

Bull. Soc. belge Géologie	T. 86	fasc. 3	pp. 113-118	1 fig.	1 tab.	Bruxelles 1977
Bull. Belg. Ver. Geologie	V. 86	deel 3	blz.113-118	1 fig.	1 taf.	Brussel 1977

PEBBLES AND COBBLES ON THE BELGIAN NORTH SEA BEACH

by M. L'ABBE (*)

SUMMARY. - Quantitative and qualitative data are given for 276 pebble (4-64 mm) and cobble (64-256 mm) specimens from eight localities of the Belgian North Sea beach. The change in concentration of Paniselian sandstone since 1954 suggests a change in hydrodynamic activity of the beach during the last twenty years.

SAMENVATTING. - Voor 276 kiezels (4-64 mm) en keien (64-256 mm) van het Belgisch Noordzeestrand, zijn kwantitatieve en kwalitatieve gegevens meegedeeld. De verandering in concentratie van Paniseliaan zandsteen sedert 1954 veronderstelt een verandering in hydrodynamische activiteit van de zee op het strand gedurende de laatste twintig jaren.

RESUME. - 276 cailloux (4-64 mm) et galets (64-256 mm), provenant de huit localités de l'estran belge de la Mer du Nord, ont été étudiés qualitativement et quantitativement. La concentration des grès paniséliens, changée depuis 1954, fait supposer un changement de l'activité hydrodynamique de la mer sur l'estran au cours des derniers vingt ans.

INTRODUCTION.

Sandstone pebbles and cobbles (WENTWORTH's nomenclature, 1922) of Paniselian age (Tertiary) have been observed along the Belgian beach by LERICHE (1931, 1948). This author indicated a maximum concentration between Blankenberge and De Haan, without mentioning numerical data.

VERBEEK (1954) described submarine outcrops of coarse-grained glauconite Paniselian sandstone ("grès lustrés") in front of the Belgian coast between Blankenberge-Wenduine and the East Hinder bank and of fine-grained, calcareous and glauconitic Paniselian sandstones between Oostende and the East and West Hinder banks. This has been confirmed by seismic observation (BASTIN, 1970). VERBEEK also mentioned the occurrence on the beach of pebbles and cobbles from both species, except at Heist. BASTIN (1974) mentioned that during his observations these pebbles and cobbles did not occur anymore on the beach.

This study deals with a recent investigation on the distribution and concentration of pebbles and cobbles along the Belgian beach during stormy periods. An attempt is made to express concentration quantitatively.

Location of sampling is at approximately 10 km interval (Fig.), near the high water level where pebbles and cobbles concentrate. Outside the sampling area they are very scarce. For each location,

(*) Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Brussel.

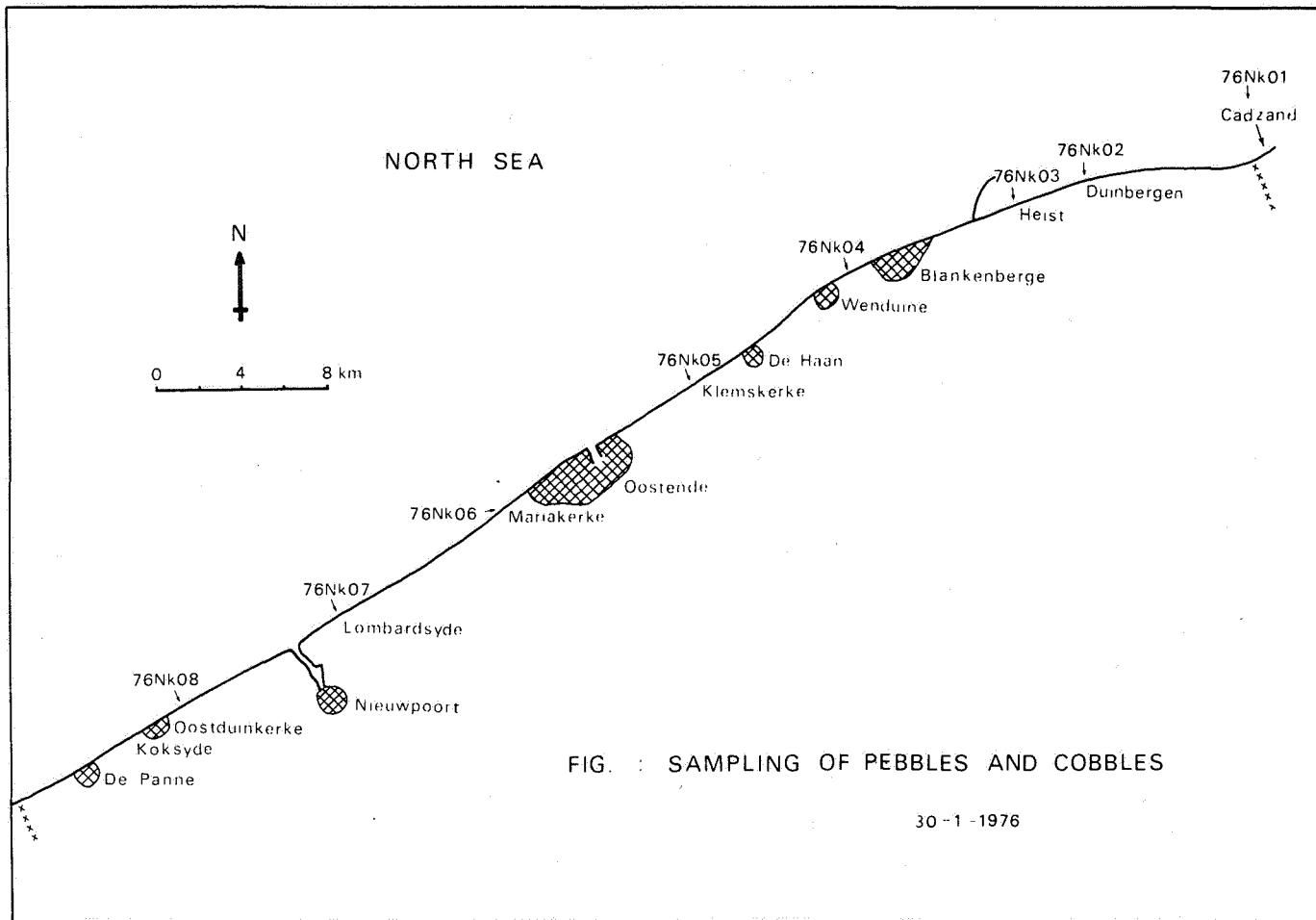


FIG. : SAMPLING OF PEBBLES AND COBBLES

30-1-1976

all the pebbles and cobbles occurring on the beach within a surface of 9 m² were sampled. Their specific nature is determined by microscopical examination of thin sections.

