

SISMIQUE DE RÉFRACTION DANS L'ÉTUDE DES SÉDIMENTS NON CONSOLIDÉS (AVEC APPLICATION DANS LA CAMPINE DU SUD, BELGIQUE)

L. GERARD, J. KAERTS et J. VANDENBERGHE

SAMENVATTING: De studie heeft tot doel de mogelijkheden te onderzoeken van refractie-seismische metingen in losse sedimenten. Daartoe werd de werkwijze op het terrein aangepast door als schokbron een vallend gewicht te gebruiken.

Door het refractie-seismisch onderzoek kon de grens tussen de glauconietrijke tertiaire zanden en de Boomse klei vervolgd worden. Daarenboven was er eveneens een nette grens te trekken tussen de kwartaire en tertiaire zanden. Dit laat toe het paleo-hydrografisch net op te sporen. In het bestudeerde gebied kon zo de oude loop van de Grote Nete teruggevonden worden tussen Baal en Westmeerbeek.

ABSTRACT: The possibilities of seismic refraction exploration in loose sediments were inquired. To that purpose the field method was adapted by using a falling weight as energy source.

The boundary between the glauconitic tertiary sands and the clay of Boom was revealed by the seismic refraction measurements. Moreover, a clear refraction plane could be observed between the quaternary and the tertiary sands. This allows to reconstruct the paleo-hydrographic basin. So a fossile bed of the Grote Nete River could be identified in this area between Baal and Westmeerbeek.

KURZFASSUNG: Die Absicht dieses Artikels war die Möglichkeiten der Refraktionsseismiek in lockeren Sedimenten zu untersuchen. Dazu wird das Verfahren im Felde angepasst durch Verwendung eines fallenden Gewichtes.

Die Grenze zwischen glaukonitreichen tertiären Sanden und dem Boom-Ton konnte bestimmt werden. Zudem wird eine nette Grenze gefunden zwischen quartären und tertiären Sanden. Das macht es möglich das paleo-hydrographische Netz zu rekonstruieren. Also konnte der fossile Lauf der Grote Nete zurück gefunden werden in diesem Gebiet zwischen Baal und Westmeerbeek.

1. Introduction

Cette méthode est, jusqu'à présent, peu employée pour l'étude des sédiments non-consolidés.

Des applications, pour la recherche de valées fossiles, sont sporadiquement décrites (ALLEN, 1960).

La plupart des expériences ont pour but de déterminer les qualités de résistance et perméabilité des massifs rocheux sous-jacents.

Aussi, dans la recherche sismique, les grandes variations des vitesses d'ondes dans ces sédiments sont plutôt considérées comme un

handicap. Plusieurs théories ont donc été développées: elles éliminent cette succession de couches et considèrent le tout comme un milieu anisotrope, dont la vitesse d'onde (v) est fonction de la profondeur (z). En général:

$$v_z = f[mz^a].$$

Nos expériences avaient pour but l'approche de la stratigraphie des sédiments non-consolidés par sismique de réfraction. Caractéristique pour ces sédiments est le grand facteur d'amortissement.

Donc pour atteindre une profondeur convenable, il nous fallait une source d'ondes de

choc assez importante. En plus, la grande densité d'habitation et de circulation avec toutes ces vibrations inhérentes provoquaient une gêne supplémentaire,

Ces ondes parasites sont des ondes de surface et donc faiblement amortissantes, même si la source se trouve à une distance considérable l'amplitude de ces ondes parasites est du même ordre de grandeur que les ondes de profondeur qu'il faut détecter.

En conclusion: la sensibilité du sismographe doit être assez basse pour ne pas réagir sur ces parasites et il faut une source d'ondes de choc considérable pour obtenir une amplitude convenable à grande distance. La source d'ondes et l'existence des ondes parasites exigent donc, pour la recherche dans les sédiments non consolidés, une adaptation de l'appareillage, des systèmes de travail, de l'interprétation.

