The Panda ultralight dynamic penetrometer

Le pénétrométre dynamique léger Panda

Roland Gourvès
Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France

Richard Barjot
Sol Solution S.A., Romagnat, France

The Panda Ultra
Penetrometer
XI ECSMFE The
Geotechnical Eng
Engineering Geology Co

Juin 1995
Séminaire de la Géolog
Ouvrages Grenoble Nove

RESUME : Le Panda est un pénétromètre dynamique léger autonome (≈ 20 kg). De nombreux essais ont été réalisés afin de valider ses possibilités d'utilisation et ses limites. Les résultats de ces essais ont démontré que cet appareil donne des résultats fiables et reproductibles si le frottement latéral est pris en considération comme les autres paramètres. En ce qui concerne le contrôle de compactage (tranchées, remblais, digues), le Panda donne une réponse rapide et fiable, et ce, à un coût peu élevé, ce qui explique qu'il soit souvent utilisé dans ce domaine. Enfin, de nombreux essais comparatifs ont permis d'établir des corrélations entre le Panda et d'autres appareils. Ces recherches ont montré la cohérence des résultats obtenus en reconnaissance superficielle.

SYNOPSIS : The Panda is an autonomous ultralight dynamic penetrometer (≈ 20 kg). Numerous tests have been carried out to validate its use possibilities and its limits. The results of these tests have shown that the apparatus gives reliable and reproductible results if the lateral friction is taken into account as for any other penetrometer. Considering the control of compaction (trenches, embankments, dykes) the Panda gives a rapid reliable answer at a low cost which explains that it is very often used in this field. Finally numerous comparative tests have allowed to establish correlations between the Panda and other apparatuses. These researches have demonstrated the coherence of the results obtained in superficial investigation.

1. INTRODUCTION

De nos jours, de nombreux appareils peuvent être utilisés dans le domaine de la reconnaissance des sols (pressiomètres, pénétromètres statiques ou dynamiques...).

Cependant, dans la plupart des cas (petites structures, pré-reconnaissance), les technologies les plus souvent utlisées s'avèrent lourdes à mettre en oeuvre et par conséquent sont onéreuses. C'est pourquoi le Panda, qui ne prétend pas remplacer les autres appareils, présente de nombreux avantages dans le domaine de la reconnaissance des sols à faible profondeur (inférieure à 5 mètres).

Les mêmes atouts (simplicité d'utilisation, rapidité, mise en oeuvre très aisée) en font un appareil performant dans le domaine du contrôle de compactage (tranchées, remblais, digues...).

2. PRINCIPE DU PANDA

Le Panda est un pénétromètre dynamique ultra-léger dont le principe consiste à battre, avec un marteau de 2,3 kg, une pointe de 2, 4 ou 10 cm² par l'intermédiaire d'un train de tiges de 50 cm ou 100 cm de longueur et de 14 mm de diamètre.

Les masses étant connues, la mesure de la vitesse d'impact et celle de l'enfoncement pour chaque coup permet, par le biais de la formule classique des Hollandais de calculer la résistance dynamique de pointe (cf. Figure1).

$$q_d = \frac{1}{A} \cdot \frac{\frac{1}{2} MV^2}{e} \cdot \frac{1}{1 + \frac{P}{M}}$$

e est l'enfoncement dû un coup de marteau,
A est la section de la pointe,
M est la masse frappante,
P est la masse frappée,
V est la vitesse d'impact.

L'appareillage, mallette de transport et système d'enregistrement compris, ne pèse que 19 kg pour un encombrement de 42 x 62 x 15 cm.

Il se transporte donc facilement dans le coffre d'une voiture, en train, en avion... et une seule personne peut effectuer l'opération complète de reconnaissance.

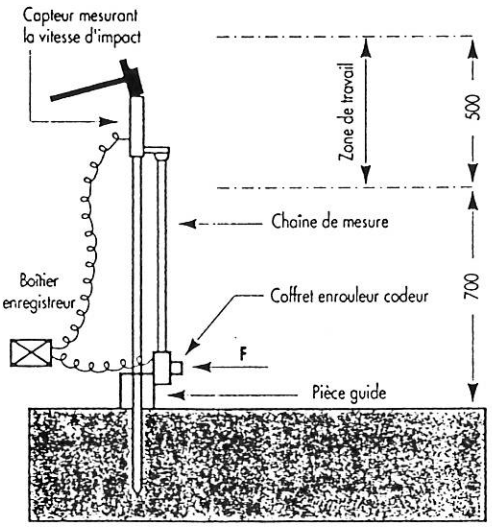

Fig. 1. Principe du Panda

Un boîtier électronique permet l'enregistrement des paramètres vitesse et enfoncement pour chaque coup de marteau. Il calcule, toujours pour chaque coup, par la formule des Hollandais, la résistance dynamique q_d en fonction de l'enfoncement z. Il peut restituer les données soit ponctuellement (pour chaque coup d'impact) ou les valeurs moyennes - plus significatives en mécanique des sols - pour des paliers donnés (5 cm et 10 cm semblent être de bonnes valeurs).

