

APPLICATION ETUDE GEOTECHNIQUE DE SOLS EN DEBLAIS ET EN REMBLAIS

CORRIGE

1°) CLASSIFICATION DES SOLS EN VUE DE LEUR UTILISATION EN REMBLAI ET EN COUCHE DE FORME

- Se reporter au fascicule 2 du GTR

G.T.R.	Commentaires
D1 « Sable alluvionnaire propre »	VBS < 0,1 Tamisat à 80 microns < 12 % D < 50 mm Tamisat à 2 mm > 70 %
A2 h « Argile peu plastique » « Sable fin argileux »	D < 50 mm Tamisat à 80 microns > 35 % 10 < Ip < 25 2 < IPI < 5 1,1 W _{opn} = 20 < W _n < 1,3 W _{opn} = 26 0,9 < Ic < 1,05 (*)
A3 m « Argile »	25 < Ip < 40 1 < Ic < 1,15

(*) D'une façon générale, les critères d'état ne se recoupent pas obligatoirement. Ils sont soit spécifiques d'une nature de sols (Ic), soit représentatifs d'un comportement (W_{opn} et IPI).

Pour le sol classé A2 h, on trouve des valeurs de W_n proches de 26 % et des valeurs de Ic < 0,9. L'état hydrique de ce sol est donc proche de «très humide » (th).

2°/ CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE EN REMBLAI

- Sable D₁ :

Cf. tableau page 43 du fascicule 2 du G.T.R..

A retenir, les problèmes de traficabilité posés par ce sable (penser à ce qui se produit sur une plage de sable..).

- Argile A_{2h} :

Cf. tableau page 26 du fascicule 2 du G.T.R..

Evaporation importante:

On essaiera de profiter de la situation météorologique et on n'envisagera la solution du traitement à la chaux qu'en cas de difficultés passagères provoquées par une courte précipitation (ou encore, s'il faut construire un remblai de grande hauteur).

A retenir:

- extraction en couches minces (0,10 à 0,30 m) pour bénéficier de l'évaporation. Mais cela sera-t-il possible? (cf. question 4°/ ci-après).
On pourra envisager la scarification avant extraction (augmentation de la surface de sol exposée au soleil).
- mise en oeuvre en couches minces avec un compactage moyen (pour éviter le phénomène de matelassage).
- utilisation pour des remblais de hauteur moyenne ($h < 10$ m).

- Argile A_{3m} :

Cf. tableau de la page 28 du fascicule 2 du G.T.R.

- si arrosage superficiel (maintien de l'état hydrique): mise en oeuvre en couches minces, compactage moyen, utilisation pour des remblais dont la hauteur n'excède pas 10 mètres.
- si utilisation en l'état (penser à la forte évaporation): compactage intense, compte tenu de la très mauvaise maîtrise de la teneur en eau on réservera ces matériaux pour des remblais de faible hauteur ($h < 5$ m).

ATTENTION !

Les hauteurs de remblais préconisées ne dispensent nullement de vérifier la stabilité des remblais vis à vis du risque de rupture par glissement. Elles permettent seulement de limiter les risques de tassements différentiels ultérieurs.

3°/ CHOIX DU SOL CONSTITUANT LA COUCHE DE FORME

Nous préférons le sable D₁ à l'argile A_{2h} pour constituer la couche de forme car le sable, contrairement à l'argile, est un matériau drainant, et il n'est pas gélif ce qui sera avantageux pour la construction de la chaussée.

Une étude complémentaire est nécessaire pour mesurer la friabilité du sable (FS):

- si $FS \leq 60$, il s'agit d'un sable D_{11} constitué de grains résistants: il pourra être réutilisé en couche de forme
 - avec correction granulométrique par apport de gros éléments par temps de pluie faible ou sans pluie;
 - ou**
 - avec traitement au liant hydraulique (+ éventuellement correction granulométrique) par temps sans pluie.

- si $FS > 60$, il s'agit d'un sable D_{12} constitué de grains friables susceptibles de se transformer en éléments fins sous l'action du trafic. Il ne pourra être utilisé que par un temps sans pluie avec traitement au liant hydraulique (+ éventuellement correction granulométrique).

L'épaisseur de la couche de forme est déterminée en fonction de la **partie supérieure des terrassements (PST)** et de la classe de l'**arase de terrassement (AR)**.

