

# L'essai Proctor

**SOURCES**

MODES OPERATOIRES DU LABORATOIRE  
CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES  
SANGLERAT – INTERNET

# L'ESSAI PROCTOR

## 1/ INTRODUCTION

La portance d'un sol est la caractéristique qui définit sa capacité à supporter les charges qui lui sont appliquées. Elle dépend de la nature du sol, de son pourcentage d'eau et du degré de compactage. Quel que soit le sol, sa résistance mécanique augmente avec sa densité sèche en faisant passer plusieurs fois des engins lourds qui assurent le compactage.

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques qui conduisent à accroître la densité en place (masse volumique sèche) d'un sol. Cette action augmente la capacité du sol, donc resserre sa texture, réduit ses possibilités de déformation et améliore sa portance.

C'est à l'ingénieur américain PROCTOR que l'on doit les premières études systématiques en ce domaine. Il a, en particulier, examiné en 1933, l'influence de la teneur en eau et celle de l'énergie de compactage sur la portance d'un sol.

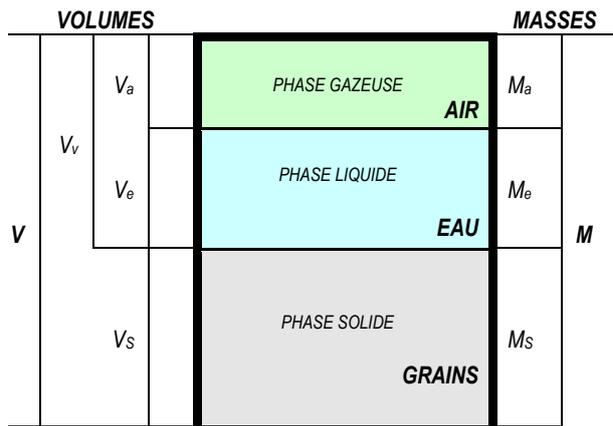
Si l'on fait varier la teneur en eau ( $\omega$ ) d'un échantillon de sol donné, et que l'on représente graphiquement la variation de la densité sèche ( $\gamma_d/\gamma_e$ ) en fonction de ( $\omega$ ), on obtient une courbe en cloche qui représente un point haut que l'on appelle **Optimum Proctor**.

## 2/ BUT DE L'ESSAI

Il s'agit de déterminer la **teneur en eau optimale** conduisant à une **force portante maximale** pour un sol donné, selon des conditions de compactage précises. On compacte des échantillons de sol dans un moule normalisé, en adoptant diverses valeurs de teneur en eau. Pour chaque essai, on détermine la masse volumique sèche. Puis les résultats sont portés sur un graphique et la courbe joignant au mieux les points obtenus passe par un maximum qui correspond à l'Optimum Proctor.

L'abscisse du maximum de cette courbe représente la *teneur en eau optimale*  $\omega_{OP}$  et son ordonnée la *masse volumique sèche optimum*  $\gamma_{d,OP}$

## 3/ DEFINITIONS (RAPPELS)



### MASSES DES DIFFERENTES PHASES

- M : Masse totale du sol (trois phases).
- M<sub>s</sub> : Masse des grains solides.
- M<sub>e</sub> : Masse de l'eau.
- M<sub>a</sub> : Masse de l'air (négligeable).

### VOLUMES DES DIFFERENTES PHASES

- V : Volume total du sol (trois phases).
- V<sub>s</sub> : Volume occupé par les grains solides.
- V<sub>e</sub> : Volume occupé par l'eau.
- V<sub>a</sub> : Volume occupé par l'air.
- V<sub>v</sub> : Volume des vides = (V<sub>a</sub> + V<sub>e</sub>).

**La masse volumique du sol sec  $\gamma_d$  :**

C'est la masse de l'unité de volume du sol exempt d'eau interstitielle.

$$\gamma_d = \frac{M_s}{V}$$

**La teneur en eau  $\omega$  :**

C'est le rapport de la masse de l'eau contenue dans un certain volume de sol à la masse des éléments solides compris dans le même volume. La teneur en eau est exprimée en pourcentage.

$$\omega = \frac{M_e}{M_s} \times 100$$

**L'énergie de compactage :**

Nombre de coups par couche (N) x Nombre de couches (n) x Masse de la dame utilisé (M<sub>a</sub>) x Accélération de la pesanteur (g) x Hauteur de chute de la dame (h) divisé par le volume utile du moule (V).

$$E_c = \frac{N.n.M_a.g.h}{V}$$

**Diagramme PROCTOR simple :** C'est un diagramme qui comporte une courbe Proctor unique, donnant, pour une énergie de compactage donnée  $\omega_{OP}$  et  $\gamma_{d,Max}$ .

