

EVALUATION DE LA QUALITE DES GRAVES NON TRAITEES

P. DENCAUSSE (LPEE / CERIT)

1/ - INTRODUCTION

A la suite de quelques expériences malheureuses bien précises et aussi des difficultés quasi quotidiennes rencontrées par les divers partenaires lors de l'utilisation de graves non traitées, il a paru nécessaire d'entreprendre une action de recherche pour évaluer les spécifications en cours d'usage, en ce qui concerne la détermination de la propreté de ces matériaux (GNA - GNB et GNF).

Après un rappel des spécifications actuellement en vigueur et un tour d'horizon bibliographique sur le sujet, on va décrire quelques expériences pratiques réalisées pour justifier une évolution de ces spécifications dans le sens proposé en conclusion, à savoir l'introduction d'une spécification concernant la valeur au bleu de méthylène et à l'équivalent de sable sur la fraction 0/2 à 10 % de fines.

2/ - EVALUATION DE LA PROPRETE DES GRAVES NON TRAITEES

2.1 - Propreté au sens du C.P.C :

- Pour le C.P.C la propreté d'une grave non traitée (GNA - GNB GNF) est évaluée par mesure :

- . de l'équivalent de sable sur la fraction 0/5 mm
- . de l'indice de plasticité sur la fraction 0/0,5 mm

- Les limites spécifiées sont :

- . pour l'équivalent de sable : 30 %
- . pour l'I.P. : - non mesurable

- 6

- 8

(selon le cas)

2.2 - Oualité de la spécification :

a) . La norme NFP 18 597 relative à l'équivalent de sable à 10 % sur la fraction 0/2, indique que :

- la répétabilité (essai effectué dans un même laboratoire par le même opérateur
- et la reproductibilité (essais interlaboratoires)

sont pour cet essai caractérisés par :

ES10	43	64
r	2	1,4
R	3	2,6

avec comme commentaires que plus la valeur d'ES augmente plus les valeurs r et R diminuent.

A l'inverse plus ES diminue, plus les valeurs r et R augmentent.

D'autre part, ce qui est vrai pour ES 10%, l'est encore plus pour l'ES sur fraction 0/5 et ceci pour des valeurs encore plus élevées que 43 et 64 (70 et 80).

Il existe par ailleurs de nombreux exemples montrant que pour des ES (05) inférieurs à 35 il était impossible de conclure sur la nature des fines et leur activité et ceci en plus de la grande dispersion de l'essai à ce niveau de valeurs.

b) . Pour ce qui est des limites d'Atterberg et particulièrement de l'indice de plasticité, les normes ne font même pas état des valeurs de reproductibilité r et de répétabilité R .

On sait par ailleurs que le domaine des faibles valeurs d'IP est très difficile à cerner.

De plus pour des valeurs d'IP inférieures à 20 - 30 la corrélation avec la nature des fines argileuses et leur pourcentage n'est pas possible. Cet essai n'est donc pas discriminatoire pour le niveau - IP 0 à 20-30 en ce qui concerne la présence et la nocivité des argiles.

c) . On peut donc affirmer que si :

- ES > 50, le matériau est propre et qu'il n'est pas nécessaire de cerner plus avant ses caractéristiques de propreté,

- ES < 50, toutes les possibilités sont ouvertes, mais malheureusement tant que les limites d'Atterberg donnent des IP inférieurs à 20-30 il est impossible de connaître l'activité des fines.

D'autre part, vu la dispersion de l'essai, le respect d'un seuil tel que 30 ne peut se faire que dans un large domaine d'imprécision.

d) . On sait donc identifier un matériau propre par son ES >50

- On ne sait pas déceler dans les matériaux à ES < 50 ceux qui peuvent présenter des risques d' instabilité en présence d'eau (réaction des argiles).

