

POGING TOT ANALYSE VAN DE MORFOLOGIE EN DE STRUKTUUR VAN HET TANGANYIKA MEER, STEUNENDE OP HET VOORKOMEN VAN CHLOROFYLLE BANDEN OP LANDSAT TM BEELDEN

door

P.I. VANOUPLINES *

ABSTRACT - A Landsat TM image, covering central Lake Tanganyika (Tanzanian part), was used to test an atmospheric correction and chlorophyll retrieval algorithms. The algorithms are briefly discussed.

The resulting image shows two prominent chlorophyll strips crossing the lake. These strips form more or less the prolongation of faults observed both on the field and satellite images. The relation with geology was studied.

The result of this investigation was that the chlorophyll strips probably find their origin in heat sources at the bottom of the lake. This confirms the hypothesis that geological faults continue over the bottom of Lake Tanganyika.

KEY-WORDS - image processing - Landsat TM - geological Faults - Lake Tanganyika - chlorophyll-a

Het hier toegelichte onderzoek is niet zuiver geologisch. Het testgebied is het centrale deel van het Tanganyika Meer. Er werd een methode getest die toelaat met behulp van satellietbeelden de concentratie van chlorofylle in water te bepalen.

Na een uitgebreide beeldbehandeling bleken er in het Tanganyika Meer een aantal banden voor te komen. Deze banden bevatten een veel hogere chlorofylleconcentratie dan de rest van het meer. Dit lag volledig buiten de verwachting. Normaal genomen moesten met die beeldverwerkingstechniek ganse zones zichtbaar worden, met hogere chlorofylleconcentraties aan de randen van het meer, en lagere concentraties naar het midden toe.

Eerst zal de beeldverwerkingstechniek besproken worden. Vervolgens zullen enkele mogelijke verklaringen van dit uitzonderlijke fenomeen nagegaan worden.

1. DE BEELDVERWERKINGSTECHNIEK

1.1. KLEURENDE BESTANDELEN IN WATER

Wanneer men werkt met sensoren die licht registreren in het visuele en het nabij infrarode deel van het spectrum, zullen bestanddelen kunnen bestudeerd worden die het water kleuren.

Dit zijn bijvoorbeeld :

- chlorofylle (kleurt het water groen)
- sedimenten (kleuren geel-bruin)

Belangrijke factoren in dit verband zijn de absorptie en de verstrooiing van licht door deze substanties. In figuur 1 zijn de absorptiecoëfficiënten van chlorofylle (fytoplankton), afbraakprodukten van fytoplankton (niet-chlorofyllehoudende pigmenten), gele stof (of detritus) en zuiver water voorgesteld. De absorptie en verstrooiing zijn afhankelijk van de golflengte.

De hoeveelheid chlorofylle of sediment zullen de kleur van het water bepalen. Deze kleur kan worden waargenomen door een sensor aan boord van een satelliet.

1.2. OPERATIONELE SATELLIETEN

Tabel 1 geeft een overzicht van de karakteristieken van enkele operationele satellieten.

De Coastal Zone Colour Scanner aan boord van de Nimbus-7 satelliet was de eerste scanner waarmee uitgebreide metingen van chlorofylle en sedimentconcentraties op oceanen gebeurden. Deze sensor had slechts een matige grondresolutie. De grondresoluties van de recentere sensoren laten detailstudies toe. Hiermee wordt het mogelijk de fijne structuur van stromingen in oceanen te onderzoeken en ook waterlichamen met geringere afmetingen zoals rivieren, kanalen en kleine meren.

* Departement Geologie en Mineralogie, Koninklijk Museum voor Midden-Afrika, B-1980 Tervuren.
Huidig adres : Interuniversity Post-graduate Programme in Hydrology, VUB, B-1050 Brussel.