A titre d'exemple, un essai effectué à 3 mètres de profondeur nécessite environ 30 minutes, les résultats étant restitués quasi immédiatement si l'on dispose d'un PC portable et d'une imprimante.

Sa capacité de pénétration permet au Panda de tester des couches de sols résistantes jusqu'à 20-30 MPa sur 5 à 6 mètres de profondeur (selon les matériaux).

Cet appareil a été mis au point au Centre Universitaire des Sciences et Techniques (C/U/S/T/) de Clermont-Ferrand (France) au cours de ces dernières années. La mise au point a été le fruit d'un travail commun entre le C/U/S/T/ et les laboratoires des Ponts et Chaussées. Il est fabriqué par le société Peintamelec Ingénierie de Clermont-Ferrand (France).

3. RESULTATS GENERAUX

3.1 *Reproductibilité des essais*

Dans la mesure où l'énergie est variable et où la taille des pointes est plus petite que d'habitude pour les pénétromètres dynamiques, des essais de reproductibilité ont été effectués.

Ils montrent que si *e* (enfoncement par coup) est compris entre 1 mm et 2 cm, les résultats sont tout à fait reproductibles.

Nous ne présentons ici que quelques résultats parmi les plus significatifs de ceux que nous avons obtenus.

Les essais présentés en Figure 2 concernent un sable d'Allier, compacté à des densités variables par dame vibrante dans une tranchée de 4 mètres de profondeur. Nous y avons effectué, avec les pointes de 2, 4 et 10 cm², des séries de 10 essais analogues.

On notera de même Figure 3 une série de 10 essais effectués en site naturel (sable d'Allier surmontant une couche de vase, elle-même située sur une couche de graves).

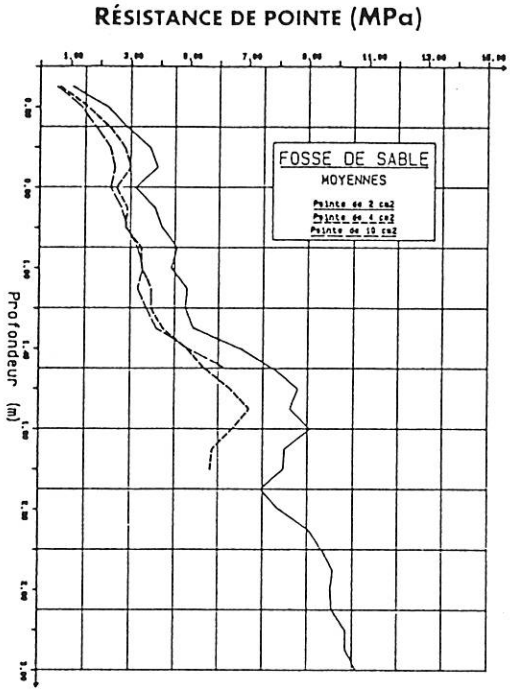

Fig. 2. Fosse de sable

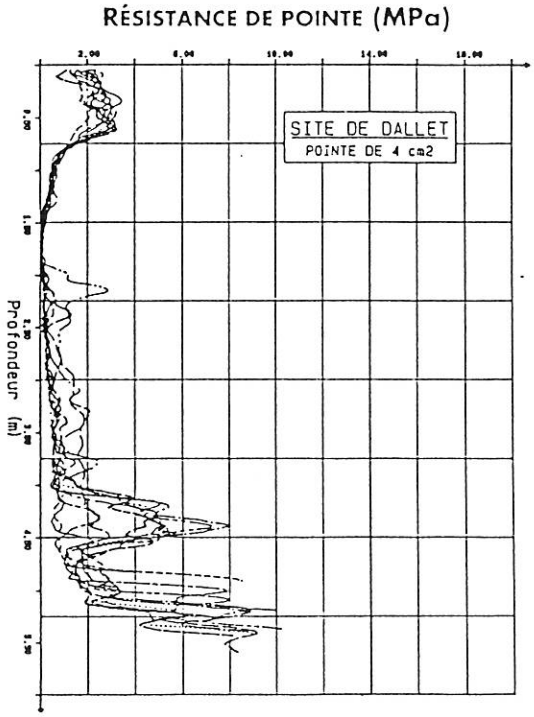

Fig. 3 . Site de Dallet (France)

3.2. *Influence de différent paramètres*

Parmi les caractéristiques qui diffèrent de celles des pénétromètres classiques, il y a la taille de la pointe et l'énergie de battage, qui est variable.