2.3 - Autres essais d'évaluation de la propreté des graves non traitées :

Des essais portant sur la fraction sableuse fine (0/5 ou 0/2) ont été testés pour permettre de mieux évaluer la propreté des graves non traitées.

a) . Essai ES à 10% de fines sur fraction 0/2

Cet essai normalisé permet une comparaison plus facile entre matériaux, car il présente :

- un pourcentage de fines identique à 10 % (volume réduit de floculat),
- une partie sableuse plus fine donc plus facile à laver avec l'équipement normalisé.

Il est donc plus précis, mais il reste aussi peu discriminatoire pour des valeurs inférieures à 40.

b) . Essai d'équivalent de sable à agitation plus intense

Cet essai qui a consisté à augmenter l'énergie d'agitation standard (90 cycles en 30 secondes) avait pour but de favoriser la dispersion des particules argileuses agglomérées ou fortement collées aux granulats.

On note avec cet essai une diminution de l'équivalent de sable et ce d'autant plus que celui-ci est élevé et contient des éléments fins.

Dans le cas des équivalents de sable déjà inférieurs à 40, l'apport de cet essai est peu significatif.

c) . Détermination du pourcentage d'éléments argileux par sédimentométrie

L'analyse sédimentométrique classique des éléments inférieurs à 80 μ permet de connaître la répartition des éléments jusqu'à la dimension de 2 μ en les assimilant à des sphères.

Les éléments inférieurs à 2 μ sont des éléments argileux.

Cependant, toutes les argiles n'ont pas la même activité et donc la même nocivité (fixation d'eau, potentiel de gonflement).

Cet élément est donc un renseignement utile mais cependant incomplet en l'absence de caractérisation des composants argileux.

d) . Détermination minéralogique des éléments argileux

L'analyse minéralogique de la fraction argileuse ($< 2 \mu$) permet de déterminer les types d'argiles présents et leur importance relative les uns par rapport aux autres.

on peut ainsi avoir une idée beaucoup plus précise des risques que l'on peut prendre en utilisant le matériau connaissant l'activité des différentes argiles.

Il faut cependant signaler que cet essai est assez long et coûteux et reste généralement plus qualitatif que quantitatif.

e) . L'essai au bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène (essai à la tache) consiste à introduire une quantité de bleu de méthylène dans un échantillon de sol de façon à ce que la surface des argiles présentes soit saturée par ce bleu de méthylène.

On a alors par la valeur au bleu de la quantité de sol (ramené à 100 g) une évaluation globale de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse ($< 2\mu$).

Il en résulte que :

- La valeur de bleu permet de qualifier la fraction argileuse sans qu'il soit nécessaire de la séparer du reste du sol.
- La valeur au bleu définie sur une fraction O/d du sol, permet de calculer la valeur au bleu sur fraction O/D quelconque.

f) Autres essais

- Il existe des essais d'hydrophilie qui est un essai assez rapide avec une sensibilité linéaire mais qui est très sensible la granularité des fines.

Il existe encore des essais de mesure de surfaces spécifiques type BET ou Ethylène-glycol, le premier donnant la surface externe des argiles et le second la surface totale, mais ils s'avèrent longs et insensibles aux éléments inertes pouvant exister dans la fraction fixe.

3/ - ETUDES EXPERIMENTALES ENTREPRISES SUR DES GRAVES NON TRAITEES EN 1992 ET 1993

Dans le cadre d'un suivi de chantier et d'études de recherches, divers essais ont été entrepris sur des matériaux de graves non traitées.

3.1 - Identification des graves non traitées :

- 7 matériaux ont été étudiés :

- . 4 matériaux issus de ballastière
- . 3 matériaux issus de roches massives

*** Matériaux de ballastière**

- Oued DRNA (GNA 0/25) - région de Beni Mellal
- Oued ZAT - région de Marrakech
- Oued NFIS- région de Marrakech
- Sidi Bennour - région d'El Jádida - Oued Oum Errabia

*** Matériaux de roches massives**

- El Manjra (GNA) - région de Casablanca
- Comatracar (GNA)- région de Casablanca
- MRIRT - région de Khenifra

Ce dernier a fait l'objet de plusieurs prélèvements.