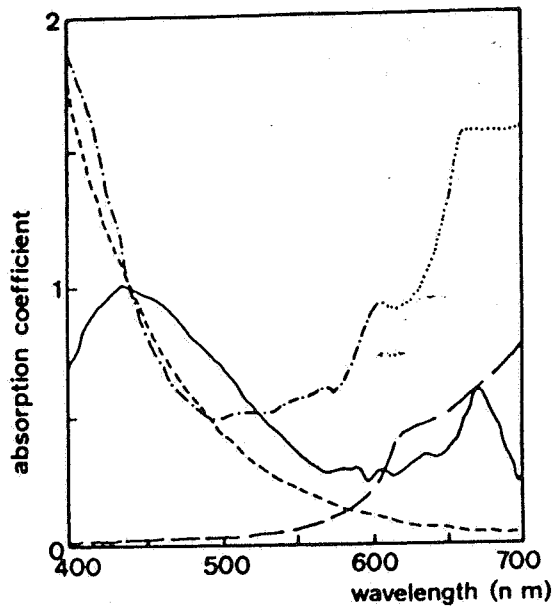


Fig. 1. - De spectrale absorptiecoëfficiënt van zuiver water (---), en de genormaliseerde absorptiecoëfficiënten van chlorofylle pigmenten (—), niet-chlorofyllehoudende deeltjes (- · - ·), en gele substantie (· · · ·) (naar MOREL en PRIEUR, 1977).

1.3. INVLOED VAN DE ATMOSFEER

Er zal hier niet worden ingegaan op de invloed van de atmosfeer en atmosferische correcties. Hiervoor zij verwezen naar VANOUPLINES (1986, 1987). Het resultaat van een atmosferische correctie is dat stralingen bekomen worden zoals zij zouden gemeten worden vlak bij het aardoppervlak. De atmosferische correctie is meestal geldig voor nevel, dit wil zeggen voor horizontale zichtbaarheden tot minimaal 5km. De correctie houdt rekening met de verstrooiing en absorptie van licht tussen zon en aardoppervlak en tussen aardoppervlak en sensor. Er wordt tevens rekening gehouden met de straling afkomstig van de hemelkoepel.

1.4. CHLOROFYLLE ALGORITHMES

De meeste chlorofylle algorithmes werden ontwikkeld voor de Coastal Zone Colour Scanner. Deze zijn de vorm :

$$\log C = 0.116 - 1.329 \log[L(443)/L(520)]$$

$$\log C = 0.259 - 1.806 \log[L(443)/L(550)]$$

$$\log C = 0.229 - 4.449 \log[L(520)/L(550)]$$

Hierin is C chlorofylleconcentratie in mg/m^3 , L de centrale golflengte

Tabel 1. - Overzicht van de karakteristieken van enkele operationele satellieten.

satelliet / sensor	omwentelings-tijd (dagen)	beeldveld (km x km)	spectraal-band	golflengte (nm)	grondresolutie (m)
Nimbus-7 CZCS	6	1566x1566	1	433-453	825
			2	510-530	825
			3	540-560	825
			4	660-680	825
Landsat 1-3 MSS	18	185x185	4	500-600	79
			5	600-700	79
			6	700-800	79
			7	800-1100	79
Landsat 4-5 MSS	16	185x185	1	500-600	79
			2	600-700	79
			3	700-800	79
			4	800-1100	79
Landsat 4-5 TM	16	185x185	1	450-520	30
			2	520-600	30
			3	630-690	30
			4	760-900	30
			5	1550-1750	30
			6	10400-12500	120
			7	2080-2350	30
SPOT HRV	26	60x60	1	500-590	20
			2	610-680	20
			3	790-890	20
			P	510-730	10

De vierde spectraalband van SPOT HRV is een panchromatische band.

van een Coastal Zone Colour Scanner spectraalband (CLARK, 1981). Deze vergelijkingen drukken uit dat er een dubbel logaritmisch verband bestaat tussen de chlorofylleconcentratie en de verhouding van de stralingen in twee spectraalbanden.

