

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Mesures géodynamiques par essais sismiques in-situ

Geodynamic measures by in-situ seismic tests

E. GOELEN, Institut Géotechnique de l'Etat, Liège, Belgique
 J. NOMERANGE, Institut Géotechnique de l'Etat, Liège, Belgique
 PH. WELTER, Institut Géotechnique de l'Etat, Liège, Belgique
 A. MONJOIE, Université de l'Etat, Liège et Université Catholique de Louvain, Belgique
 J. F. THIMUS, Université Catholique de Louvain, L.G.C., Louvain-La-Neuve, Belgique
 L. HALLEUX, Université de l'Etat, Liège, L.G.I.H., Liège, Belgique

RESUME Dans le cadre de l'étude géotechnique d'un grand chantier de Génie Civil pour la réalisation d'un ascenseur pour bateaux en Belgique, une étude sismique a été réalisée afin de déterminer les caractéristiques dynamiques de déformation du sol en place. Des essais de sismique-réfraction en surface et des essais crosshole et crosshole-uphole entre forages ont été exécutés. Les techniques mises en oeuvre sont exposées ainsi que les résultats obtenus en présentant l'intérêt d'une telle étude dans le cas d'ouvrages soumis à des sollicitations dynamiques.

INTRODUCTION

Entamée par l'Etat Belge depuis plusieurs années, la modernisation des voies navigables en Belgique implique la mise au gabarit de 1350 tonnes de plusieurs d'entre elles. Sur le Canal du Centre (fig.1), l'aménagement actuellement en cours d'exécution consiste à réaliser un nouveau tronçon comportant STREPY-THIEU un ascenseur pour bateaux destiné à permettre le franchissement d'une différence de hauteur de 73,15 mètres entre deux biefs (fig.2).

L'ampleur de l'ouvrage a nécessité la réalisation d'une importante étude géotechnique : 56 forages de reconnaissance totalisant une longueur de 2696 mètres, des essais de laboratoire sur 1770 échantillons, 24 essais de pénétration statique couvrant au total 739 mètres, 17 forages avec essais pressiométriques sur 986 mètres, 21 forages avec diagraphies mécaniques d'une longueur cumulée de 874 mètres et un

essai de pompage in-situ mettant en oeuvre 5 puits de pompage et 42 piézomètres pendant 237 jours. Elle a permis de préciser la géologie et les caractéristiques géotechniques du site (tableau I).



Fig.1 Voies Navigables en Belgique

TABLEAU I Caractéristiques Géotechniques

Dénomination géologique	Classification de Casagrande	γ 3	I_p	e	ϕ' degrés	c' kPa	q_c MPa	E_M MPa	p_l MPa
Quaternaire (Q)	CL	19,72	6,95	0,633	31,6	3	1	5	0,5
Landenien (Ld)	CL	20,27	15,40	0,654	28,6	54	1,5	9	0,9
Rabots (Turonien)	CL-CH	18,43	18,20	0,885	24,6	35	4	20	1,5
Verts (Turonien)	CH	18,76	13,34	0,857	26,2	4	6	9	0,9
Cénomaniens (Cn)	CL	19,67	10,61	0,763	32,4	4,3	30	14	1,5
Albien sableux	ML-MH	17,96	-	0,913	34,5	40	50	30-80	5
Albien argileux	CL	19,57	1,99	1,064	25,9	83	-	-	-
Wealdien sableux	SC	18,47	0	0,805	33,5	0	60	100-300	6
Wealdien argileux	CL	20,09	6,00	0,889	-	-	-	-	-

γ : poids volumique	c' : cohésion effective
I_p : indice de plasticité	q_c : résistance à la pointe (CPT)
e : indice des vides	E_M : module pressiométrique
ϕ' : angle de frottement interne	p_l : pression limite