La PST correspond environ au mètre supérieur des terrains en place (cas des déblais) ou des matériaux rapportés (cas des remblais). La plate-forme de la PST est l'arase de terrassement AR.

La classification géotechnique des sols et les conditions hydriques intéressant le mètre supérieur supportant la couche de forme (c'est à dire la zone appelée PST), permettent de distinguer 7 cas présentés à la page 64 du fascicule 1 du G.T.R.

A chaque PST est associée 1 ou 2 classes de portance à long terme de l'arase de terrassement notées ARi.

Pour les différents matériaux de couche de forme et pour chaque cas de PST, les tableaux du fascicule 2 du G.T.R. préconisent une épaisseur de couche de forme.

L'épaisseur de la couche de forme en sable D_{11} ou D_{12} est donnée en page 67 du fascicule 2 du G.T.R.

4°/ LES PROBLEMES DE CHANTIER

a/ Sur les talus de déblais

Les sondages ont mis en évidence une nappe phréatique à une certaine profondeur dans la couche de sable propre. Sur le profil en travers P 304, le niveau de cette nappe a été mentionné et l'on voit qu'il présente une nette inclinaison par rapport à l'horizontale.

En conséquence, cette nappe doit avoir logiquement un sens d'écoulement de l'amont (à gauche) vers l'aval (à droite).

Lorsque le creusement de la tranchée sera commencé, l'écoulement de cette nappe va être interrompu:

- pour le talus "AVAL", aucun problème majeur,
- pour le talus "AMONT", il y aura apparition de fortes venues d'eau, et donc des forces de courant qui pourront créer une rupture et un effondrement de ce talus au dessus de la couche d'argile.

Marche à suivre : confier l'étude de la stabilité de ce talus à un spécialiste en mécanique des sols.

Solutions possibles :

- adopter une pente plus faible (2 de base pour 1 de hauteur),
- mettre en place un "masque drainant",
- procéder, avant de commencer le creusement de la tranchée, à un "rabattement de la nappe".

Ennuis à prévoir : baisse des niveaux d'eau dans les puits et des nappes des zones de captage.

b/ Sur la plate forme des terrassements

L'extraction du sable propre ne posera aucun problème majeur car ce matériau est drainant. Les difficultés vont commencer à apparaître lorsque la première couche d'argile sera atteinte.

Si l'on n'y prend pas garde, l'eau coulant du talus AMONT va se répandre sur la plate-forme des terrassements, détrempant l'argile et transformant le chantier en un véritable bournier.

Solutions possibles :

- Capturer l'eau du talus et la conduire hors d'emprise le plus longtemps possible avant de commencer les déblais (1 an au moins), au moyen de tranchées drainantes.
- Exécuter les terrassements au moyen d'une très grosse pelle travaillant en rétro à partir du terrain naturel. La profondeur de cette tranchée inférieure à 10 m est compatible avec cette méthode. Le déblai serait exécuté en remontant la pente suivant le profil en long pour permettre aux eaux de résurgence de s'écouler librement. Les déblais pourraient être évacués par camions ou tombereaux circulant sur le terrain naturel, constitué de sable propre, c'est à dire sur un sol facile à stabiliser pour réaliser la piste de chantier.

Ces différentes solutions pour exécuter les terrassements dans la tranchée amènent tout naturellement à parler du matériel de chantier le mieux adapté.

Rappelons les diverses contraintes qui ont été mentionnées jusqu'ici:

- extraction de l'argile A_{2h} en couches minces (évaporation),
- réemploi sélectif du sable D₁ en couche de forme traitée,
- éviter systématiquement toute accumulation d'eau dans la tranchée au cours des terrassements.

La solution utilisant une grosse pelle équipée en rétro à l'inconvénient de mélanger toutes les couches. L'utilisation des scrapers ne serait pas prudente (mauvaise traficabilité du sable, couche d'argile peu plastique humide avec $I_c < 1$) dans cette tranchée.

Si cette tranchée n'est pas trop longue ($l < 100$ m), on pourrait envisager l'extraction en couches minces avec poussage des déblais sur une aire de chargement située hors des venues d'eau : les matériaux seraient ensuite évacués soit aux scrapers soit avec tombereaux. On pourrait ainsi respecter simultanément les trois contraintes précitées. Il va sans dire que le déblai de cette tranchée ne sera pas chose facile.