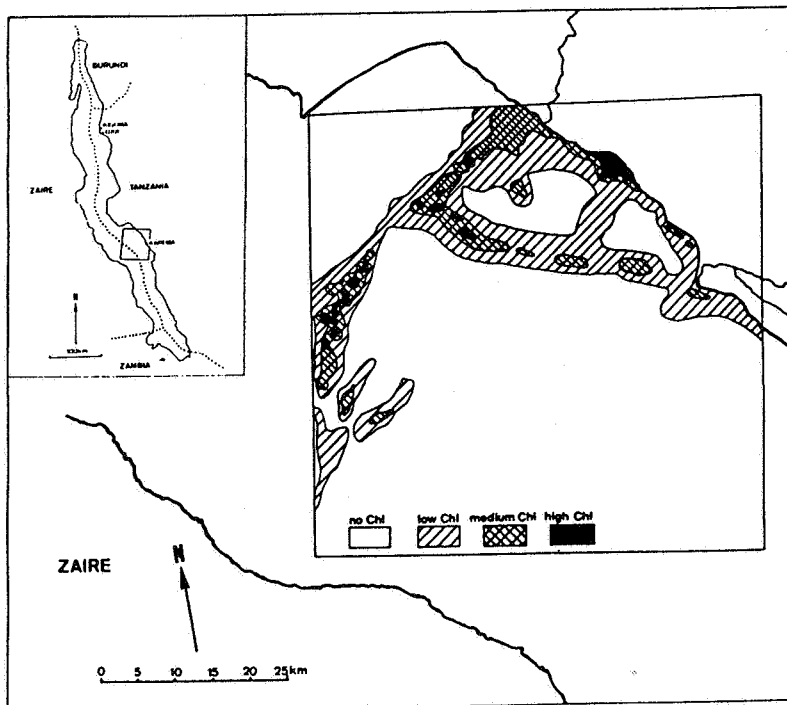
Voor Landsat Thematic Mapper kunnen gelijkaardige relaties opgesteld worden, bijvoorbeeld :

$$\log C = a + b \log [L(485)/L(560)]$$

De ijking van deze relatie moet gebeuren met behulp van veldwaarnemingen. Dit is tot nog toe niet gebeurd, zodat met bovenstaande vergelijking enkel relatieve concentraties kunnen bekomen worden.

2. TOEPASSING : TANGANYIKA MEER

De atmosferische correctie en het chlorofylle algoritme werden toegepast op een Landsat Thematic Mapper beeld van het centrale deel van het Tanganyika Meer (zie fig. 2). Het resulterende beeld gaf enkele duidelijke banden met hoge chlorofylleconcentraties weer. De gebieden buiten deze banden vertonen een zeer lage concentratie. De aanwezigheid van deze banden is niet evident. In wat volgt zullen enkele mogelijke verklaringen besproken worden.



Figuur 2 : De op het Landsat Thematic Mapper beeld waargenomen chlorofyllebanden (de chlorofylle is weergegeven in relatieve concentraties). Inzet : het Tanganyika Meer met aanduiding van de lokalisatie van het satellietbeeld.

