

DÉBAT PUBLIC

**PROJET D'EXTENSION DES INFRASTRUCTURES PORTUAIRES
ET DE PROLONGEMENT DU GRAND CANAL DU HAVRE**



ETUDE SUR LE REEMPLOI DES MATERIAUX

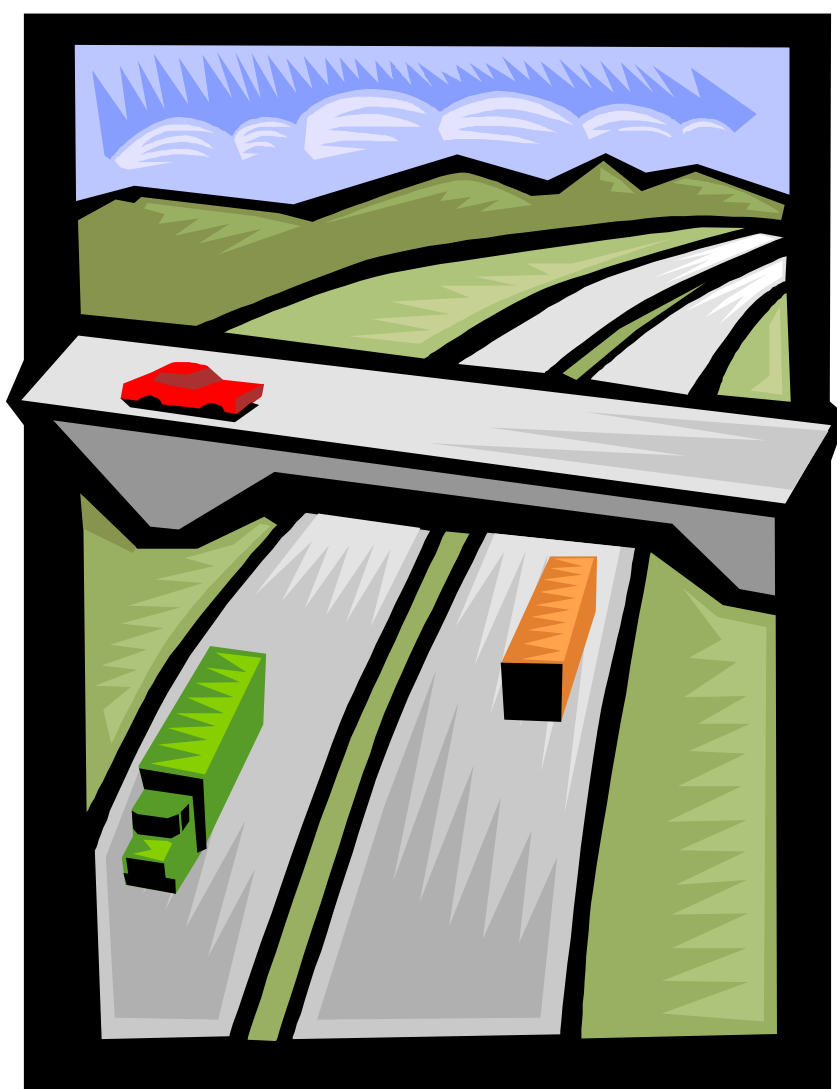
Epsilon Ingénierie

Mars 2009



GRAND CANAL DU HAVRE

ETUDE DE MATERIAUX



DOSSIER DEFINITIF 12 MARS 2009

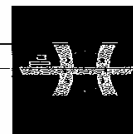
SOMMAIRE

1. Commande de travaux
2. Note de synthèse
3. Implantation des sondages
4. Coupe des sondages
5. analyse des matériaux
6. Vérification des performances mécaniques
7. Résultats obtenus

8. Etude complémentaire
9. Conclusions

1- COMMANDE DE TRAVAUX

PORT AUTONOME DU HAVRE



Service des Chaussées, Terre-Pleins et Bâtiments
Terre Plein de la Barre
76600 LE HAVRE

Interlocuteur : Séverine HERVE
Tél : 0232747400 Poste : 8231
Fax : 0232747356
Email : severine.herve@havre-port.fr

EPSILON INGENIERIE
PARC DE RUISSEL
AVENUE DE LOSSBURG
69480 ANSE

A FACTURER A (en 2 exemplaires) :
Service financier
Terre-Plein de la Barre
BP 1413
76067 LE HAVRE CEDEX

Identifiant TVA: FR87775700198
Echéance à 45 jours Réception de facture
Devise : EUR

BON DE COMMANDE

Référence à rappeler :
P-4400001305
N° Fournisseur : **205567**
N° Contrat : **MA20060109**
Date : **16/10/07**
Date de livraison : **31/07/07**

Observations :

GRAND CANAL DU HAVRE
Contrôle extérieur
Prestations du mois de juillet 2007

POSTE	DESIGNATION	QUANTITE	UNITE ACHAT	P.U.HT	PAR	UNITE PRIX	MONTANT HT	DATE DE LIVRAISON
10	A.2 TENEUR EN EAU Prix Net	10	Pièce	6,00	1	Pièce	60,00	31/07/07
20	A.3 IDENTIF.GRANULOMETRIQUE Prix Net	10	Pièce	60,00	1	Pièce	600,00	31/07/07
30	A.4 GRANULATS CARACT.ESSAI BLEU METHYLEN Prix Net	10	Pièce	60,00	1	Pièce	600,00	31/07/07
40	A.6 DETERMINATION REF COMPACTAGE MATER.E Prix Net	9	Pièce	360,00	1	Pièce	3 240,00	31/07/07

EPSILON INGENIERIE - PARC DE RUISSEL - AVENUE DE LOSSBURG - 69480 ANSE
Téléphone : 04 37 55 00 76

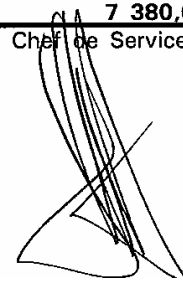
Fax : 04 37 55 00 16

EPSILON INGENIERIE
 PARC DE RUISSEL
 AVENUE DE LOSSBURG
 69480 ANSE

BON DE COMMANDE
 Référence à rappeler :
P-4400001305
 N° Fournisseur : **205567**

POSTE	DESIGNATION	QUANTITE	UNITE ACHAT	P.U.HT	PAR	UNITE PRIX	MONTANT HT	DATE DE LIVRAISON
50	A.11.DOSS.SYNTH.CONTRO.D'1 CHANTIER TERR Prix Net	1	par pièce	960,00	1	par pièce	960,00	31/07/07
60	A.19.ETUDE TRAITEMENT AU LIANT HYDRAULI Prix Net	2	par pièce	960,00	1	par pièce	1 920,00	31/07/07
MONTANT TOTAL NET HT :							7 380,00	EUR

Le Chef de Service



2- NOTE DE SYNTHÈSE

A la demande du Port Autonome du Havre, Le laboratoire Epsilon est intervenu dans le cadre du chantier du Grand Canal.

Cette étude comprend une phase d'échantillonnage à la pelle selon le maillage défini par vos soins, une phase d'indentification géotechnique des matériaux en fonction des horizons rencontrés, et une étude de faisabilité de traitement au liant hydraulique.

Les sondages permettent de réaliser un tracé des différentes couches de sables en (x, y, z) et des caractéristiques (w%, granulo, propreté, proctor / IPI).

Les matériaux rencontrés sur le terrain sont de 4 types :

- ❑ Une couverture de 50 cm environ de sable limoneux organique plus ou moins végétalisé.
- ❑ De 50 cm à 2 m de matériaux sablo limoneux de classe GTR A1
- ❑ Environ 1 à 2 m de matériaux transitoires entre le sable limoneux et le sable propre classe GTR (A1/B5)
- ❑ De 6 à 8 m de sable propre de classe GTR B5

Une vérification des performances mécaniques a été entreprise pour vérifier la qualité potentielle de la prise avec traitement aux liants hydrauliques (Rolac 645)

Les deux types de matériaux A1 et B5 sont traitables pour obtenir une plate forme PF3 ou PF4

Les classes mécaniques des matériaux traités sont définies par la position du couple (E, Rt) dans un diagramme où le module E est en abscisse, et la résistance en traction Rt est en ordonnée. Les performances sont prises à 90 jours.

La classe mécanique 5 est envisageable, surtout en incorporant un correcteur granulaire.

Le guide des terrassements routiers (GTR) définit selon la qualité d'arase l'épaisseur de couche traitée selon son classement mécanique pour l'obtention d'une plate forme de classe PF3 ou PF4

Le tableau ci après récapitule ces épaisseurs (entre 45 et 55 cm de matériaux traités selon la qualité d'arase pour une PF4, et entre 35 et 50 cm de matériaux traités selon la qualité d'arase pour une PF3)

Bien entendu, l'augmentation des performances mécaniques liée à l'optimisation des formules diminuera très sensiblement ces épaisseurs (jusqu'à 15 cm d'économie pour le gain d'une classe)

Tableau tiré du GTR :

Classe de l'arase		AR1			AR2	
		Epaisseur de matériau de couche de forme				
Classe mécanique du matériau de couche de forme	3	*	30cm	40cm	25cm	30cm
	4	30cm	35cm	45cm**	30cm	35cm
	5	35cm	50cm **	55cm**	35cm	45cm**
Classe de plate-forme obtenue		PF2	PF3	PF4	PF3	PF4

* l'épaisseur minimale de 30 cm permet un reclassement en PF3.
 ** l'obtention de la compacité recherchée en fond de couche conduira généralement à une mise en oeuvre en 2 couches.

On peut envisager les terrassements pour la réalisation du Grand canal du Havre selon deux modes :

- Classique avec engins de terrassements de type pelle rétro
- Dragage

Dans le premier mode, les matériaux sont enlevés par couches horizontales, alors que dans le second, il s'agit d'une extraction verticale, amenant par là un mélange des différentes couches de matériaux.

La couverture sablo limoneuse à caractère organique a une épaisseur comprise entre 30 et 50 cm, et peut amener une pollution au reste des matériaux dans le cas d'un mélange. Cette pollution pourrait engendrer, selon son importance quantitative, et selon l'activité des polluants (matières organiques, acides humiques,...) une baisse sensible des performances mécaniques, mettant en jeu la classe finale de la plate forme.

Une étude de performances complémentaire, en incorporant dans les proportions de 5 à 30% les sables limoneux de surfaces dans un mélange égal de sol A1 et le sol B5 a été réalisée.

Les résultats paramétriques indiquent que l'ajout de sablons de couvertures est très préjudiciable aux performances mécaniques du mélange, notamment pour les résistances à la traction, et pour les valeurs en poids supérieures à 15%.

En deçà de ce seuil, on note des performances amoindries mais de manière moins pénalisante ; par contre, dans tous les cas de figure, un retard de prise est à signaler, justifiant une cinétique de prise faible.

Eu égard aux risques encourus et devant la difficulté de s'assurer des ratios de mélanges incorporant les limons de couverture, et prenant compte du fait que l'étude ne peut représenter la totalité des cas envisageables, il paraît raisonnable d'évacuer la couche de

surface sur environ 0.50 m, pour ne conserver pour traitement que les matériaux exempts de matières organiques.

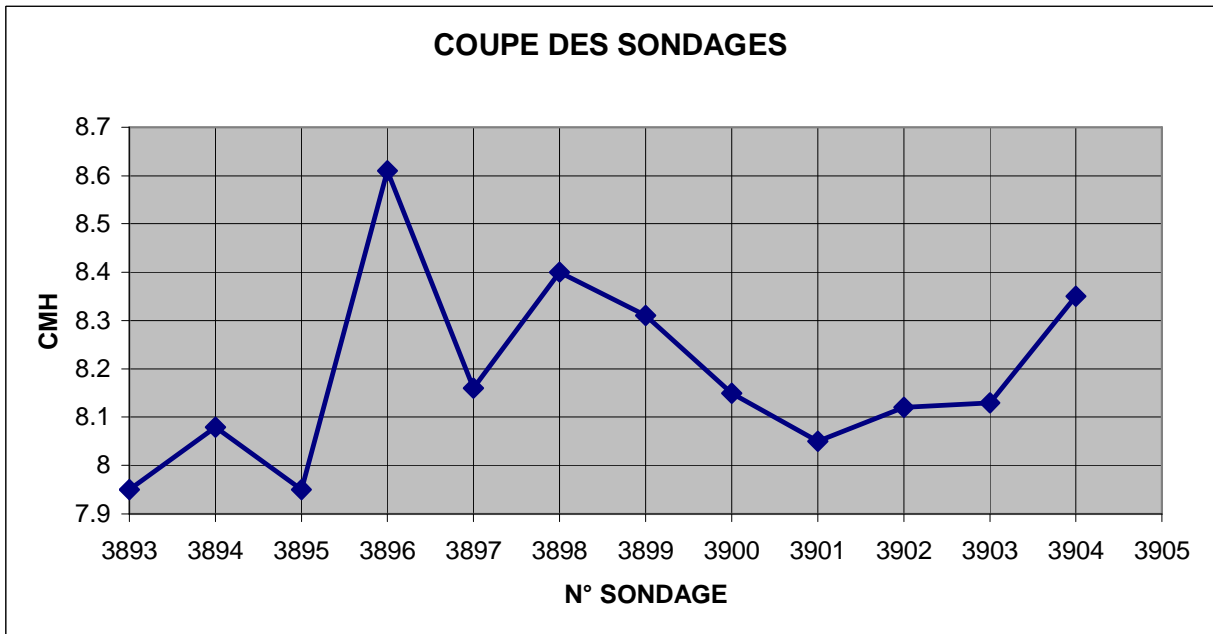
3- IMPLANTATION DES SONDAGES

Les sondages ont été implantés par les services technique du port, et réalisés par la société FUGRO.