L'appareil est livré avec 3 types de pointes (cf. Figure 4). L'énergie de battage varie suivant l'utilisateur et la résistance du sol.

Sur les essais comparatifs donnés en Figure 2, nous voyons une différence entre les mesures effectuées avec la pointe non-débordante de 2 cm² d'une part et celles effectuées avec les pointes de 4 et 10 cm² d'autre part.

En fait, le problème le plus délicat est le frottement latéral comme pour tous les pénétromètres dynamiques, alors que la variation de l'énergie de battage et la taille de la section de la pointe ne semblent pas jouer un rôle important. C'est la raison pour laquelle l'usage de la pointe non débordante de 2 cm² doit se limiter à des faibles profondeurs et aux terrains pulvérulents.

Le frottement latéral peut être estimé à chaque changement de tiges en tournant les barres. Si ceci est impossible avec les doigts, la valeur de q_d n'est pas acceptable car entachée d'une erreur supérieure à 20%.

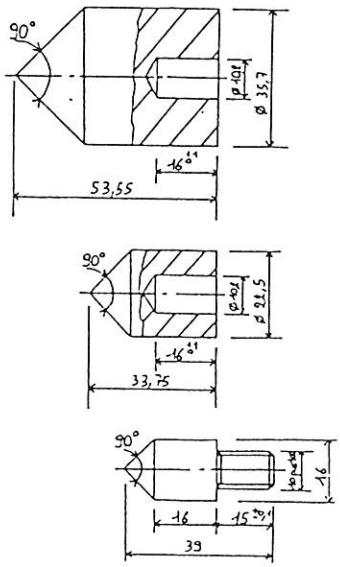

Fig. 4. Les trois types de pointes

3.3 *Développement récent de l'appareil*
Cet appareil est aujourd'hui distribué à plusieurs centaines d'exemplaires à travers le monde et a montré tout son intérêt dans les cas suivants :

3.3.1. Reconnaissance de sol à faible profondeur
Les exemples présentés ici montrent le type d'investigations qui peuvent être réalisées à l'aide du Panda.

Figure 5, le pénétrogramme concerne une zone de plaine alluviale (terres noires de Limagne surmontant le substratum marneux, avec une zone de transition de marnes remaniées). On notera la présence, très bien repérée par l'essai, d'une couche d'argile molle de 30 à 50 cm d'épaisseur.

Enfin, toujours à titre d'exemple, on voit Figure 6 un pénétrogramme type effectué sur une argile (avec existence de graviers épars) constituant un barrage en terre.