3.1.1 - Granulométrie sédimentométrie

Des analyses granulométriques et sédimentométriques ont été effectuées sur les différents échantillons.

Pour le matériau de GNA - MRIRT la granulométrie proposé correspond à une exploitation statistique de 56 échantillons.

3.1.2 - Propreté

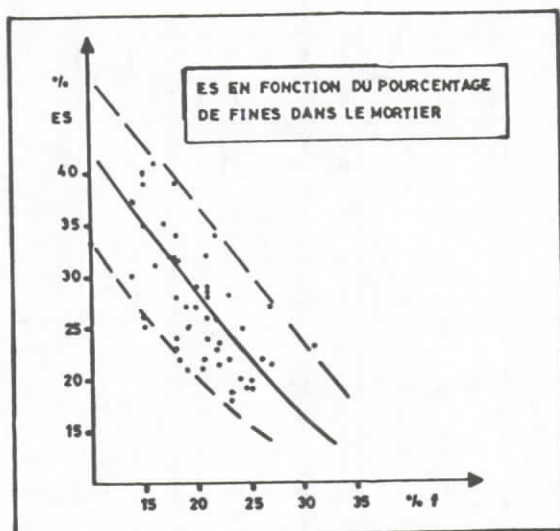
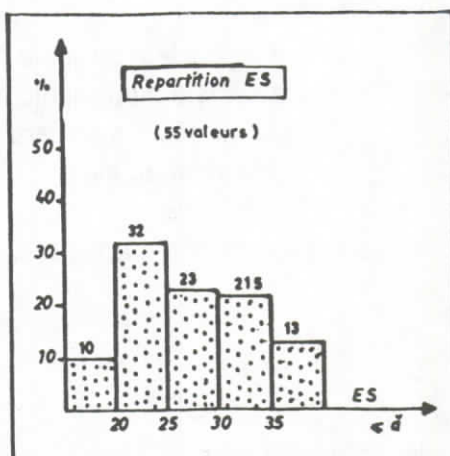
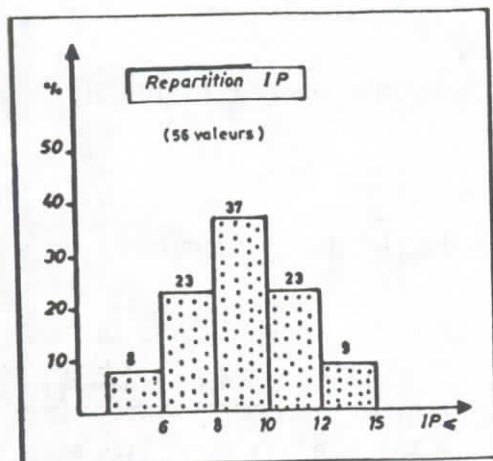
La propreté de ces graves a été déterminée par des essais :

- d'équivalent de sable normal
- d'équivalent de sable à 10% de fines (pour 1 échantillon)
- de limites d'Atterberg
- de valeur au bleu

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-après:

						< 0,08	% C 2 μ dans C8 μ
Matériau	ES normal	ES 10%	V B	W L	I P	< 0,08	%2 μ /80 μ
MRIRT	x	-	0,97	x	x	5 à 10	8
EL MANJRA	15	19	3,38	18	9	16	28%
COMATRACAR	34	-	0,8	25	6	5	8
SIDI BENNOUR	35	-	0,7	21	5	7,7	17
Oued DRNA	39	-		21	5	5	6
Oued NFIS	27	-	1,5	24	5	7	17
Oued ZAT	24	-	1,4	24	6	8	14

x = voir graphique ci-joint



Répartition des LP et des ES

Matériau MRIRT

3.1.3 - Dureté

Des essais Los Angeles et Micro Deval en présence d'eau ont été effectués sur ces matériaux.

