eenheid bezit een veel stabiel uitzicht, een rijker, dichter en sterker ontwikkeld plantengedeelte alsook verscheidene gesuperposeerde fossiele bodems met uitlogingsverschijnselen en beginnende podzolizatie. Verder zuidwaarts treft men nog een smalle praktisch-reliefloze duinstrook aan met zijn humeus zandmateriaal, dat dens begroeid is met grassen en plaatselijke aanplantingen van *Populus*-soorten. Deze gordel van Ghijvelde-Adinkerke is

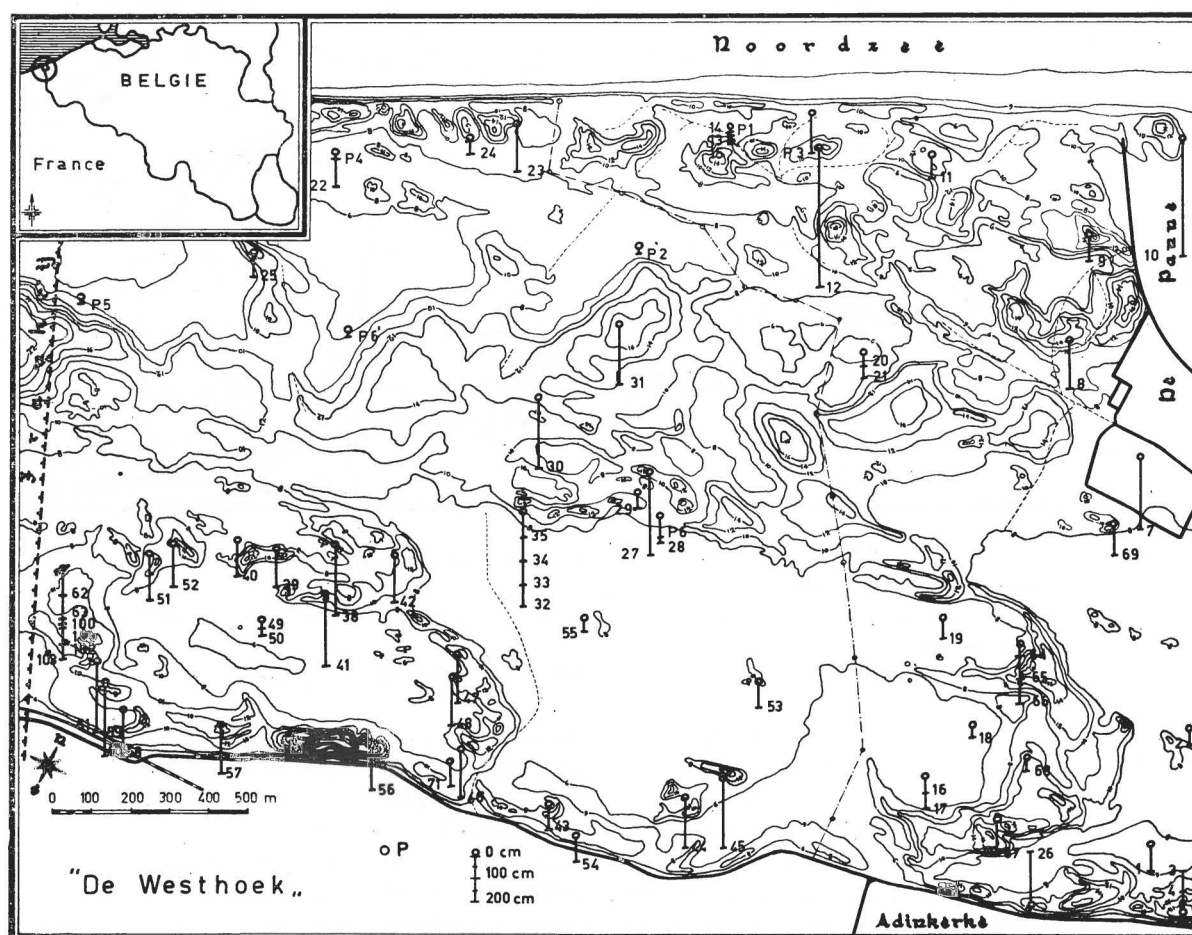


Fig. 2. Monsternamen van fossiele zanden in de Westhoekduinen. P - Humusrijk zand.
Location of fossil sand samples in the Westhoek dunes. P - Humic sand.

gescheiden van de eerstgenoemde massieven door een polderstrook van ongeveer 1,2 km breed ; zie fig. 8.

Tot een grondig sedimentenonderzoek werd overgegaan om na te gaan in hoeverre dit onderscheid ook een genetische betekenis heeft. Inderdaad, het is de aard der sedimenten zelf die het eerste en onmiddellijke resultaat is van de mariene golfactiviteit op het strand en van de eolische werking in de duinen, opgewaaid uit deze eerste. Deze analyse werd voorbereid aan de hand van 291 monsters, genomen aan het huidig evoluerend oppervlak (fig. 1) en in de diepte uitgegraven (fig. 2) uit vroegere — reeds bedolven of terug vrijgekomen — zandoppervlakten. De staalname in De Panne werd vergeleken met een vijftiental monsters die de fossiele gordel van Ghijvelde-Adinkerke vertegenwoordigen.

II. RESULTATEN EN DISKUSSIE.

Het kalkgehalte van elk der monsters werd bepaald en op kaart gebracht (fig. 4). Ook het verloop der korrelgroottekurven werd telkens bestudeerd en meerdere kenmerken ervan nagegaan. Deze werden vergeleken voor de verschillende onderscheiden gebieden. Als bijzonderste kenmerk in de granulometrie werd de modus weergegeven, wiens ruimtelijke variatie door figuur 5 wordt voorgesteld.