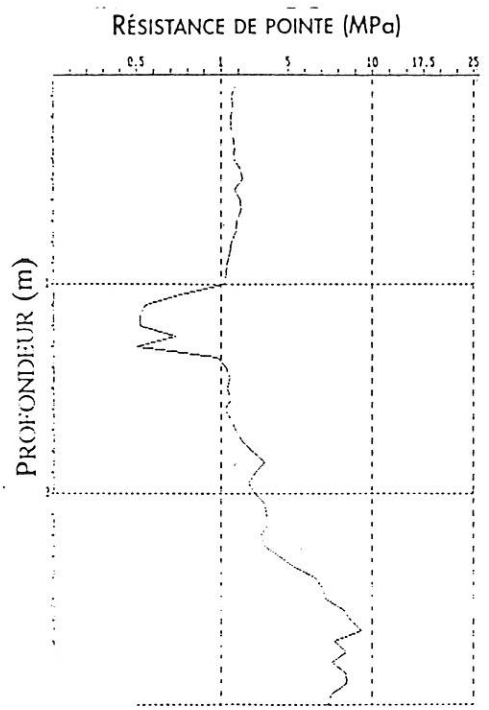

Fig. 5. Pénétrogramme en plaine alluviale

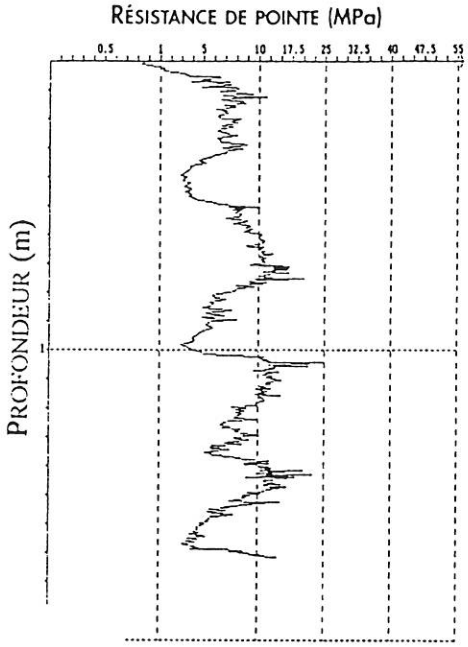

Fig. 6. Pénétrogramme sur un barrage en argile

3.3.2. Contrôle de compactage
Si un matériau de remblai est connu (granulométrie, forme des particules, teneur et sensibilité à l'eau dans le cas des fines particules), il existe une relation :

$$q_d = f(M, \gamma_d, w)$$

M est la classe de matériau.
γ_d est la densité sèche.
w est le teneur en eau.

Cette relation a été établie pour une vingtaine de matériaux, 3 classes de teneur en eau et 2 cas de densité. Cette relation a été obtenue à l'aide d'un pénétromètrre dynamique du C.E.R. de Rouen (France) par les travaux de Quibel (1989).

Des essais systématiques ont montré (jusqu'à 2 mètres au moins) une excellente concordance des résultats.

La différence peut être estimée à 2% de l'O_{PN}.

L'avantage du Panda est la rapidité (10 minutes par point de mesure) qui autorise un grand nombre d'essais sur plusieurs couches en couplage avec des essais classiques.

Un exemple d'application est le diagnostic d'ouvrages enterrés (canalisations par exemple). Une autre utilisation est le contrôle de digues.

Les Figures 7 and 8 présentent respectivement les résultats obtenus avec le Panda dans une tranchée correctement compactée et dans une autre tranchée où le compactage n'est que superficiel.

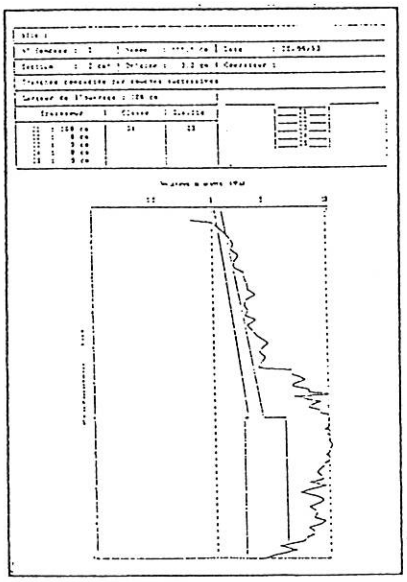

Fig. 7. Compactage correct

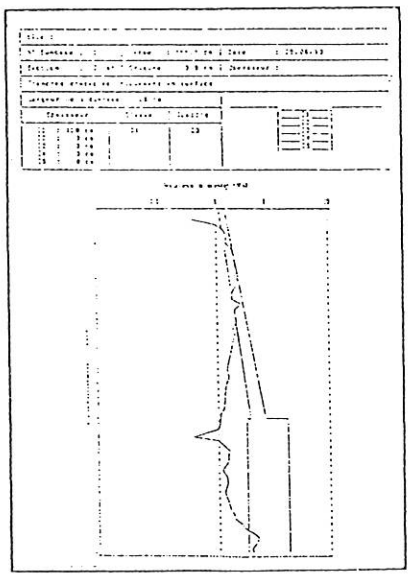

Fig. 8. Compactage superficiel

4. CORRELATIONS D'AUTRES ESSAIS IN SITU

4.1 *Corrélations avec le pénétromètre statique GOUDA 200 kN*

Les essais comparatifs ont été réalisés dans l'agglomération de Marcq-en-Baroeul (France).

8 sondages ont été effectués avec chaque appareil, à moins d'un mètre de distance pour chaque point étudié.

Le pénétromètre statique GOUDA utilisé est muni d'une pointe électrique de 10 cm² de section et d'angle au sommet de 60°. Pour le Panda, des pointes débordantes de 4 cm² ont été utilisées.

Le sol dans lequel ont été réalisés les sondages est essentiellement limoneux, sous une couverture de terre végétale.

Le tableau 1 donne les résultats obtenus après analyse des données :

Tableau 1. Régression linéaire simple de q_d sur q_c $q_d = \alpha \cdot q_c$

coefficient α	1,05
écart type du coeff. σ_α	0,030
coefficient de corrélation linéaire	0,89

4.2 *Corrélations avec le pressiomètre Ménard*

Les essais ont été réalisés dans la région de Lille (France).

15 sondages ont été effectués avec chaque appareil, à moins d'un mètre de distance pour chaque point étudié.