Matériau	L. A	M. D. E
MRIRT	-	19
EL MANJRA	31	18
COMATRACAR	19	32
SIDI BENNOUR	23	11
OUED DRNA	30	16
OUED NFIS	20	10
OUED ZAT	20	11

3.2 - Essais d'identification sur les fines produites par essais M.D.E pour ces matériaux :

Afin d'étudier l'influence des caractéristiques des fines produites par attrition dans le matériau au cours de sa durée de vie, on a récupéré les fines produites durant l'essai MDE et on a identifié ces particules, ceci pour 5 échantillons (MRIRT - EL MANJRA - COMATRACAR - SIDI BENNOUR - OUED NFIS).

3.2.1 - Granulométrie - sédimentométrie

Par principe, ces matériaux ont un Dmax de 1,6 mm (principe de l'essai MDE) c'est pourquoi on s'est principalement intéressé à la sédimentométrie des particules inférieures à 80 μ .

3.2.2 - Propreté

Les mêmes essais de caractérisation de la propreté ont été réalisés.

Les résultats sont regroupés ci-dessous :

Matériau	V B	W L	I P	$\frac{C\ 2\ \mu}{C\ 80\ \mu}$
MRIRT	0,96	55	21	18
EL MANJRA	0,55	47	16	16
SIDI BENNOUR	0,55	47	14	20
OUED DRNA	0,34	37	15	32
COMATRACAR	1	51	16	20

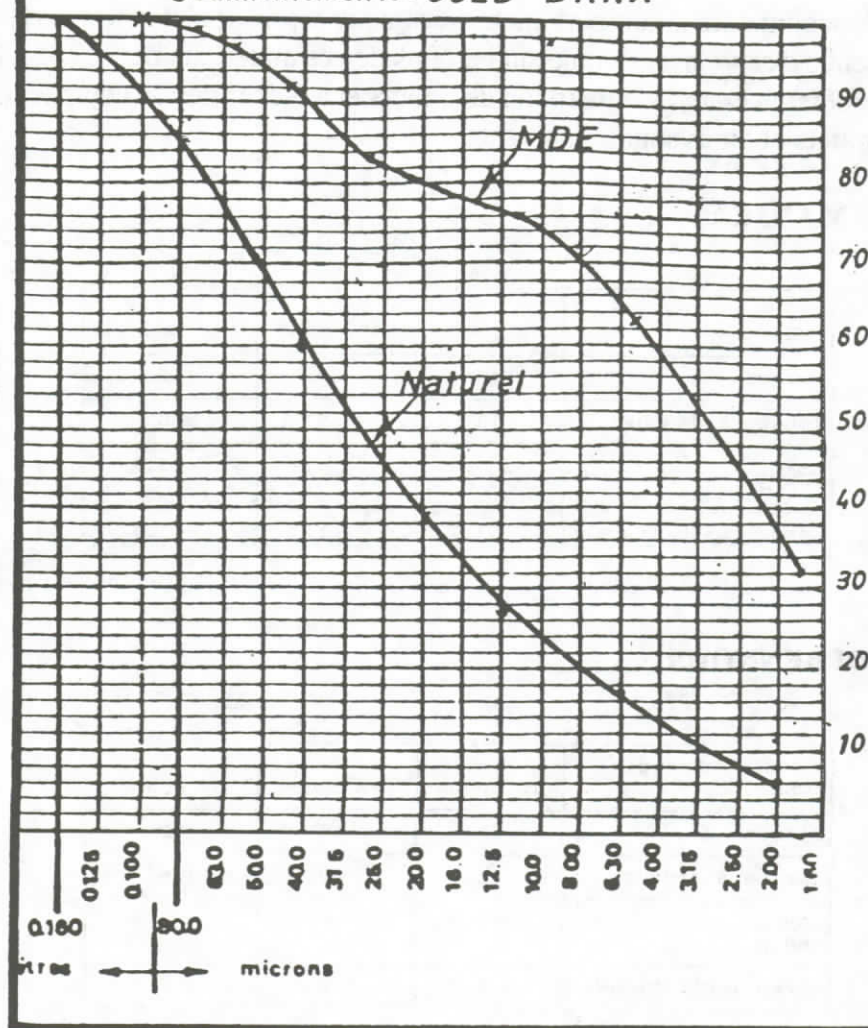
On constate une plasticité apparente assez élevée pour toutes ces fines avec cependant de faibles valeurs au bleu.