2.1. BATHYMETRIE VAN HET TANGANYIKA MEER

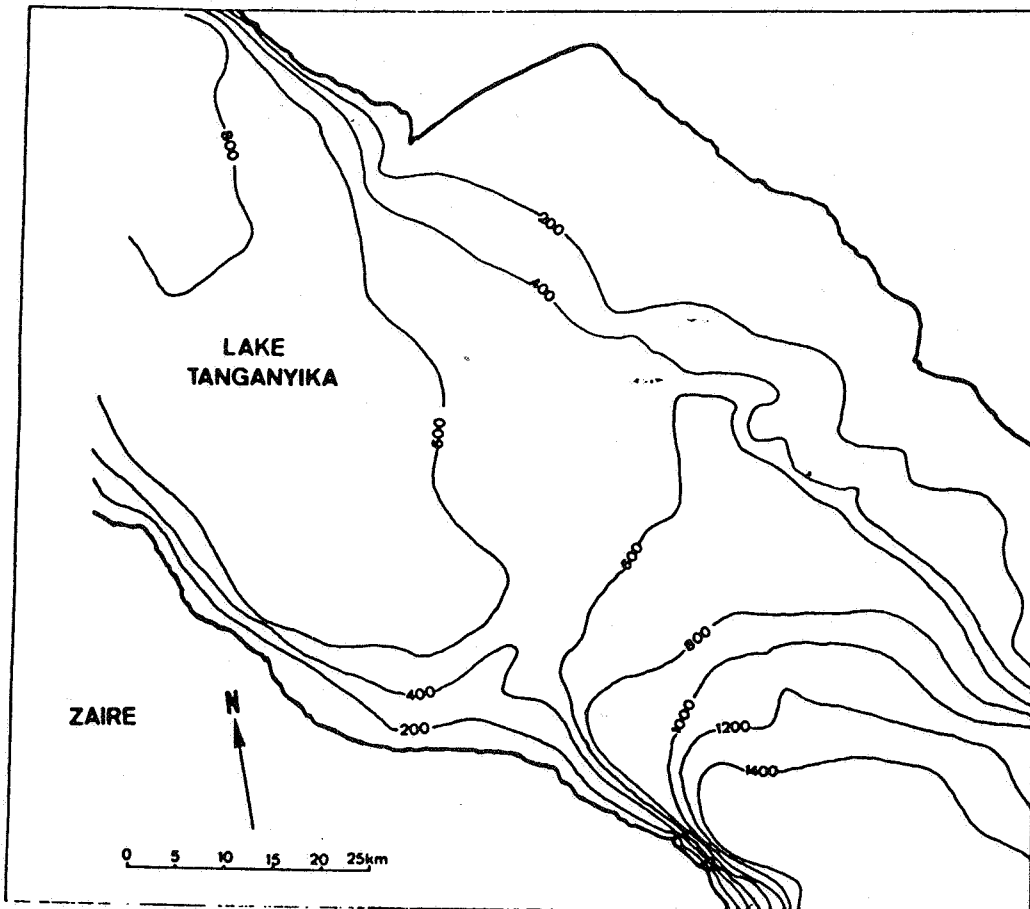
Er werd nagegaan of de chlorofyllebanden overeenkomen met ondiepe plaatsen in het meer.

CAPART's (1949) interpretatie van de bathymetrie voldeed niet. De randen van het meer kunnen momenteel veel nauwkeuriger bepaald worden met satellietbeelden. De oorspronkelijke dieptemetingen werden op de nieuwe kaart overgebracht. De bathymetrie werd op nieuw ingetekend (zie fig. 3).