Le plan de sondage figure en annexe 1

Les relevés (x ;y ;z ;) des sondages carottés sont les suivants :

N° SONDAGE	X	Y	Z
SCA 3893	454486.16	197450.93	+ 7.95
SCA 3894	455374.09	198004.41	+8.08
SCA 3895	455315.73	197411.49	+7.95
SCA 3896	456571.83	198977.55	+8.61
SCA 3897	456335.90	198084.52	+8.16
SCA 3898	456263.76	197320.71	+8.40
SCA 3899	457304.10	198927.45	+8.31
SCA 3900	457251.96	198322.43	+8.15
SCA 3901	457099.42	197783.43	+8.05
SCA 3902	457746.99	198816.02	+8.12
SCA 3903	457696.7	198151.78	+8.13
SCA 3904	458564.97	198894.94	+8.35



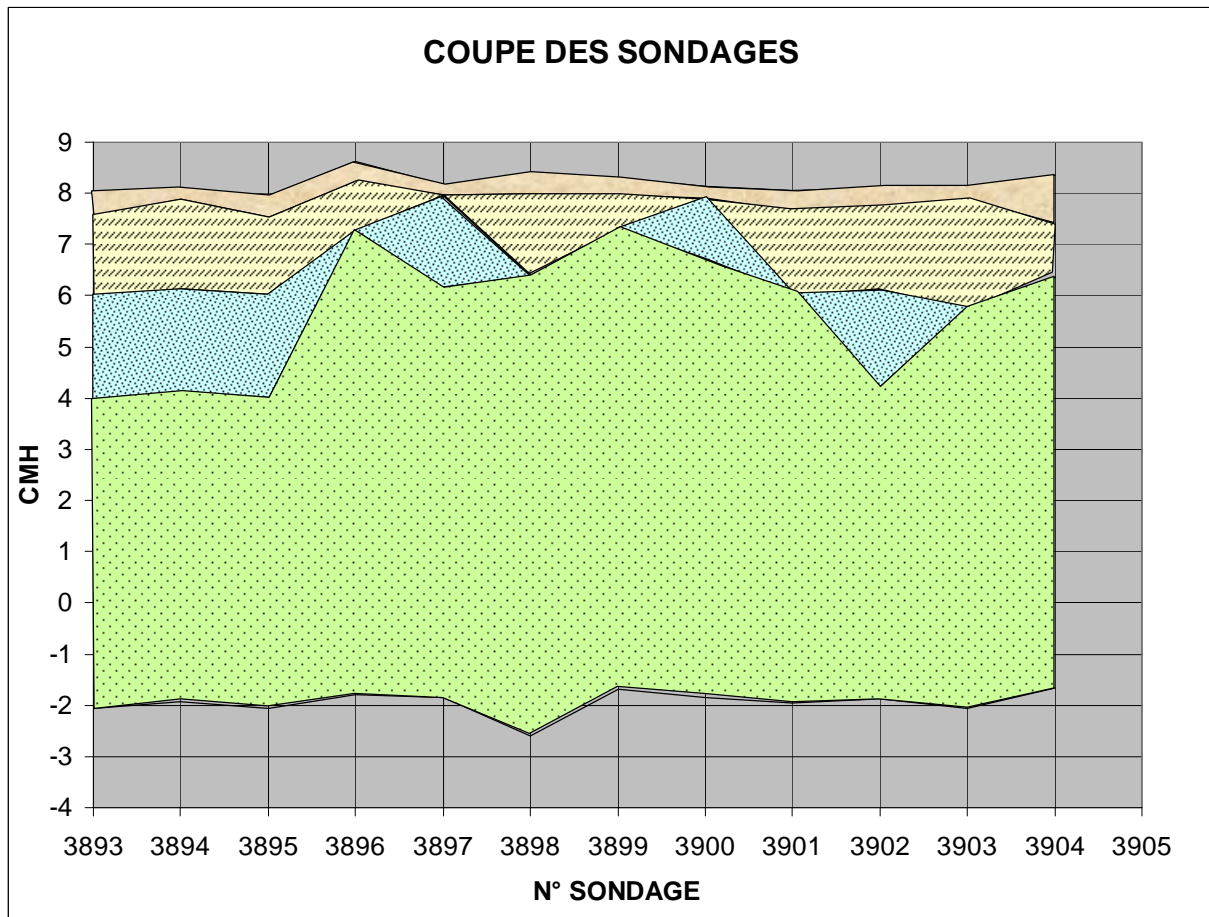
4. COUPE DES SONDAGES

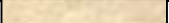

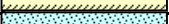

Au vu des coupes de sondages, trois familles de matériaux apparaissent distinctement :

- Une couverture d'environ 50 cm de matériaux sablo- limoneux plus ou moins végétalisés.
- Un matériau sablo limoneux ou limono sableux
- Un matériau sableux de limoneux à propre
- Un sable propre

Les coupes de sondages figurent en annexe 2

Le schéma ci après récapitule la qualité des matériaux selon les coupes de sondage relevées in situ.



Couverture	
Matériau A1	
Matériau A1 B5	
Matériau B5	

1. ANALYSE DES MATERIAUX

Le tableau ci-après récapitule les résultats d'analyse GTR réalisés sur mes familles de matériaux

Classification du Sol

famille	1 (3893)			2 (3894)			3 (3895)			4 (3896)		
	F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4
W%	14.9	16.1	5.2	25.6	24.8	13.4	11.8	17.8	5.6	10.4	-	6.8
G	57	30.8	15.8	72.6	38.8	16.7	67.5	56.5	22.6	55.1	-	20.4
VBS	0.94	0.69	0.31	1.93	1.2	0.39	0.99	0.95	0.41	1.32	-	0.41
Classement	A1	B5	B5	A1	A1	B5	A1	A1	B5	A1	-	B5

famille	i	5 (3897)			6 (3898)			7 (3899)			8 (3900)		
		F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4
W%		-	18.8	12.1	16.4	-	11	8.7	-	4.2	-	17.5	6.6
G		-	52.2	21.5	57.9	-	34	50.5	-	23.1	-	52.1	19.7
VBS		-	1.29	0.37	1.19	-	0.36	1.46	-	0.37	-	1.02	0.32
Classement		-	A1	B5	A1	-	B5	A1	-	B5	-	A1	B5

famille	i	9 (3901)			10 (3902)			11 (3903)			12 (3904)		
		F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	F4
W%		14	-	6.2	13.3	5.5	3.9	15.8	-	9.9	16.7	-	5.7
G		53	-	19	41.7	29.7	23.8	57.7	-	20.2	53	-	20.9
VBS		0.91	-	0.32	0.91	0.42	0.37	0.88	-	0.48	1.34	-	0.39
Classement		A1	-	B5	A1	B5	B5	A1	-	B5	A1	-	B5

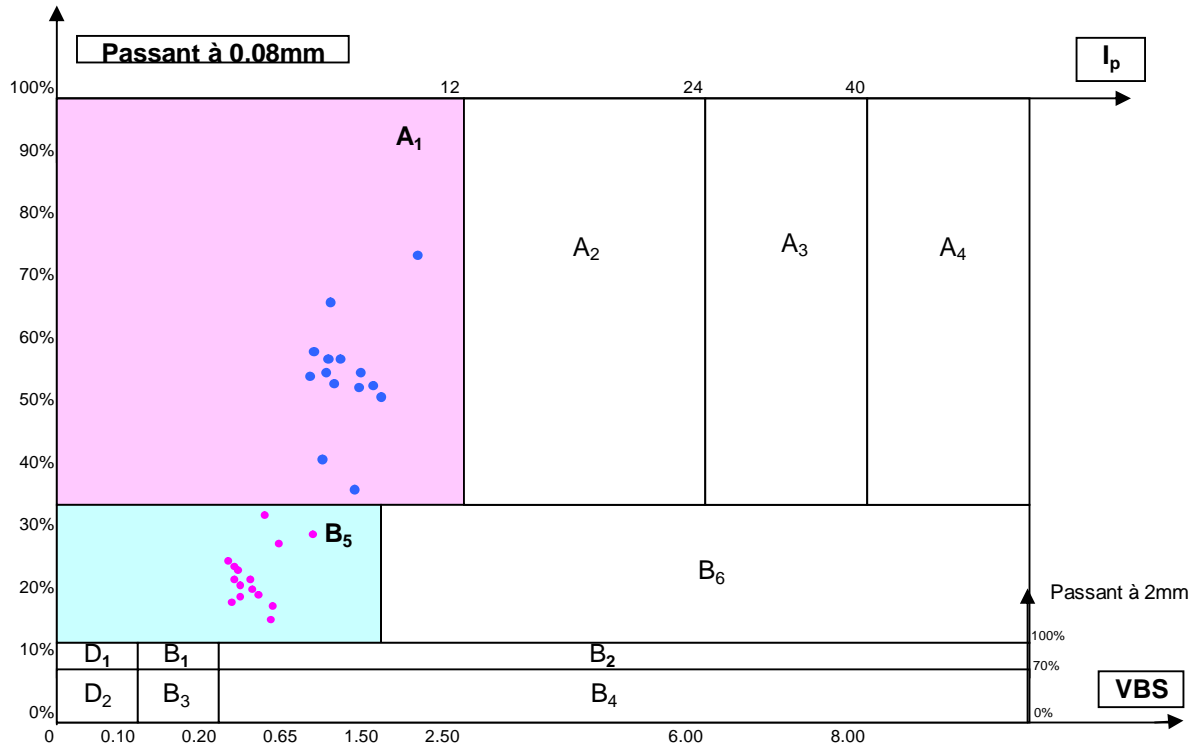
W% moyenne	
A1	16.2
B5	8.0

VBS moyenne	
A1	1.17
B5	0.40

G moyenne	
A1	54.7
B5	22.7

Le détail des analyses GTR figure en annexe 3

GRAPHIQUE DE CLASSIFICATION DES SOLS AVEC $D \leq 50$ MM



Le classement GTR s'effectue avec la granulométrie, et en particulier la teneur en fines, et avec l'argilosité mesurée par l'essai de valeur au bleu ou l'essai d'indice de plasticité.

Plus la valeur au bleu (ou la valeur IP) est élevée, et plus les fines sont nocives (forte argilosité générant des phénomènes physico chimiques de gonflement, de sensibilité à l'eau, de retardateur ou annihilateur de prise hydraulique ou pouzzolanique).

Les matériaux A1 sont des limons peu plastiques, qui changent brusquement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau.

Les matériaux B5 sont des sables silteux, dont la proportion de fines et la faible plasticité rapproche beaucoup le comportement de ces sols aux sols A1.

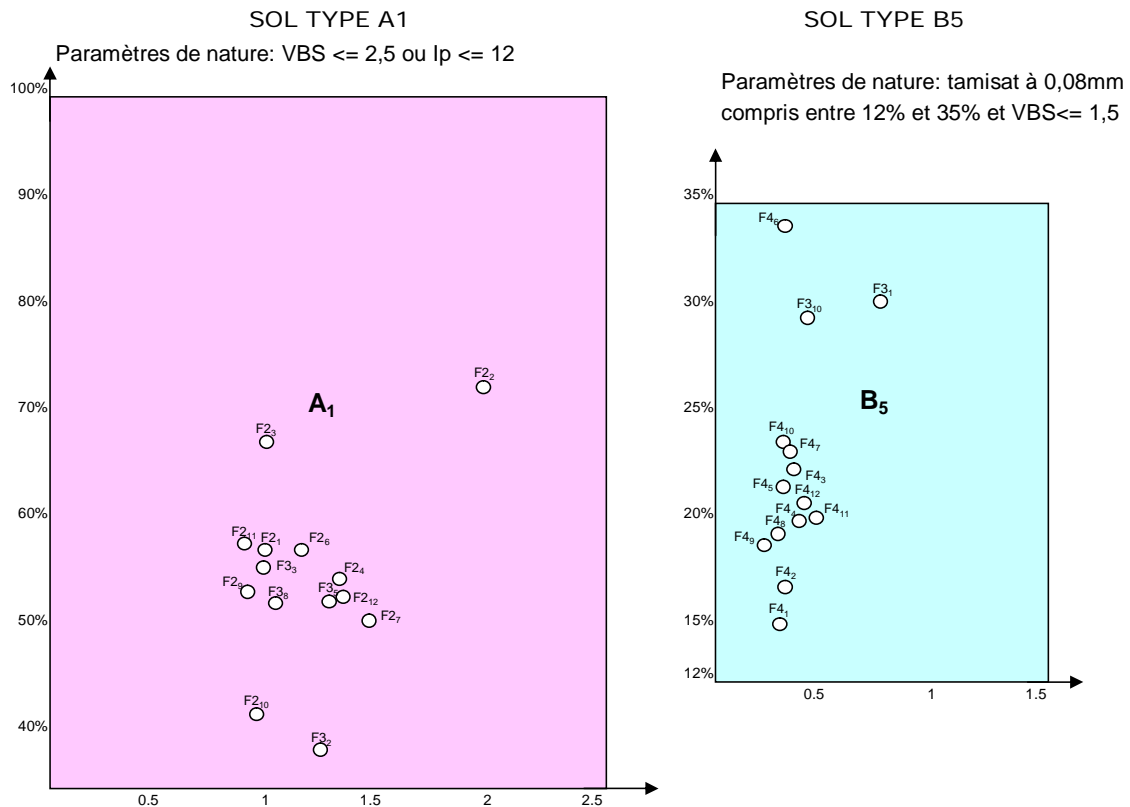
Selon l'état hydrique de ces matériaux, la PST (partie supérieure des terrassements) peut évoluer de la classe PST 0 (matériaux très humides, à PST 4 conférant à long terme une arase terrassement de type AR1 ou AR2).