Il faut rapprocher ce fait de la forme de la courbe sédimentométrique qui peut s'exprimer par le pourcentage d'éléments compris entre 20 μ et 2 μ à comparer avec les mêmes pourcentages dans la courbe sédimentométrique des matériaux avant essai M.D.E (exemple ci-dessous).

Matériau	Pourcentage d'éléments compris entre C 20 μ et C 2 μ	
	matériau d' origine	sur les fines M. D. E
MRIRT	46 %	80 %
EL MANJRA	26 %	72 %
COMATRACAR	30 %	68 %
SIDI BENNOUR	34 %	66 %
OUED DRNA	22 %	50 %

Modèle de feuille d'essais

Sédimentometrie: OUED DRNA



En fait, cette fraction 2u - 20 u a un comportement colloïdal permettant la mesure d'un IP, principalement par une forte élévation de la limite de liquidité (comportement limoneux).

3.3 - Essais mécaniques :

Pour connaître le comportement mécanique et principalement la portance en présence d'eau, on a effectué sur certains de ces matériaux des essais CBR sans immersion et après immersion de 4 jours et à 3 énergies de compactage. Les résultats obtenus sont les suivants :

EL MANJRA

CBR Energie	10 coups	25 coups	55 coups
Direct	40	90	150
Imbibé à 4 jours	13	35	60
CBR i CBR d	0,3	0,4	0,7
Après imbibitionWi+	- 3,2	+ 1,7	+ 1,1

SIDI BENNOUR

CBR Energie	10 coups	25 coups	55 coups
Direct	36	55	150
Imbibé à 4 jours	25	83	136
CBR i CBR d	0,7	--	6,9
Après imbibitionWi+	+ 0,9	+ 0,1	- 0,1

QUED DRNACOMATRACAR

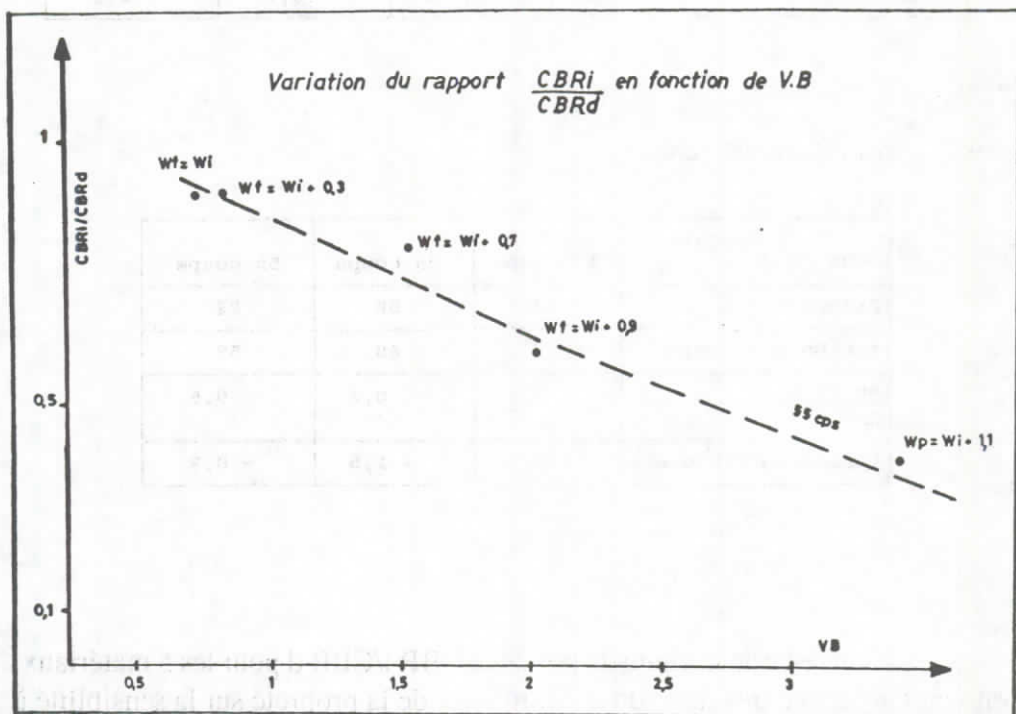
Energie CBR	10 coups	25 coups	55 coups	55 coups
Direct	--	70	131	118
Imbibé à 4 jours	11	66	108	108
CBR i CBR d	--	0,95	0,8	0,9
Après imbibitionWi+	+ 1,5	+ 1,3	+ 0,7	+ 0,3