5°/ CONTROLE DE LA QUALITE DU COMPACTAGE

Les travaux sont réalisés par beau temps sec (évaporation importante) avec un compacteur statique à pieds dameurs SP1.

Calcul de Q/S pour les deux derniers jours :

$$S_1 = 26000 \times 1,94 = 50440 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } Q/S = 0,23$$

$$S_2 = 24000 \times 1,94 = 46560 \text{ m}^2$$

$$\text{d'où } Q/S = 0,20$$

Matériaux - conditions de compactage requises :

Sols D₁: Pour les sols D, les rouleaux à pieds dameurs ne conviennent pas (Cf. fascicule 2, page 89).

Argile peu plastique A_{2h}: Régalage en couches minces et compactage moyen (Cf. fascicule 2, page 26)

$$Q/S = 0,035 \quad e = 0,20 \text{ m} \quad V = 8 \text{ km/h} \quad (\text{fascicule 2, page 87})$$

Argile très plastique A_{3m}:

- Régalage en couches minces et compactage moyen (fascicule 2, page 28)

$$Q/S = 0,025 \quad e = 0,20 \text{ m} \quad V = 8 \text{ km/h} \quad (\text{fascicule 2, page 88})$$

ou

- Compactage intense (fascicule 2, page 28): dans ce cas, le SP1 est inadapté.

Commentaires :

Épaisseur des couches :

En ce qui concerne les argiles, l'épaisseur des couches aurait dû rester inférieure à 0,20 m (Cf. fascicule 1, pages 89-90).

Énergie de compactage - Q/S :

Si l'entreprise effectue les remblais avec le sable, de toute les façons, le rouleau à pieds dameurs ne convient pas.

Si les remblais sont constitués d'argile peu plastique (A_{2h}) ou très plastique (A_{3m}), l'énergie requise étant moyenne ou intense, la valeur de Q/S donnée dans le fascicule 2 est un maximum (minimum d'énergie) (Cf. fascicule 1, page 89). L'énergie fournie par le compacteur CAT 815 est insuffisante.

Remarquons qu'un tel engin devrait se déplacer à une vitesse de 8 km/h (Cf. fascicule 2, pages 87 et 88). A cette vitesse, en supposant un temps effectif de 8 heures de compactage (les journées de chantier durent 9 heures l'été; il convient de tenir compte des temps morts dûs aux manoeuvres et à l'entretien : c'est pourquoi on ne retiendra que 8 h), la distance de parcours du CAT 815 devrait être de 64 km; or il n'a parcouru que 24 et 26 km.

Ce compacteur est donc sous-utilisé. En supposant une utilisation correcte la surface balayée serait de 124 160 m² d'où le Q/S:

1er jour	$Q/S_1 = 0,092$
2ème jour	$Q/S_2 = 0,075$

Ces valeurs sont trop élevées, ce seul compacteur ne suffirait pas.

On peut adopter deux attitudes:

1. réduire la quantité de matériau mis en oeuvre chaque jour; ce serait une aberration économique.
2. renforcer l'atelier de compactage en amenant un second compacteur.

Les objectifs consignés à ce deuxième compacteur seraient:

- fermer les trous laissés en surface par les pieds dameurs (penser aux périodes pluvieuses).

- travailler avec des épaisseurs de couches compatibles avec celles indiquées pour le CAT 815. L'idéal serait un V_2 pour l'argile A_2 , un V_3 pour l'argile A_3 . Dans le but de n'amener qu'un type d'engin supplémentaire sur le site, on n'amènerait qu'un V_3 (compacteur vibrant à bille lisse).

- avoir une énergie suffisante pour compléter le travail du CAT 815. Dans ce cas (Cf. fascicule, page 82, "2ème cas"), l'atelier doit vérifier:

$$\frac{Q/S_{tab11}}{Q/S_1} + \frac{Q/S_{tab12}}{Q/S_2} + \dots \geq 1$$

avec : - aux numérateurs:

$Q/S_{tab1i} = Q/S$ imposé au compacteur i par le tableau du G.T.R.

- aux dénominateurs:

Q : volume total de remblai mis en oeuvre dans une journée

S_i : surface balayée par le compacteur i durant une journée

Prenons un exemple : le cas défavorable $Q = 11500m^3$ et l'argile A_2h

Un compacteur V_3 doit délivrer un $Q/S_{tab12} = 0,05$. Sa vitesse doit être de 2 km/h. Avec une bille de 1,90 m, durant 8 heures effectives, il aura balayé: $S_2 = 30\ 400m^2$

Son Q/S sera $Q/S_2 = \frac{11500}{30400} = 0,38$.