DESCRIPTION OF PEBBLES AND COBBLES.

Paniselian sandstones predominate. Less frequent are silexes, limestones, psammites, quartz-sandstones, quartzites, quartz-schists, not specified metamorphic rocks and diorites.

1. Paniselian pebbles and cobbles : Very hard, greyish-green, angular to rounded and flattened sandstones smaller than 15 cm in diameter. Their fresh fracture surface shows high lustre. Glauconite grains are visible with the naked eye. Some show very distinct ring-structure due to oxidation and (or) sedimentation (LERICHE, 1931). LERICHE (1931) and VERBEEK (1954) mentioned the presence of fossils (*Ophiurites eocaenus*, *Cylindracanthus rectus*, *Odontaspis macrota*, *Turritella solanderi*, *Turritella* sp., *Natica* sp., *Venericardia planicosta* Lank., *Ostrea* sp., etc.). In the present samples only undeterminable fossil fragments were observed. The Paniselian pebbles and cobbles from Duinbergen (sample 76Nk02-2) have a different facies. They are heterogeneous-black, very rounded and less than 20 cm in diameter. Microscopical examination shows the presence of angular porphyritic quartz and abundant very rounded green (or brown when oxidized) glauconite in a clear matrix of brown-coated quartz. Plagioclase, chlorite and muscovite occur accessorially. The pebbles and cobbles with fossils have a brown matrix of weathered material. Pebbles (99 specimens) are more abundant than cobbles (26 specimens).
2. Silexes : Grey, black or brown, mostly broken irregular-shaped pebbles and cobbles, with or without cacholong crust. Pebbles (33 specimens) are more abundant than cobbles (12 specimens). They are not remnants of concrete, as irregular-shaped silexes from concrete have cement remaining in small cavities and cracks even if they are weathered and rounded. Silexes with cement, derived from concrete constructions as breakwaters and dams, were removed.
3. Limestones : Black, angular and flattened pebbles with spots of white calcite. Since they are derived from breakwaters and dams, they are not further considered. They are abundant at Heist (46 pebbles) which is presumably related to recent works in the nearby harbour of Zeebrugge. A black and argillaceous limestone pebble was found at Klemskerke.
4. Psammites : Red, yellowish-brown or greenish-brown, layered and rounded pebbles containing quartz, biotite, plagioclase, muscovite and less abundant chlorite.
5. Quartz-sandstones: Red, greyish-brown, broken and flattened pebbles, containing brown coated, fine-grained quartz. Mica occurs as an accessory component. Glauconite is absent.
6. Quartzites : Reddish-brown, brown, rounded to very rounded pebbles and cobbles with fine-grained angular quartz with a crystalloblastic texture, sometimes with veins of coarser grains. Accessory components are mica and clay. Pebbles (9 specimens) are more abundant than cobbles (3 specimens).
7. Quartz-schist : Less abundant, green, very rounded pebble, containing much quartz, chlorite and muscovite and small amounts of plagioclase and biotite.
8. Not specified metamorphic rocks : Green, angular pebbles, containing phenocrysts of plagioclase, chlorite, also transformed plagioclase fragments and plagioclase with calcite and chlorite inclusions, in a phyllitic matrix.

9. Diorites of two types : 1) Angular, heterogeneous, greyish-green pebbles with porphyritic texture, containing phenocrysts of plagioclase, plagioclase with augite inclusions, muscovite, augite and quartz within a fine-grained plagioclase matrix. 2) Angular, porphyritic pebbles showing in a chlorite matrix, phenocrysts of pink plagioclase, weathered biotite and small amounts of quartz.

DISCUSSION.

Detailed study of the Belgian North Sea beach shows that pebbles and cobbles are not uniformly distributed. They are concentrated in a small band near the high water level, strongly scattered on the higher part of the beach and almost absent on the lower part. They are lacking near Lombardsyde and increase in number towards the North-East as to the South-West as well (table). This has been confirmed by observations during summer periods (1975-1976). One must conclude that BASTIN's (1974) observations are only valid for the neighbourhood of Lombardsyde, where also during this study pebbles and cobbles were lacking.

Quantitative values are given for nine pebble and cobble species (table). None of them is present in an appreciable amount along the whole coast. Cobbles (47 specimens) are less abundant than pebbles (229 specimens). They occur eastward of Wenduine. Most abundant are Paniselian sandstone and silex.

Silex, rather rare at Oostduinkerke (1 pebble) and Mariakerke (2 pebbles), becomes more abundant eastward of Heist.

Two different origins can be considered. Silex pebbles and cobbles, mostly not broken, with a white cacholong crust, show no traces of transport and are probably of French origin (outcrop of Cretaceous chalk deposits westward of Calais) (DESTOMBES et HATRIVAL, 1971). Silex pebbles and cobbles without a white cacholong crust show chattermarks (ESCHER, 1962).