On observe que la totalité de nos échantillons ont une valeur au bleu comprise entre 0.2 et 2. Globalement, on estime qu'à partir de 0.2 g de bleu, apparaît à coup sur une sensibilité à l'eau.

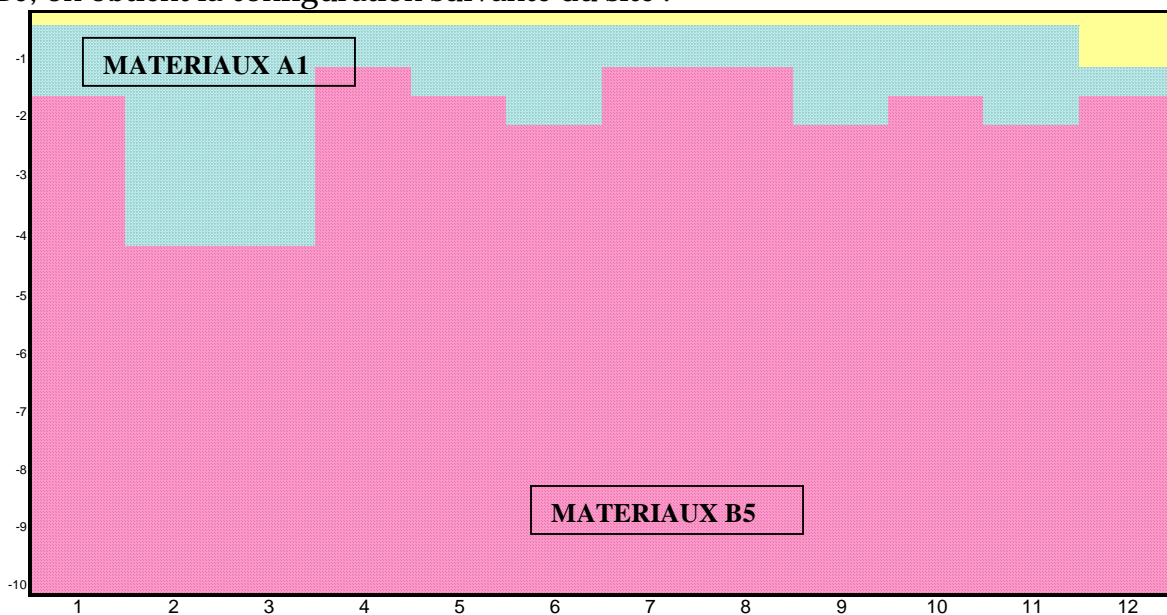
La valeur de 1.5 g est le seuil entre les matériaux sablo limoneux (< 1.5) et sablo argileux. La valeur de 2.5 g est le seuil entre les sols limoneux peu plastiques et les sols limoneux à plasticité moyenne.

Nos sols peuvent donc tous être considérés comme des sablo limons pour la majorité et de sablo argileux pour 2 échantillons.

Détail du positionnement des échantillons



Les matériaux de même classe ont été mélangés pour obtenir une quantité suffisante pour l'étude de vérification des performances mécaniques
Après analyse et regroupement des matériaux identiques (sol de couverture, sol A1, sablon B5), on obtient la configuration suivante du site :



L'analyse GTR sur le mélange des matériaux de chaque type est la suivante :

SOLS A1

$W_{moy} = 16.2\%$

Valeur au bleu moyenne = 1.17

SOLS B5

$W_{moy} = 8\%$

Valeur au bleu moyenne = 0.4

Des analyses proctor /IPI ont été réalisées sur les mélanges.

Le détail de ces essais figure ci après.

Le matériau reste portant même pour des valeurs supérieures à 3% à l'optimum proctor. Ce qui devrait faciliter la mise en œuvre.

Ces matériaux s'essorent rapidement, permettant de passer des états hydrique H ou TH à m, conférant des classe de PST appropriées au traitement et à l'obtention de plate formes de qualité

Un suivi des états hydriques sur chantier est important pour décider de la méthodologie (purges, scarification, aération, ...)

Nature du matériaux: **Grand Canal**

Demandeur: PAH
Date: 10/04/2008

Provenance: **Port du Havre**

Technicien : KREBS Renata

N° d'enregistrement :

Identification du matériaux brut

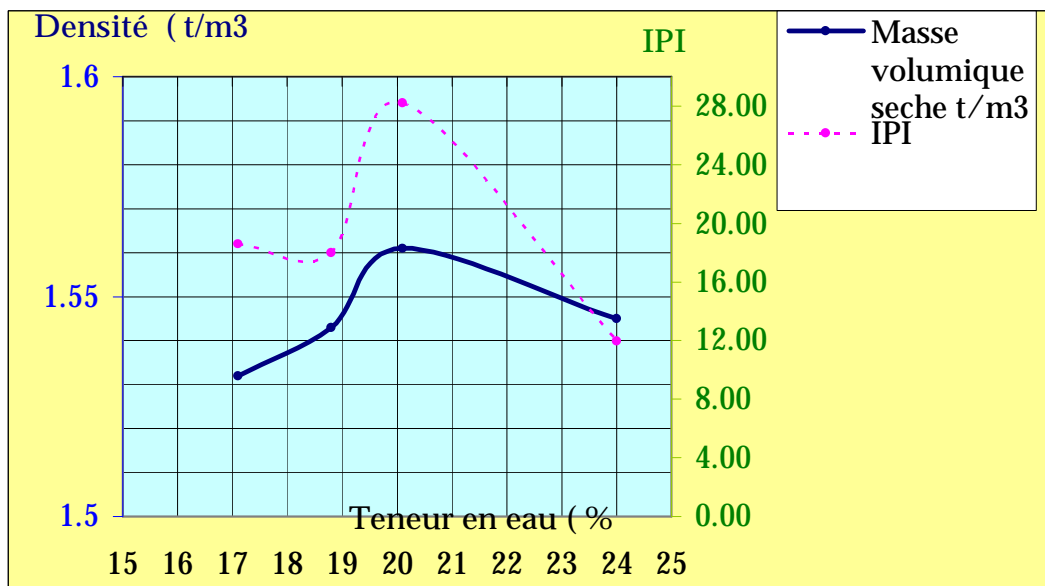
W nat %	IPI	% 80µm	% 2mm	VBS	Classification GTR
18.0%		54.7%	98.5%	1.17	A1

Essai sur matériau naturel

PROCTOR **NORMAL**
MOULE: **CBR**

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	17.1	18.8	20.1	24	
Masse volumique sèche	1.532	1.543	1.561	1.545	
IPI	18.60	17.99	28.20	11.99	

W% OPN :	1.6%
Masse volumique sèche t/m3 :	20%



Nature du matériaux: **Grand Canal**

Demandeur: PAH

Provenance: **Port du Havre**

Date: **08/04/2008**

Technicien : KREBS Renata

N° d'enregistrement :

Identification du matériaux brut

W nat %	IPI	% 80µm	% 2mm	VBS	Classification GTR
8.0%		22.7%	98.1%	0.4	B5

Essai sur matériau naturel

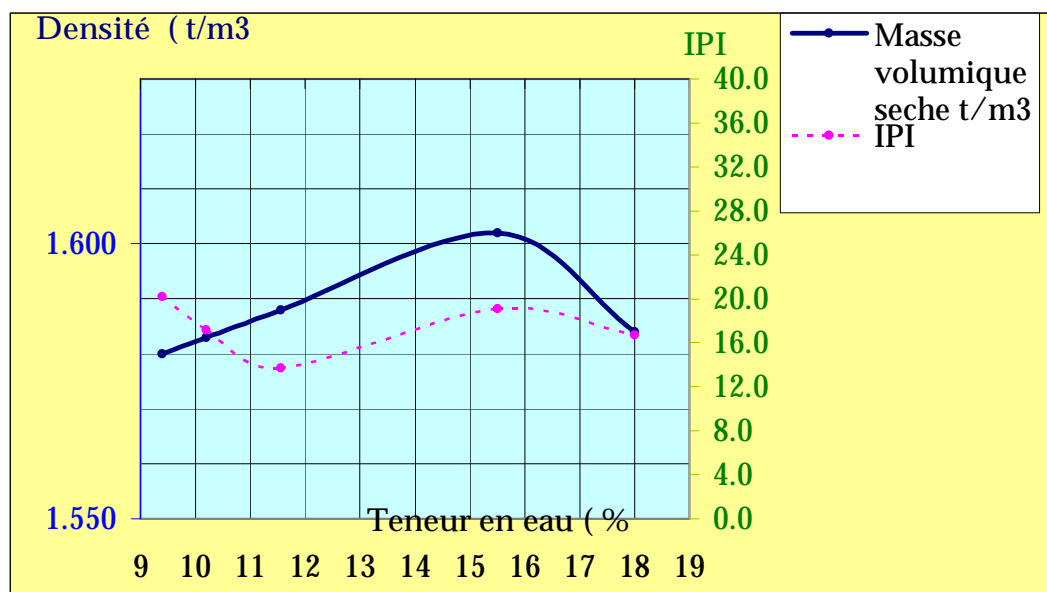
PROCTOR **NORMAL**

MOULE: **CBR**

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	9.4	10.2	11.55	15.5	18
Masse volumique sèche	1.580	1.583	1.588	1.602	1.584
IPI	20.2	17.2	13.69	19.1	16.7

W% OPN : **15.0%**

Masse volumique sèche t/m³ : **1.605**



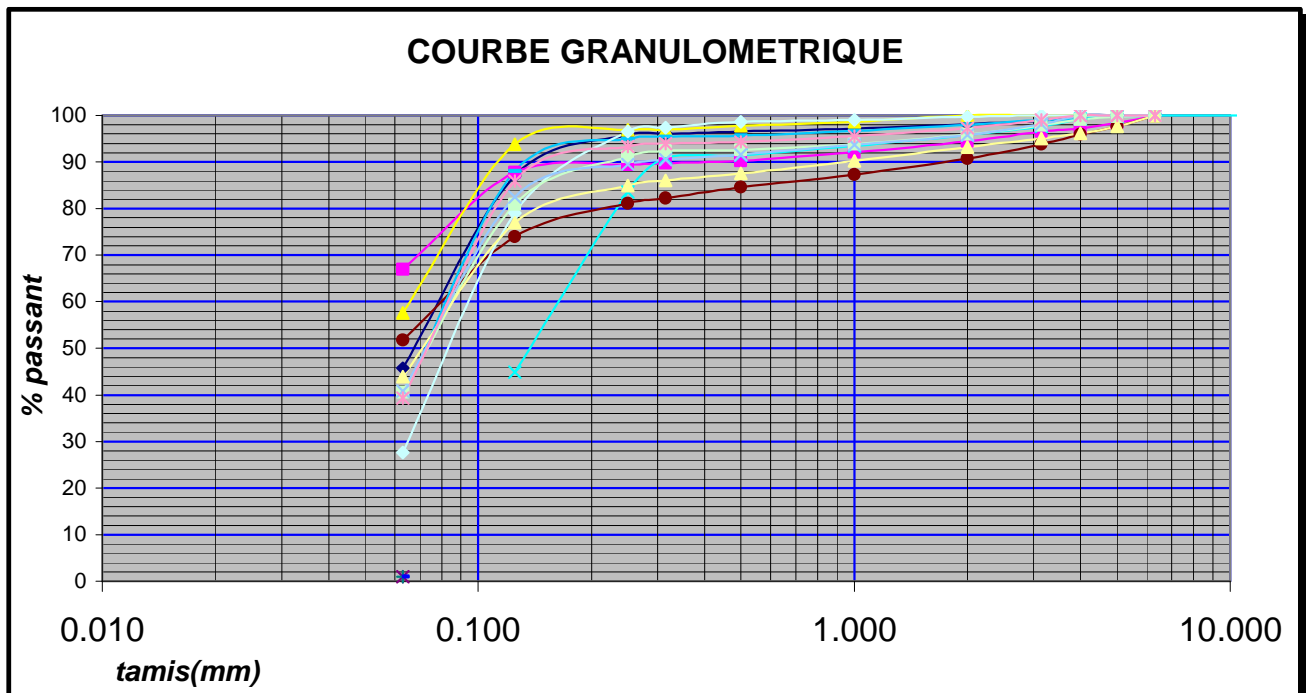
Récapitulatif des granulométries et granulométrie des mélanges