Avec le CAT 815, on calcule: $Q/S_1 = \frac{11500}{124160} = 0,092$

Puis $\frac{Q/S_{tab11}}{Q/S_1} + \frac{Q/S_{tab12}}{Q/S_2} = \frac{0,035}{0,092} + \frac{0,05}{0,38} = 0,51$

Cet atelier reste insuffisant; si l'on souhaite conserver le même type de compacteurs, cet atelier doit être doublé.

En effet, on obtient:

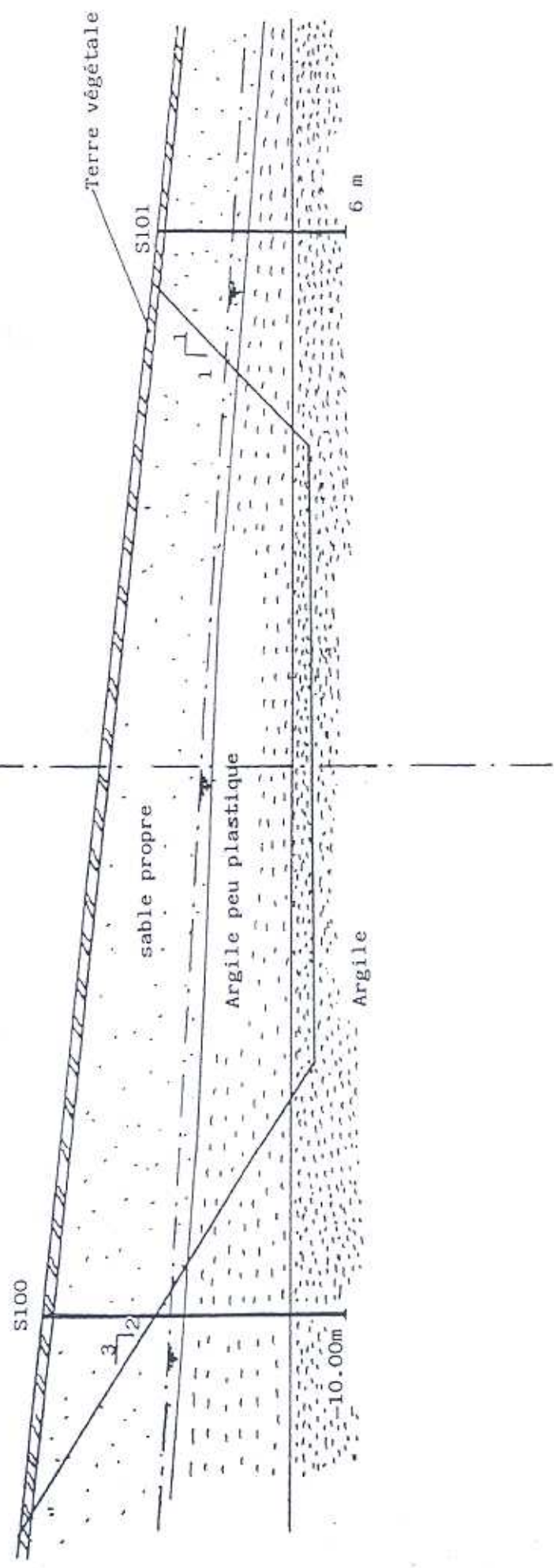
$$2\left(\frac{Q/S_{tab11}}{Q/S_1}\right) + 2\left(\frac{Q/S_{tab12}}{Q/S_2}\right) = 1,02 \geq 1$$