1. Kalkgehalte-bepaling.

Figuur 4 toont zeer sprekend de heterogeniteit aan die bestaat tussen de noordelijke en de zuidelijke helft van het bestudeerd gebied. De noorderstrook bezit een CaCO_3 gehalte dat gemiddeld veel hoger is dan dat van het zuiden. Tegen de Franse grens neemt deze verhouding noord-zuid zelfs cijfers aan van gemiddeld 8 tot 3,5 %. Hier is de overgang van de noorderduinen naar de zuidelijke zeer bruusk in tegenstelling met wat zich voordoet in de duinen tegen De Panne, waar hij geleidelijker is. Men kan normalerwijze wel verwachten dat de binnenste duinen, de oudste, ook minder CaCO_3 zouden vertonen. Immers het kalkgehalte daalt naargelang het zand landinwaarts evolueert, daar het CaCO_3 (meestal schelpengruis) geleidelijk wordt verteerd door de

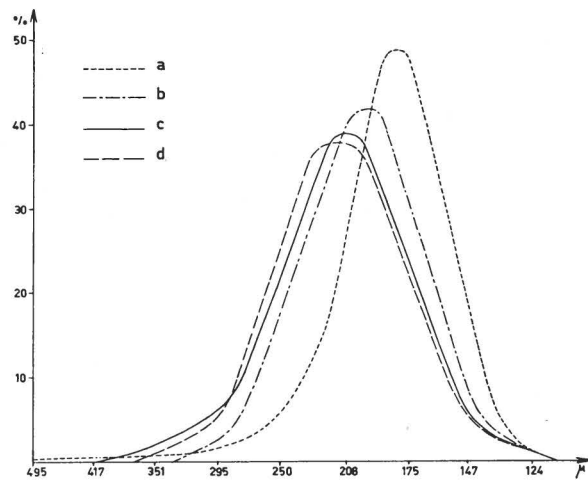


Fig. 3. Resulterende korrelgrootte-kurven van de strand- en duinzanden in de Westhoek.

Curves showing averaged grain-size distribution of the beach and dune sands in the Westhoek.

- a - Strand ; beach.
- b - Huidige duintop ; present-day dune summit.
- c - Huidige depressie ; present-day dune depression.
- d - In de diepte uitgegraven ; from deeper layers.

oplossende werking van het regenwater. Anderzijds geraakt het grove schelpengruis niet zo ver weg — of althans in geringere mate — van de zee als de gemiddeld veel fijnere kwartskorrels. De plotse sprong en het feit dat ook in de diepte-gelegen weinig verweerde zanden eenzelfde laag percentage (< 4%) vertonen, wijzen erop dat een hiaat zich voordoet in de evolutie van de Westhoekduinformatie. Dit toont dus heel duidelijk het effectief bestaan van twee formaties aan.

Alleen het strand kent cijfers van meer dan 10 % CaCO_3 zoals ook de praktisch onderling verbonden depressies die waaivormig vertrekken vanaf de verschillende windgeulen in de zeereep. De sterke erosiewind kan relatief veel schelpenresten hierin aanbrengen en ze er ook ter plaatse achterlaten bij afnemende energie. Vanaf de zeereep tot halfweg het gebied schommelt het kalkgehalte tussen 6 en 10 %. De klasse 4 tot 6 % vormt hoofdzakelijk het oostergedeelte van de centrale zandmassa. Dit gebied kunnen we betitelen als overgangszone, zonder

hieraan een bepaalde genetische betekenis te hechten. Ook de paraboolduinkernen van N. en S., welke momenteel eolisch zeer actief zijn, behoren tot deze overgangsklasse. De zuidelijke pannenrij bereikt nergens de 4 %, zelfs plaatselijk daalt het gehalte tot 2 %, doch zelden eronder, wat echter wel algemeen is in de Ghijvelde-Adinkerke duingordel. In de fossiele uitgegraven zanden treft men nooit meer dan 10 % kalk aan, tenzij in uitzonderlijke gevallen bij schelprijke horizontjes.

2. Korrelgrootte-analyse van het ontkalkte Sediment.

De ontleding van het zand naar zijn korrelgrootte, werd verwezenlijkt langs ziftingsgegevens, die procentueel werden berekend en cumulatief uitgezet op grafiekpapier met logaritmische — en probabiliteitschaal respectievelijk op basis en ordinaat, zoals de figuren 7 en 8 weergeven. De detailgegevens hiervan vindt men bij de auteur zelf in de publikatie van 1964, a, waarvan hier alleen een veralgemeend beeld, ter illustratie, wordt getoond in figuur 3.

Uit de studie van de korrelgrootte komt vooreerst de correlatie strand-duinzand tot uiting (fig. 3 en 8). Beiden zijn enorm goed gesorteerd, in vergelijking met wat andere auteurs aanhalen. De standaarddeviatie voor gans het besproken gebied ligt binnen de grenzen van $\sigma = 0,25\varphi \pm 0,05\varphi$, tegenover $0,4\varphi < \text{of} = \sigma < \text{of} = 1,0\varphi$, waarden die D. L. Inman (1952) en D.W. Spencer (1963 als normaal beschouwen voor strand- en duinzand. De hellingshoek, voor dezelfde sedimenten, van de kumulatieve kromme schommelt tussen 70° en 78° , terwijl K. Sindowski (1957) hoekwaarden vooropstelt die liggen tussen 60° en 70° voor gelijksoortig materiaal. Granulometrisch blijft het duinzand binnen de gamma van de korrelgrootteklassen van het strandsediment, te weten tussen 150μ en 300μ , en dit voor 90 % van de gevallen, cfr. fig. 3 en 8. Hierdoor varieert de gemiddelde korrelgrootte (zowel mediaan als modus) van minimum 165μ (bij strandzand) tot maximum 225μ (bij depressiezand), wat voor 95 % van de monsters het geval is. Aan de hand van fig. 3 kunnen de respectievelijke karakteristieken van de typische strand- en duinsedimenten gemakkelijk afgelezen worden. Het strandzand is heel wat beter ge-

sorteerd dan het duinsediment, het bezit daarbij een hogere bijmengingsgraad van grove korrels doch behoudt steeds een kleinere moduswaarde vooral op het laag-strand. Dit alles vindt zijn verklaring in het feit dat de golfwerking een kleinere energieschommeling of energiebreedte kent (waardoor betere sortering) en tevens een grotere transportkracht kan ontwikkelen (hierdoor wordt de grotere grofzandbijmenging aangetoond).

Als bijzonderste kenmerk in de granulometrie werd de modus weergegeven, wiens ruimtelijke variatie in figuur 5 wordt voorgesteld. Logischerwijze verwacht men ook hier normaal een geleidelijke afname naarmate het sediment zich verder van het strand situeert, gezien de afname in dezelfde zin van het transportvermogen der zeewinden. Immers, deze laatste, gehinderd door de wrijving met het onregelmatig bodemoppervlak, nemen in kracht af naarmate zij het land intrekken. De figuren 5 en 6 geven echter een totaal ander beeld weer. De noorderhelft, met een gemiddelde moduswaarde van 188μ en schommelend van 175μ tot 195μ , onderscheidt zich zeer sterk van het zuidgedeelte met zijn gemiddeld 210μ (205μ tot 215μ). Hier doet zich terug een sterke sprong voor, wat het duidelijkst te zien is op het diagramma van figuur 6. De bruuske overgang valt samen met de lijzijde van het centraal wandelduin. Een gedeelte van de zeereep, waar ook de hoogste duintoppen zich bevinden, bevat iets fijner materiaal (fig. 5). Deze duintoppen worden dus alleen door fijnere korrels bedekt, terwijl de zwaardere deze hoogten minder frequent bereiken. Net als bij de CaCO_3 -bepaling (fig. 4) lijkt het oostelijk gedeelte een geleidelijker overgang te kennen tussen noord en zuid, doch eigenaardig genoeg ziet men hier het materiaal verfijnen naar de zee toe.