Paniselian pebbles and cobbles are lacking south-westward of Mariakerke, but increase steadily in number to the North-East, except at Heist where they do not occur (Fig., table). Occurrences between Blankenberge and De Haan, observed by LERICHE (1931) and VERBEEK (1954), do not agree with present data which may relate to a change in sedimentation pattern. Recent studies (DEPUYDT, 1972 and L'ABBE, 1975) showed an erosive action of the sea between Heist and Oostende and an accumulation of sediments eastward of Duinbergen. Transport of pebbles and cobbles from the section between Blankenberge and De Haan towards the East by dominant flood currents (BASTIN, 1974) may be possible. Nothing however is known about the water currents at the time of the observations of LERICHE (1948).

In general, there seems to be a relationship between the number of pebbles and cobbles and the erosion or accumulation on the beach. Along the accumulation coast of Koksyde and Mariakerke (L'ABBE, 1975) a great amount of sand is supplied from the sea, burrying the pebbles so that only a smaller number is seen at the sedimentation surface. Eastward of Klemskerke where erosion is more important, the finer sand particles are washed out, while the larger and heavier particles (coarse sand, pebbles and cobbles) become abundant (lag deposit).

CONCLUSION.

The concentration of Paniselian pebbles and cobbles along the Belgian coast changed during the last 20 years, when compared with observations from LERICHE (1931) and VERBEEK (1954). This probably indicates a change in the hydrodynamic activity of the sea on the beach resulting in an increased erosion eastward of Oostende.

TABLE. - OCCURRENCE OF PEBBLES AND COBBLES ALONG THE BELGIAN BEACH.

Locality	Sample	Total P+C	1	2	3	4	5	6	7	8
Cadzand	76Nk01	P	49	24	-	-	-	-	-	-
		C	22	-	-	-	-	-	-	-
Duinbergen	76Nk02	P	41	6	3	15	-	3	-	4
		C	-	-	2	-	-	3	-	-
Heist	76Nk03	P	-	-	46	-	-	-	-	1
		C	-	12	-	-	-	-	-	-
Wenduine	76Nk04	P	6	-	-	-	-	2	-	-
		C	4	-	1	-	-	-	-	-
Klemskerke	76Nk05	P	2	-	2	-	7	-	-	-
		C	-	-	-	-	-	-	-	-
Mariakerke	76Nk06	P	1	2	-	-	-	1	(1)	-
		C	-	-	3	-	-	-	-	-
Lombardsyde	76Nk07	P	-	-	-	-	-	-	-	-
		C	-	-	-	-	-	-	-	-
Oostduinkerke	76Nk08	P	-	1	-	-	2	3	5	2
		C	-	-	-	-	-	-	-	-

P = pebble; C = cobble; 1. Paniselian sandstone; 2. Silex; 3. Limestone; 4. Psammite; 5. Quartz-sandstone; 6. Quartzite; 7. Quartz-schist () and not specified metamorphic rock; 8. Diorite.

BIBLIOGRAPHY.

- BASTIN, A. (1970) - Seismic profiles in the Southern North Sea of the Belgian coast. - Forces Armées Belges. Etat major Général de la Force Navale. Rapport DER 14/70 dec.
- BASTIN, A. (1974) - Regionale sedimentologie en morfologie van de Zuidelijke Noordzee en het Schelde estuarium. - Doktoraatsproefschrift, Univ. Leuven 83 pp.
- DEPUYDT, F. (1972) - De Belgische strand- en duinformaties in het kader van de geomorfologie der zuidoostelijke Noordzeekust. - Kon. Acad. Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten België, XXXIV, 122, 228 pp.
- DESTOMBES, J.P. et P. HATRIVAL, J.M. (1971) - Carte géologique à 1/50.000 - Marquise XXI-3 "Boulonnais-Nord". - Serv. Géol. Nat. Orléans, France
- ESCHER, B.C. (1962) - Grondslagen der algemene geologie. - Amsterdam, 428 pp.
- L'ABBE, M. (1975) - Sedimentpetrologie van recente strandafzettingen langs de Vlaamse en Noordfranse kust. - Licenciaatsverhandeling, Univ. Gent, 72 pp.

De janvier à juin 1972, le niveau de la nappe du calcaire est descendu de 55,2 m à 55,8 m pour se situer vers 60 m de profondeur durant le début de 1977. Sous l'effet de la dépression généralisée causée par les pompages, ce puits aspirait modérément de l'air en 1972, l'aspiration étant devenue forte en 1976. Pour mémoire, on mesurait à Hérimnes, en 1974, une dépression de 75 mm Hg.

A Molenbaix, lorsque le niveau de l'eau se situait au niveau de la crevasse rencontrée entre 55,3 m et 55,6 m de profondeur, on enregistrait des pulsations entretenues du niveau de l'eau sous l'effet de l'aspira-