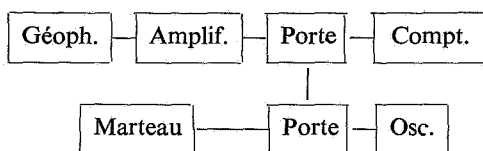
2. L'appareillage

a) One-channel sismographe de réfraction (STAM, 1962; MOONEY and KAASA, 1958).

Ce sont des appareils simples destinés à une simple mesure de temps.

Le principe de fonctionnement est le suivant: un oscillateur fait la fonction d'horloge. Quand le marteau (source d'ondes) ferme un contact une « porte » change d'état et les pulsations de l'oscillateur atteignent le compteur. Quand un signal revient par le géophone, la porte rechange d'état. Le nombre de pulsations est égal au temps écoulé entre le départ de l'onde de choc et son arrivée au géophone.

Schéma de principe:



Dans le schéma nous avons une seconde porte « master gate control » qui a pour fonction d'éliminer le risque qu'une seconde fermeture du contact de marteau ne ferme la porte du compteur.

Les inconvénients:

- possibilité de fermeture par onde parasite
- si l'amplification n'est pas suffisante, l'appareil ne réagira pas au premier pic du train d'ondes, mais à un signal retardé de plus grande amplitude (onde directe).

Afin d'obtenir un résultat de grande précision, ces inconvénients exigent un grand nombre d'essais.

Utilisation: Le « one-channel » s'emploie pour les prospections en petite profondeur ou pour la recherche en vitesse de renseignements secondaires.

b) La source d'ondes

Principe: Chute d'un poids (100 kg) sur une plaque posée au sol.

Le poids est un cylindre en acier, dont la pointe est une paraboloïde, la face supérieure est plane et pourvue d'un anneau. Dans cet anneau prend un crochet spécial pour la levée du poids. Sur le manteau du cylindre nous avons apposé trois fers U à 120° qui prennent en trois fers T qui servent comme guide.

Le poids est levé dans une tour mobile de 4 m. La tour, de section triangulaire, est construite en tube et, pour le transport, peut être basculé sur un axe.

Le sommet de la tour est pourvu d'une poulie amovible (possibilité de rehausser la tour de 3,5 m) ainsi qu'un dispositif pour l'ouverture du crochet.

Quand le poids est en position haute, le crochet s'ouvre et le poids a une chute libre de $\pm 3,6$ m.

Le treuil est pourvu de deux sécurités, la première qui empêche une chute imprévue lors de la levée du poids, la seconde qui bloque le treuil pendant le transport.

Le bas de la tour est entouré de métal déployé (protection des pieds).

Afin d'assurer une plus grande stabilité à la tour et pour la mettre en tout terrain à la verticale, nous avons prévu trois pieds réglables qui peuvent être rabattus contre la tour pour le transport.

Le tout est monté sur une petite remorque. Une sécurité supplémentaire bloque le poids en position transport.

Le point d'impact est composé de deux éléments: un axe central avec flasque et une plaque de stabilisation. A 5 cm au-dessus de la flasque est monté le contact de mise en route du sismographe (contact par inertie). La face supérieure de l'axe central est conique pour empêcher un déplacement latéral de la masse. La plaque de stabilisation est circulaire et empêche la pénétration dans le sol et garde l'axe à la verticale.

3. Mode de travail et système d'interprétation des résultats

a) Sur le terrain nous choisîmes notre ligne de mesures que nous sous-divisons en longueurs suivant une série géométrique. Dans chaque point nous avons placé le géophone, la source d'onde restant au point «0». Pour les petites distances nous avons employé un marteau (gain de temps), puis pour les distances jusqu'à 30 m, le poids était levé à 2 m. Pour les distances plus importantes toute la hauteur de chute était employée. Sur le terrain considéré, une mesure jusqu'à 150 m était possible.

Afin d'éliminer les ondes parasites, plusieurs essais étaient faits à chaque point jusqu'à obtention de résultats uniformes.