**Diagramme PROCTOR complet :** En faisant varier le nombre de coups par couche, on peut déterminer plusieurs courbes Proctor simple, correspondantes à diverses énergies de compactage. Les courbes trouvées sont toutes tangentes asymptotiquement à une hyperbole équilatère, qui correspond à un sol ne contenant plus d'air du tout (Sr = 1), dont l'équation est :

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w + w\gamma_s}$$

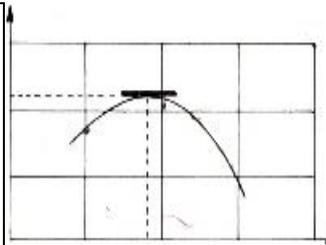


Diagramme PROCTOR simple

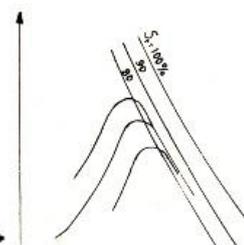
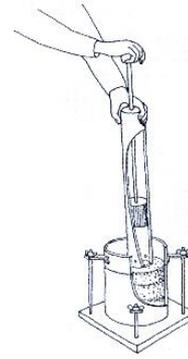


Diagramme PROCTOR complet

#### 4/ PRINCIPE DE LA METHODE

L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et sa masse volumique sèche après compactage.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe ( $\gamma_d$  ;  $\omega$ ) et on trace cette courbe qui représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la masse volumique sèche optimale.



#### 5/ MATERIEL UTILISE

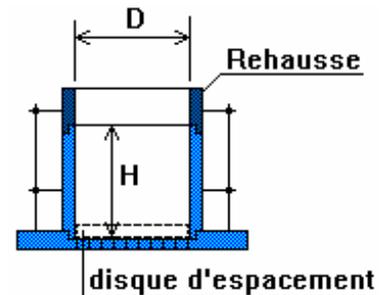
##### 5.1/ Matériel spécifique

##### 5.1.1/ Moules

C'est un tube métallique cylindrique, ouvrable en deux demi coquilles que l'on peut fixer sur une base, et muni d'une rehausse.

Il existe 2 moules :

- Le moule PROCTOR, utilisable pour les sols fins ;
- Le moule C.B.R., utilisable dans tous les cas.



MOULE	DIAMETRE (MM)	HAUTEUR (MM)	VOLUME (CM <sup>3</sup> )
PROCTOR	101,60 (04 pouces)	117 sans rehausse	948
C.B.R.	152,00 (06 pouces)	152 sans rehausse dont disque d'espacement de 25,4 cm d'épaisseur, soit une hauteur utile de 126,6 mm	2 296

MOULE PROCTOR Utilisé pour les matériaux < 5 mm		MOULE CBR Utilisé pour les matériaux < 20 mm		DISQUE D'ESPACEMENT
	Moule normal		Moule normal	 En alliage léger, fourni avec poignée
	Moule fendu (Démoulage facilité par ouverture des coquilles)		Moule fendu (Démoulage facilité par ouverture des coquilles)	<b>PLANE</b>  Outil avec une arête coupante, destiné à araser le matériau compacté et à régler avec précision le volume sur lequel porte la mesure

##### 5.1.2/ Dames

Choix de l'intensité de compactage :

- **Proctor Normal** : Résistance souhaitée relativement faible (corps de remblais non ou peu chargé, couches de formes).
- **Proctor Modifié** : Forte résistance souhaitée (couches de chaussées).

Deux dames sont utilisées en fonction de l'intensité de compactage désiré :

- La dame P.N., pour l'essai PROCTOR NORMAL
- La dame P.M., pour l'essai PROCTOR MODIFIE



Le tableau ci-dessous résume les conditions de chaque essai selon le moule retenu (norme NF P 94-093) :

PROCTOR	Φ (mm)	MASSE DE LA DAME (M <sub>d</sub> en grammes)	HAUTEUR DE CHUTE (h en mm)	NOMBRE DE COUPS PAR COUCHE (N)	NOMBRE DE COUCHES (n)	ENERGIE DE COMPACTAGE (E <sub>c</sub> en kJ/m <sup>3</sup> )
PROCTOR	50	2 490	305	25	3	587

	MOULE CBR				55		533
MODIFIÉ	MOULE PROCTOR	50	4 535	457	25	5	2680
	MOULE CBR				55		2435

## 5.2/ Matériel d'usage courant

- Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau ;
- Tamis de 5 et 20 mm (contrôle et écrêtage le cas échéant de l'échantillon) ;
- Truelle, spatule et pinceau ;
- Eprouvette graduée de 150 ml environ et petits récipients pour la mesure des teneurs en eau ;
- Balance de portée 20 kg avec une précision de  $\pm 5$  g et balance de précision de 200 g avec une précision de  $\pm 0,1$  g ;
- Etuve de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  ;
- Burette à huile.

## 6/ PREPARATION DE L'ECHANTILLON

### 6.1/ Quantité à prélever

Elle dépend du moule utilisé. La courbe étant définie par au moins **5 à 6 points** de coordonnées ( $\omega$  ;  $\gamma_d$ ). Six (06) essais sont préférables, pour lesquels il faudra prélever un minimum de :

- pour le moule PROCTOR : **15 kg de sol** ;
- pour le moule C.B.R. : **33 kg de sol**.

### 6.2/ Faisabilité de l'essai

Si  $D \geq 20$  mm, il faudra tamiser le sol à 20 mm et peser le refus :

- Si le refus est inférieur à 25 %, l'essai devra être réalisé dans le moule CBR, mais sans intégrer le refus (échantillon écrêté à 20 mm) ;
- Si le refus est supérieur à 25 %, l'essai Proctor ne doit pas être réalisé (compactage hasardeux).