* *

*

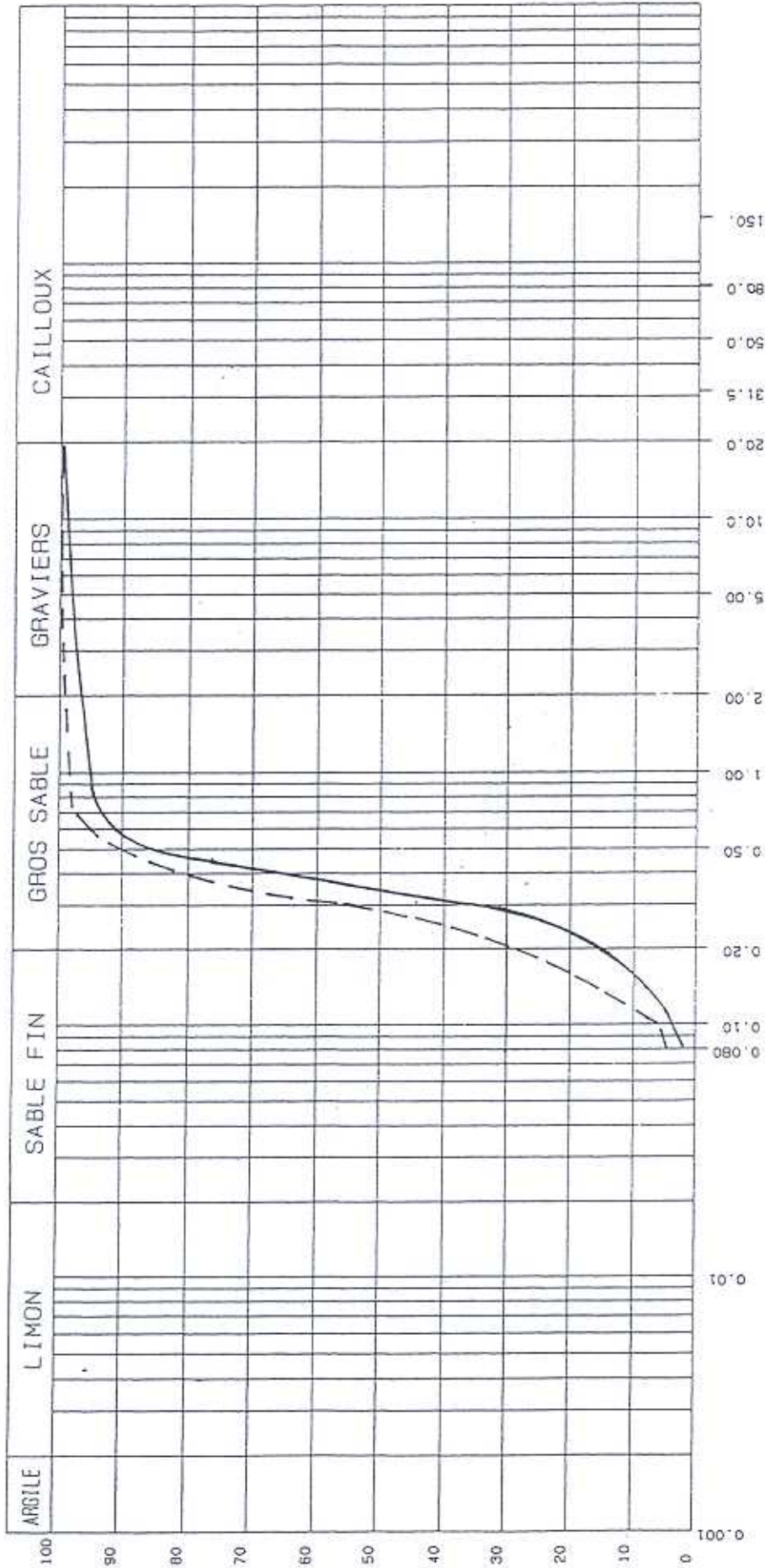
P. 304

Echelle 1/200



E. N. T. P. E.
LABORATOIRE GEOMATERIAUX

Désignation N° 1 à 1, 10m
des N° 2 à 3, 50m
échantillons N°
SONDAGE : 100.....