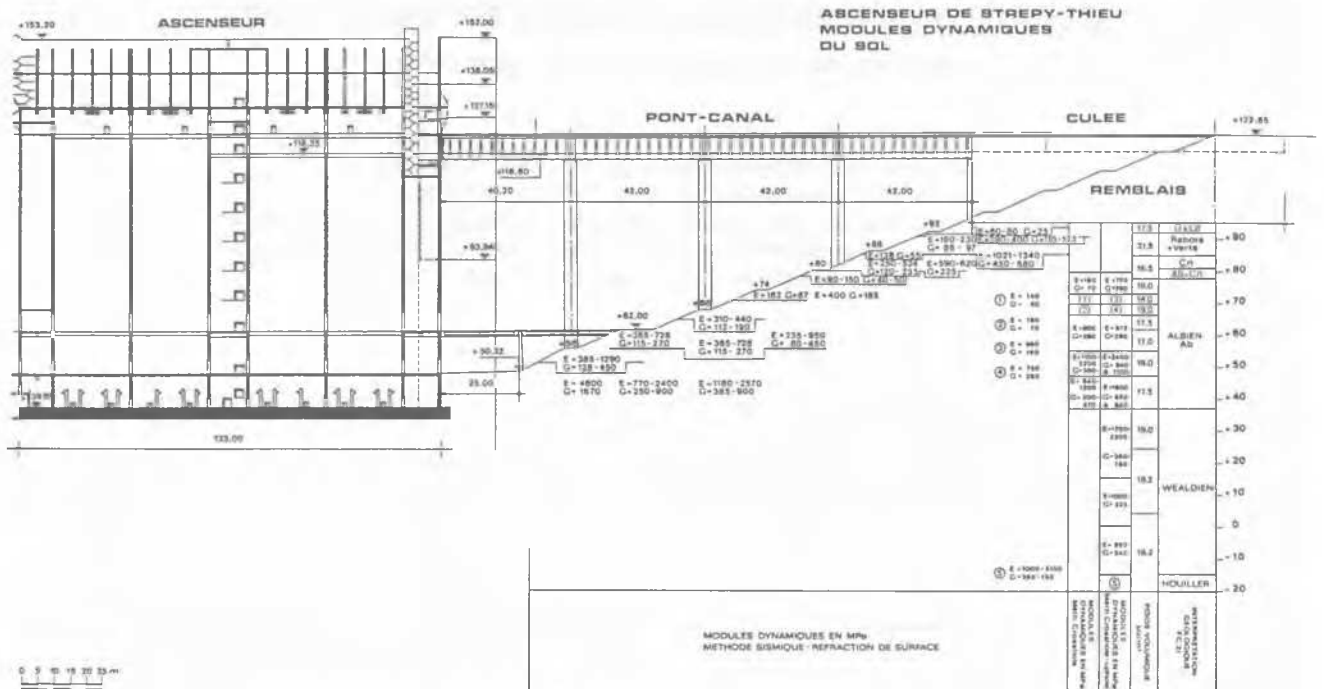


Fig. 2 Strépy-Thieu - Coupe Longitudinale

Sur le substratum constitué de schistes houillers reposent au-dessus de la cote -15,00 les formations subhorizontales du Wealdien et de l'Albien. Constituées d'alternances de sable et d'argile, elles totalisent une centaine de mètres d'épaisseur et sont recouvertes de quelques mètres de formations sablo-argileuses du Cénomanien et du Turonien et de formations sablo-limoneuses du Landénien et du Quaternaire.

L'ouvrage d'art est situé au coeur d'une région caractérisée par des séismes relativement fréquents, de profondeur hypocentrale inférieure à 8,5 km, d'intensité variable pouvant atteindre VII sur l'échelle de Mercalli modifiée, de magnitude 3 à 4,6 avec des rayons macroséismiques limités (10 à 35 km). Ces facteurs ont conduit le Ministère des Travaux Publics, Maître de l'Ouvrage, à entreprendre l'étude du comportement de la structure sous l'effet de sollicitations dynamiques, sur base des caractéristiques dynamiques de déformation du sol mesurées en place : E_{dyn} , G_{dyn}

et v_{dyn} . La détermination de ces paramètres a été confiée à l'Institut Géotechnique de l'Etat et à l'Association Momentanée du Laboratoire du Génie Civil (L.G.C.) de l'Université Catholique de Louvain et des Laboratoires de Géologie de l'Ingénieur et d'Hydrogéologie (L.G.I.H.) de l'Université de l'Etat à Liège.

ESSAIS REALISES

L'étude a porté sur la zone du massif comprise entre les cotes -20,00 et +95,00.