Matériaux limoneux A1

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	Sol A1	P 18-622-1

PRODUCTEUR : **Grand Canal - HAVRE**

MIS #	0.063	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5	6.3
1	45.7	87.0	95.8	96.1	96.5	97.2	98.2	98.9	100	100	100
2	66.9	87.8	89.4	89.8	90.2	92.1	94.5	96.5	97.2	98.4	100
3	57.6	93.8	96.9	96.9	97.8	98.7	100	100	100	100	100
4	44.9	83.6	90.9	91.5	93.5	95.8	97.7	99.2	99.7	100	100
5	51.8	74.0	81.1	82.3	84.6	87.3	90.8	93.8	95.9	97.6	100
6	39.9	78.6	87.4	87.9	89.3	91.6	94.1	96.1	98.0	98.9	100
7	39.7	88.1	95.0	95.4	95.7	96.7	98.0	99.0	99.3	100	100
8	27.6	79.0	96.6	97.4	98.7	99.0	99.7	100	100	100	100
9	40.6	80.9	91.2	92.4	92.7	93.8	95.9	97.9	99.1	99.7	100
10	43.9	77.0	84.9	86.1	87.6	90.2	93.2	95.1	96.2	97.7	100
11	24.1	77.7	92.4	93.5	94.1	94.6	95.8	97.1	97.8	100	100
12	43.5	90.8	94.5	94.8	94.8	95.9	97.4	99.3	99.6	100	100
13	40.8	82.5	89.5	90.5	91.6	93.7	95.8	98.2	100	100	100
14	39.3	85.9	93.3	94.0	94.3	95.6	97.3	99.0	100	100	100

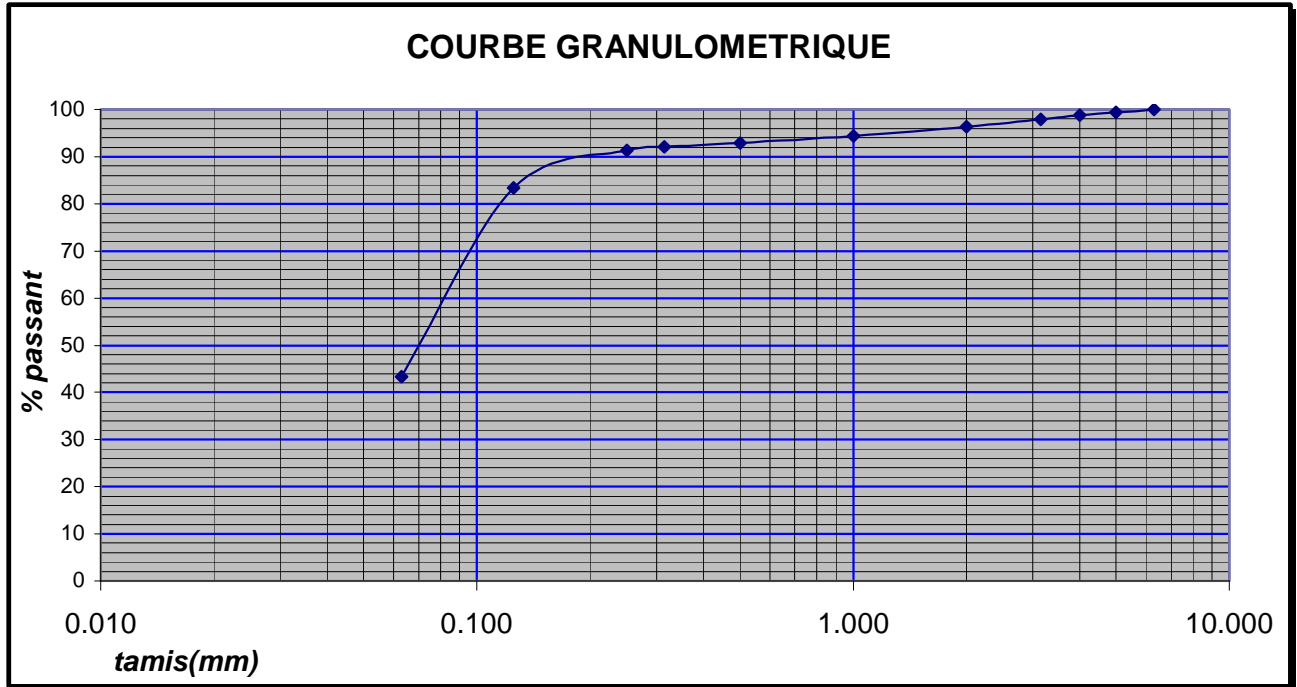


ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	MELANGE SOLS A1	P 18-622-1

PRODUCTEUR : Grand Canal - HAVRE

GISEMENT :

TAMIS #	0.063	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5	6.3
Moyenne	43.3	83.3	91.3	92.0	93.0	94.4	96.3	97.9	98.8	99.5	100



Ensemble des granulométries des échantillons prélevés

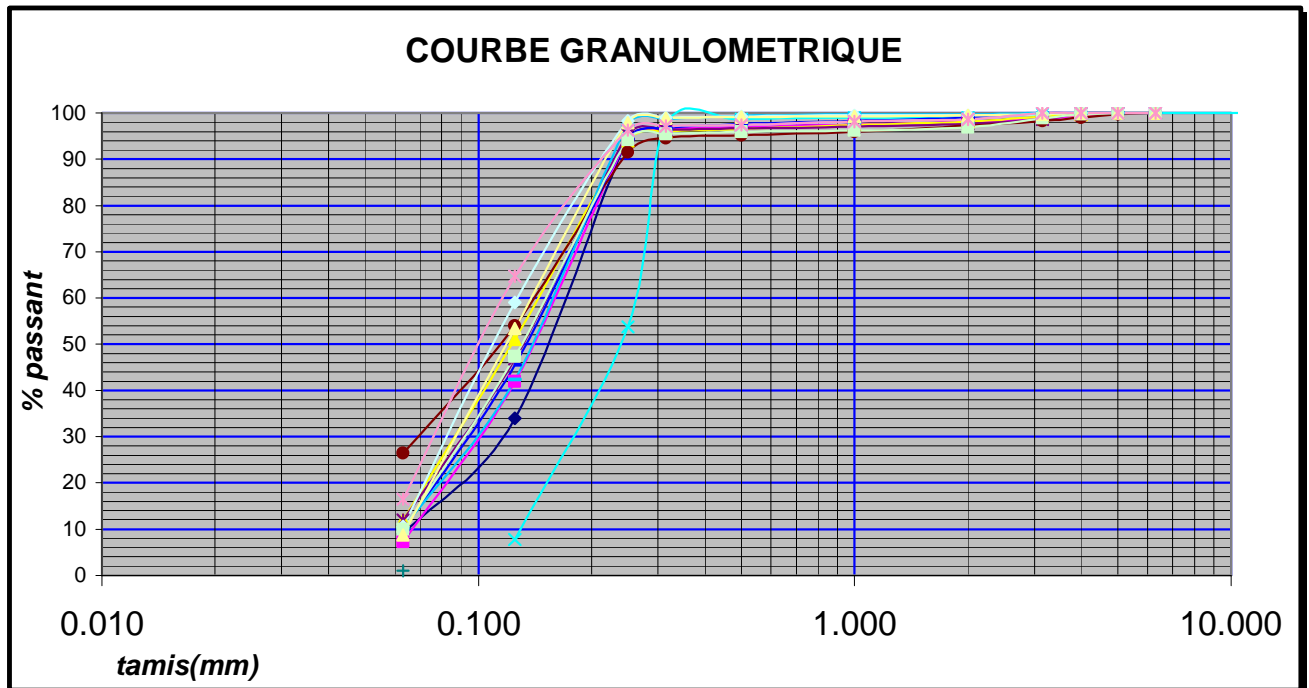
Matériaux sableux B5

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	SOLS B5	P 18-622-1

PRODUCTEUR : **Grand Canal - HAVRE**

AMIS #	0.063	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5	6.3
1	9.0	33.9	94.3	96.2	96.9	97.5	98.1	99.1	100	100	100
2	7.2	41.9	94.2	96.4	97.0	97.5	98.1	98.8	99.5	100	100
3	11.9	51.1	94.0	95.9	96.6	97.4	98.1	99.3	99.6	100	100
4	7.8	53.7	97.6	98.6	99.0	99.0	99.7	100	100	100	100
5	11.9	46.9	95.3	96.3	96.7	97.0	97.7	98.7	100	100	100
6	26.5	54.0	91.5	94.6	95.2	95.9	97.3	98.3	99.0	99.7	100
7	10.5	56.3	94.1	96.3	97.5	98.1	98.8	99.4	99.7	99.7	100
8	9.9	45.5	94.4	96.7	97.7	98.3	99.0	100	100	100	100
9	10.2	42.3	97.4	98.7	99.4	99.7	99.7	100	100	100	100
10	10.6	59.0	98.3	99.0	99.3	99.5	99.5	99.8	100	100	100
11	10.0	47.4	94.2	95.5	95.9	96.2	96.9	98.9	100	100	100
12	8.7	53.4	97.9	98.9	99.2	99.3	99.5	99.8	100	100	100
13	19.8	59.9	92.5	93.6	94.3	95.0	96.8	98.6	100	100	100
14	16.5	64.7	96.3	97.2	97.4	98.1	98.6	100	100	100	100

moyenne 12.18 50.71 95.1 96.71 97 98 98 99.3 99.8 99.96 100



Ensemble des échantillons prélevés

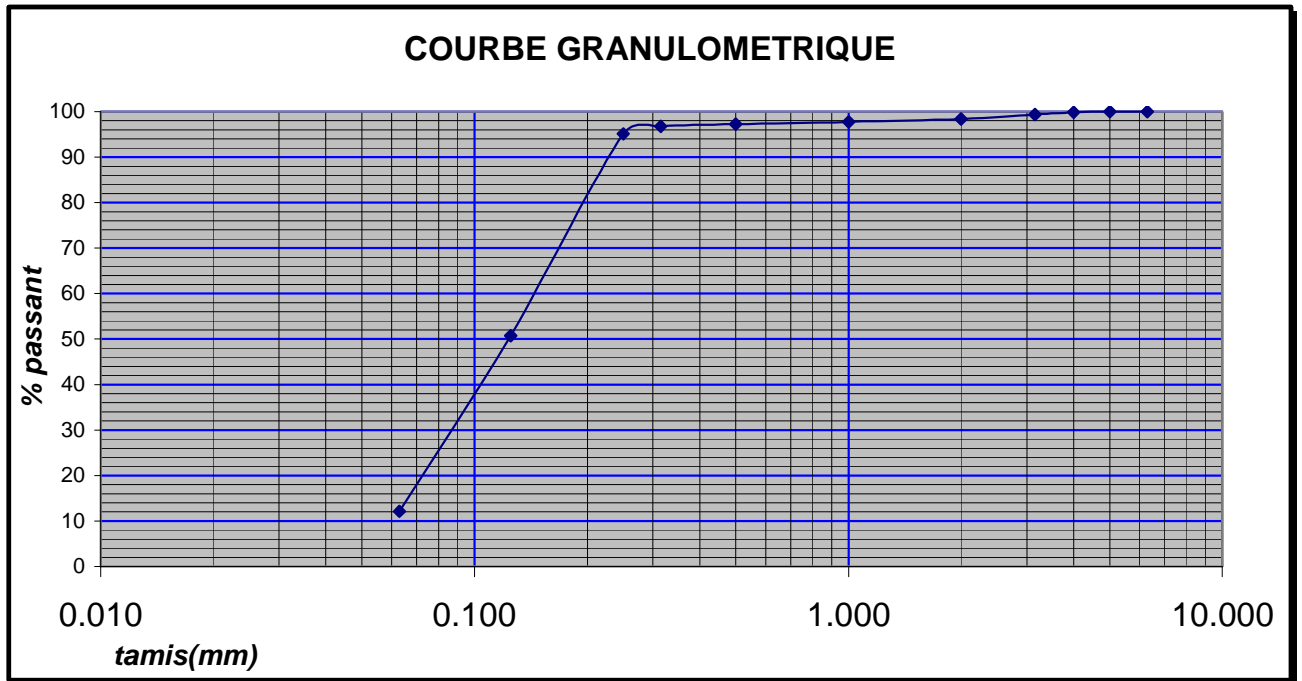
Mélange des échantillons

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	MELANGE SOLS B5	P 18-622-1

PRODUCTEUR : Grand Canal - HAVRE

GISEMENT :

TAMIS #	0.063	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5	6.3
Moyenne	12.2	50.7	95.1	96.7	97.3	97.8	98.4	99.3	99.8	99.96	100



Mélange des sols sableux

2. VERIFICATION DES PERFORMANCES MECANIQUES

Les performances mécaniques ont été mesurées séparément sur les deux types de sols en présence, à savoir A1 et B5.

Une étude complémentaire sera proposée pour vérifier, dans les proportions des épaisseurs in situ par rapport au terrassement, le comportement mécanique du matériau non trié, en incluant le sable de couverture.

4.1.1 Plan d'étude

La vérification des performances mécaniques consiste en l'élaboration d'éprouvettes $\phi 5$ H10, Traités chaux/Rolac 645 pour les sols A1 et Rolac 645 seul pour les sols B5 .

Le ROLAC 645 est un liant hydraulique routier au sens de la norme NF P 98-115 "Exécution des corps de chaussées" et de la norme NF P 98-122 Grave liant spécial routier".

Les principales caractéristiques physico-chimiques sont les suivantes :

RC sur mortier > 30 Mpa à 56 jours

Surface Blaine : 3000 cm²/g

Refus à 90 μ < 15%

Les performances mécaniques ont été mesurées à travers les essais de compression simple et de traction brésilien.