De gebiedsdifferentiatie aan de oppervlakte komt sprekend overeen met deze van de diepere fossiele zanden. Beiden vertonen zowel de plotse scheiding tussen N en S in het reservaatgebied als de oostelijke overgangszone met zijn cijfers die liggen tussen de typische waarden van de noorder- en zuiderparaboolgordel. Naast de modusverandering dwars doorheen het gebied, werden ook de grofste- en fijnste frakties aangebracht op figuur 6. Deze leest

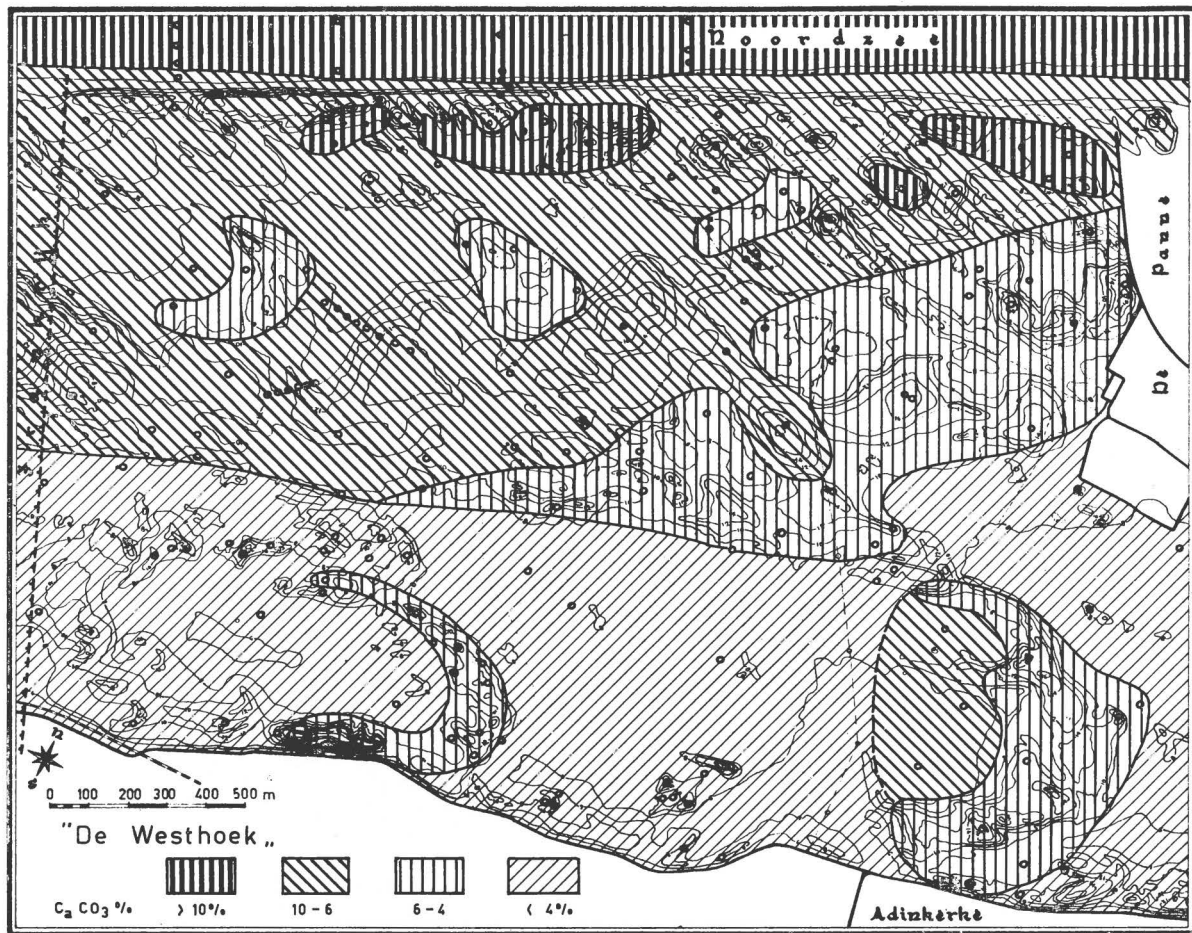


Fig. 4. Kalkgehaltebepaling van de Westhoeksedimenten, die zich voordoen aan het huidig evoluerend oppervlak.
Analysis of Calcium Carbonate content of the Westhoek sediments, occurring on the present-day developing surface.

men af op de ordinaat, links op het grafisch net. Het functieverloop van deze twee kenmerken vertoont echter geen merkwaardige sprong rond de 1000 m. Dit wijst duidelijk op een verschil in scheefheid tussen het globale noordersediment en het zuidelijke. Bij verder onderzoek blijkt hij negatief te zijn voor het materiaal in het noordelijk stuk en licht-positief in het zuidelijk areaal. Ook de sorteringsgraad laat voor beide onderscheiden gebieden lichte verschillen merken, namelijk: hij is iets beter in het zuiden. Dit is wellicht een gevolg van lang-

duriger remaniërende windwerking in deze laatstvernoemde streek.

Nog toont figuur 6 duidelijk aan hoezeer de sedimenten van Ghijvelde-Adinkerke verschillen van deze hierboven: veel fijner zand met een modus rond 180μ .

Na al deze konstataties moet er nagegaan worden in hoeverre het onderscheid, waarop telkens werd gewezen, van genetische aard is dan wel louter een toeval of een gevolg van eerder sekundaire

invloeden, die niets te maken hebben met de ontstaansgeschiedenis van iedere strook. Hier volgen dan de belangrijkste opmerkingen ter discussie. Is het korrelgrootte-verschil dat werd aangegeven niet het gevolg van het feit dat de kalkfractie uit de monsters gehaald werd vóór het granulometrisch onderzoek? M.a.w. stijgt de modus van het kalkrijk (niet-ontkalkte) sediment in functie van het toenemend gehalte aan CaCO_3 waardoor de modus van de zuivere kwartzandkurve des te lager wordt naarmate de ontkalking groter was? Als dit waar was zou hierdoor uiteindelijk de modus van het globaal noordersediment meer

stijgen dan het zuidelijke, waardoor het verschil tussen beide minder groot werd of zelfs uitgeschaald. Verder werd geen onderscheid gemaakt tussen de monsters genomen aan de duinvoet (L) en die der duintoppen (H) bij de bepaling van de veralgemeende moduswaarde. Is het verschil in kurververloop tussen H en L op figuur 3 ook niet oorzaaklijk voor de heterogeniteit van de noord- en zuidparaboolgordel, welke laatste misschien relatief meer L-stalen kende dan H-monsters?