### 6.3/ Préparation de l'échantillon

L'échantillon doit être soigneusement prélevé. Ecraser les mottes à la main ou au malaxeur, mais pas les éléments pierreux, et homogénéiser soigneusement le matériau (sa teneur en eau doit être homogène). Sécher le matériau à l'air ou à l'étuve (3 à 5 heures à  $60^{\circ}\text{C}$ ) et procéder à son tamisage (écrêter l'échantillon à 20 mm, le cas échéant). L'échantillon est ensuite fractionné en **6 parts**, chaque part étant malaxée de manière à obtenir des échantillons parfaitement homogènes.

Teneur en eau de départ : Il est souhaitable de commencer les essais à une teneur en eau  $\omega$  qui se situe environ à 4 ou 5% au-dessous de  $\omega_{op}$ , comprise en général entre 10 et 14 %. En principe, le premier essai doit se faire à une teneur en eau d'environ 4%. L'essai se faisant à teneur en eau croissante, l'expérience montre qu'il est bien d'avoir 2% de différence de teneur en eau environ entre chaque point (courbe harmonieuse) ; 4% est un maximum.

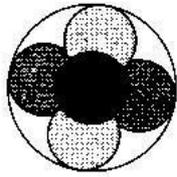
### 6.4/ Choix du moule

Il dépend de la grosseur des plus gros grains du sol, c'est à dire **D**.

- Si  $D \leq 5$  mm (et seulement dans ce cas), utiliser le moule PROCTOR mais le moule C.B.R. est conseillé.
- Si  $5 < D \leq 20$  mm, utiliser le moule C.B.R. Conserver le sol intact, avec tous ses constituants.
- Si  $D > 20$  mm, tamiser à 20 mm et peser le refus.
  - ⇒ Si refus  $\leq 25$  %, effectuer l'essai dans le moule C.B.R. sans le refus (échantillon écrêté à 20 mm) et appliquer une correction sur les valeurs trouvées,
  - ⇒ Si refus  $> 25$  %, l'essai PROCTOR ne peut être fait.

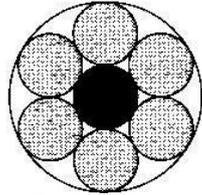
## 7/ EXECUTION DE L'ESSAI

Pour l'essai Proctor Normal, le remplissage est fait en 3 couches, pour l'essai Proctor Modifié, il est fait en 5 couches. L'ensemble de la surface doit être compactée pour chaque couche comme suit :



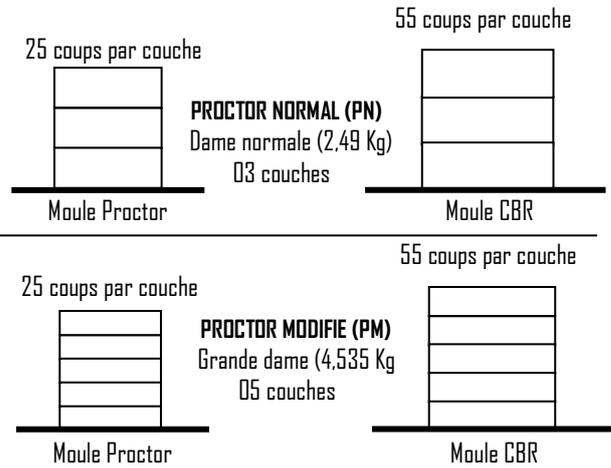
Moule Proctor

6 cycles de 4 coups dans chaque quadrant, et un dernier au centre pour finir : **soit 25 coups par couche.**



Moule CBR

7 cycles de 7 coups adjacents entre eux contre la paroi du moule avec un coup au centre, plus 1 cycle de 6 coups (pas de coup au centre) : **soit 55 coups par couche.**



### Exécution de l'essai

- Assembler moule + embase + disque d'espacement (si moule C.B.R.) + disque de papier au fond du moule (facilite le démoulage) ;
- Peser l'ensemble à 5 g près ( $M_1$ ) ;
- Adapter la rehausse ;
- Introduire la première couche de matériau et la compacter selon la norme NF P 94-093. Placer le moule sur un socle en béton d'au moins 100 kg, ou sur un plancher en béton de 25 cm d'épaisseur, pour que l'ensemble de l'énergie appliquée le soit à l'échantillon ;
- Recommencer l'opération pour chaque couche (faire des rayures sur la surface compactée pour une meilleure liaison). La quantité de matériau à utiliser, pour chaque couche, est approximativement :

MOULE	ESSAI PROCTOR NORMAL	ESSAI PROCTOR MODIFIÉ
PROCTOR	400 g	650 g
C.B.R.	1 050 g	1 700 g

- Après compactage de la dernière couche, enlever la rehausse. Le sol compacté doit dépasser du moule de 1 cm environ. Sinon, recommencer l'essai,
- Araser soigneusement à partir du centre ; on veillera au cours de l'arasement à ne pas créer de trous sur la surface arasée ; nettoyer extérieurement le moule et peser l'ensemble ( $M_2$ ) ;
- Oter l'embase (et disque d'espacement si nécessaire), démouler le sol et prélever deux prises en haut et en bas de l'échantillon ;
- Déterminer les teneurs en eau et faire la moyenne ( $\omega_1$ ) ;
- Augmenter de 2 % la teneur en eau de départ et recommencer 4 à 5 fois l'essai, après nettoyage du moule, à chaque fois ;

### 8/ EXPRESSION DES RESULTATS

Présenter les résultats et les calculs sur la feuille d'essai ci-annexée. Pour chaque prise d'essai :