A partir de huit forages FD1 à FD8 (fig.3) d'une longueur cumulée de 640 mètres et situés sous la future culée du pont-canal, des essais sismiques crosshole et crosshole-uphole (fig.4 et 5) ont été exécutés tous les mètres afin de déterminer les caractéristiques du sol en profondeur et mettre en évidence l'hétérogénéité et l'anisotropie éventuelles. Les trous de forage ont été équipés avec un tube en P.V.C. d'un diamètre extérieur de 113 mm cimenté au terrain encaissant au moyen d'un mélange bentonite-ciment injecté dans l'espace annulaire. Des mesures inclinométriques ont permis de déterminer les distances exactes entre forages aux différentes profondeurs.

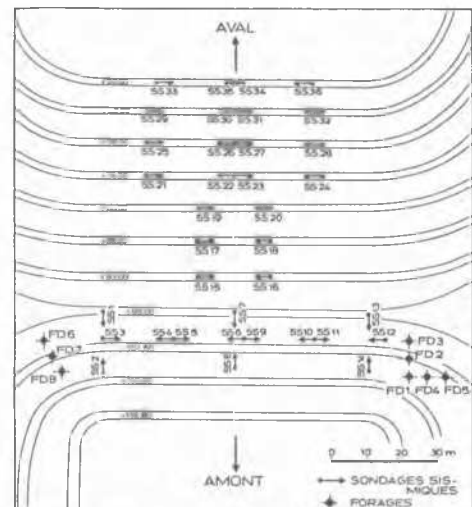


Fig.3 Localisation des Essais Sismiques.

De manière à mesurer l'importance de l'altération et de la détente du sol consécutive au creusement de la fouille, 36 profils de sismique-réfraction SS1 à SS36 ont été réalisés sur les bermes intermédiaires du grand talus situé sous le pont-canal. Le développement cumulé des profils sismiques de surface est de 560 mètres.

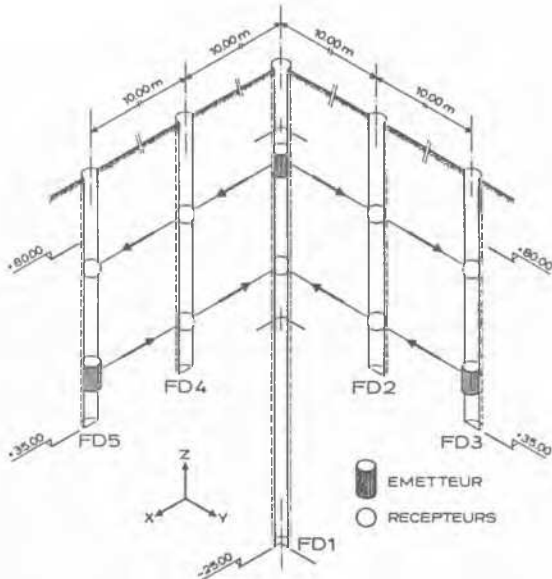


Fig. 4 Schéma d'un Essai Sismique Crosshole

Dans le but de préciser les valeurs du poids volumique des terrains, une diagraphie gamma-gamma a été exécutée dans le forage FD1. L'étalonnage des mesures a été réalisé à partir

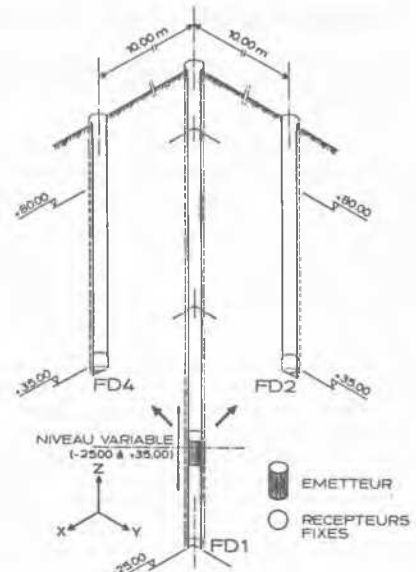


Fig. 5 Schéma d'un Essai Sismique Crosshole-Uphole

des poids volumiques déterminés sur des échantillons non remaniés prélevés à proximité.