Tenslotte, zijn de modusverschillen voor éézelfde gebied wel kleiner dan die der monsters van de

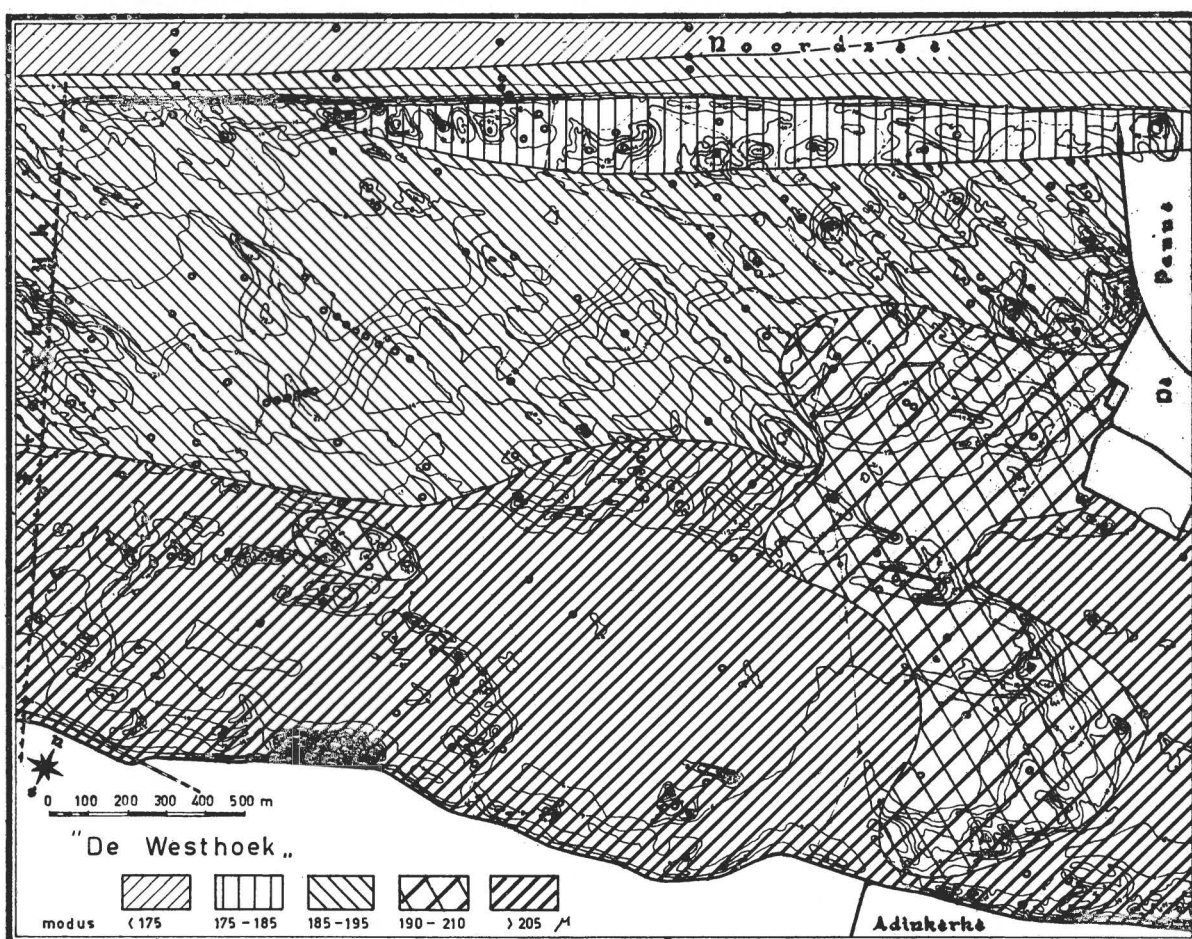


Fig. 5. Moduswaarden van de oppervlakte-zanden in de Westhoek.

Map showing the mode of the surface sand in the Westhoek.

twee gebieden onderling ? De vraag stelt zich dus op statistisch gebied als volgt : Is de « variance within » elk der beschouwde arealen wel klein genoeg t.o.v. de « variance between » deze zones ? Is deze verhouding tenslotte wel significant dan wel louter toevallig ?

a. Vooreerst wordt de vertegenwoordiging van de kalkfrakties in elk der korrelgrootte-klassen nagegaan ; m.a.w. op welke manier beïnvloedt het CaCO_3 de globale sedimentsgranulometrie (de somatiekurve). Daartoe werden meerdere proeven gedaan — zowel met zeer kalkrijke als kalkarme sedimenten — waarvan het globaal resultaat op figuur 7 gemakkelijk af te lezen is. Hierin werd de korrelgrootteanalyse afgebeeld van het sediment vóór en na de ontkalking op het laboratorium. Het ontkalkte zand werd vervolgens aan 100 % gelijkgesteld waardoor men, bij vergelijking met de somatiekromme, duidelijk de toedracht van de kalkaanwezigheid kan aflezen. De bimodale somatiekurve wordt inderdaad beïnvloed door de aanwezigheid van CaCO_3 en wel in die zin dat de kalkvertegenwoordiging het grootst is in de fijnere frakties. Zo stijgt de modus van het materiaal wanneer de kalkfractie eruit wordt weggenomen. Immers dan bekomt men de zuivere kwartskromme (c) uit de figuur. Zodus zou het verschil tussen de modus van de noord-duinzanden en deze van het zuiden nog groter geweest zijn wanneer de kalkfractie in het onderzocht sediment aanwezig was gebleven. Vanuit dit standpunt kan men dus de belangrijkheid van de noord-zuid-diskordantie niet loochenen.

b. Om de invloed te kennen van de lokaliteit van elk der monsters op de generaliseerde kurven die representatief zijn voor noord en zuid, werden deze twee krommen gesplitst in hun respektievelijke duindepressiekromme en duintopkromme. Dit om na te gaan of het noord-zuid-onderscheid ook in elk dezer groepen monsters, vertegenwoordigd door hun resulterende kurve, aanwezig is. Zo bekomt men één moduswaarde voor elk der vier groepen stalen : De resultante van alle H-monsters uit het N, de resultante van alle H-monsters uit het S, de resultante van alle L-monsters uit N en een vierde resultante