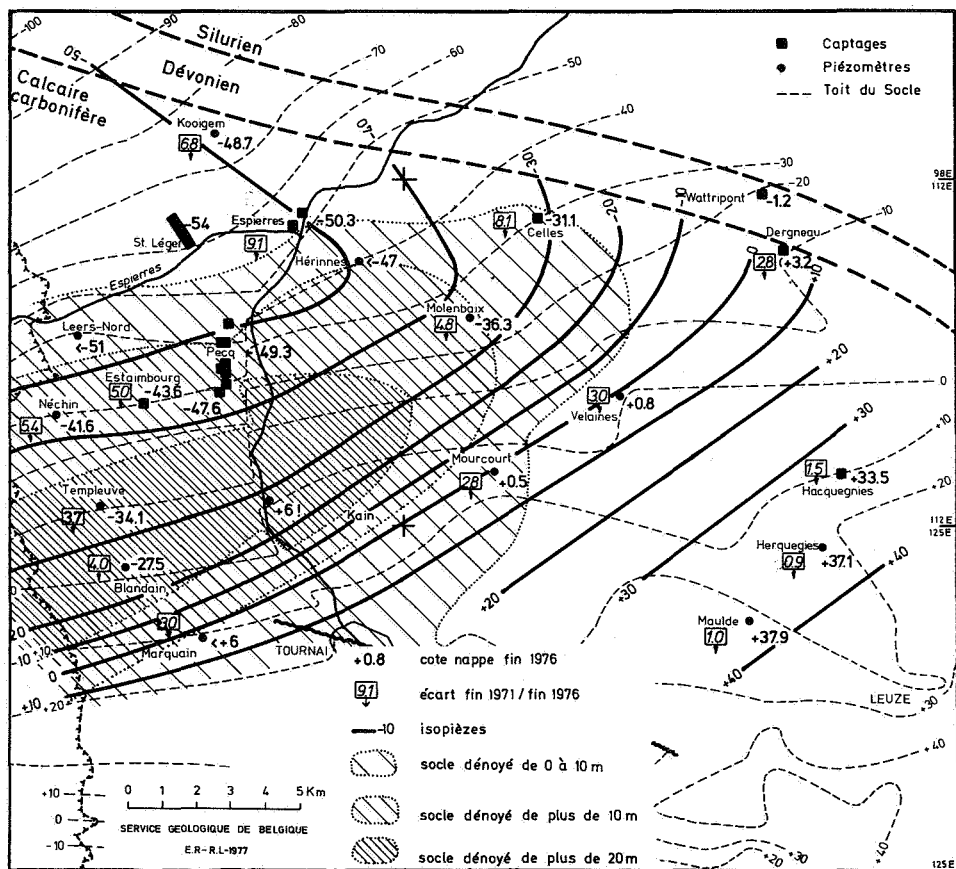


Fig. 1. - Plan de localisation des piézomètres.

tion de l'air. Le plus fréquemment, les pulsations avaient une ampleur de 1 à 2 cm à intervalle de l'ordre d'une heure (correspondant à une rotation de 2 mm du cylindre enregistreur). D'autre fois, des pulsations beaucoup plus rapides noirissaient une bande sur le diagramme. Enfin, du 15 au 25 mars, des fluctuations décimétriques sont en désaccord avec les variations barométriques et le trait montre des épaississements dus à des pulsations rapides d'amplitude millimétrique. Ces phénomènes ont été décrits par M. GULINCK (B8) auquel sont empruntées la figure 2, donnant une vue d'ensemble de leur évolution, du 24 février au 12 avril 1972, et la figure 3 reproduisant des détails des enregistrements.

Ces phénomènes ont disparu à partir de juin 1972, date à laquelle la crevasse était entièrement dénoyée, le niveau de la nappe s'étant abaissé définitivement sous 56 m de profondeur.

Ce premier cas illustre des pulsations engendrées par l'aspiration de l'air en face d'une fissure, au temps de la descente généralisée de la nappe du calcaire.

Le cas suivant est lié au refoulement de l'air mis sous pression par la remontée rapide de la nappe, air emprisonné sous la couverture imperméable des marnes turoniennes dans la région où le toit du calcaire est dénoyé.

Depuis les effondrements survenus à Kain le 1 janvier 1977, trouant le lit de l'Escaut, on observe une remontée rapide de la nappe du calcaire sous toute la région occidentale du Tournaisis et la région française voisine. Puits et piézomètres refoulent de l'air, plus ou moins énergiquement suivant les variations barométriques (Ramegnies-Chin, Templeuve, Estaimbourg). Le piézomètre de Leers-Nord refoulait fortement de l'air de façon continue jus'au mois d'août 1977, le niveau de l'eau restant sous la profondeur de 62 m 70. Depuis septembre, le refoulement régulier s'est transformé en refoulement saccadé, par bouffées d'air entrecoupées de bruits de gargouillis d'eau. Le niveau de l'eau est remonté de 62 m 70 à 62 m 20 de profondeur aujourd'hui.

La coupe du sondage indique la base des marnes imperméables à la profondeur de 58 m 90, le toit du calcaire étant fissuré (B3, p. 6). La description des carottes mentionne la présence d'une fissure ouverte, notée par le sondeur de 62 m 00 à 63 m 60 sous le niveau du sol (planch. 111 W n°256). L'obturation plus ou moins complète de cette fissure en liaison avec un réseau de diaclase à 80°, par l'eau de la nappe du calcaire, règle les variations d'intensité et de durée d'échappement des bouffées d'air.

Dans l'un comme dans l'autre cas, ces pulsations se produisent à proximité du sommet du calcaire, en relation avec des fissures observées, lorsque la nappe est à peine décollée de son toit imperméable. Aucun effondrement du sol n'est en relation avec les battements observés qui n'affectent guère que les puits (Hérinnes, Molenbaix, Mourcourt, Leers-Nord) lorsque des conditions géométriques bien déterminées sont réalisées.

HYDROSEISMOGRAMMES.

Les enregistrements de pulsations, plus ou moins entretenues, liées à l'aspiration de l'air, ou à son refoulement, sont caractéristiques.

D'autres événements sont enregistrés par l'un ou l'autre limnigramme. Le fait est d'autant plus insolite qu'il est exceptionnel de les retrouver sur plusieurs limnigrammes. Il s'agit d'oscillations amorties débutant généralement par l'impulsion la plus forte, mais pas toujours. Ainsi le 19 août 1977, c'est la quatrième oscillation qui a atteint la plus grande amplitude. Exceptionnellement, il s'agit d'une impulsion unique marquant un seul aller et retour du niveau de l'eau par rapport à son niveau moyen.

Le déroulement de l'enregistrement couvre 2 mm pour une heure. Après 14 jours d'enregistrement, l'erreur peut atteindre une heure et varie d'un limnigraphe à l'autre. Actuellement, le rapport d'enregistrement est 1/5 c.-à-d. que 1 mm de diagramme correspond à 5 mm de variation du niveau de l'eau.

Des oscillations atteignant la dizaine de cm s'amortissent en moyenne en un quart d'heure après 3 ou 4 oscillations. Si elles atteignent 20 cm, on relève 6 à 8 oscillations amorties en une demi-heure. Le 26 mai 1975, l'amortissement d'une oscillation initiale de 102 cm a duré 1 h 30.