% D'ELEMENTS PASSANT AUX DIFFERENTES DIMENSIONS

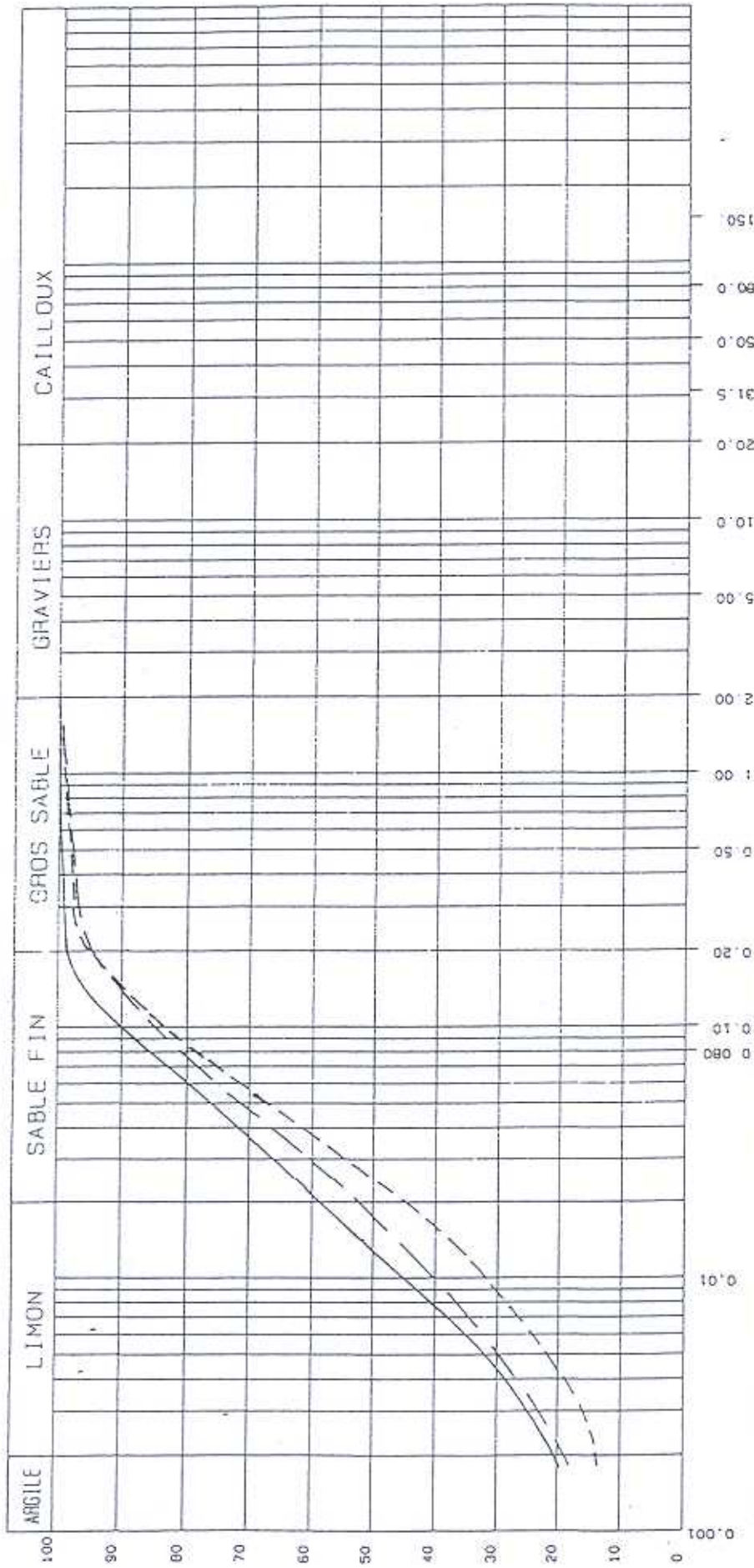
N°	LIMITES D'ATTERBERG		E.S.	% < 80 µm	TENEUR EN EAU NATURELLE	vB5	CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE
	WL	IP					
1	/	/	50	2	10	< 0.1	D1
2	/	/	47	4	14	< 0.1	D1

G.T.R.

Désignation
des
échantillons

N° 3 à 5 80m
N° 4 à 6 50m
N° 5 à 7 80m

SONDAGE : 100



% D'ELEMENTS PASSANT AUX DIFFERENTES DIMENSIONS

MM

N°	LIMITES D'ATTERBERG		E.S.	% < 80 μm	TENEUR EN EAU NATURELLE	VBS	CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE	
	WL	IP					G.T.R.	
3	41	19	/	86	25	5	A2h	
4	39	17	/	81	23	4	A2h	
5	34	13	/	79	26	2.5	A2h	