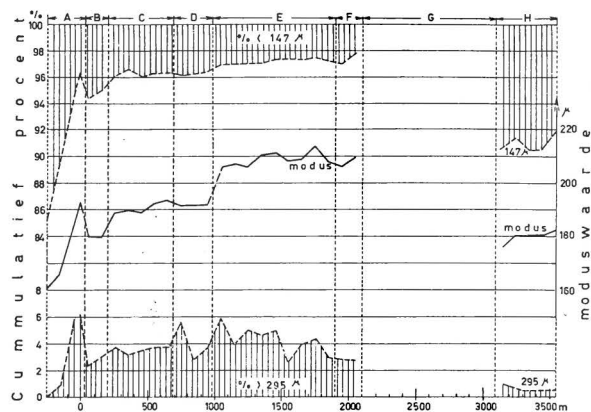


Fig. 6. Verandering van enkele granulometrische eigenschappen van de strand- en duinsedimenten in functie van de afstand tot de zee : Moduswaarde, bijmenging van de grove (295μ) en fijne (147μ) korrelfractie. (Ghijvelde-Adinkerke en de Westhoek).

Diagram showing the evolution of grain-size features of beach and dune sands as a function of the distance to the sea : Mode, admixture of coarse (295μ) and fine (147μ) fractions. (Ghijvelde-Adinkerke and the Westhoek).

N-zone	}	A - strand ; beach.
		B - zeereep ; fore-dune.
		C - noord-pannen ; northern pans.
		D - wandelduin ; wandering dune.
S-zone	}	E - zuid-pannen ; southern pans.
		F - duinrug ; dune ridge.
		G - polder.
		H - duingordel van Ghijvelde-Adinkerke dune zone of » »

van alle L-monsters uit het S. Deze waarden werden op twee manieren berekend : enerzijds het rekenkundig gemiddelde van alle modi uit elk der 4 groepen (tabel 1), anderzijds de modus van de veralgemeende kurve (de resulterende) die elk der 4 groepen vertegenwoordigt (tabel 2). Volledigheidshalve werd tevens in de tabellen de resulterende modus van alle H en L monsters apart, uit beide gebieden samen, aangegeven, alsook deze van de H en L samen uit beide gebieden (N en S) afzonderlijk. De eerstvernoemde komen min of meer overeen met

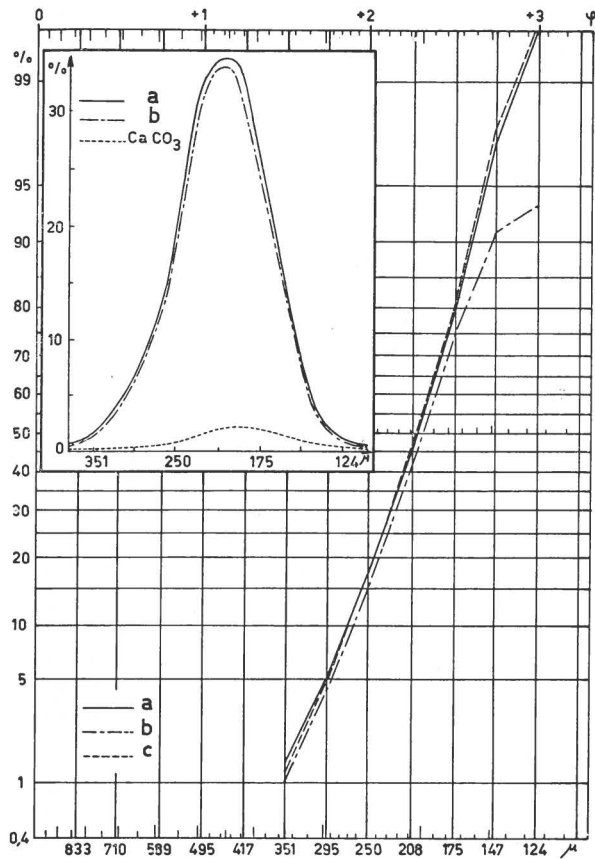


Fig. 7. Granulometrische kurve van het sediment vóór (a) en nà (b) de ontkalking op het laboratorium. Het ontcalcite zand wordt in c gelijkgesteld aan 100%.
Curve showing grain-size distribution of the sediment before (a) and after (b) decalcification on laboratory. Decalcified sand equals 100 % in curve c.

de modi uit figuur 3, welke echter ook de monsters bevatten uit het « overgangsgebied » dat centraal-oostelijk gelegen is. De laatstgenoemde kunnen berekend worden uit figuur 8, uit de kurven b en c.

Uit deze tabellen halen we :

— dat het onderscheid tussen N en S even sprekend is bij de duintopmonsters (H) als bij de depressie-

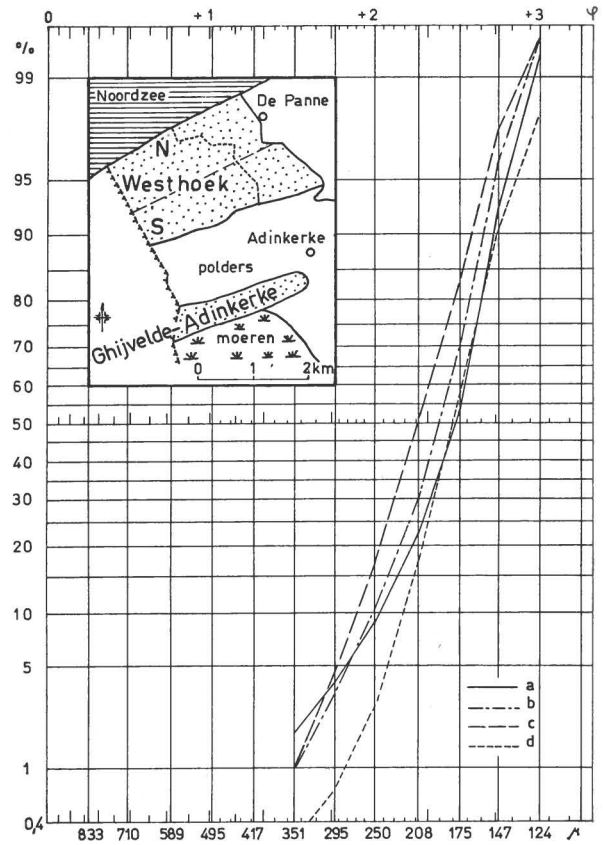


Fig. 8. Gemiddelde cumulatieve korrelgrootte-kurven van de strand- en duinzanden in de Westhoek en Ghijvelde-Adinkerke.