GNA / PK 142+200

Energie CBR	10 coups	25 coups	55 coups
Direct	30	58	82
Imbibé à 4 jours	18	40	52
CBR i CBR d	0,6	0,7	0,6
Après imbibitionWi+	+ 2,7	+ 1,5	- 0,9

Si l'on regarde la chute de portance CBR i/CBR d pour les 5 matériaux, on voit l'influence très nette de la défaillance de la propreté sur la sensibilité à l'eau.

A titre d'illustration, on a représenté ci-dessous la variation de ce rapport en fonction de la valeur au bleu V.B pour les moulages à 55 coups (100 % OPM). On voit qu'au delà de VB = 2 la portance est réduite environ de moitié en cas d'imbibition et ce pour des accroissements de teneur en eau assez faible autour de 1 % maximum au delà de la teneur en eau de moulage (Wopt).



4/ - ANALYSE DES DONNEES PRESENTEES

4.1 - Relation limite d'Atterberg - Equivalent de sable valeur au bleu :

On a vu que l'équivalent de sable (ES) était relié en grande partie à la proportion de fines de la fraction d'essai (0/5).

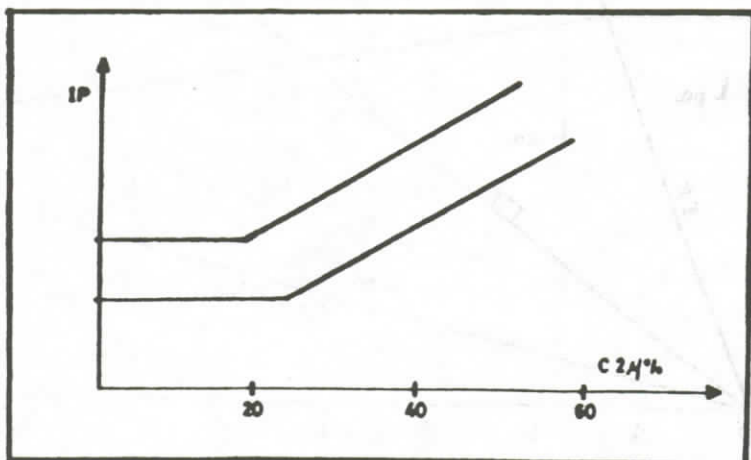
On a vu que pour des valeurs de ES voisines de 30 (24 à 35), on trouvait des indices de plasticité légèrement mesurables et très proches (5 à 6), mais des valeurs au bleu beaucoup plus discriminantes (0,8 à 1,5).

Pour les matériaux à plus faible ES (15 à 20 %) et à IP plus marqués 9 à 15, les valeurs au bleu sont aussi plus élevées (2 à 3,4).

Cependant dans le cas de l'étude des fines produites par essai MDE, on observe des valeurs d'IP beaucoup plus élevées (14 à 21) pour des valeurs au bleu plus faibles en comparaison (0,35 à 1).