- Calculer la densité sèche ( $\gamma_d/\gamma_e$ ),  $\gamma_e$  étant la masse volumique de l'eau :
  - Si  $V$  est le volume de l'échantillon, égal au volume du moule,
  - $M$ , la masse de l'échantillon humide, égale à ( $M_2 - M_1$ ), la masse de l'échantillon est égale à  $M/(1 + \omega)$

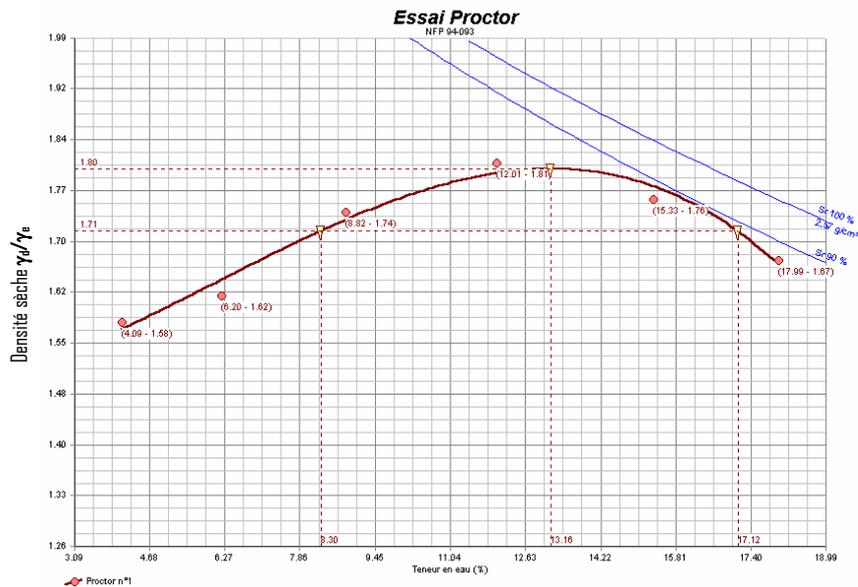
$$\gamma_d = \frac{M_s}{V} = \frac{M_2 - M_1}{(1 + \omega).V}$$

- Tracer la courbe  $\gamma_d = f(\omega)$ , en joignant au mieux les points de coordonnées ( $\omega$ ,  $\gamma_d/\gamma_e$ ) obtenus par les valeurs de  $\omega$  et  $\gamma_d$  pour les différentes prises d'essai.

En cas d'écrêtage à 20 cm, faire les corrections suivantes :

Déterminer  $g$  = Rapport du poids des gros éléments de diamètre supérieur à 20 mm au poids total :

- $\omega_{\text{corrigée}} = \omega_{\text{mesurée}} \times (1 - g)$
- $\gamma_d \text{ corrigée} = \gamma_d \text{ mesurée} \times 1/K$  avec  $K = (1 - g) \times (\gamma_s - \gamma_d \text{ mesurée})/\gamma_d \text{ mesurée}$
- Les coordonnées du maximum de la courbe appelé **Optimum Proctor** [ $\omega_{\text{OP}}$ ,  $(\gamma_d/\gamma_e)_{\text{OP}}$ ] se déduisent de la courbe. On portera les résultats sur le modèle suivant :

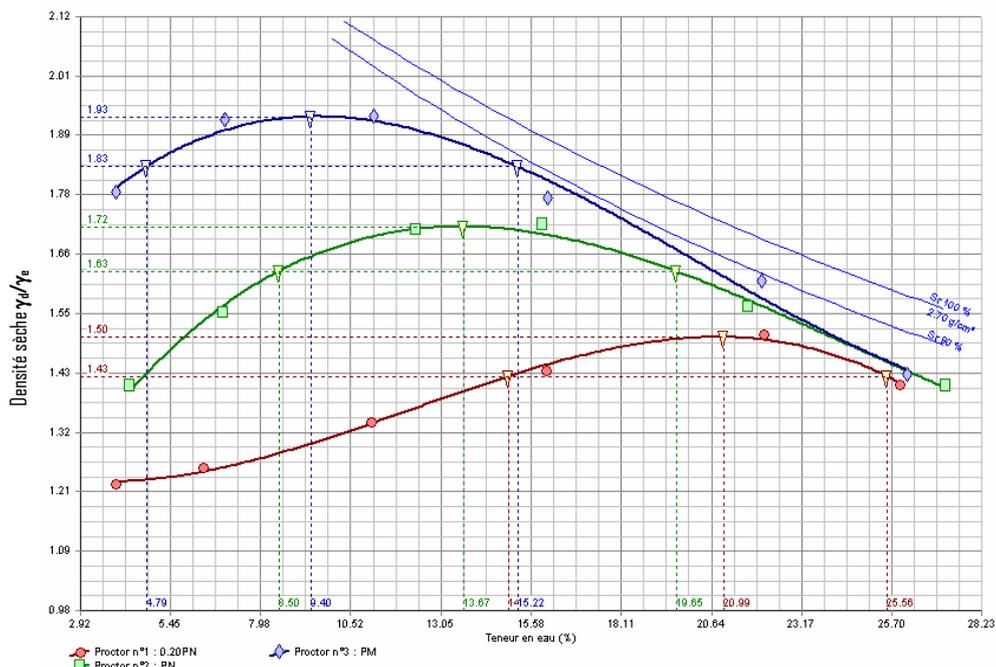


L'optimum Proctor est ici obtenu pour  $\omega_{OP} = 13,2\%$  , et  $\gamma_{d OP} = 18,0 \text{ KN/m}^3$