Cumulative curves showing averaged grain-size distribution of beach and dune sands in the Westhoek and Ghijvelde-Adinkerke.

- a - strand ; beach.
 - b - noordergordel ; northern zone (N)
 - c - zuidergordel ; southern zone (S)
- } Westhoek
- d - duinen van ; dunes of Ghijvelde-Adinkerke

monsters (L) zoals eveneens tot uiting komt in hun som (H + L).

— dat het verschil tussen de modi van H en L binnen éénzelfde gebied (of N, of S) van een veel kleinere orde is dan de H- of L- modus afzonderlijk vergeleken tussen beide gebieden onderling.

Duintop monsters H	Duindepessie monsters L	H + L
187 μ	190 μ	188 μ
210 μ	211 μ	210 μ
196 μ	201 μ	Totale WESTHOEK duinmassief
TABEL 1		

Duintop monsters H	Duindepessie monsters L	H + L
187 μ	189 μ	188 μ
210 μ	211 μ	210 μ
196 μ	202 μ	
TABEL 2		

Resulterende moduswaarden van de WESTHOEK-sedimenten

Bemerk dat de verhouding van het aantal H-monsters tot de hoeveelheid L-stalen van weinig betekenis is voor het bekomen onderscheid tussen de noordelijke- en de zuidelijke paraboolduingordel. Ten andere de verhoudingen in casu waren bevredigend (in het N : 52H-en 31L-monsters) in het S : 35 H en 34 L), in die zin dat de fout, bedreven door het verschil in proporties, maximaal 0,5 μ kan bedragen op het totaal verkregen 22 μ -modusverschil N-S ; dit is slechts een fout van 2,3%. Ook uit deze beschouwing blijkt dat de N-S diskordantie nog steeds onaanvechtbaar blijft.

c. Tenslotte nog de statistische betekenis van het formatie-onderscheid N-S. Bij de variance-analyse werd de student t berekend aan de hand van de 152 moduswaarden uit beide onderscheiden gebieden. Deze gaf als resultaat : $t = 4,7$.

Voor gelijk welke waarde we normalerwijze ook geven aan het significantiegebied, de gevonden waarde voor t moet als significant beschouwd worden. Het gegeven onderscheid in een noord- en zuidstrook is dus helemaal geen toeval en elk der twee zones vormt dus op zichzelf een eigen genetische eenheid.

III. KONKLUSIES.

Het is duidelijk geworden dat de gebiedsdifferentiatie, afgeleid uit morfologische studie, evenzeer tot uiting komt in de sedimentstudie. Vatten we

eerst de merkwaardige inzichten in de sedimentstudie samen, welke typerend zijn voor dit duingebied om tenslotte een hypothese op te stellen over zijn genese. Dit moet uiteindelijk een dieper inzicht kunnen geven in de structuur van deze kustformaties.

1. Inzicht in de sedimenten van Ghijvelde-Adinkerke en van de Westhoek.

a. De strand- en duinzanden van Ghijvelde-Adinkerke en de Westhoek vallen voor het grootste gedeelte in de middelgrove (315-250 μ), matig fijne (250-175 μ) en fijne (175-104 μ) klassen en hun gemiddelden zijn meestal van het matig fijne gehalte, behalve het laagstrandzand dat gemiddeld fijn is.

b. De grootste korrelgrootte-schommelingen komen voor in de grofste frakties, namelijk in de middelgrove (250-350 μ) en soms grove (350-500 μ).

c. De granulometrische verdeling van de kalkkorrels onderscheidt zich van die der kwartspartikels door :

- een gemiddeld kleinere doormeter.
- een sterkere spreiding.
- een grotere procentuele bijmenging van grove korrels.
- een meer uitgesproken negatieve scheefheid.

Hieruit volgt dat de aanwezigheid van kalkdeeltjes in het zand de gemiddelde korreldiameter van het

natuurlijk grondmateriaal een weinig doet zakken, en dat het kalkgehalte, per grootteklasse, in gewichtsprocent zijn grootste cijfers kent in de fijnere frakties van de niet-ontkalkte somatiekurve.

d. De bijmenging in de fijnere frakties van het kwartszand is veel geringer, gelijkmatiger en in de verschillende typelokaliteiten homogener dan in de grovere.

e. Depressiezand onderscheidt zich van duintopzand door :

- een gemiddeld grovere korrel.
- een sterkere grofzand-bijmenging.

Het deflatieproces is de verklaring hiervan. Aldus blijven de grofste zandkorrels gelokaliseerd in windkalmere depressies zoals pannen, deflatiekomen of -vlakten, winderosiegeulen en het strand, waar hun transportsnelheid relatief veel kleiner is dan die van het fijn zand en waar dus ook hun relatieve dichtheid groter zal zijn.

f. Tussen de eigenschappen van het oppervlakte-sediment en deze van de diepere formaties bestaat er een zeer nauw verband. Dit geldt voor ongeveer 90 % van het gebied, ook al zijn de oppervlakte-monsters onderling sterk-verschillend.

g. De bijzonderste vaststellingen, waarop de volgende genese-hypothese hoofdzakelijk gebaseerd is, zijn in verband met de correlatie strandzand-duinzand.

— Het strandzand is beter gesorteerd dan het daaruit opgewaaide duinzand. Gevolg van het feit dat de golfenergie homogener is dan de windactiviteit.

— De korrelgrootte-klassen van het duinzand gaan de gamma van zijn granulometrische strandzand-klassen niet te buiten, noch in zijn fijnste fractie, noch in zijn grofste.

— De grofzandbijmenging in het strandsediment komt geenszins voor in het recentste duinzand ; gevolg van winddeflatie, die noodgedwongen de grofste elementen achterwege laat.

2. Verklaring van de duinmorfologie uit de Sedimenten-analyse.

De grote centrale scheidingslijn tussen een noordelijke- en zuidelijke paraboolgordel, komt niet alleen tot uiting in de morfologie maar zelfs opvallend duidelijk in de sedimentkenmerken van de duinzanden. Deze zullen toelaten de genese van de twee Westhoek-stroken te verklaren.

De zeereep en de hieruit opgewaaide noorderhelft van het studiegebied zijn granulometrisch volledig in rechtstreeks verband te brengen met het strand. De korrelgrootte van het duinzand wordt steeds onmiddellijk afgeleid uit die van de strandafzetting. Deze laatste staat in evenredig verband met de kustgolvenenergie die voor een zekere waarde een welbepaalde correlerende strandhoek met zich meebrengt. Hoe groter de golfenergie, des te groter de strandhoek die hij boetseert en des te grover het sediment kan zijn (cfr. C.A. King, 1959). Aldus verschijnt hier een homogeen geheel van een strandvlakte met zijn opgewaaide duingordel (zie AA' op fig. 9).