Pour le Panda, des pointes débordantes de 4 cm² ont été utilisées.

Le sol dans lequel les sondages on été réalisés est essentiellement limoneux, sous une couverture de terre végétale.

Le tableau 2 donne les résultats obtenus après analyse des données :

Tableau 2. Régression linéaire simple de q_d sur P_l $q_d = \alpha \cdot P_l$

coefficient α	4,20
écart type du coef. de reg. σ_α	0,16
Coefficient de corrélation linéaire	0,97

4.3 *Corrélation avec le pénétromètre dynamique lourd Sedidrill conforme à la norme PDSB*

Les essais ont été réalisés dans 4 types de sol différents : argile, alluvions de l'Allier, remblai grossier, graves compactées.

Le Sedidrill est constitué d'un mouton de 63,5 kg chutant d'une hauteur de 0,76 m, la pointe ayant une section de 19,6 cm². Pour le Panda, des pointes débordantes de 4 cm² ont été utlisées.

Le Tableau 3 donne les résultats obtenus après analyse des données, tous types de sols confondus.

4.4 *Corrélation avec le scissomètre de laboratoire.*

Le scissomètre utilisé a un diamètre de 19 mm et la hauteur des 4 pales est de 3 cm.

Pour le Panda, des pointes débordantes de 4 cm² ont été utilisées.

3 essais ont été réalisés avec chaque appareil dans les argiles molles à proximité de Bangkok (Thaïlande).

Le Tableau 4 présente les résultats obtenus après analyse des données.

Tableau 4. Régression linéaire simple de q_d sur cu $q_d = \alpha \cdot cu$

coefficient α	11,35	11,27
écart type du coeff. σ_α	0,63	0,71
Coefficient de corrélation linéaire	0,91	0,90

5. CONCLUSION

Le Panda présente de nombreux avantages dans le domaine de la reconnaissance des sols aussi bien que dans celui du contrôle de compactage.

En fait, c'est le premier pénétromètre capable d'utiliser une énergie variable. Ceci lui permet de tester avec la même précision des couches de sols de résistances différentes.

De plus, le coût peu élevé des sondages permet de réaliser de nombreuses mesures et ainsi d'obtenir une bonne répartition spatiale des données.

Les multiples sondages effectués jusqu'à ce jour ont démontré que les résultats restitués par le Panda sont fiables et dans tous les cas comparables à d'autres types d'essais.

6. REFERENCES

Quibel, A., Rapport de Laboratoire (1989). *Contrôle de compactage à l'aide du LPC penetrodensitographe, le PDG1000*, LCPC Publication, Paris.

Gourvès, R. (1990). *Le Panda Pénétromètre dynamique léger à énergie variable pour la reconnaissance des sols.* Brochure de la société Sol Solution S.A. (France).

Barjot, R., (1991). *Développement Industriel et Commercial du Panda (en français).* MSc. Rapport, C/U/S/T/, Université Blaise Pascal (Génie Civil), Clermont-Ferrand (France).

Escande, L., (1994). *Etude des corrélations entre le Panda et divers essais géotechniques in situ (en français).* MSc. Rapport, C/U/S/T/, Université Blaise Pascal (Génie Civil) Clermont-Ferrand (France).

Tableau 3. Régression linéaire $q_{d_{sed}} = \alpha \cdot q_{d\,Panda}$

moyenne et écart type							droite de régression $q_{d\,sed} = \alpha . q_{d\,Panda}$		
Nb. Obs.	$q_{d\,sed}$ (MPa)	σ (qds) (MPa)	q_{dp} (MPa)	σ (q_{dp}) (MPa)	q_{ds}/q_{dp} moy	coeff. de correl.	coeff. α	écart type σ (α)	Intervalle de confiance au seuil de 90%
259	3,60	3,64	3,19	3,23	1,13	0,84	1,03	0,03	$0,98<\alpha<1,08$

The Interplay between Geotechnical Engineering and Engineering Geology

Proceedings of the Eleventh European Conference
on Soil Mechanics and Foundation Engineering
Copenhagen, 28 May - 1 June 1995

XI ECSMFE Volume 3

USE OF SOIL/SOFT ROCK PROPERTIES

May 1995
dgf-Bulletin **11**

DANISH GEOTECHNICAL SOCIETY
DANSK GEOTEKNISK FORENING

XI ECSMFE

'95

COPENHAGEN

The Interplay between Geotechnical Engineering and Engineering Geology

Volume 3 • Papers

Proceedings of the Eleventh European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering
Copenhagen, 28 May - 1 June 1995

Danish Geotechnical Society dgf-Bulletin 11