E. N. T. P. E.
LABORATOIRE GEOMATERIAUX

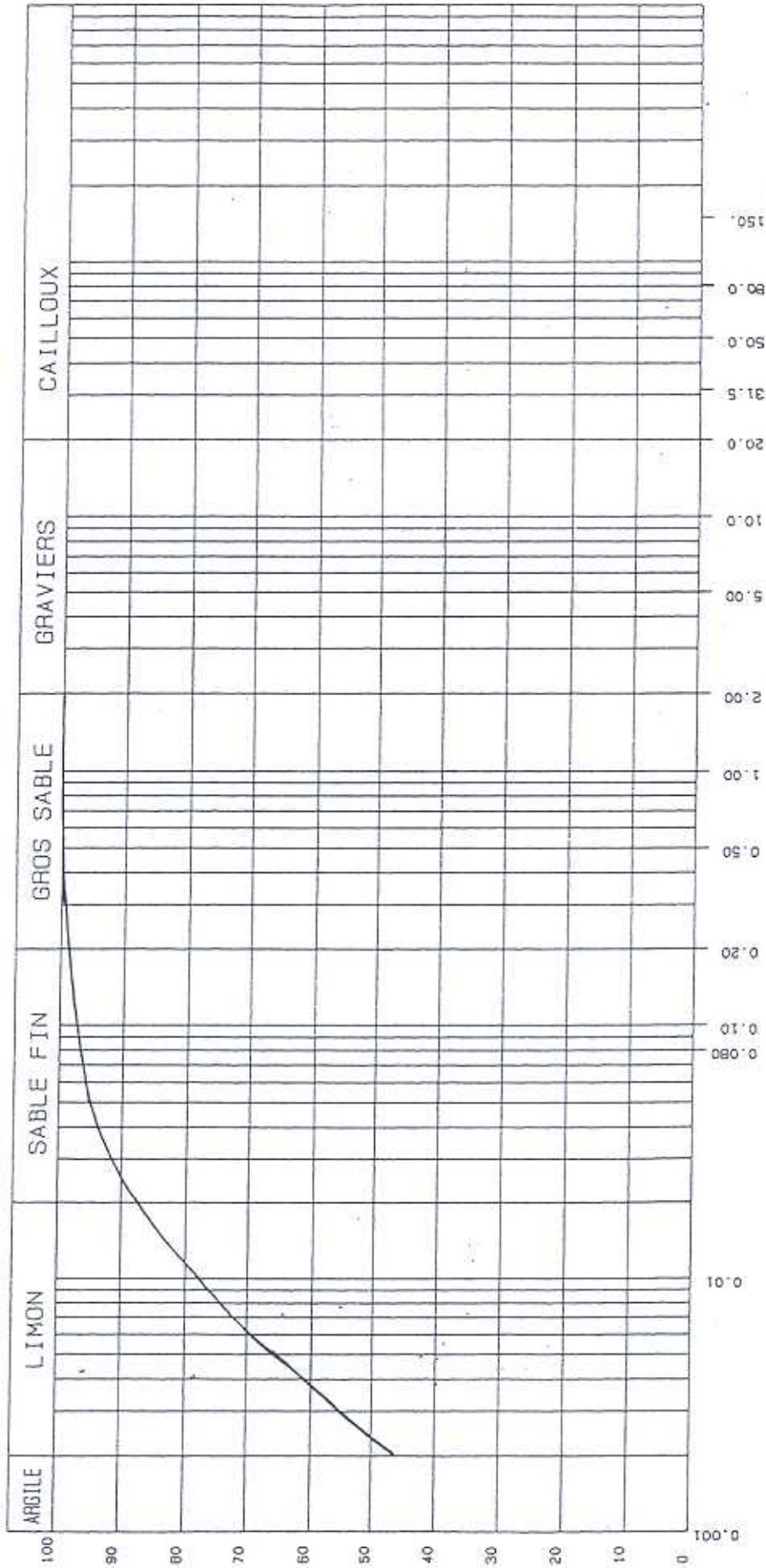
Désignation
des
échantillons

N° 6 à 9.10m

N°

N°

SONDAGE : 100



% D'ELEMENTS PASSANT AUX DIFFERENTES DIMENSIONS

MM

N°	LIMITES D'ATTERBERG		E.S.	% < 80 μm	TENEUR EN EAU NATURELLE	y ₈₅	CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE
	WL	IP					
6	55	29	/	96	26	7	G.T.R. A3m

diamètre équivalent (sédimentométrique)

diamètre des mailles (tamisage)