Pour la réalisation de ces essais ont été utilisés :

- un marteau sismique de forage Bison 1465-1;
- des géophones tridirectionnels Bison 1462-3;
- un séismographe Nimbus - Oyo ES 1200 - 12 traces;
- un séismographe Bison 1570 B - 1 trace.

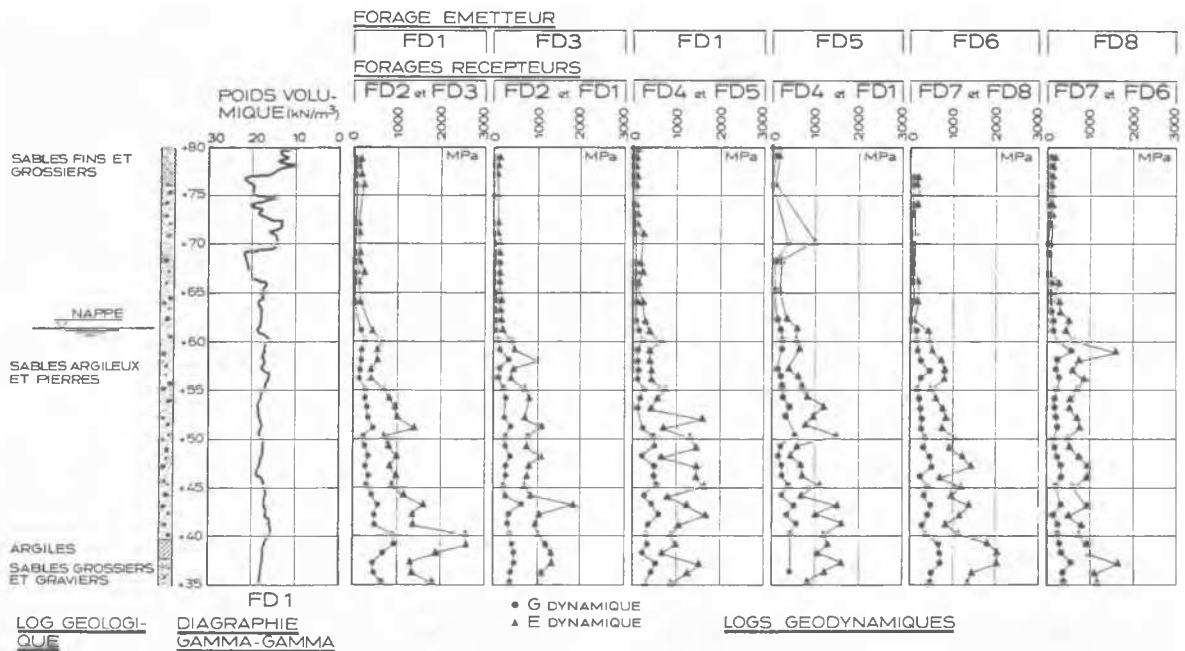


Fig. 6 Synthèse des Résultats

RESULTATS DES ESSAIS

La figure 6 présente les principaux résultats des essais crosshole réalisés dans la tranche + 35,00 à + 80,00 .

On constate :

- une bonne homogénéité horizontale des valeurs des modules E_{dyn} et G_{dyn} qui varient peu d'un dispositif à un autre;
- une anisotropie faible entre les dispositifs orthogonaux FD1-FD2-FD3 et FD1-FD4-FD5;
- une forte augmentation des caractéristiques dynamiques sous le niveau de la nappe.

Par ailleurs, l'examen des différents enregistrements met en évidence certains phénomènes :

- vitesses sismiques trop importantes dans certaines zones : ondes de tube;
- pour certaines cotes, vitesse sismique plus lente entre forages émetteur et récepteur qu'entre forages récepteurs et phénomène identique lors du dispositif retour : ondes de réfraction sur un niveau voisin plus rapide;
- pour d'autres cotes, vitesse sismique plus rapide entre forages émetteur et récepteur qu'entre forages récepteurs : présence d'un banc induré autour du forage émetteur.

Pour les essais crosshole-uphole, les dromochroniques des figures 7 et 8 correspondent aux dispositifs suivants :

- figure 7 : émetteur en FD1 déplacé de mètre en mètre de -20,00 à + 35,00 et récepteur en FD4 à +35,00;
- figure 8 : émetteur en FD4 à +35,00 et récepteur en FD1 déplacé de 5 mètres en 5 mètres de -20,00 à + 35,00.