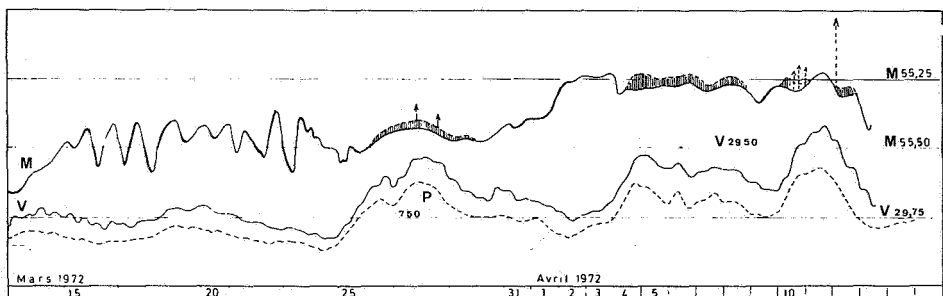
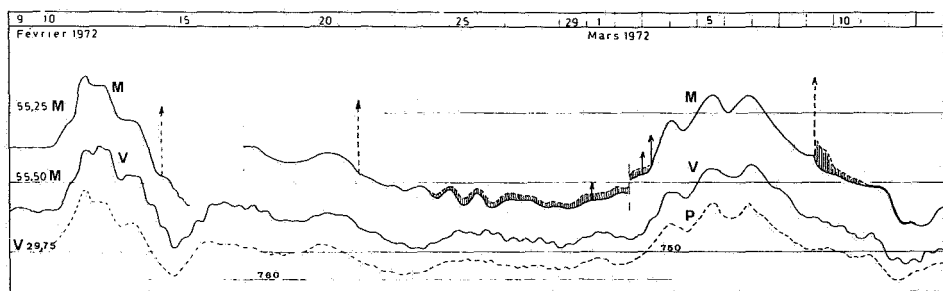


Fig. 2. - Phénomènes de battement du niveau de l'eau dans le puits de Molenbaix.
 M : Molenbaix; V : Velaines; P : Pression atmosphérique, en mm Hg.

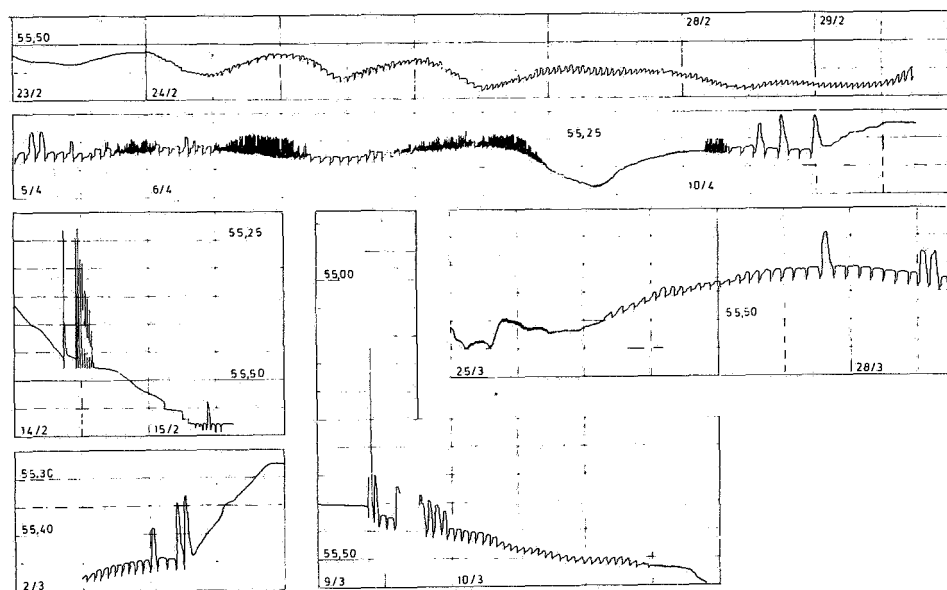


Fig. 3. - Décalsques de quelques enregistrements à Molenbaix.

En général, la durée d'une oscillation est plus proche de 5 minutes que de 10 minutes.

Des variations décimétriques du niveau de la nappe du calcaire, d'une telle durée, n'affectant qu'un seul piézomètre, ont fait penser à des éboulements en profondeur à proximité du piézomètre. Cette hypothèse n'est plus applicable à l'événement du 26 mai 1975, enregistré à la même heure par quatre des huit piézomètres. Dans ce cas, il s'agit manifestement d'une répercussion, dans la nappe, séisme de l'Atlantique Nord.

Ces changements brutaux du niveau de la nappe affectant presque uniquement le piézomètre de Maulde, on a pensé aux tirs de carrière. Cette hypothèse est exclue dès qu'on relève le jour de la semaine et l'heure d'inscription des oscillations amorties.

M. GULINCK avait noté plusieurs cas de concordance entre ces oscillations insolites et d'importants tremblements de terre lointains. Ayant remarqué la coïncidence des événements du 6 mai 1976, et spécialement du 19 août 1977, avec le tremblement de terre du Frioul et celui d'Indonésie, nous avons réexaminé tous les limnigrammes du Tournaisis depuis 1967.

En principe, nous n'avons retenu que les impulsions d'au moins 4 mm sur le diagramme, correspondant à un changement de 2 cm du niveau de la nappe, afin d'écartier en toute certitude les bonds engendrés par l'adhérence du flotteur du limnigraphe.