### Exploitation des résultats

Il existe deux types de diagramme Proctor :

- Diagramme Proctor simple (cf. exemple ci avant),
- Diagramme Proctor complet, comme ci-après :



### A noter :

1. Ce diagramme Proctor complet, réalisé avec moule CBR, est ici donné pour 3 valeurs d'énergie N de compactage :

<b>Diagramme du bas</b> (courbe rouge/point rond)	0,20.PN $\Leftrightarrow$ 20% Energie Normale	$\Leftrightarrow$ 11 coups/couche (3 couches) + dame normale	$N = 107 \text{ KJ/m}^3$
<b>Diagramme du milieu</b> (courbe verte/point carré)	PN $\Leftrightarrow$ Energie Normale	$\Leftrightarrow$ 55 coups/couche (3 couches) + dame normale	$N = 533 \text{ KJ/m}^3$
<b>Diagramme du haut</b> (courbe bleu/point losange)	PM $\Leftrightarrow$ Energie Modifiée	$\Leftrightarrow$ 55 coups/couche (5 couches) + dame Modifiée	$N = 2\,435 \text{ KJ/m}^3$

2. Ces diverses courbes ne se coupent pas. Leur maximum est situé sur une courbe à pente négative. Les plus petites valeurs de  $\omega_{OP}$  correspondant aux plus grandes de  $\gamma_{d OP}$  et aux plus fortes intensités de compactage.

3. La réalisation de ce diagramme complet est longue. Elle doit être faite que si le chantier est important, en raison de l'amélioration des conditions de travail qu'elle apporte sur chantier.

Exemple d'utilisation du diagramme complet – Notion de planche d'essai

S'il est nécessaire d'obtenir, après compactage, une masse volumique apparente sèche  $\gamma_{d0}$ , correspondant, ici, à la courbe d'énergie de compactage  $N_{PN}$  et si le sol arrive au chantier avec une teneur en eau  $\omega_i$  ( $\omega_i \approx 18,3 > \omega_{OP}$  pour énergie PN, mais  $\gamma_i = 1,55 < \gamma_{d0}$ ), il suffira alors de compacter avec une intensité correspondant à la courbe d'énergie de compactage  $N_{PM}$ . Car pour cette courbe d'énergie de compactage on arrivera en effet à  $\gamma_d(\omega_i) = \gamma_{d0}$  ; puis arrivé à  $\gamma_{d0}$ , il suffira de laisser sécher le sol.

Cette utilisation possible du diagramme complet conduit à faire sur chantier des essais avec l'engin de compactage utilisé pour la mise en oeuvre des remblais. On détermine ainsi le nombre de passages de l'engin qui correspond à chacune des valeurs d'énergie de compactage  $N_1, N_2, N_3, \dots$  pour une même valeur de  $\gamma_d$ . Il n'y aura plus alors, à l'arrivée du sol sur le chantier, qu'à mesurer  $\omega$  et en déduire  $N$  par le diagramme complet ( $\gamma_{d0}$  imposé pour un chantier donné) c'est-à-dire, donc, le nombre de passes à effectuer avec l'engin de compactage pour cette teneur en eau.

Quelques valeurs

NATURE DU SOL	$(\gamma_d)_{OPN}$ (en t/m <sup>3</sup> )	$\omega_{OPN}$ (en %)
ARGILE	2,0	20
LIMON	1,7	17
SABLE DE RIVIERE	1,6	6
SABLE LIMONEUX	1,9	12
GRAVE NATURELLE	2,0	8
GRAVE RECONSTITUEE	2,2	6

# ESSAI PROCTOR

DOSSIER N° :  
DATE :

NATURE :  
OPERATEUR :

m = moule 4"  
M = moule 6"

M.D  
Volume du moule : V = 943 cm<sup>3</sup>  
V = 2 122 cm<sup>3</sup>

Md

md

Poids du moule vide : Pt

	%	Haut		Bas		Haut		Bas		Haut		Bas	
Pourcentage d'eau à réaliser approximativement													
Poids d'eau ajouté à chaque compactage	g												
Poids total humide	g												
Poids du moule	g												
Poids du sol humide	g												
Poids du sol sec	g												
POIDS VOLUMIQUE SEC	g/cm <sup>3</sup>												
Prélèvement													
Poids total humide	g												
Poids total sec	g												
Poids de la tare	g												
Poids de l'eau	g												
Poids du sol sec	g												
Teneur en eau	%												
TENEUR EN EAU MOYENNE	%												