Les éprouvettes en compression sont réalisées par l'essai statique sur éprouvette $\Phi 5$ cm H10 cm (NFP 98 230-2)

Ces éprouvettes sont conservées à 20°C \pm 1°C avant d'être soumises à l'essai de traction ou de compression

L'essai de traction permet d'enregistrer la courbe effort déformation en continu jusqu'à la rupture, et de calculer :

La résistance à la rupture en compression

La résistance à la rupture à la traction directe,

Le module d'élasticité E₃₀, module sécant à 30% de la rupture

Ces résultats sont la moyenne de 3 éprouvettes, aux différents âges de l'étude.

On a retenu des résistances en compression à 7 et 28 jours pour vérifier l'évolution de prise, et des résistances en traction à 28 , 60, 90 jours avec détermination du module pour classer le matériau selon ses performances.

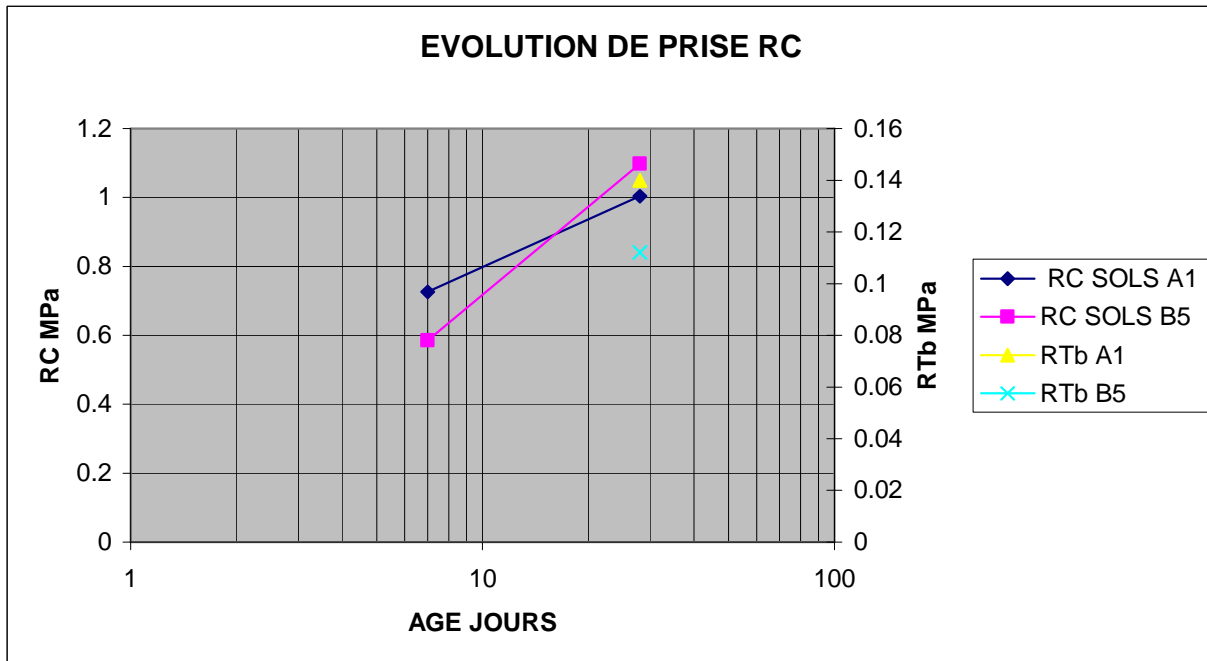
Caractéristiques des mélanges par type de matériaux :

	OPN		IPI
	Densité sèche t/m ³	Teneur en eau W%	
sol B5	1.605	15%	19
sol A1	1.560	20%	28

4.1.2 FORMULES VERIFIEES ET RESULTATS PARTIELS

Type de sol	A1			B5		
w%	16.2			8		
G 0,08mm	54.7			22.7		
VBS [g/100g]	1.17			0.4		
wOPN	20			15.5		
Mvol.séche [t/m3]	1.56			1.602		
% Sol	92 %			94 %		
% Rolac 645	6 %			6 %		
% CaO	2 %			/		
RC 7 jours	0.167 *	0.708	0.743	0.659	0.546	0.551
RC 28 jours	0.998	0.986	1.026	0.588 *	1.014	1.183
RTb 28 jours	0.12	0.1	0.05*	0.122	0.106	0.109
RTb 60 jours	0.18			0.16	0.17	0.18
RTb 60 jours	4700 MPa			4100 MPa	4700 MPa	4600 MPa

* Valeurs aberrante



La mise hors gel du matériau ($RC \geq 2.5$ MPa) n'est pas atteinte après 28 jours de traitement. Par contre, la remise en circulation ($RC \geq 1$ MPa) peut intervenir après 1 mois de cure.

Les éprouvettes en sol A1 montrent quelques gonflements locaux des nodules de chaux.

Le classement à 90 jours est donné par l'abaque ci-dessous :

On est à 60 jours limite S5 que l'on devrait atteindre à 90 jours

Tableau XVI - Tableau des conditions de surclassement de portance des plates-formes avec couche de forme en matériaux grenus traités aux liants hydrauliques

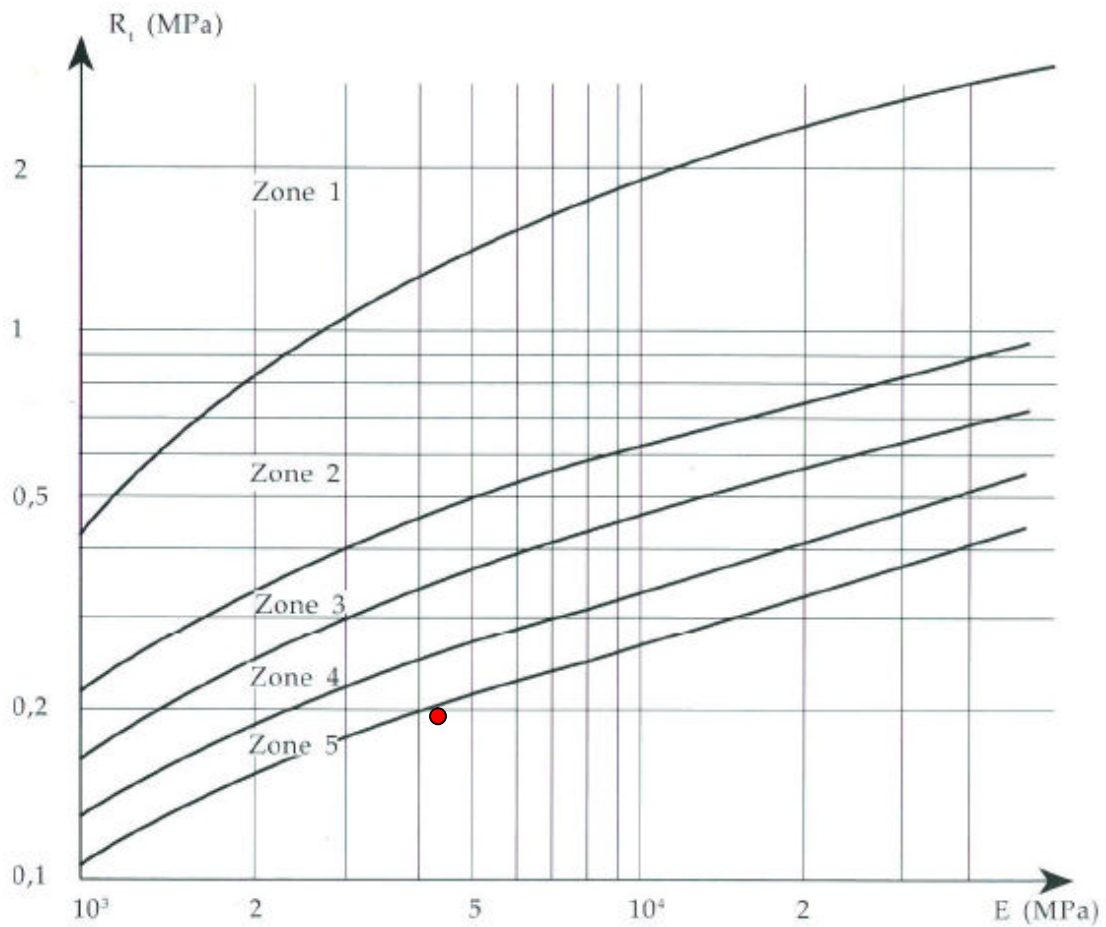


Figure 6 - Classement des matériaux traités selon leurs caractéristiques mécaniques déterminées sur éprouvette à 90 jours.

5 CONCLUSIONS

Les matériaux recueillis lors des sondages sont essentiellement de deux types géotechniques, l'un plutôt sablo limoneux, l'autre sableux

Les deux types sont traitables pour obtenir une plate forme PF3 ou PF4

La classe mécanique 5 est envisageable, surtout en incorporant un correcteur granulaire et en optimisant la teneur en liant.

Selon la GTR, on peut obtenir une PF4 en traitant 45 cm de sols (arase vérifiée AR2)

Classe de l'arase		AR1			AR2	
		Epaisseur de matériau de couche de forme				
Classe mécanique du matériau de couche de forme	3	*	30cm	40cm	25cm	30cm
	4	30cm	35cm	45cm**	30cm	35cm
	5	35cm	50cm **	55cm**	35cm	45cm**
Classe de plate-forme obtenue		PF2	PF3	PF4	PF3	PF4

* l'épaisseur minimale de 30 cm permet un reclassement en PF3.

** l'obtention de la compacité recherchée en fond de couche conduira généralement à une mise en oeuvre en 2 couches.

Une étude complémentaire incorporant dans les proportions in situ des horizons constatés les limons de surfaces, le sol A1 et le sol B5, et en incorporant un correcteur granulaire permettrait d'affiner cette étude préalable.

(Confère note de synthèse)

Jean Louis DUCHEZ

8- ETUDE COMPLEMENTAIRE

L'étude complémentaire a été réalisée de la manière suivante :

Les sols naturels de classe A1 et B5 ont été mélangés dans les proportions de 50%.

Quatre mélanges ont été ensuite confectionnés à différentes teneurs en matériaux de couverture dits « pollués »

Ces mélanges sont désignés par :

- M0 (mélange constitué de 50% de limons A1 et de sablons B5) + 0% couverture
- M1 (mélange constitué de 50% de limons A1 et de sablons B5) + 5% couverture
- M2 (mélange constitué de 50% de limons A1 et de sablons B5) + 15% couverture
- M3 (mélange constitué de 50% de limons A1 et de sablons B5) + 30% couverture

L'étude paramétrique a été réalisée en mesurant pour chacun de ces mélanges et pour deux teneurs en Rolac 645 (5% et 9%) des essais de compression simples à 7, 14, 28 et 90 jours, ainsi que la mesure des résistances en traction indirecte (compression diamétrale dit « brésilien » et du module d'élasticité d'young.

IDENTIFICATION DES MELANGES

	M0	M1	M2	M3
W%	9.3	12.5	12	11.8
VBS	0.72	0.76	0.77	0.79
%FINES	21.6	26.6	23.2	25.1
GTR	B5	B5	B5	B5
Gd OPN 5 / 9% rolac	1.69 / 1.72	1.74 / 1.72	1.68 / 1.68	1.66 / 1.70
W% OPN 5 / 9% rolac	16.5 / 14.5	16.0 / 15.5	17.0 / 16.5	17.5 / 17

Le détail des analyses GTR figure ci-après.

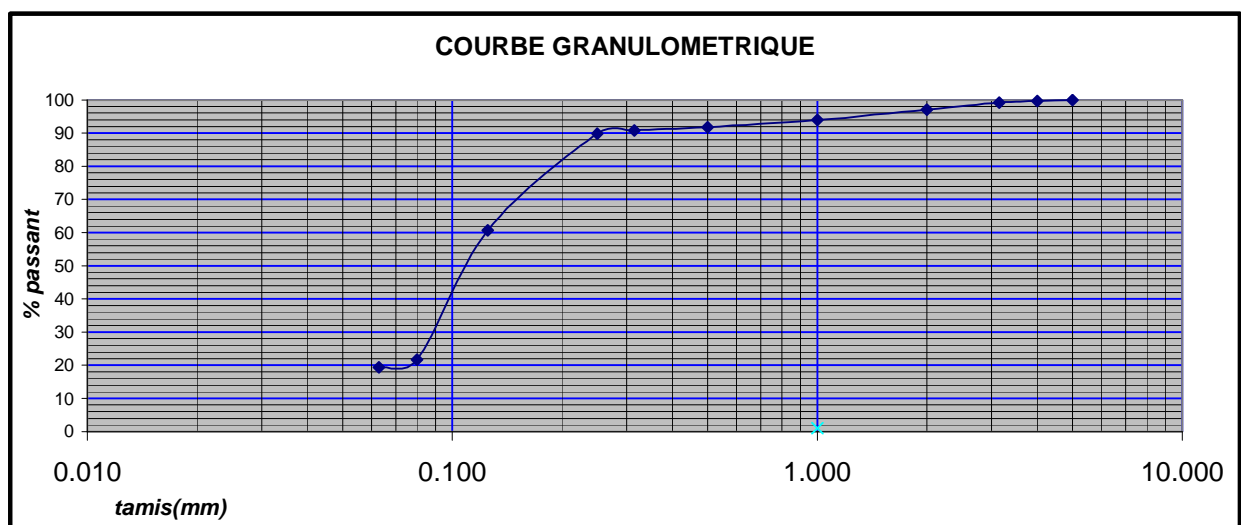
Pour chaque mélange, nous avons également réalisé un essai proctor