Voici le relevé des hydroséismogrammes observés. A gauche figurent le jour, la date et l'heure ramenée au Temps Universel. Après réexamen, nous avons parfois précisé au quart d'heure près le début des oscillations, mais nous n'avons pas toujours la certitude à une heure près par suite de la difficulté éprouvée à retrouver le point précis de démarrage de l'enregistrement. Il y a lieu de noter que l'enregistreur de Maulde retarde d'une heure après 14 jours, ce dont nous avons tenu compte. Le cylindre enregistreur effectuant un tour en huit jours, il y a deux tracés qui parfois arrivent en superposition et il y a plusieurs cas où il est difficile de démêler les tracés de chacune des deux semaines de l'enregistrement. A droite figurent les données relevées par l'Observatoire d'Uccle, que nous remercions pour son obligeante collaboration; on y trouve le temps d'origine, la magnitude et le lieu de chacun des tremblements de terre, coïncidant avec les oscillations amorties observées.

cm T.U. origine lieu
magnitude

1967 : néant

1968

Hérinnes	J	16	V	1 h 30	52		0h 48m	55s	7,9	Japon
----------	---	----	---	--------	----	--	--------	-----	-----	-------

1969

Marquain	V	28	III	10 h 45	5		9h 24m	16s	5,0	Ile Volcano(Pacifique)
Hérinnes	L	11	VIII	22 h	16		21h 27m	39s	7,1	Iles Kouriles
Blandain	S	13	XII	22 h 30?	33		22h 6m	55s	5,2	Iles Célèbes

1970 : néant

1971 : néant

1972

D 30	VII	22 h			7		21h 45m	14s	6,5	Alaska
D 17	IX	13 h 30		6			14h 07m	15s	5,6	Grèce
S 2	XII	2 h		10			1h 19m	49s	6,3	Philippines
L 4	XII	11, h		5			10h 16m	12s	6,6	Japon
V 8	XII	10 h			18		9h 15m	36s	5,0	Philippines

N.B. : Le piézomètre de Maulde a été exécuté en novembre 1971; un limnigraphe y a été placé à partir d'août 1972.

1973

				Mauide	Hérinnes					
M	6	II	11 h	8			10h 37m 10s	6,1	Tcheouan (Chine)	
S	17	III	9 h	4					Néant	
D	17	VI	4 h	10			3h 55m 02s	6,5	Nord Japon	
D	24	VI	4 h 30	6			3h 54m	4,2	Iles Kouriles	
M	28	VIII	15 h 30	5			15h 01m 59s	5,8	Crête atlantique	
M	11	IX	9 h		51		9h 31m	5,5	Nouvelle Bretagne	
D	16	IX	21 h		(80)		19h 09m 59s	4,7	Japon	

impulsion vers le haut de 40 cm, puis curseur décroché en butant au fond.

N.B. : L'enregistrement continu à Hérinnes a cessé le 4 avril 1974.

1974

J	4	VII	20 h	5			19h 30m 42s	6,1	Mongolie	
D	11	VIII	1 h 30	6			1h 13m 55s	6,4	Tadchik (URSS)	
D	18	VIII	11 h 30	2			10h 44m 13s	5,9	Chili central	
J	3	X	15 h	4			14h 21m 29s	6,2	Côte du Pérou	
m	16	X	6 h	13			5h 45m 11s	5,7	Crête atlantique	

1975

				Mourcourt			Velaines			Blandain		
M	4	II	13 h	26					11h 36m 06s	6,1	N.E. Chine	
J	27	III	6 h 30	5					6h 15m 46s	4,8	Turquie	
m	16	IV	2 h	11					2h 00m 07s	5,2	Afrique du Sud	
S	10	V	16 h	5					14h 42m 03s	5,2	Chili central	
L	26	V	9 h 30	102	19	5	2		9h 11m 51s	6,7	Atlantique Nord	
M	10	VI	13 h	2					13h 47m 18s	5,6	Iles Kouriles	
V	13	VI	19 h 30	1					18h 18m 51s	5,3	Iles Kouriles	
S	6	IX	10 h	5					9h 20m 11s	6,1	Turquie	
S	11	X	17 h	5					16h 24m 18s	5,2	Côte N. Pérou	
V	31	X	10 h 30	6					9h 38m 59s	5,0	Philippines	
S	29	XI	15 h 30	4					14h 47m 40s	6,0	Hawaï	
V	26	XII	*	5					17h 59m 58s	5,0	Iles Célèbes	

* oscille de 18 h 30 à 19 h 30

1976

M	13	I	14 h 15	12	Mourcourt	13h	29m	20s	6,0	Islande
m	14	I	18 h	4		16h	47m	34s	6,5	Iles Kermadec
	"		19 h	6		17h	45m	17s	5,5	Iles Kermadec
m	21	I	11 h 30	2		10h	14m	13s	5,8	Iles Kouriles
pas de limmigrammes du 25 I au 6 II										
J	8	IV	3 h	4	3	2h	40m	27s	6,5	Uzbékistan
S	24	IV	*			11h	24m	25s	5,7	Japon
* oscille de 11 h à 17 h										
J	6	V	20 h	43	33	20h	00m	15s	6,7	Frioul
L	17	V	3 h	6		2h	44m	59s	5,4	Ile Kodiak
M	27	VII	21 h	37		données non publiées				
m	28	VII	12 h	11		10h	45m	35s	6,3	Chine
L	9	VIII	10 h 30	11		11h	40m	35s	5,5	Nouvelles Hébrides
L	16	VIII	17 h	11		16h	11m	10s	8,0	Philippines
M	17	VIII	13 h			11h	31m	46s	5,0	Philippines
S	11	IX	16 h 45	5		16h	35m	03s	5,3	(Autriche) Frioul
m	15	IX	3 h 30	22		3h	14m	20s	5,7	" "
	"		9 h 30	22		9h	21m	19s	5,4	" "
L	15	XI	14 h 30	2		13h	53m	01s	6,0	Chine
m	24	XI	13 h	9	12h	22m	19s	6,1	N.W. Iran	

1977

V	4	III	20 h	31	Maulde	19h	21m	54s	6,8	Roumanie	
amorti à 20 h 45						à Molenbaix, curseur	dessoudé (sous le choc? >100cm?)				
V	18	III	23 h	4		21h	43m	52s	6,8	Philippines	
S	2	IV	7 h	2		7h	15m	25s	7,5	Iles Samoa	
m	21	IV	0 h 30	3		1e 20 à 23h	42m	54s	7,4	Iles Salomon	
V	19	VIII	7 h	13		6h	08m	53s	7,8	Sumba (Indonésie)	
m	23	XI	10 h 30	4		9h	26m	30s	6,5	San Juan (Argentine)	

CONCLUSIONS.