W<sub>op</sub> = %

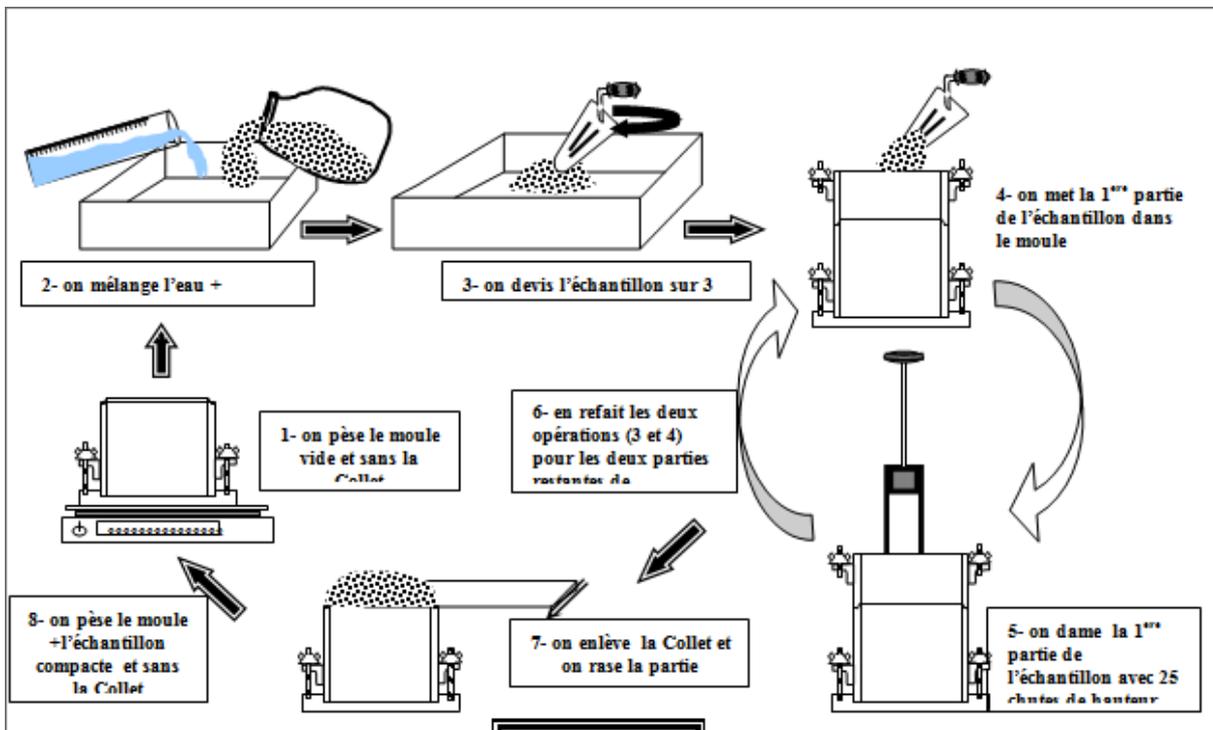
δ<sub>dmax</sub> = g/cm<sup>3</sup>



POIDS VOLUMIQUE SEC MAXIMUM



TENEUR EN EAU OPTIMUM



# L'essai C.B.R.

**SOURCES**

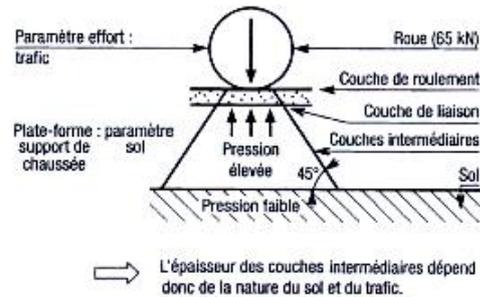
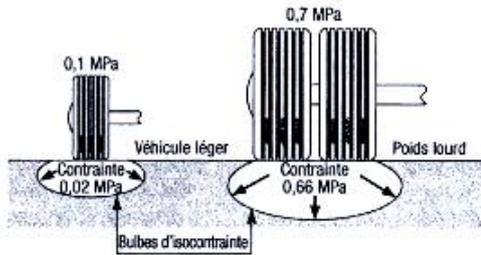
MODES OPERATOIRES DU LABORATOIRE  
CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES  
SANGLERAT – INTERNET

# L'ESSAI C.B.R.

## 1/ BUT DE L'ESSAI

Déterminer un indice (l'**indice CBR**) permettant de calculer grâce à des abaques, l'épaisseur du corps de chaussée d'une route en fonction :

- du sol sous-jacent,
- du trafic et des charges par essieu prévus,
- des conditions hydriques futures que subira cette route.



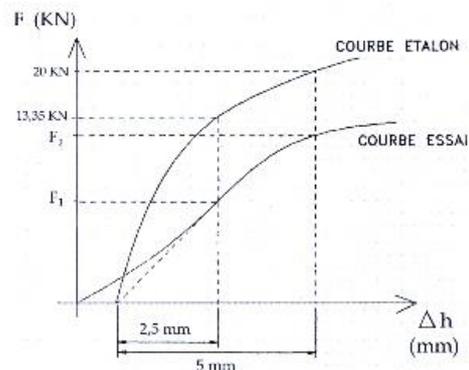
## 2/ DEFINITION

L'**indice CBR** exprime en % le rapport entre les pressions produisant dans le même temps un enfoncement donné dans le sol étudié d'une part et dans un matériau type d'autre part. Par définition cet indice est pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$I.CBR_{25} = \frac{\text{Force (en KN) à 2,5 mm d'enfoncement}}{13,35 \text{ KN}} \times 100$$

$$I.CBR_{50} = \frac{\text{Force (en KN) à 5 mm d'enfoncement}}{20 \text{ KN}} \times 100$$

$$I.CBR = \max (I.CBR_{25} ; I.CBR_{50})$$



On distingue 2 types d'essais CBR en fonction des buts fixés :

- **L'essai C.B.R. immédiat** : Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle. Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation en phase de chantier. Dans les régions peu humides, le C.B.R. immédiat sert directement de référence (pas de variation hydrique).
- **L'essai C.B.R. après imbibition** : Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé durant plusieurs jours (4 en général). Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté à différentes teneurs en eau et/ou soumis à des variations de régime hydrique.