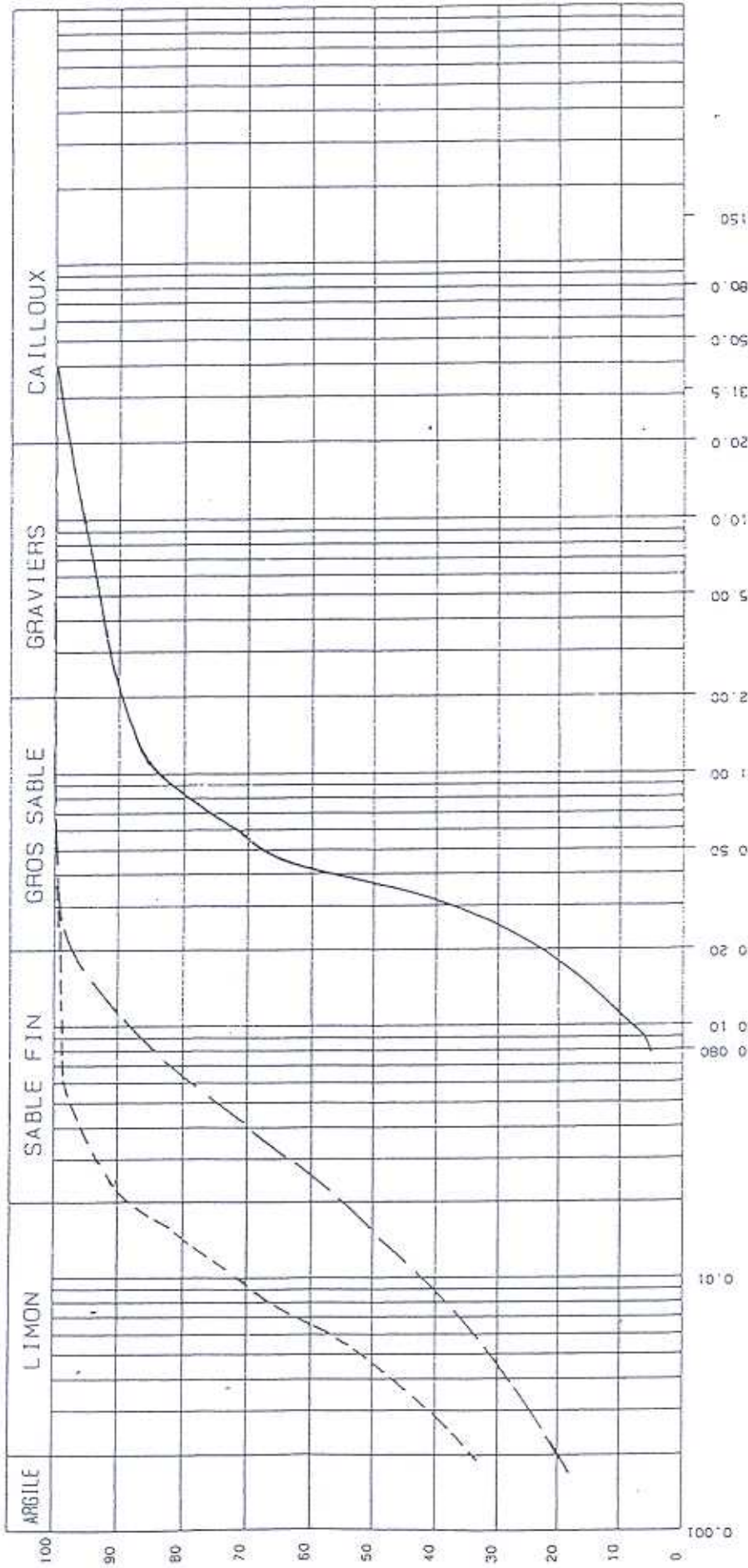
E. N. T. P. E.

LABORATOIRE GEOMATERIAUX

Désignation
des
échantillons

N° 1 à 2,00m
N° 2 à 3,70m
N° 3 à 5,00m

SONDAGE : 101



* D. ELEMENTS PASSANT AUX DIFFERENTES DIMENSIONS

HM

N°	LIMITES D'ATTERBERG		E.S.	% <math>< 80\mu\text{m}</math>	TENEUR EN EAU NATURELLE	vBS	CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE
	WL	IP					
1	/	/	43	5	12	0.1	D1
2	38	16	/	83	25	3	A2h
3	64	33	/	98	28	8	A3m

G.T.R.