Une telle concordance entre les deux volets du tableau force l'évidence, Il s'agit bien d' "hydroséismogrammes" car les fluctuations du niveau d'eau enregistrées sont en relation avec les séismes.

Il ne s'agit donc pas d'éboulement localisé, en profondeur, à proximité d'un piézomètres. On n'a pas avancé d'un pas dans la prévision des effondrements en surface dans le Tournaisis. Et pourtant ! Dans l'état actuel de déséquilibre de la nappe du calcaire dans son réservoir karstique très profondément fissuré, des fluctuations décimétriques aussi brutales du niveau de la nappe constituent une cause suffisante pour le déclenchement d'éboulements en profondeur. Qu'il faille des mois ou des années pour leur propagation jusqu'en surface est un autre problème (A1, A3). Nul n'avait songé jusqu'à ce jour que des tremblements de terre aussi lointains que les Antipodes pouvaient affecter la nappe du Tournaisis avec une telle amplitude et avec tant de brutalité par rapport aux fluctuations de la pression atmosphérique et aux variations dues aux captages.

Ce relevé ouvre un autre problème. Pourquoi le piézomètre de Maulde est-il si nerveux et pas les autres, alors que les conditions hydrologiques et géologiques sont comparables ?

On entrevoit un autre problème. Pourquoi, statistiquement, y a-t-il une fréquence anormalement élevée d'oscillations égales ou multiples de onze centimètres. Quelle pourrait être la cause d'un phénomène de résonance de l'eau avec les ondes sismiques?

Communication présentée à la séance du 22 novembre 1977.

Fig. 4. - EXEMPLES D'HYDROSEISMOGRAMMES

Le déroulement horizontal s'effectue à la vitesse de 2 mm à l'heure; le temps enregistré est le temps civil. L'amplitude verticale est en rapport 1/5, 1 mm d'enregistrement correspond à une modification de 0,5 cm du niveau de la nappe (sauf pour l'exemple 6 où le rapport est 1/20).

- 1 - Maulde 26 mai 1975 (Atlantique Nord)
enregistrement typique, mais d'amplitude exceptionnelle (la base, tronquée sur ce cliché, montre quatre impulsions distinctes avec projection d'encre).
- 2 - Mourcourt, même jour, même heure (même séisme)
enregistrement typique; oscillation initiale la plus forte.
- 3 - Mourcourt 6 mai 1976 (Frioul) et
- 5 - Maulde 15 septembre 1976 (Frioul)
trois exemples d'oscillation unique (cas exceptionnels).
- 4 - Maulde 4 février 1975 (Chine)
oscillation médiane la plus forte (cas atypique).
- 6 - Hérinnes 16 mai 1968 (Japon) (rapport 1/20 en hauteur)
descente prémonitoire de 8 cm en une demi-heure (voir réf. C5, fig. 13).
- 7 - Maulde 24 juin 1973 (I. Kouriles)
autre cas de descente prémonitoire durant une demi-heure.
- 8 - Maulde 17 juin 1973 (Japon)
- 9 - Maulde 16 octobre 1974 (Crête atlantique)
- 10 - Maulde 24 novembre 1976 (Iran)
trois cas de remontée de la nappe; oscillation médiane la plus forte.
- 11 - Maulde 13 janvier 1976 (Islande) - cas normal
Maulde 14 janvier 1976 (I. Kermadec) - double séisme
Maulde 21 janvier 1976 (I. Kouriles) - petite oscillation.
- 12 - Maulde 9 août 1976 (Nouvelles Hébrides)
Maulde 16 août 1976 (Philippines)
petit séisme à l'intersection des graphiques du 8 et du 16, non répertorié;
amplitude 1 cm.