4.2 - Relation limites d'Atterberg - passants à 2 u :

Dans un article, Mr. Laurin (Bulletin de liaison des PetC n.160) a présenté des graphiques portant sur un grand nombre d'échantillons et qui fait ressortir la relation plasticité (IP) en fonction du pourcentage d'argile (passant à 2 u) dans la fraction inférieure à 80 u, ces graphiques ont l'allure suivante:



Jusqu'à 20 à 30 % de passants à 2 u les indices de plasticité IP sont pratiquement constants. Au delà on a une augmentation de cet indice avec le passant à 2 u.

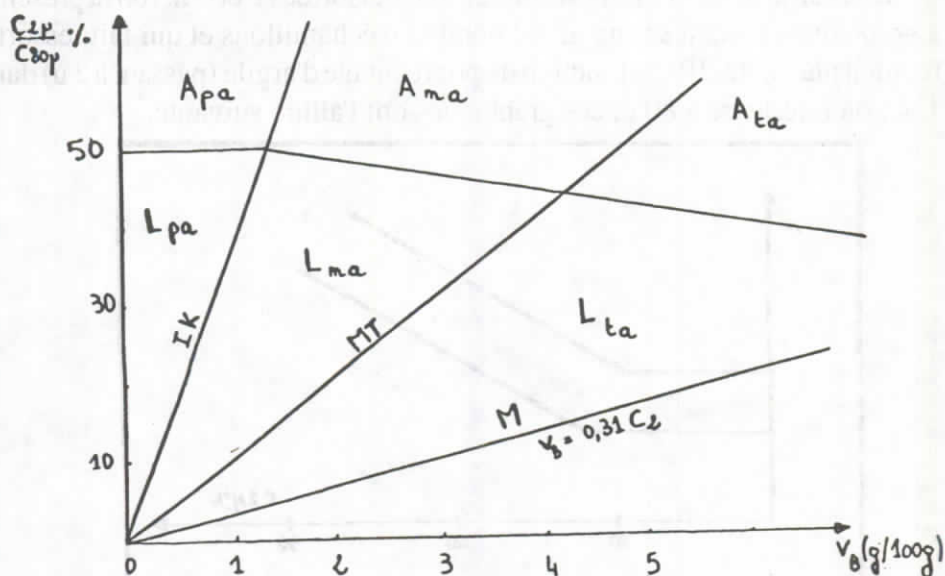
Par ailleurs des études ont montré que les éléments compris entre 20u et 2u avaient une importance prépondérante sur le comportement colloïdal (apparition d'un indice de plasticité) de sols très fins.

4.3 - Relation valeur au bleu - passant à 2 u :

Dans un article du Bulletin de liaison des P et C (n....), Mr. MAGNAN et YOUSSEFIAN ont proposé un système de classification prenant en compte d'une part, le pourcentage d'argile (% de passant à 2 u dans les 80u) et d'autre part, la valeur au bleu VB. Ce diagramme reproduit ci-dessous, définit 6 zones.

D'une part les argiles A et d'autre part les limons L et parmi ces deux classes les sols à fines très actives (ta), les sols à fines moyennement actives (ma), les sols à fines peu actives (pa) sont :

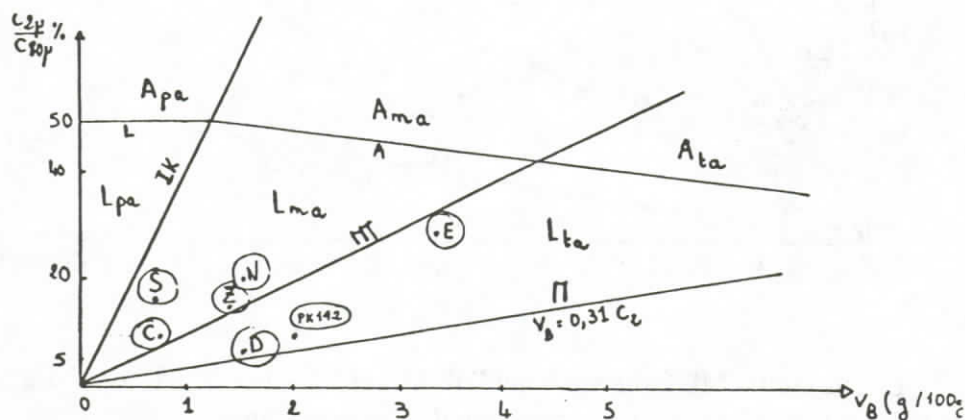
- Apa, Ama, Ata pour les argiles -
- Lpa, Lma, Lta pour les limons