De zuidergordel bestaat uit veel grover materiaal. Zo deze strook werd opgebouwd uit eerstgenoemde, had men veeleer het tegenovergestelde verwacht, want het eolisch-getransporteerde zand zou in korrelgrootte moeten afnemen volgens de afstand van de zee. Immers, ook in deze zin neemt de windsnelheid af door remming op de bodemonregelmatigheden. De granulometrische structuur van deze grote parabolengordel is dus onafhankelijk van de huidige noorderduinen en bijgevolg ook van het actieve strand. Hierdoor mag men veronderstellen dat ook de genese van de zuiderstrook rechtstreeks onafhankelijk is van die der noord-duinen en dus ook geen verband houdt met het huidig strand. Een ander en fossiel strand dus (B op fig. 9) zou deze zuiderstrook (B') in leven geroepen hebben. In verhouding tot het tegenwoordig actief strand droeg het wellicht de volgende kenmerken :

— Sterkere helling met grover strandmateriaal. Hiervoor is een grotere kustenergie verantwoordelijk, zoals boven reeds aangetoond. Een dergelijk facies vindt men momenteel aan de Belgische oost-

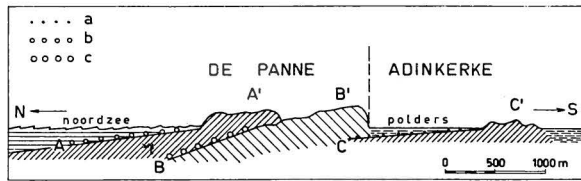


Fig. 9. Schets van de hypothetische genese van de kustgordel in de Belgische Westhoek.

Sketch of the hypothetical coast genesis of the Westhoek, Belgium.

- a - zeer fijn strandzand (modus $\pm 170\mu$); very fine beach sand (mode $\pm 170\mu$).
- b - fijn strandzand (modus $\pm 180\mu$); fine beach sand (mode $\pm 180\mu$).
- c - matig fijn strandzand (modus $\pm 200\mu$); medium-fine beach sand (mode $\pm 200\mu$).
- A' Westhoek, N-gordel, opgewaaid uit het huidig strand A.
Northern zone, built up from the present-day beach A.
- B' Westhoek, S-gordel, opgewaaid uit het fossiel strand B.
Southern zone, built up from the fossil beach B.
- C' Ghijvelde-Adinkerke-gordel, opgewaaid uit het fossiel strand C.
Ghijvelde-Adinkerke zone, built up from the fossil beach C.

kust en evolueert vermoedelijk in ruimte en tijd. Dit verschijnsel gaat dan telkens gepaard met een welbepaalde strand- en duingranulometrie.

— Relatief ouder milieu of facies.

Dit valt op én door het merkkelijk lager kalkgehalte én door de fossiele bodemvormingen merkbaar in zijn eigen opgewaaide duinen. Deze pedologische feiten kwamen soms voor in een drievoudige superpositie van beginnende of reeds sterkere gepodzoliseerde horizonten. Op één plaats werd een dergelijk profiel gedateerd (fig. 2, monsters 62, 63, 100, 101, 102, 103) met de C^{14} -methode. Zo gaf de onderste horizon (zeer sterk humusrijk) een ouderdom weer van ± 550 jaar (1.400 n. Chr. ± 70). Daarop ligt opnieuw een humusband van ± 120 jaar jonger, waarop een zeer recente bodemvorming zich laat zien van nog geen 200 jaar oud. Dergelijke profielen zijn volledig zoek in de Noordergordel.

— Een eigen positie, mogelijks different aan die

van het actief strand. Op het eerste gezicht is deze niet onmiddellijk vast te leggen uit de granulometrische gegevens. Een eerste mogelijkheid dat dit strand dezelfde plaats innam als het huidige is praktisch te verwerpen door de volgende redenering. De uitgewaaide zeereep vormt een duingordel (paraboolduinen), die onder invloed komt van de overheersende winden. Deze strook zal dan op zijn beurt praktisch evenwijdig aan de kustlijn evolueren omdat de resulterende windrichting en de kust, op enkele graden na, een parallel verloop kennen. Hieruit volgt dat de gordelbreedte beperkt blijft en het strand, in dit geval, niet zover-afgelegen kon geweest zijn. Immers, ook de zuidgrens van de recentste of noordelijke duinstrook lijkt rechtlijnig W-E te verlopen, lijkt ook in die richting uitgerekt en in de breedte beperkt te zijn. Dit laatste wordt het best aangetoond door het feit dat de S-gordel gespaard bleef van de tegenwoordige zandverstuivingen uit het noorden. Dus vormt deze pannegordel zowel met zijn oppervlakkige als met zijn diepere zandlagen een volledig-homogene en granulometrisch praktisch intacte duingordel. Een andere mogelijkheid is meer voor de hand liggend en vormt onze eigenlijke hypothese: Dit palestrand lag juist vóór zijn opgewaaide duingebied, dus ogenschijnlijk onder de huidige noordelijke gordel, zoals in figuur 9 duidelijk wordt weergegeven door het BB'-profiel.

Veel dieper in het land ligt een drde kustfacies, dat van de twee genoemde gordels gescheiden werd door een polderstrook van de Duinkerke II-transgressie. Deze praktisch reliefloze streep (C') van Ghijvelde-Adinkerke bezit weerom een veel fijnere korrel en werd bijgevolg gevormd uit een veel vlakker strand (C), al dan niet weggeslagen door Duinkerke II.

Men konstateert dus een periodieke schommeling in de genese van de West-Belgische duinen: Nu eens een betrekkelijk vlak strand met fijne korrel-opwaaing en dan eens een steiler strand met grover sediment. Deze evolutie moet in verband staan met de morfologie in zee, daar de transportagent, in casu de zeegolven, in energie toeneemt of afneemt naargelang het relief van de zandplaat die het verlengde is van het laagstrand in zee. De parallele ontwikke-

ling van de Vlaamse Hoofden bepaalt hier de betekenis van deze onder-water-morfologie. Naarmate hun opbouw, vermindert de transportenergie van de golven die het strand bereiken en er ontstaat aldus een minder-steil strand met fijnkorrelige afzetting. Dit tijdelijk verschijnsel kent men ook momenteel ruimtelijk in de breedte over de ganse Belgische kust. Het oostelijk eind bezit minder kustzeebanken dan de westelijke helft, waar de Vlaamse Hoofden breed ontwikkeld zijn.