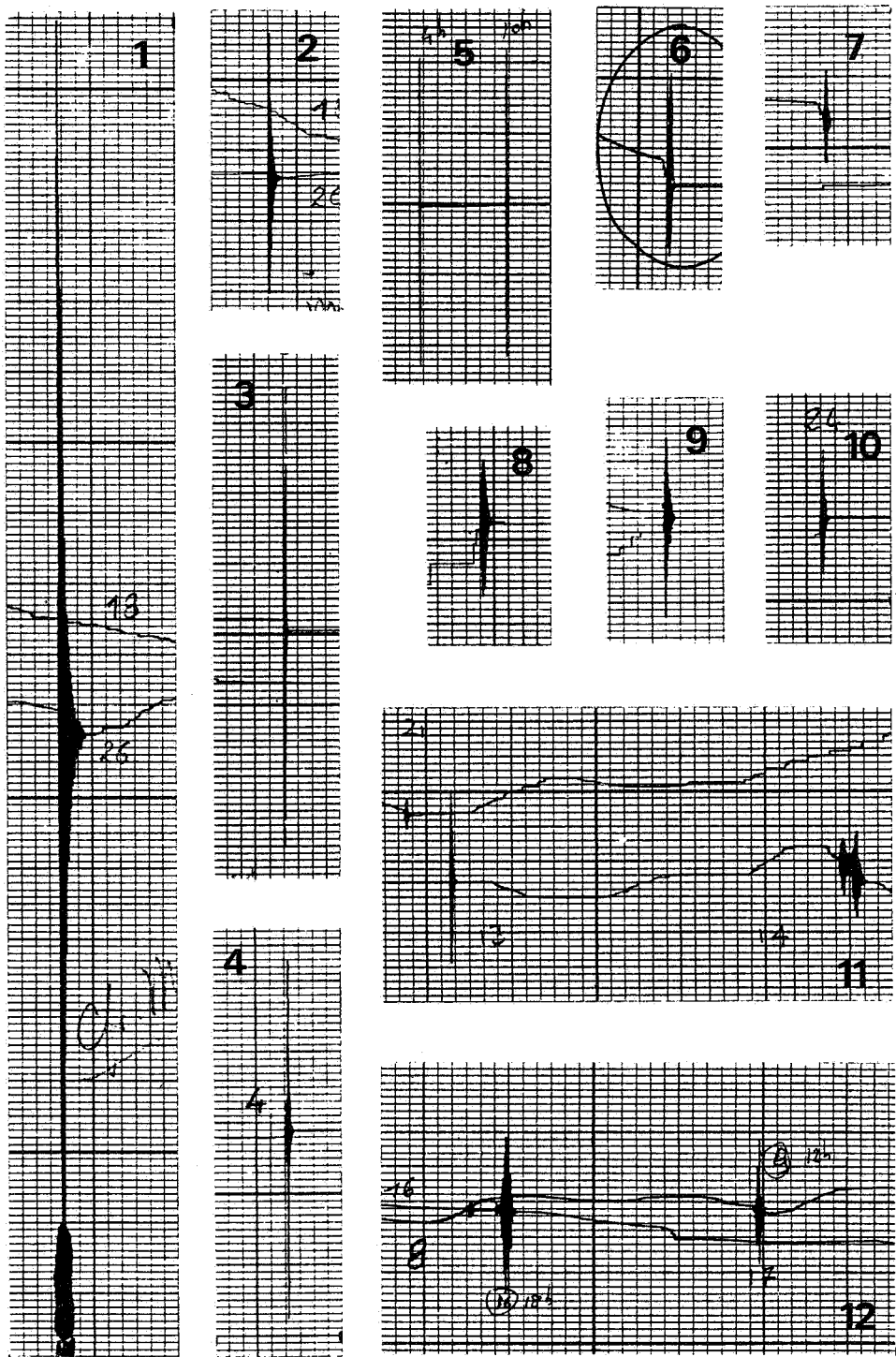


Fig. 4. - Exemples d'hydroséismogrammes.

BIBLIOGRAPHIE.

A. PUITS NATURELS DU TOURNAISIS.

1. LEFEBVRE, G. et LEGRAND, R. (1964) - Les puits naturels du Tournaisis. - *Bull.Soc. belge Géol.*, tome 73, pp. 66-80.
2. LEFEBVRE, G., LEGRAND, R. et MORTELMANS, G. (1967) - Essaim de puits naturels à Kain. - *Bull. Soc. belge Géol.*, tome 76, pp. 63-66.
2. de ROUBAIX, E. et LEGRAND, R. (1977) - Effondrements du sol dans le Tournaisis.- *Service Géologique de Belgique*, mai 1977.

B. HYDROLOGIE DU TOURNAISIS.

1. GULINCK, M. (1962) - Le régime des nappes artésiennes de la Belgique. - *La Technique de l'Eau*, juillet 1962.
2. LEGRAND, R. (1967) - Autoroute de Wallonie (Implantation des Ponts/Section Nord de Tournai). - *Serv. Géol.* - Prof. Paper, 1967, n°1.
3. GULINCK, M. et LEGRAND, R. (1968) - Sondages de reconnaissance hydrologique dans le Calcaire Carbonifère du Tournaisis. - *Serv. Géol.* - Prof. paper, 1968, n°7.
4. GULINCK, M. et MARUN, V. (1968) - Variation du niveau de l'eau en 1967 dans le puits de Templeuve (Hainaut). - *Serv. Géol.* - Prof. paper, 1968, n°17.
5. GULINCK, M., LEGRAND, R. et DASSONVILLE, G. (1969) - La nappe aquifère Franco-belge du Calcaire Carbonifère. - *Bull. Soc. belge Géol.*, tome 78, pp. 235-251, Bruxelles.
6. GULINCK, M. (1970) - Observations piézométriques sur la nappe du Calcaire Carbonifère du Tournaisis en 1968-1969. - *Serv. Géol.* - Prof. paper, 1970, n°10.
7. GULINCK, M. et LEGRAND, R. (1970) - Carte hydrogéologique au 1/50.000 du Tournaisis. - *Serv. Géol. de Belgique*, Mém. n° 12.
8. GULINCK, M. (1972) - Phénomènes de battement du niveau de l'eau dans le puits de Molenbaix (Nappe du calcaire du Tournaisis). - *La Technique de l'eau n°310*, pp. 37-41, 7 fig.
9. GULINCK, M. (1973) - Observations piézométriques sur la nappe du Calcaire Carbonifère du Tournaisis en 1970-1971. - *Serv. Géol.* - Prof. paper, 1973, n°4.
10. GULINCK, M. et LEGRAND, R. (1973) - Reconnaissance hydrogéologique complémentaire dans le Tournaisis. - *Serv. Géol.* - Prof. paper, 1973, n°15.

C. HYDROSEISMOGRAMMES.

1. REXIN, E.E. (1952) - A well water oscillation seismograph. - *Earthquake Notes*, vol. 23, n°2, pp. 14-16.
2. VORHIS, R.C. (1953) - Milwaukee "hydroseismograms" and their interpretation. - *U.S. Geol. Survey open-file report*, pp. 25-29.
3. VORHIS, R.C. (1955) - Interpretation of hydrologic data resulting from earthquakes. - *Geologische Rundschau, Stuttgart*, vol. 43, pp. 50, fig. 2.
4. CASTAGNY, G. (1967) - Traité pratique des eaux souterraines. - *Dunod*, p. 493.
5. STERLING, A. et SMETS, E. (1970) - Etude des marées terrestres et des séismes par l'analyse des variations du niveau d'eau dans un puits à Heibaart. - *Ciel et Terre*, vol. 86, n°1, 23 pp.
6. STERLING, A. and SMETS, E. (1971) - Study of Earth Tides, Earthquakes and Terrestrial Spectroscopy by Analysis of the Level Fluctuations in a Borehole at Heibaart (Belgium). - *Geophys. J.R. astr., Soc.*, vol. 23, pp. 225-242.