Entre-temps on traçait un diagramme T-X provisoire (contrôle de résultats). Après, un diagramme exact était tracé pour l'exploitation à l'aide d'un ordinateur.

Pour se former une idée des ondes parasites nous avons connecté un oscilloscope à un géophone. Nous avons constaté que notre source d'ondes produisait un train d'ondes à pointes d'une fréquence de ± 100 Hz, alors que les parasites étaient plutôt sinusoïdales de très basse fréquence. Surtout le passage de véhicules lourds ou l'effet du vent sur les arbres et même sur les jalons sont de grandes sources de parasites.

A chaque point, nous dûmes régler la sensibilité du sismographe de telle façon qu'il ne soit pas influencé par les parasites mais aussi afin de ne pas devoir augmenter l'énergie du choc hors de limites nécessaires.

b) Comme base de travail pour le calcul

des mesures nous avons admis que

1. la vitesse d'ondes dans une couche soit constante et indépendante de la profondeur,
2. que les strates sont planes.

Sur le terrain considéré, les pentes sont très petites de façon que des simplifications telles que $\sin \alpha \simeq \text{tg } \alpha$ soient admissibles.

Les vitesses d'ondes apparentes $v_1, v_2, v_3 \dots$ sont calculées hors des temps d'interception des profils directs et inverses.

Puis on calcule l'épaisseur des différentes couches, grâce à

$$T = \frac{x}{v_n} + \sum_{k=n}^{k=n-1} 2 h_k \sqrt{\frac{1}{v_k^2} - \frac{1}{v_n^2}}$$

Ce calcul est assez long, mais avec un ordinateur il apparaît que la formule donne de bons résultats si les hypothèses de travail sont bien choisies.

4. Prospection des sédiments tertiaires et quaternaires de la Campine du sud

1. La base est formée d'argile de BOOM d'une épaisseur de 45 à 50 m. Au-dessus nous trouvons les sables d'EDEGEM-ANVERS et les sables de DIEST.

A l'origine nous nous étions fixé comme but de déterminer, dans la direction NS, le tracé du contact argile-sable tertiaire, depuis son apparition à la surface (RAMSEL) jusqu'à la vallée de la Grande Nèthe à WESTMEERBEEK.

D'autre part, nous voulions déterminer l'épaisseur des sédiments quaternaires ainsi que l'existence d'éventuelles traces de vallées fossiles. STEVENS (1933) a proposé un tracé SW de l'ancienne Nèthe qui aurait débouché dans la Dyle. Afin de contrôler cette hypothèse, nous avons pris un profil NW-SE plus à l'Ouest (entre SCHRIEK et BAALSE BERG) où le quaternaire repose tout de suite sur l'argile de BOOM.

Sur le premier profil nous avons fait 11 essais, sur le second 7. Quelques forages nous ont aidé pour l'interprétation.

2. Résultats

Les résultats des expériences sont reproduits par un nombre de diagrammes temps-distance (TX).

Les résultats de l'interprétation sont reproduits par deux coupes NS.

Profil I

La distance moyenne entre les essais sismiques est de l'ordre de 300 m. La distance maximale entre la source d'onde et le géophone varie entre 50 et 100 m.

Interprétation: Les résultats du site 1 sont aisément interprétés grâce à la coupe de la carrière Hooilaar. La couche avec vitesse d'onde $v_1 = 307$ m/s peut être assimilée aux sables quaternaires (sables de couverture). A une profondeur de 1,80 m nous retrouvons l'argile de BOOM ($v_2 = 2032$ m/s).

Les résultats des sites 2, 3 et 4 nous donnent des résultats analogues.

Ce sont des cas type du système à 3 couches
 $v_1 = 312$ à 385 m/s
 $v_3 = 1985$ à 2635 m/s.

On peut les assimiler par analogie aux sables quaternaires et à l'argile. Entre les deux, on trouve $v_2 = 1103$ à 1137 m/s.