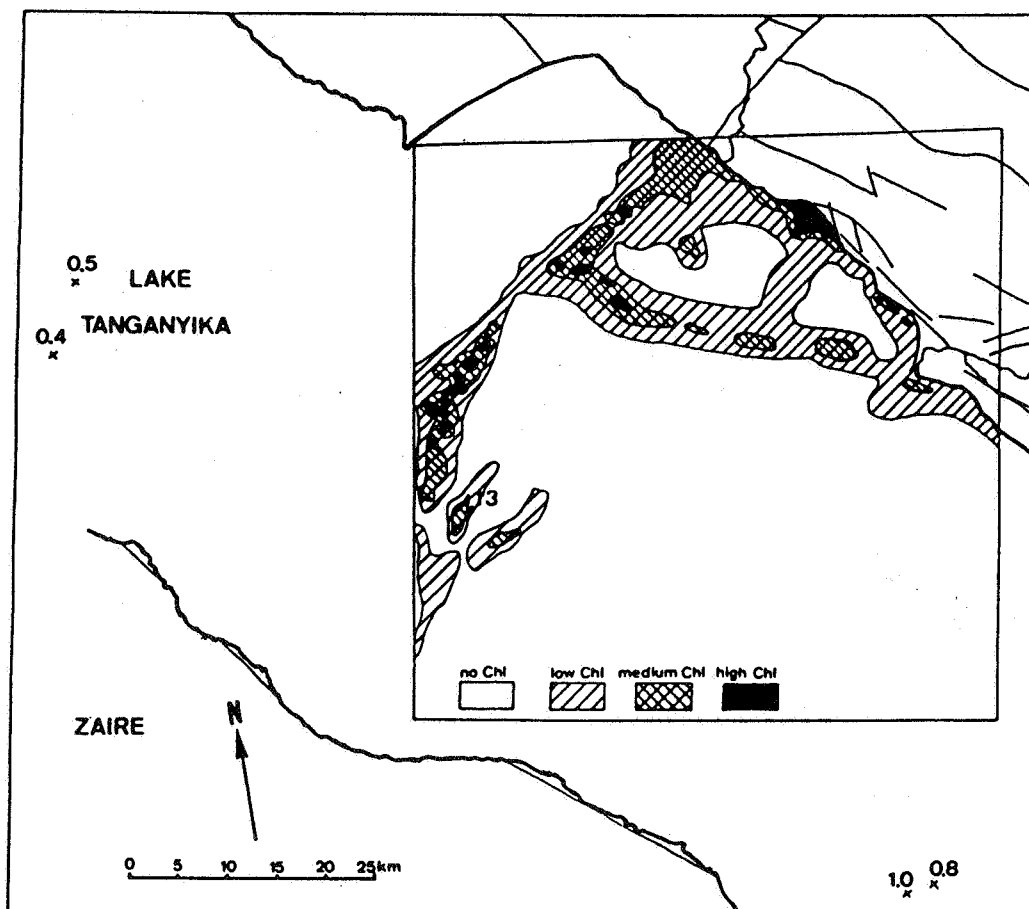
Uit vergelijking van de chlorofylleconcentraties met de nieuwe bathymetrische kaart bleek geen duidelijk verband. Plotse diepteverschillen zouden aanleiding kunnen geven tot opwaartse stromingen. Het is mogelijk dat zulke diepteverschillen niet werden opgemerkt doordat de metingen te verspreid zijn.

2.2. BIOCHEMIE VAN HET TANGANYIKA MEER

De resultaten van het biochemisch onderzoek door DEGENS en medewerkers (1971) zijn opmerkelijk. Het Tanganyika Meer is aan de oppervlakte bijna volledig verzadigd aan opgeloste zuurstof, ideaal voor algengroei, maar de voedingsstoffen ontbreken. Naar de bodem van het meer toe komen meer voedingsstoffen voor, met een maximum op 100 meter diepte. Ook de bodem van het meer is een rijke nutriëntenbron. Als er verticale stromingen voorkomen, kunnen de nutriënten aan de oppervlakte onmiddellijk aanleiding geven tot een algenbloei. Bij afwezigheid van zulk een opwaartse stroming zullen er praktisch geen algen voorkomen, behalve aan de randen van



Figuur 3 : De bathymetrie van het centrale deel van het Tanganyika Meer (op basis van Capart, 1949)



Figuur 4 : Breuken in het bestudeerde gebied (op basis van de géologische kaarten) en warmtefluxen aan het oppervlak in $\mu\text{ca:cm}^2 \text{ sec.}$ (naar Degens et al., 1971)

het meer, waar de diepte geringer is. Dit wordt ook waargenomen op het satellietbeeld.

Deze biochemische waarnemingen laten een lokale opwaartse stroming veronderstellen. De hoge temperaturen zullen een grote evaporatie veroorzaken. Als hierdoor een opwaarts transport zou ontstaan, moet dit gelijkmatig over het meer voorkomen. Dit kan dus de bandstructuur niet verklaren.

2.3. GEOLOGIE

Het breukpatroon van het gebied werd afgeleid van de bestaande geologische kaarten. Figuur 4 geeft deze breuken en de chlorofyllebanden weer. Het blijkt dat de twee chlorofyllebanden in het verlengde van twee breuken die duidelijk zichtbaar zijn op het landoppervlak. Tijdens recent onderzoek op het terrein bleek dat de NW-SE breukrichting recent nog actief geweest is. Opmerkelijk is dat de NE-SW breuk die op het landoppervlak deze recent actieve breuken onderbreekt, ook in het verlengde ligt van een chlorofylleband. Deze laatste band laat ook de loodrechte chlorofylleband doodlopen.