## 3/ PRINCIPE DE LA METHODE

L'indice CBR est déterminé pour des sols à vocation routière de manière purement empirique.

Après avoir compacté le matériau dans les conditions de l'essai Proctor modifié, on lui applique les conditions hydriques prévues :

- Immersion pendant 4 jours dans l'eau,
- Immersion pendant 2 jours dans l'eau,
- Pas d'immersion : essai immédiat,

Le matériau à étudier étant placé dans un moule dans un état donné de densité et de teneur en eau, on applique ensuite une charge voisine de ce que sera la charge de service, puis on le poinçonne par un piston tout en mesurant les efforts et déplacements résultant. Une comparaison de ces résultats avec ceux obtenus sur un sol de référence (californien) est ensuite effectuée (voir définition de l'indice CBR).

#### 4/ MATERIEL NECESSAIRE

- Matériel nécessaire pour essai Proctor Modifié avec moule CBR ;
- Tamis 5 et 20 mm (contrôle et écrêtage le cas échéant de l'échantillon) ;
- Petits récipients (mesures des teneurs en eau) ;
- Balance de portée 10 kg et de précision  $\pm 1$  g,
- Balance de précision de portée 200 g et de précision  $\pm 0,1$  g (teneur en eau) ;
- Etuve  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  (teneur en eau) ;
- Plateau de gonflement à mettre en place sur l'échantillon. Il permet de suivre les variations de hauteur de celui-ci. La touche centrale, grâce à un filetage fin, est utilisée pour régler le comparateur sur une valeur de départ convenable ;
- Support de comparateur se plaçant directement sur le moule ou sur la hausse suivant le nombre de surcharges utilisées pour l'essai de gonflement. Le comparateur est fixé par le canon de diamètre 8 mm ;
- Comparateur ou capteur de déplacement (précision  $\pm 1/100^{\text{e}}$  mm) ;
  - Poinçonneuse CBR (presse munie d'un piston (de section  $19,3\text{ cm}^3$  ; vitesse d'enfoncement  $1,27\text{ mm/min}$  ; force maxi  $50\text{ KN}$ ), pourvue d'un contrôleur de cadence ainsi que d'un comparateur permettant de suivre les enfoncements au  $100^{\text{e}}$  de millimètre près ;
- Disque de papier filtre (en fond de moule CBR pour éviter le départ des fines du sol) ;
- Anneaux de surcharge (au moins 2 disques ou encore 4 demi disques) ;
- Trousse coupante.



PLATEAU DE GONFLEMENT



SUPPORT DE COMPARETEUR



COMPARETEUR



ANNEAU DE SURCHARGE ROND

C'est le premier anneau à mettre en place au moment du poinçonnement. Il assure par sa rigidité une bonne répartition de la pression exercée par l'ensemble des surcharges. Il pèse  $2,25\text{ kg}$ .



ANNEAU DE SURCHARGE FENDU

Il se place sur le disque de gonflement rond. Le nombre de surcharges à utiliser est déterminé en fonction du poids des matériaux situés réellement au dessus du niveau considéré après construction de l'ouvrage.



TROUSSE COUPANTE

Elle s'adapte au moule CBR pour prélever des échantillons en place directement par carottage.

#### 5/ MODE OPERATOIRE

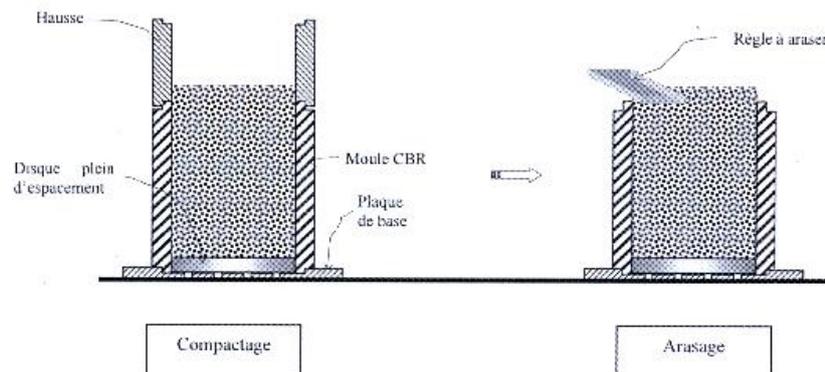
##### 5.01/ Préparation de l'échantillon

Le compactage devant être fait dans les conditions de l'essai Proctor normal ou modifié, il faut réaliser au préalable l'essai Proctor modifié pour pouvoir connaître la teneur en eau optimale et la densité apparente sèche maximale (voir Essai Proctor).