Kort samengevat wordt de volgende relatief recente kustontwikkeling genoteerd :

1. De oudste opbouw : zeer zachthellend strand met geringe energie en zijn duinstrook van GHIJVELDE-ADINKERKE, die meest landwaarts gelegen is (CC') en zeer fijn materiaal bezit. Vermoedelijke vorming : eind-Subboreaale (cfr. A. Briquet, 1930).
2. Een jongere gordel met hogere strandenergie en grover duinzand : de ZUIDELIJKE PANNEGORDEL van DE WESTHOEK (De Panne) - (BB'), daterend van na Duinkerke II en vóór 1400 na Chr.
3. Tegen deze laatste aanleunend, door zeewaarts opschuiven van het strand, terug een geringe-energie-gordel met zwak-hellend strand en fijne korrels : de huidig-actieve NOORDELIJKE PANNEGORDEL (AA'), welke snel evolueert.

De problemen die nog rijzen in verband met de onmiddellijke korrelatie tussen de duinsubstanties en hun bron, het strand, alsook tussen de energieschema's van hun respektievelijke transportagenten, kunnen op dergelijk klein gebied moeilijk een oplossing krijgen. De hier behandelde methode van sedimentanalyse leek een uitstekend middel om een stap verder te zetten naar de oplossing van het genese-probleem der Belgische Westhoekduinen. Ook de typische morfologie van dit gebied kreeg een duidelijke verklaring. Wat het landschap in verscheidenheid weerspiegelt is ook volmaakt tot uiting gekomen in zijn geologische opbouwende bestanddelen. Dit studie-objekt toont dus zeer duidelijk aan dat ook de Sedimentologie kan bijdragen tot het oplossen van problemen van duinmorfologie en -genese.

Dank aan Professor Dr. F. Gullentops, voor de interesse waarmee hij dit onderzoek volgde.

BIBLIOGRAFIE

- AKROYD T., 1957 — « Laboratory testing in soil engineering ». — *Sizing Analysis ; Soil mechanics* L.T. D., London, p. 56-79.
- BAGNOLD R.A., 1954 — « The physics of blown sand and desert dunes ». — Methuen and Co, London.
- BLANCHARD R., 1906 — « La Flandre ». — A. Colin, Paris, 530 p.
- BRIQUET A., 1930 — « Le Littoral du nord de la France et son évolution morphologique ». — A. Colin, Paris, 439 p.
- CHARLIER R.H. en AUZEL M., 1961 — « Géomorphologie côtière : Migration des sables sur la côte Belge ». — *Zeitschrift für Geomorphologie - Neue Folge*, band 5, p. 181-184.
- DEPUYDT F., 1964 — a « Bijdrage tot de geomorfologische studie van de Belgische Westhoekduinen ». Verhandeling, K.U. Leuven.
1964 — b « Geomorfologische studie van de Belgische Westhoekduinen ». — *Werkstukken van het N.C. G.O.*, vol. IV, p. V, 1-7.
1965 — « Geomorfologische studie van het Kaart-

- blad 11/7-8 (De Panne-Oostduinkerke). — « Werkstukken van het N.C.G.O., vol. V, p. 129-133.
- DOEGLAS D.J., 1944 — « De interpretatie van Korrelgrootte-Analysen ». — Geologisch Mijnb. Gen., deel XV, p. 247-328.
- 1946 — « Interpretation of the results of mechanical analyses ». Journ. Sedimentary Petrology, Vol. 16, p. 19-40.
- 1952 — « Afzettingsgesteenten ». — Servire Den Haag, 173 p.
- FRIEDMAN G.M., 1961 — « Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics ». — Journ. Sedimentary Petrology, vol. 31, p. 514-529.
- HARDING J.P., 1949 — «The use of probability paper for the grafical analysis of polymodal frequency distributions ». — J. Mar. Biol. Ass. of U.K., vol. 28, p. 141-153.
- INMAN D.J., 1952 — « Measures for describing the size distribution of sediments ». — Journ. Sedimentary Petrology, vol. 22, p. 125-145.
- KANE W.T. and HUBERT J.F., 1963 — « Fortran program for calculation of grain size textural parameters of the I.B.M. 1620 computer ». — Sedimentology, vol. 2, p. 87-90.
- KING C.A., 1959 — « Beach and coasts ». — L.T.D., London.
- KOSTER E., 1964 — « Granulometrische und morphometrische Messmethoden ». — F. Enke Verlag Stuttgart.
- KUHLMAN H., 1958 — « Quantitative measurements of aeolian sand transport ». — Geografisk Tidsskrift, 57 bind, p. 51-74.
- 1959 — « On Identification of blown sand — An example from the salt-marsh area at Tønder ». — Geografisk Tidsskrift, 58 bind, p. 182-195.
- 1960 — « Microenvironments in a Danish dune area. Rabjerg Mile ». — Meddelelser fra Dansk Geol. Forening, Bd. 14, hefte 3, p. 253-258.
- LEFEVRE M.A., 1931 — « Morphologie éolienne littorale entre Nieuport et la frontière française ». — Bull. de la Soc. Belge d'Etudes géographiques, 1, p. 36-60.
- PAEPE R., 1960 — « La plaine maritime entre Dunkerque et la frontière belge ». — Bull. de la Soc. Belge d'Etudes Géogr., t. XXXIX, nr. 1, p. 47-66.
- POLINARD E., 1937 — « Over de vorming der duinen van onze Vlaamse kust ». — Bull. de la Soc. Royale de Géogr. d'Anvers, tome LVII.
- SINDOWSKI H.K., 1957 — « Die synoptische Methode des Kornkurven Vergleiches zur Ausdeutung fossiler Sedimentation Raume ». — Geol. Jahrbuch, Band 73, p. 233-268.
- SPENCER D.W., 1963 — «The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments ». — Journ. Sedimentary Petrology, vol. 33, p. 180-190.
- STEWART R.A. and GORSLINE D.S., 1962 — « Recent sedimentary history of St Joseph Bay ». — Sedimentology, vol. 1, p. 256-285.
- VAN DAELE G., 1960 — « Morfologische studie van de duinen in de Westhoek. — Verhandeling, K.U. Leuven.
- VAN STRAATEN L.M., 1961 — « Directional effects of winds, waves and currents along Dutch North Sea coast ». — Geol. en Mijnb., 40, p. 336-346 en 363-391.
- 1965 — « Coastal barrier deposits in South- and North-Holland ». — Med. v.d. Geol. Stichting Serie, nr. 17, p. 41-75.