Een eerste verklaring voor de chlorofyllebanden is dan dat de breuken lopen door over de bodem van het meer. De plotse diepteverschillen geven aanleiding tot verticale stromingen die voedingsstoffen tot aan het oppervlak brengen.

2.4. WARMTEFLUXEN

DEGENS en medewerkers (1971) deden ook enkele metingen van de warmtefluxen aan de oppervlakte van het Tanganyika Meer. Het enige meetpunt dat in de buurt ligt van een chlorofylleband vertoont een iets hogere waarde (zie fig. 4). Het is gevaarlijk om een extrapolatie op basis van dit ene punt te maken. Ten N van het hier besproken gebied komen warmtefluxen voor die 2 to 3 maal zo hoog zijn. Als er ter hoogte van deze meetplaatsen ook chlorofylle banden zouden voorkomen, dan kan besloten worden dat een warmtebron, eventueel ter hoogte van een breuk, verantwoordelijk is voor het opwaartse transport van nutriënten.

BESLUIT

Het voorkomen van chlorofylle banden in het Tanganyika Meer is opmerkelijk. Een verband met de geologie van het gebied ligt voor de hand. De huidige stand van zaken laat niet toe te besluiten welk proces aan de basis ligt van een opwaarts transport van voedingsstoffen.

Afhankelijk van het proces dat het opwaarts transport veroorzaakt, kan gezegd worden dat de hier voorgestelde beeldverwerkingstechniek toelaat ofwel het verloop van breuken over de bodem van een meer te bepalen, ofwel warmtebronnen op de bodem van een meer te vinden. Een combinatie van

beide is denkbaar. Andere processen, op basis van de hydrodynamiek, zijn niet uitgesloten. Voor de studie van deze laatste processen is echter numerieke modellering nodig.

Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of ten N van het onderzochte gebied gelijkwaardige chlorofylle banden voorkomen, en waardoor ze veroorzaakt worden.

REFERENTIES

- CAPART, A. (1949) - Exploration Hydrobiologique du Lac Tanganyika (1946-1947), Résultats Scientifiques, Vol. II, Fascicule 2 : Sondages et Carte bathymétrique. - Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles.
- CLARK, D.K. (1981) - Phytoplankton Pigment Algorithms for the Nimbus-7 CZCS. - In : Oceanography from Space, (Ed. Gower J.F. R.), Plenum Press, New-York, 227-237.
- DEGENS, E.T., VON HERZEN, R.P. and WONG, H.-K. (1971) - Lake Tanganyika : Water Chemistry Sediments, Geological Structure. - In : Naturwissenschaften, vol. 58, 229-241.
- MOREL, A. and PRIEUR, L. (1977) - Analysis of Variations in Ocean Colour. - In : Limnology and Oceanography, vol. 22, 709-722.
- VANOUPINES, P.I. (1986) - A simple Atmospheric Correction Algorithm for Landsat Thematic Mapper Satellite Images. - In : Remote Sensing for Development and Environment Management (Ed. M.C.J. Damen, G.S. Smith and H. Th. Verstappen), Proceedings of the 7th International ISPRS Symposium, Enschede, The Netherlands, 1986, A.A. Balkema, Rotterdam-Boston, 787-791.
- VANOUPINES, P.I. (1987) - An Atmospheric Correction Algorithm for Landsat TM, suitable for general Applications. - In : Proceedings of the International Meeting on Atmospheric Transparency for Satellite Application, Capri, Italy (in press).

Ciments d'Obourg s.a.

Ciments Portland à la pouzzolane PPz30

Ciments Portland P 40, P 50.

Ciments de haut fourneau HL 30, HK 40.

Concassés calcaires secs et lavés de tous calibres.

Sables spéciaux pour constructions.

Sables de concassage et fillers pour routes.

Mélanges spéciaux pour fondations de routes (graves laitier
(graves chlorure

Chaux hydraulique artificielle.

Administration centrale et direction générale

7048 OBOURG