Par les données des forages on peut associer à cette vitesse un sable glauconifère tertiaire.

Site 5 nous montre une analogie pour v_1 et v_3 , mais la couche $v_2 = 745$ m/s ne peut pas être comparée à $v_2 = 1103$ à 1137 m/s. Les sédiments sont moins compacts et plus jeunes. Nous estimons qu'il s'agit de sédiments quaternaires saturés.

Site 6 fut interprété comme un système à 4 couches (sables quaternaires secs et saturés, sables tertiaires glauconifères, argile).

Là où on trouvait jusqu'à présent des sables tertiaires d'ANVERS-EDEGEM, se superposent à partir de maintenant les sables de DIEST. Ces deux sables tertiaires ne peuvent se distinguer par la sismique de réfraction, vu qu'ils sont caractérisés par la même vitesse d'ondes.

Site 8 donne pour les grandes distances, une grande dispersion des résultats; seulement les 2 couches superficielles furent identifiées.

Sites 9, 10 et 11 se trouvent dans la plaine alluviale de la Nèthe. Les alluvions ont la même vitesse (349 à 383 m/s) que les sables

de couverture. Pour le reste on y trouve les mêmes résultats que dans les autres sondages.

Au sommet de la colline de WESTMEERBEEK (14 m) un forage nous indique la profondeur de l'argile de BOOM à 17 m. Au-dessus, on retrouve les sables d'ANVERS-EDEGEM et de DIEST.

Excepté pour les sites 5 et 6 l'épaisseur du quaternaire est limité à 2,5 m au S de WESTMEERBEEK et à 3,6 m pour les alluvions de la Grande Nèthe.

A la hauteur des sites 5 et 6 on retrouve une vallée remplie de sédiments quaternaires. Cette vallée fossile fut aussi détectée au moyen de mesures géo-électriques: sa profondeur maximale est de 8 m.

L'interface des sables d'ANVERS-EDEGEM et de l'argile de BOOM est en pente vers le Nord à partir de + 11 m au point 1 jusqu'à -7,5 m au point 11; elle a donc une pente de 0,53‰.

La coupe donne un beau profil géologique avec ses vitesses caractéristiques

- sables quaternaires secs: 284 à 385 m/sec
- sables quaternaires sous la nappe phréatique: 747 à 867 m/sec
- sables d'ANVERS-EDEGEM — sables de DIEST: 1103 à 1382 m/sec
- argile de BOOM: 1987 à 2872 m/sec.

Profil II BAAL-SCHRIEK

Sept mesures furent exécutées, dont la distance moyenne entre les points était de l'ordre de 750 m.

Interprétation: Nous ne retrouvons plus la vitesse de 1100 à 1400 m/sec, donc nous en déduisons l'absence des sables d'EDEGEM ou de DIEST.

Excepté pour la mesure 7 nous retrouvons des systèmes à 3 couches: en surface des sables secs avec des vitesses de 236 à 384 m/sec, plus loin la même couche mais saturée (747 à 1031 m/sec) et comme base l'argile de BOOM avec des vitesses de 1943 à 2922 m/sec.

Le point 7 se trouve près du « BAALSE BERG » où l'argile se rapproche de la surface ($h = 3,40$ m). Il n'y a pas de nappe phréatique, ce qui explique qu'on ne retrouve plus la couche intermédiaire.