Les valeurs obtenues par les deux dispositifs sont équivalentes mais le premier est plus précis. Il montre l'augmentation des vitesses sismiques lorsqu'on atteint le bedrock houiller et la perte de phase (non décelée à la figure 8) provoquée par l'atténuation importante des ondes due à la couche d'altération de ce socle rocheux.

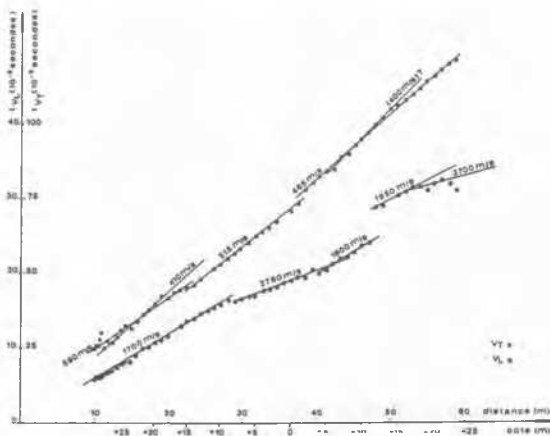


Fig. 7 Dromochroniques FD1 to FD4

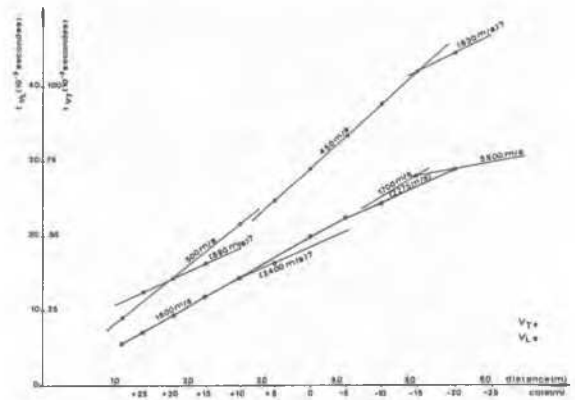


Fig. 8 : Dromochroniques FD4 to FD1

CONCLUSIONS

Les différentes valeurs des modules dynamiques (E_{dyn} et G_{dyn}) déterminées à partir des essais sismiques (sismique-réfraction, sismique crosshole et crosshole-uphole) sont reprises à la figure 2. Dans l'ensemble on obtient :

	E_{dyn} MPa	G_{dyn} MPa
- Landénien :	60-80	25
- Rabots :	1050-1300	450-580
- Cénomaniens :	500-620	225
- Albien sableux :	140-720	50-260
- Albien argileux :	700-2400	200-1100
- Wealdien sableux :	1100-2200	325-760
- Wealdien argileux :	950	340
- Houiller altéré :	1000-2100	360-750

On constate :

- une nette influence de la déconsolidation des terrains proches de la surface du talus sur les valeurs de E_{dyn} et G_{dyn} : réduction de 40 %;
- une bonne concordance en profondeur entre les modules E_{dyn} et G_{dyn} calculés par la sismique-réfraction et par la sismique crosshole-uphole;
- une forte anisotropie entre les modules E_{dyn} et G_{dyn} horizontaux et verticaux : les premiers sont en moyenne 60% plus faibles.

BIBLIOGRAPHIE

A.S.T.M.. Suggested Method . Proposed Standard Test Method for Crosshole Seismic Testing. American Society for Testing and Materials. Geotechnical Testing Journal, Volume 6 , (4), december 1983.

GOELÉN, E. et al.. Belgian Commemorative Volume for San Francisco 1985 - Golden Jubilee Conference. On Dynamic Soil Structure Interaction. Belgian Society for Soils Mechanics and Foundation Engineering, 1985.

MONJOIE, A., SCHROEDER, C.. Auscultation des Massifs Rocheux par Sismique-Réfraction et Propriétés Géodynamiques des Terrains. Proceedings of the III International Congress I.A.E.G.. Madrid 4-8 septembre 1978, section IV vol. 2 pp. 29-36.