4.4 - Comparaison des matériaux testés avec cette relation:

4.4.a - Matériaux bruts étudiés

Les matériaux bruts étudiés classés dans ce diagramme donnent les points suivants (voir paragraphe 3.1.2)

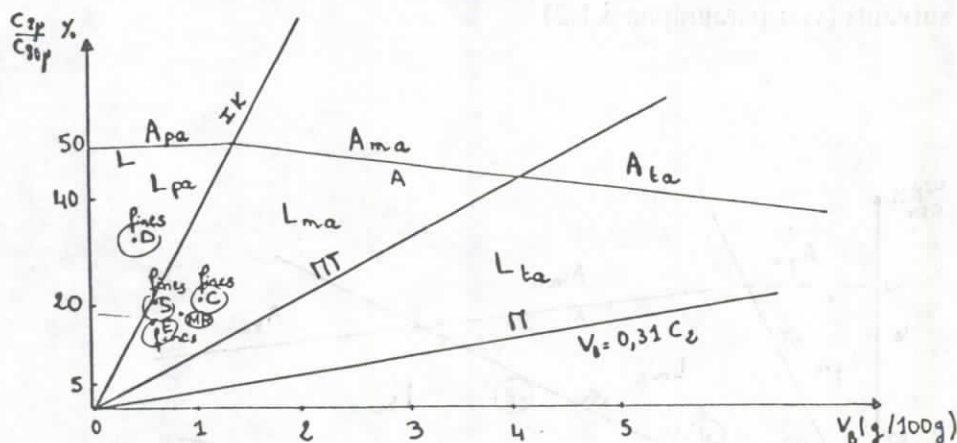


Les fines d'EL MANJRA et d'OUED DRNA et du PK 142 sont situées dans la zone des limons très actifs.

Les fines des autres matériaux sont classés dans les limons moyennement actifs.

4.4.b - Les fines produites par essai MDE

Ces fines élaborés dans les mêmes diagrammes donnent les résultats suivants (voir paragraphe 3.2.2).



Les produits MDE du matériau DRNA sont situées dans la zone des limons peu actif alors que les autres sont des limons moyennement actifs.

Donc, les fines récupérées de l'essai micro Deval sont des limons dotés d'une activité limitée, malgré les indications donnés par les valeurs d'IP.

5/- CONCLUSION ET PROPOSITION

Des analyses des données présentées, il ressort que pour la propreté des grave :

- l'équivalent de sable sur la fraction 0/5 dans la zone 25 à 35 est très peu discriminant ;

- les indices de plasticité mesurées sur des fines sont peu représentatifs de l'activité de ces fines (voir résultat d'essai sur fines MDE), dès que cet IP est relativement faible ;

- le pourcentage d'éléments argileux fin (inférieurs à 2 μ) n'est pas à lui seul un critère suffisant de jugement d'activité des fines ;

- la valeur au bleu permet de déceler les graves dont le comportement à l'imbibition serait défaillant.

C'est pourquoi nous préconisons :

- 1/ - L'adoption de l'équivalent de sable sur la fraction 0/2 à 10 % de fines (ES 0/2 - 10 %).

- 2/ - L'adoption de l'essai au bleu de méthylène à la tache pour définir l'activité des fines (VB).

- 3/ - La révision des spécification pour les graves non traitées par référence à ces essais : .

- . pour GNA et GNB, vérifier :

- a) si Es (0/2) 10 % > 40

- b) sinon VB < 1,5

- . pour GNF, GNC vérifier :

- a) si ES (0/2) 10 % < 35