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	MO	P 18-622-1

PRODUCTEUR : **Grand Canal - HAVRE**

FORMULE: **50% SOL TYPE B5 + 50% SOL TYPE A1**

TAMIS #	0.063	0.080	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5
	19.3	21.6	60.6	89.9	90.9	91.8	93.9	97.0	99.1	99.7	100



OBSERVATIONS:

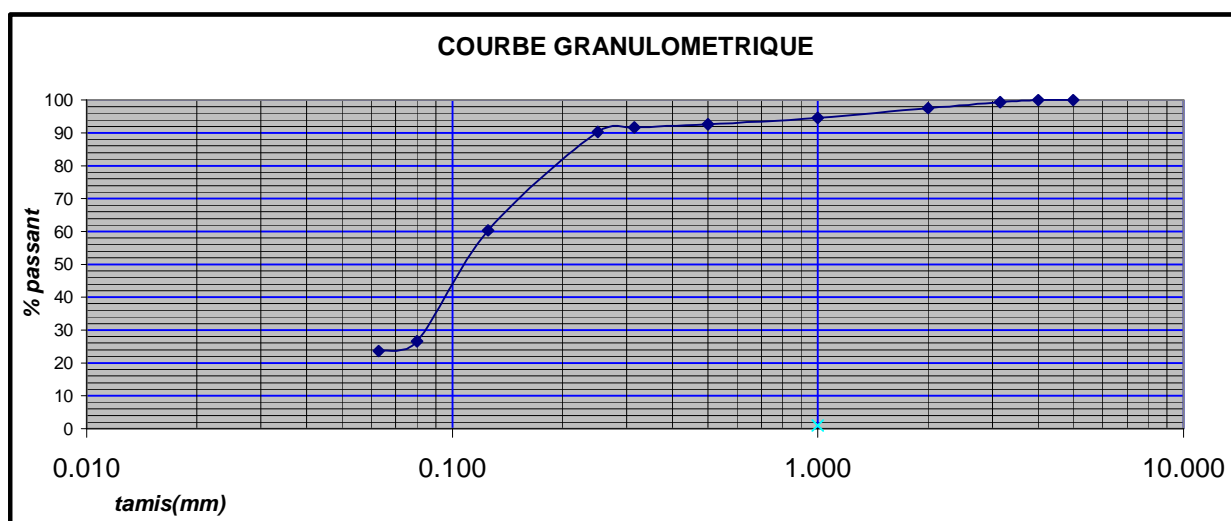
W= 9,3%
VBS:0,723 g/100g
Type de sol: B5

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	M1	P 18-622-1

PRODUCTEUR : Grand Canal - HAVRE

FORMULE: 5% TV + 47,5% SOL TYPE B5 + 47,5% SOL TYPE A1

TAMIS #	0.063	0.080	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5
	23.6	26.6	60.4	90.3	91.7	92.6	94.6	97.6	99.4	100	100



OBSERVATIONS:

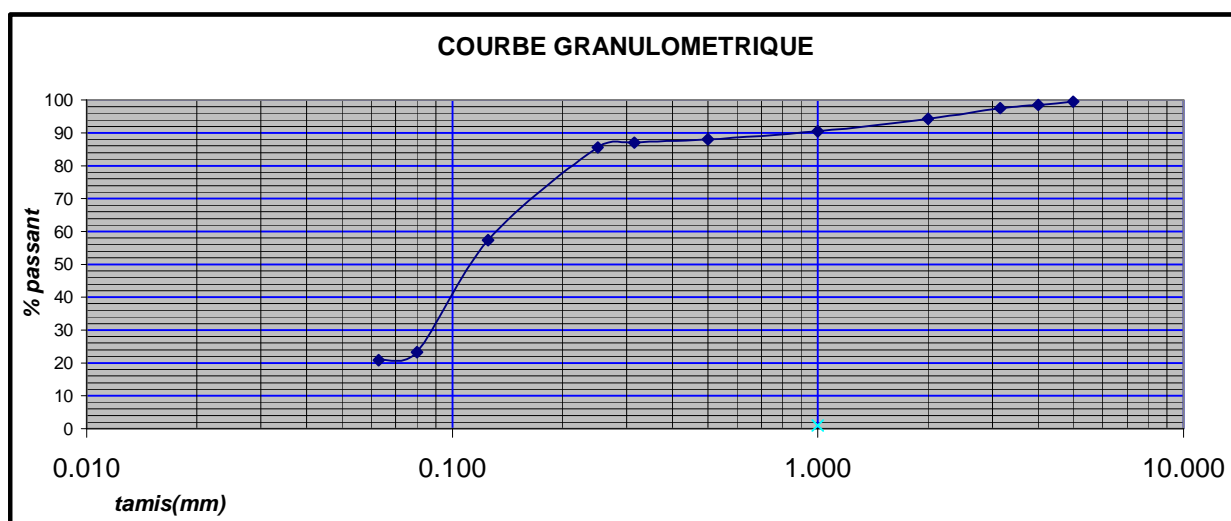
W= 12,5%
VBS:0,755 g/100g
Type de sol: B5

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	M2	P 18-622-1

PRODUCTEUR : Grand Canal - HAVRE

FORMULE: 15% T.V + 42.5% SOL TYPE B5 + 42.5% SOL TYPE A1

TAMIS #	0.063	0.080	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5
	20.8	23.2	57.3	85.6	87.1	88.1	90.5	94.3	97.5	98.6	100



OBSERVATIONS:

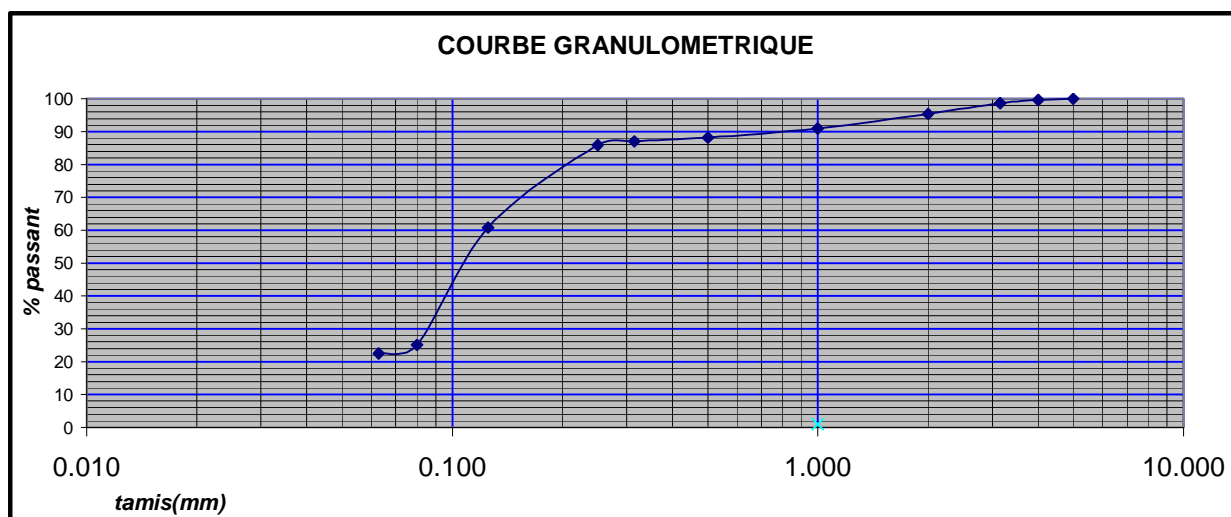
W= 12%
VBS:0,768 g/100g
Type de sol: B5

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE		
NF EN 933-1	M3	P 18-622-1

PRODUCTEUR : **Grand Canal - HAVRE**

FORMULE: **30% T.V + 35% SOL TYPE B5 + 35% SOL TYPE A1**

TAMIS #	0.063	0.080	0.125	0.25	0.315	0.5	1	2	3.15	4	5
	22.4	25.1	60.9	85.9	87.0	88.2	91.0	95.4	98.7	99.6	100



OBSERVATIONS:

W= 11,8%
VBS:0,787 g/100g
Type de sol: B5

Essai M0 + 0%TV + 5% ROLAC

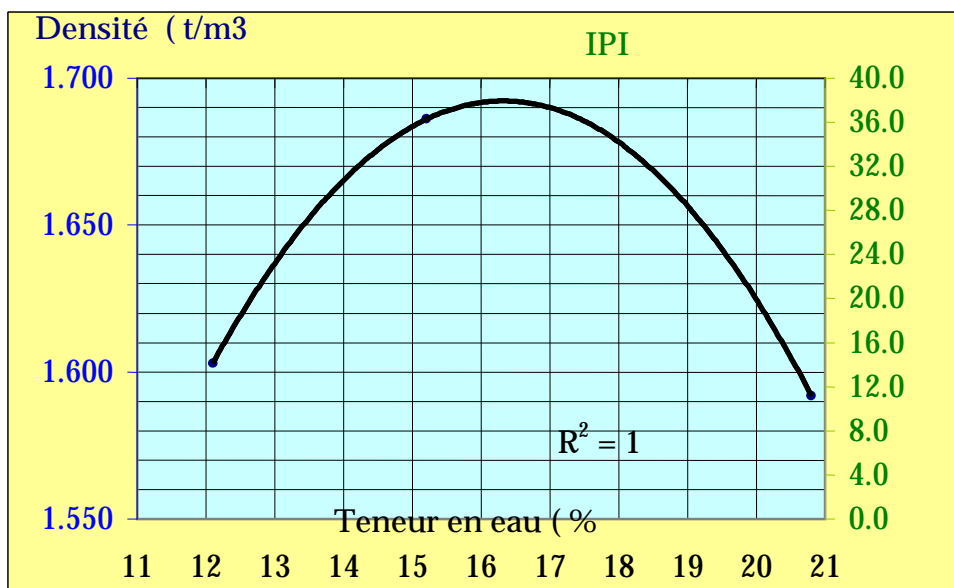
PROCTOR: *NORMAL*

MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	12.1	15.2	20.8		
Masse volumique seche t/m ³	1.603	1.686	1.592		
IPI					

W% OPN : 16.5%

Masse volumique seche t/m³ : 1.69

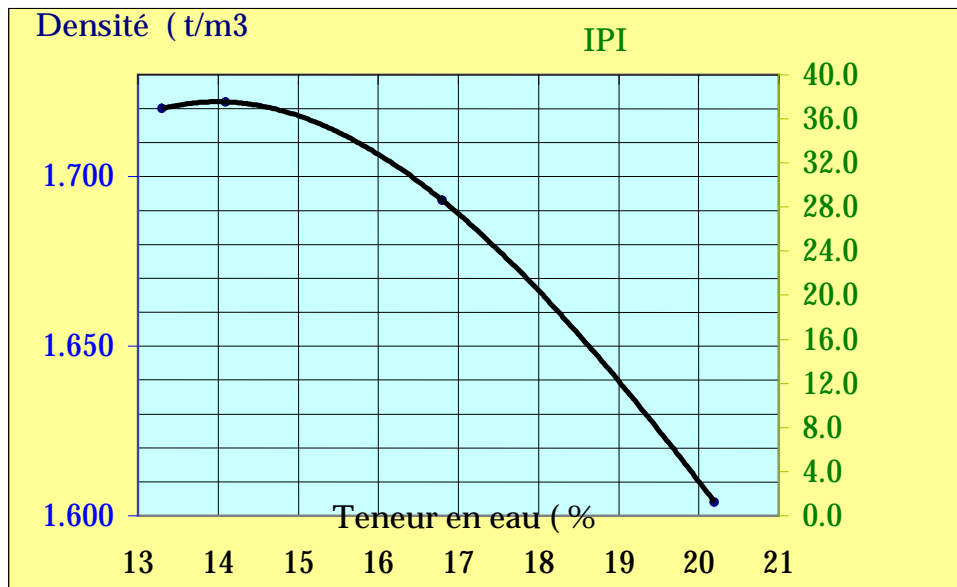


Essai M0 + 0%TV + 9% ROLAC

PROCTOR: *NORMAL*
 MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	13.3	14.1	16.8	20.2	
Masse volumique seche t/m ³	1.720	1.722	1.693	1.604	
IPI					