Entre le point 1 et 7 où l'argile remonte en surface, nous trouvons une vallée fossile dans

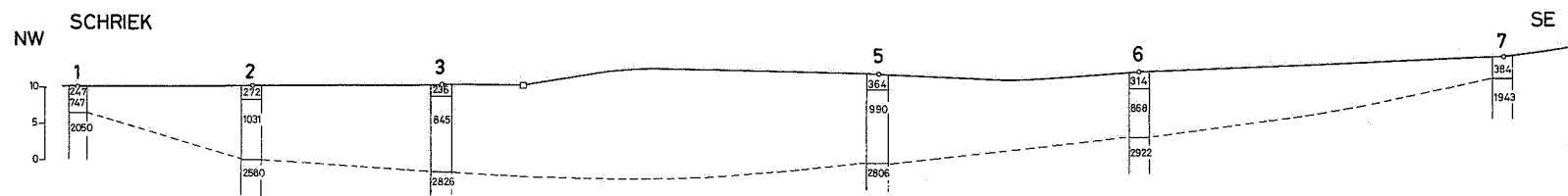
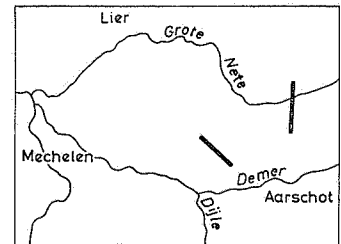
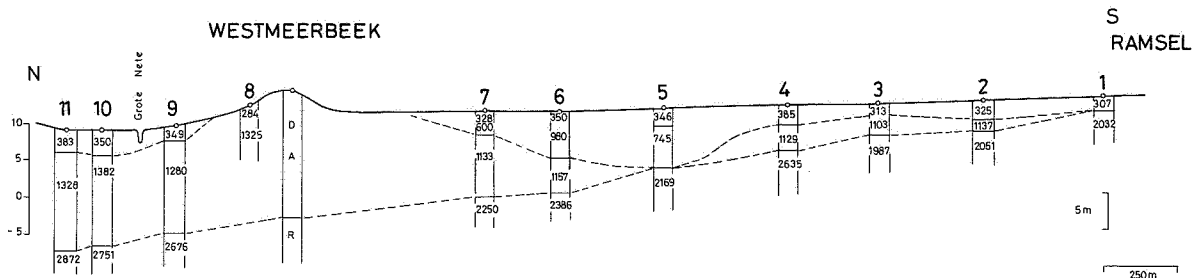


Fig. 1.

le tertiaire, remplie de sédiments quaternaires. C'est la même vallée que dans le profil n° 1.

Le contact entre le tertiaire et le quaternaire se trouve à $\pm - 2$ m.

Conclusions

La vallée fossile retrouvée entre SCHRIEK et BAAL et entre RAMSEL et WESTMEERBEEK se poursuit au nord dans la vallée de la Grande Nèthe et au sud dans la vallée du Demer-Dyle (VANDENBERGHE, 1973). Elle fut révélée ici par des essais sismiques et doit être considérée comme un vieux cours de la Grande Nèthe, recoupé après et passant maintenant au nord

de la colline de HEIST-OP-DEN-BERG.

Dans la stratigraphie, il est possible de distinguer les sables tertiaires et l'argile de BOOM, ce qui n'était pas le cas pour les sables tertiaires entre eux. Il existe quand même une nette différence entre ces sables tertiaires et les sables quaternaires.

La méthode de travail sur le terrain permet d'obtenir, en peu de temps, des données à des profondeurs assez grandes avec un minimum d'équipement. Grâce à une méthode adaptée il est donc possible de déterminer une stratigraphie des sédiments non-consolidés et de détecter des formes morphologiques fossiles avec ce système sismique.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN, B. (1960) — Seismic refraction investigation of the preglacial valley of the River Theifi near Cardigan. *Geol. Mag.*, V. 97, n° 4, p. 276-282.
- MOONEY, H.M. and KAASA, R.A. (1958) — New refraction seismograph. *Rev. of Scient. Inst.*, V. 29, p. 290-294.
- STAM, J.C. (1962) — Modern developments in shallow seismic refraction techniques. *Geophysics*, V. 27, n° 2, p. 198-212.
- STEVENS, C. (1933) — Le pays de Ramsel. *Ann. Soc. Scient. Bruxelles*, t. LIII, p. 41-45.
- VANDENBERGHE, J. (1973) — Geomorfologie van de Zuiderkempen. *Doctoraatsthesis*, Leuven.