W% OPN : 14.5%
 Masse volumique seche t/m³ : 1.72

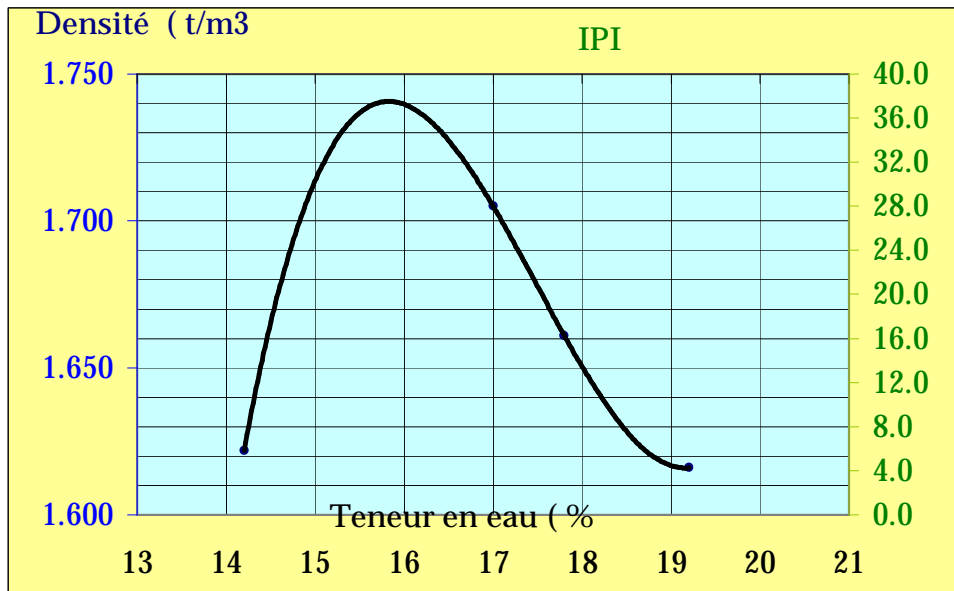


Essai M1 + 5%TV + 5% ROLAC

PROCTOR *NORMAL*
 MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	14.2	17	17.8	19.2	
Masse volumique seche	1.622	1.705	1.661	1.616	
IPI					

W% OPN : 16.0%
 Masse volumique seche t/m3 : 1.74

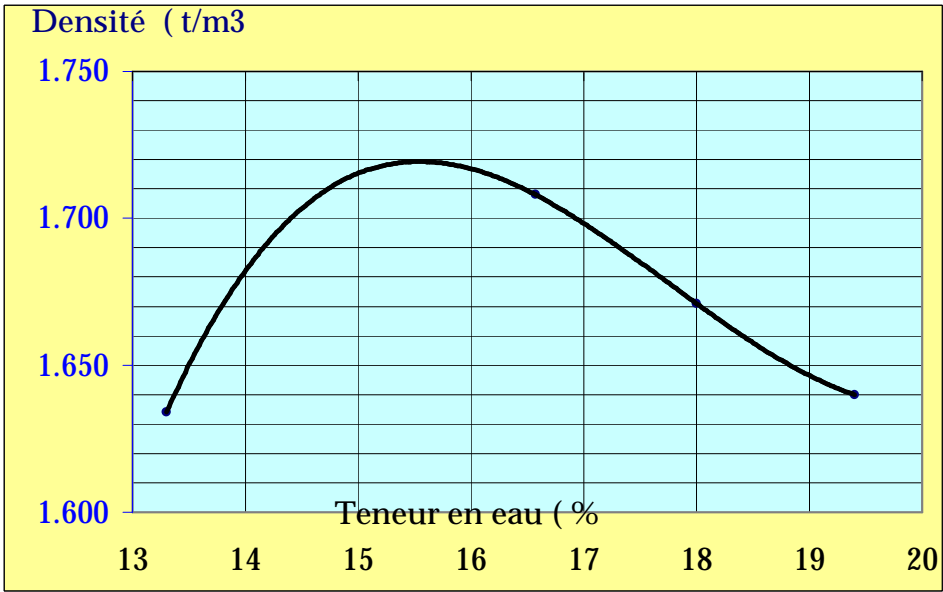


Essai M1 + 5%TV + 9% ROLAC

PROCTOR *NORMAL*
 MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	13.3	16.57	18	19.4	
Masse volumique seche	1.634	1.708	1.671	1.640	
IPI					

W% OPN : 15.5%
 Masse volumique seche t/m3 : 1.72

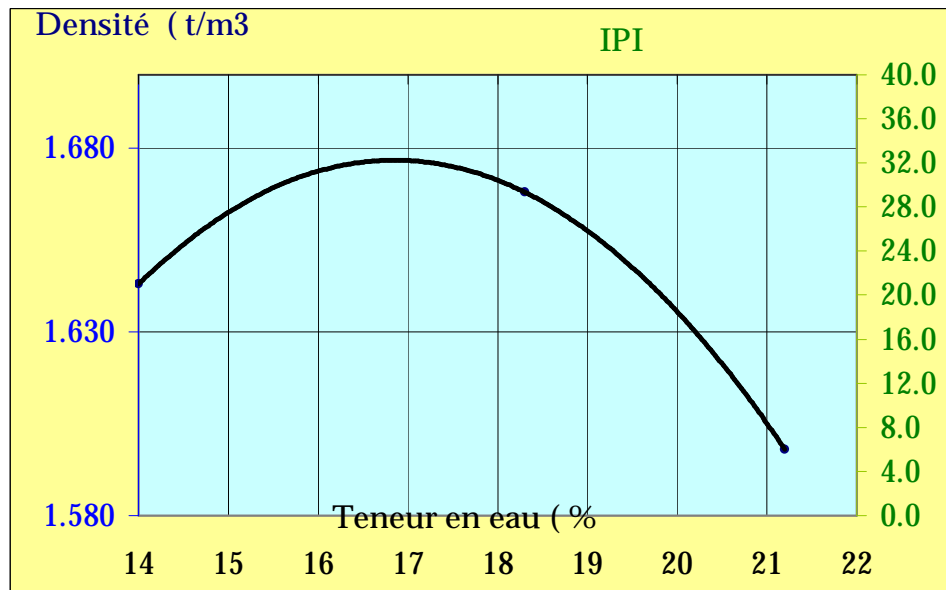


Essai M2+ 15%TV + 5% ROLAC

PROCTOR *NORMAL*
MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	14	18.3	21.2		
Masse volumique seche	1.643	1.668	1.598		
IPI					

W% OPN : 17.0%
Masse volumique seche t/m3 : 1.68

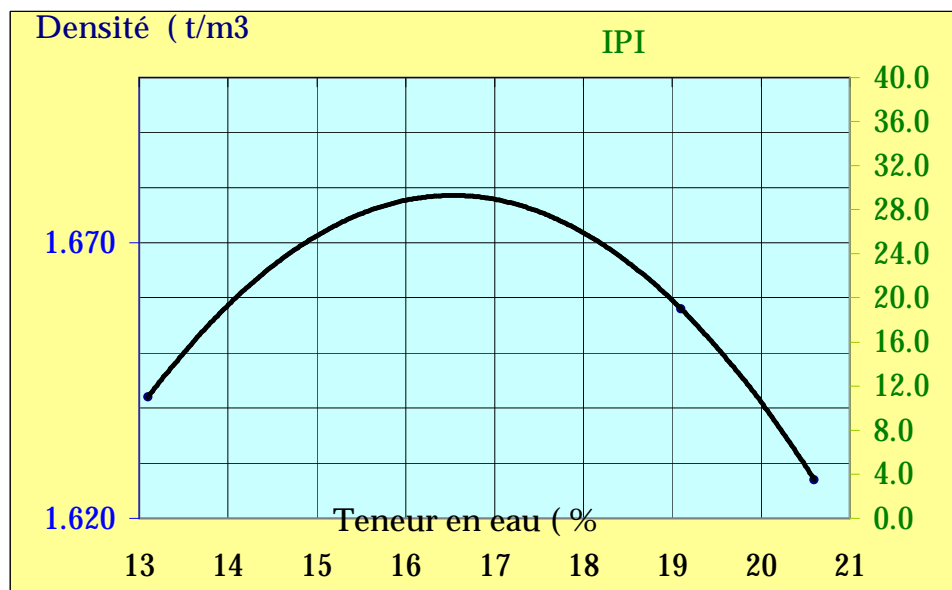


Essai M2 + 15%TV + 9% ROLAC

PROCTOR *NORMAL*
MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	13.1	19.1	20.6		
Masse volumique seche	1.642	1.658	1.627		
IPI					

W% OPN : 16.5%
Masse volumique seche t/m3 : 1.68

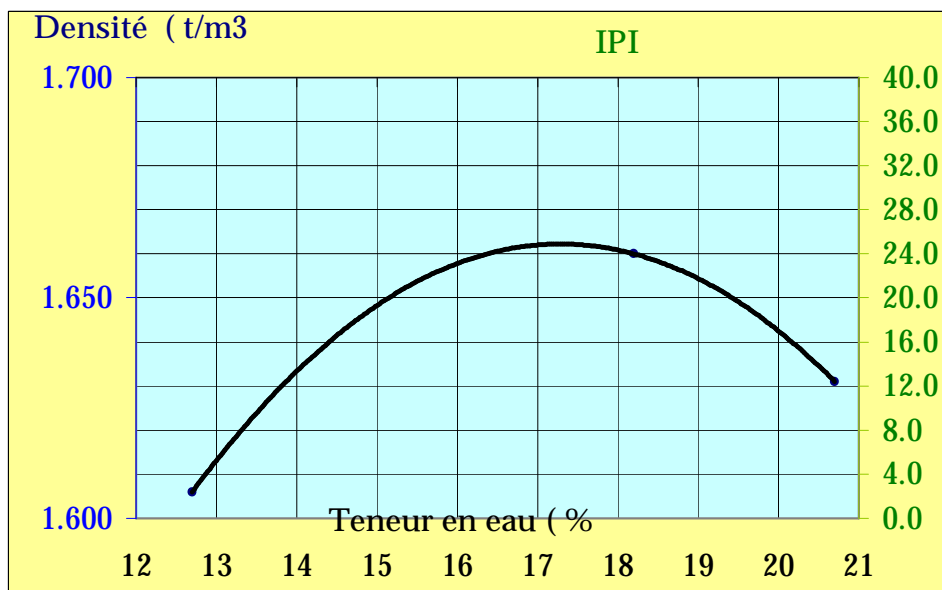


Essai M3 + 30%TV + 5% ROLAC

PROCTOR *NORMAL*
MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	12.7	18.2	20.7		
Masse volumique seche	1.606	1.660	1.631		
IPI					

W% OPN : 17.5%
Masse volumique seche t/m3 : 1.66

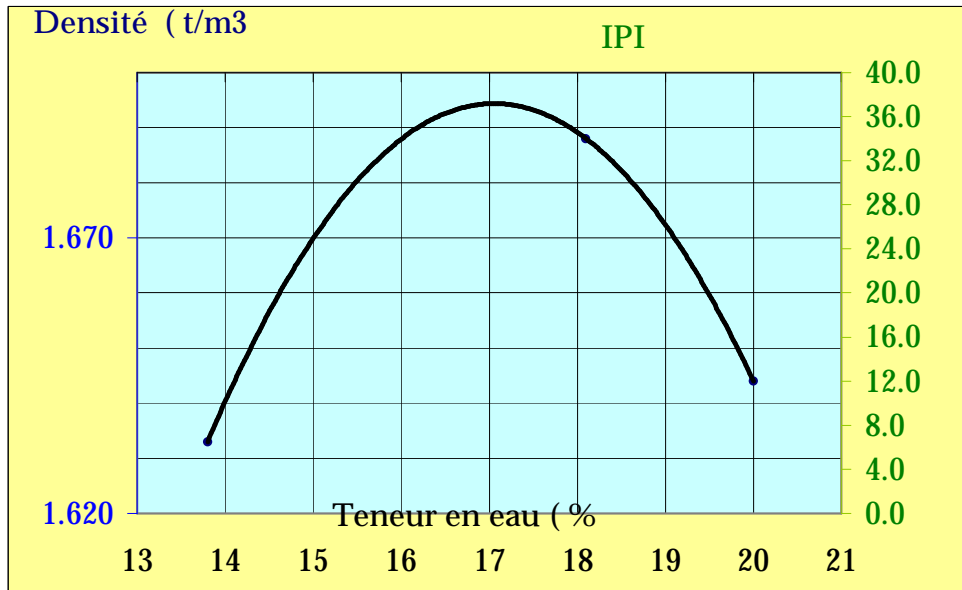


Essai M3 + 30%TV + 9% ROLAC

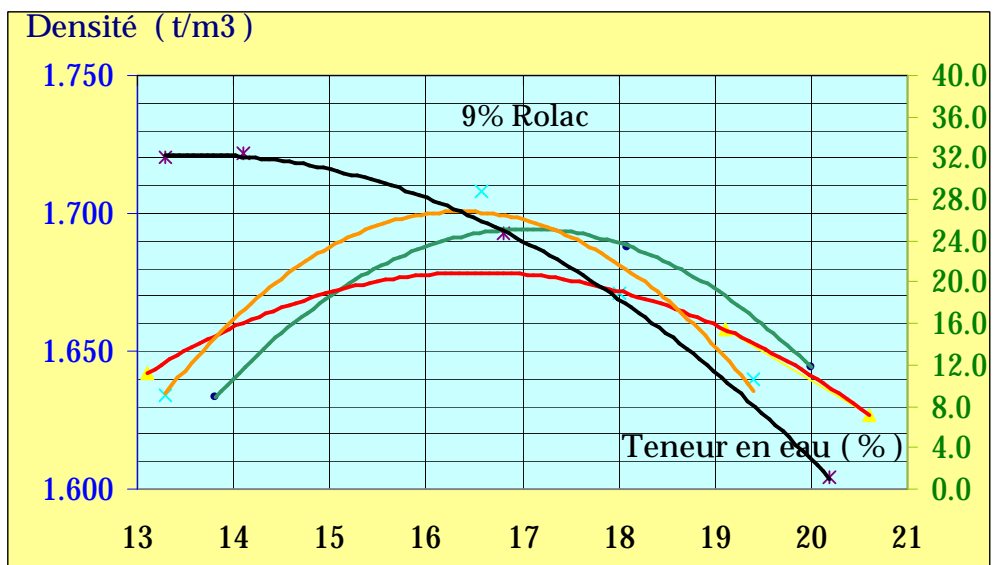
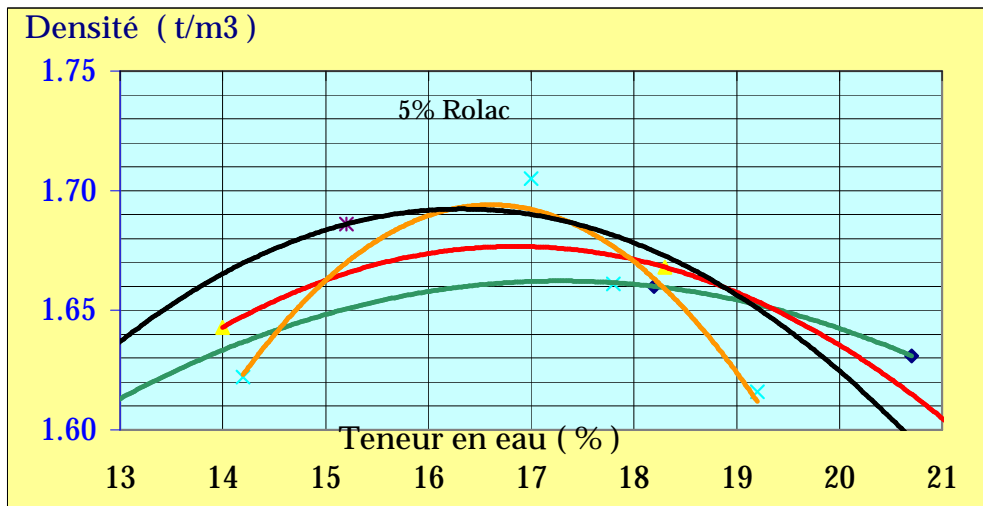
PROCTOR *NORMAL*
 MOULE: *CBR*

N° d'essai	1	2	3	4	5
Teneur en eau W%	13.8	18.1	20		
Masse volumique seche	1.633	1.688	1.644		
IPI					

W% OPN : 17.0%
 Masse volumique seche t/m3 : 1.695



RECAPITULATIF DES PROCTORS



RESISTANCES MECANIQUES

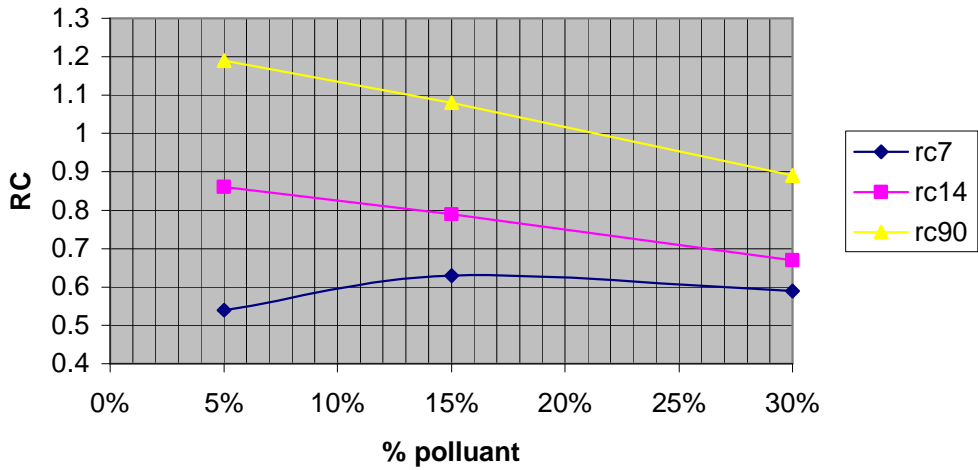
POUR 5% DE ROLAC

MELANGE	M0	M1			M2			M3		
w%	9.3	12.5			12			18		
G 0,08mm	21.6	26.6			23.2			25.1		
VBS [g/100g]	0.72	0.76			0.77			0.79		
opn 5% rolac	1.69	1.74			1.68			1.66		
% polluant	0%	5%			15%			30%		
% Rolac 645	5%	5%			5%			5%		
RC 7 jours		0.543	0.538	0.53	0.665	0.642	0.568	0.484	0.682	0.612
<i>moyenne</i>		0.54			0.63			0.59		
RC14jours		0.826	0.826	0.93	0.793	0.778	0.627*	0.745	0.595	0.551
<i>moyenne</i>		0.86			0.79			0.67		
RC 90 jours		1.06	1.378	1.146	1.172	1.071	0.994	0.883	0.892	0.89
<i>moyenne</i>		1.19			1.08			0.89		
RTb 28 jours		0.15	0.11	0.15	0.08	0.07	0.07	0.106	0.111	0.101
<i>moyenne</i>										
Eb 28 jours										
<i>moyenne</i>										
RTb 90 jours		0.2	0.19	0.22	0.185	0.181	0.213	0.139	0.14	0.141
<i>moyenne</i>										
Eb 90 jours		3550	3675	3650						
<i>moyenne</i>										

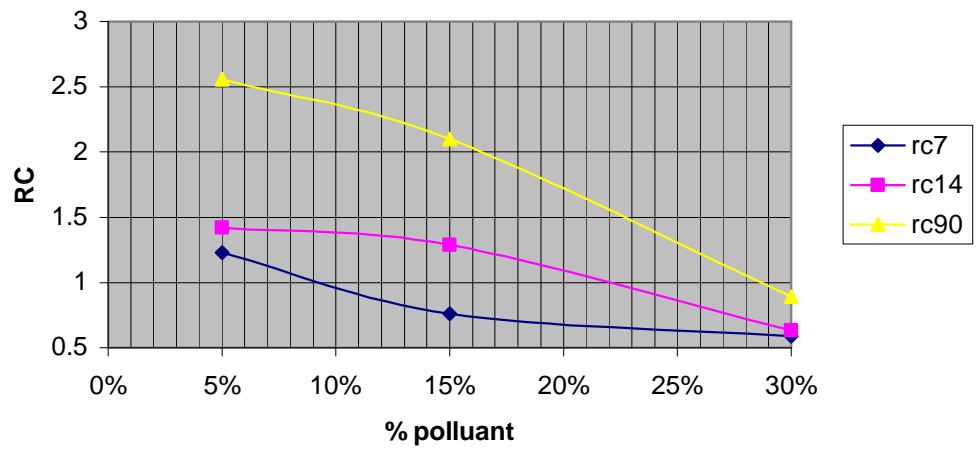
POUR 9% DE ROLAC

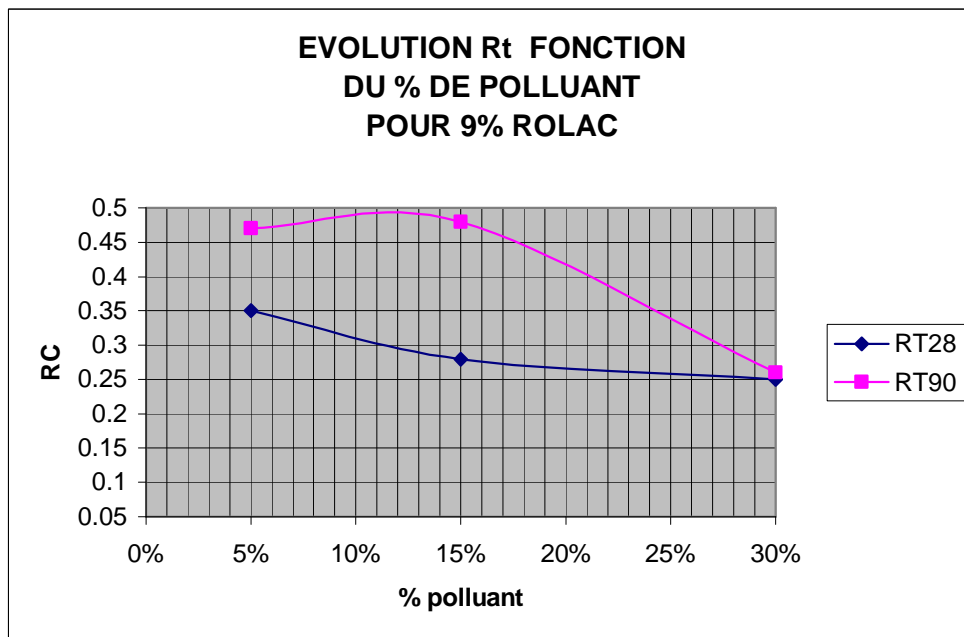
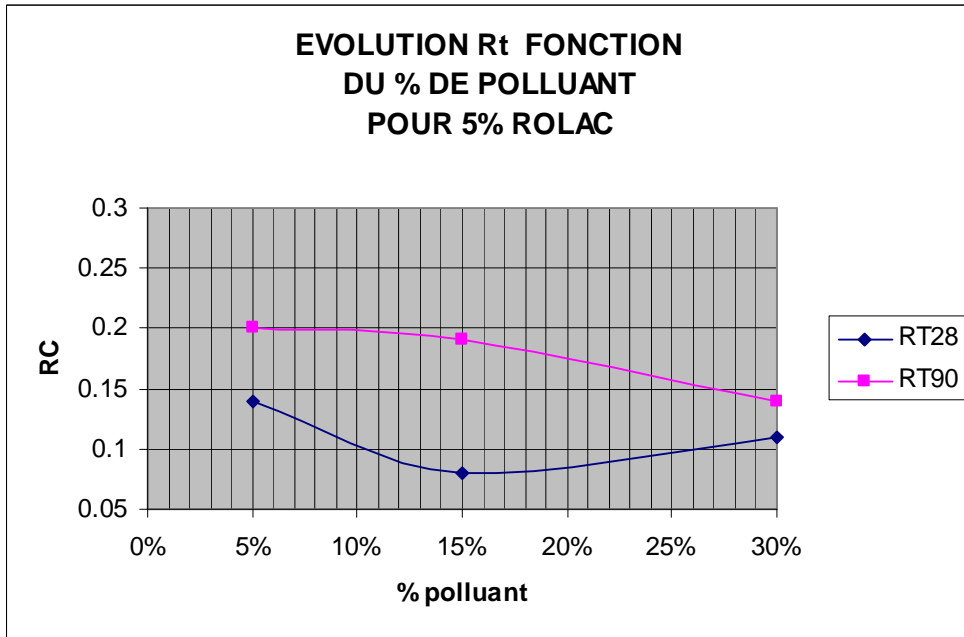
MELANGE	M0	M1			M2			M3		
w%	9.3	12.5			12			18		
G 0,08mm	21.6	26.6			23.2			25.1		
VBS [g/100g]	0.72	0.76			0.77			0.79		
opn 9% rolac	1.72	1.72			1.68			1.7		
% polluant	0%	5%			15%			30%		
% Rolac 645	9%	9%			9%			9%		
RC 7 jours		1.24	1.12	1.33	0.1095	1.12	1.047	0.484	0.682	0.612
<i>moyenne</i>		1.23			0.76			0.59		
RC 14 jours		1.35	1.4	1.51	1.293	1.241	1.337	0.745	0.595	0.551
<i>moyenne</i>		1.42			1.29			0.63		
RC 90 jours		2.76	2.51	2.39	1.69*	2.085	2.126	0.883	0.892	0.89
<i>moyenne</i>		2.56			2.1			0.89		
RTb 28 jours		0.37	0.35	0.33	0.27	0.282	0.293	0.278	0.265	0.209
<i>moyenne</i>		0.35			0.28			0.25		
Eb 28 jours		7475	5550	4912						
<i>moyenne</i>		5979								
RTb 90 jours		0.45	0.47	0.49	0.49	0.46	0.48	0.271	0.249	0.26
<i>moyenne</i>		0.47			0.48			0.26		
Eb 90 jours		6240	6500	6800						
<i>moyenne</i>		6513								

**EVOLUTION RC EN FONCTION
DU % DE POLLUANT
POUR 5% DE ROLAC**



**EVOLUTION RC FONCTION
DU % DE POLLUANT
POUR 9% ROLAC**





9- CONCLUSIONS

L'incorporation dans les couches profondes (supérieures à 0.5m) destinées à être traitées par un liant hydraulique, de matériaux susceptibles d'être pollués par des matières organiques ou des composés chimiques capables de retarder, d'amoindrir voire d'annihiler la prise, est fortement pénalisante, comme le montre l'étude ci avant.

Les diagrammes de cinétique de prise (résistances à la compression) pour deux teneurs en liant et à différents taux d'ajout de matériaux de couverture mettent en évidence l'action maléfique de ceux-ci. Leur incidence est d'autant plus importante que l'on se situe dans le long terme, et que la quantité de liant est importante.

Une chute de performance de 25% à 90 jours est observée pour 5% de liant, et de plus de 100% pour 9 % de liant.

Les diagrammes de résistances à la traction indirecte sont du même ordre, et pour 5% de liant on a un abaissement de 25% des performances et pour 9% de liant 50% d'abatement de résistances sont relevés.

En tout état de fait, cette étude paramétrique permet de statuer sur la réincorporation des 50 cm de matériaux de couverture dans les matériaux destinés à être traités. Il ne semble en effet pas souhaitable de prendre un risque non négligeable de perte importante des qualités mécaniques, qui est observable dès 5% d'incorporation de polluants.

Les matériaux de couvertures devront donc être décapés puis mis en dépôt, et leur réemploi est fortement déconseillé.

JL DUCHEZ.