Connaissant donc la teneur en eau de l'Optimum Proctor modifié  $\omega_{\text{OPM}}$ , on prépare le matériau de la manière suivante :

##### 5.02/ Exécution de l'essai

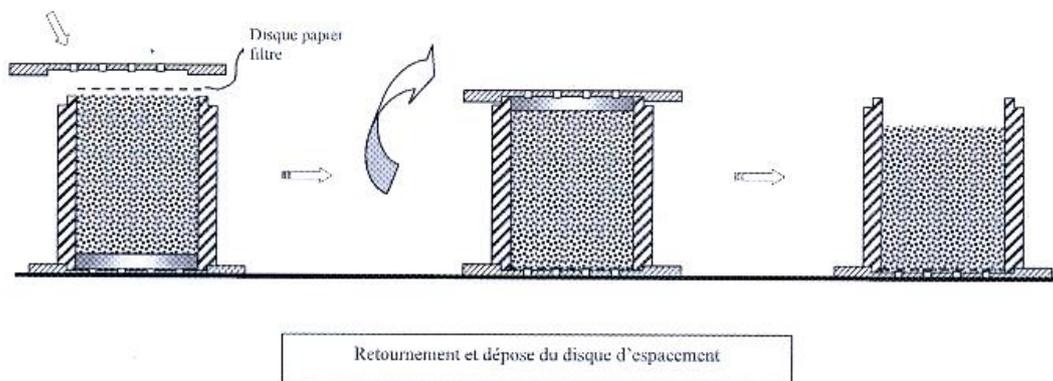
1. Le matériau est séché et pulvérisé en brisant les mottes, mais en prenant soin de ne pas briser les pierres et graviers éventuels. Un écrêtage est effectué pour enlever les grains supérieurs à  $20\text{ mm}$  (tamisage) et les remplacer par une même masse d'éléments compris entre  $5$  et  $20\text{ mm}$  si nécessaire.
2. On ajoute la quantité d'eau nécessaire pour obtenir un matériau à une teneur en eau égale à  $\omega_{\text{OPM}}$ , on malaxe le matériau humidifié de manière à le rendre homogène et on le met dans le moule CBR prolongé à sa partie supérieure par une hausse.
3. On compacte et l'on arase le matériau dans les conditions de l'essai Proctor Modifié ;



4. Après compactage et arasage du matériau, retourner le moule pour fixer sur la plaque de base, l'extrémité qui était en haut (mettre une feuille de papier filtre).

5. Enlever la plaque de base et ôter le disque d'espacement.

6. Peser l'ensemble (moule + plaque de base + contenu) à un gramme près.



#### 5.02.01/ Imbibition – Mesure du gonflement

Le but de cette opération est de placer le sol dans les plus mauvaises conditions hygrométriques qu'il est susceptible de rencontrer dans la pratique et de mesurer le gonflement susceptible de se produire.

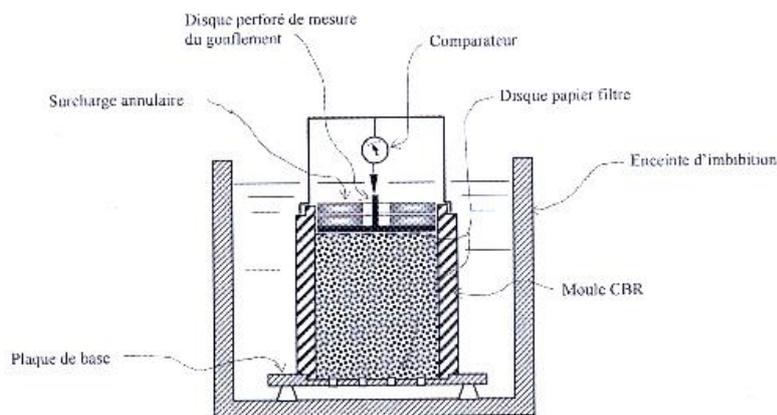
Trois cas peuvent être envisagés :

1/ Pour un terrain particulièrement sec ne risquant ni de subir des remontées d'eau (nappe phréatique profonde), ni de recevoir des eaux pluviales (revêtement étanche ou climat très sec), on pourra se dispenser de cette imbibition et faire l'essai à la teneur en eau de l'Optimum Proctor Modifié ( $\omega_{OPM}$ ) qui est celle à laquelle l'échantillon a été préparé.

2/ Pour un terrain pouvant subir de fortes remontées d'eau ou des inondations ou bien recevoir les pluies d'un climat très humide, on procède à une imbibition complète (jusqu'à ce que la variation d'épaisseur de l'échantillon devienne inférieure à 0,003 mm par 24 heures).

3/ Dans les autres cas, qui sont les plus fréquents, on imbibite l'échantillon pendant 4 jours (96 heures  $\pm$  1h). L'opération d'imbibition de l'échantillon se réalise de la façon suivante :

- Après avoir pesé l'ensemble (moule + plaque de base + échantillon compacté), on place alors successivement un disque de papier filtre, un disque de chargement rond et une surcharge constituée par des disques annulaires de 2,265 Kg (au moins 2 ou encore 4 demi disques), représentant l'équivalent de la contrainte imposée par la chaussée sur la plate-forme (dans le cas d'une piste en terre, il n'y a pas lieu de surcharger).
- On met le tout dans un bac rempli d'eau, la plaque de base étant un peu écartée du fond pour permettre le passage de l'eau. Un comparateur tenu par un trépied placé sur le moule mesurera les variations de hauteur de l'échantillon.
- On remplit d'eau et l'on note la lecture de la mesure donnée par le comparateur au début de l'essai.
- A la fin d'une opération d'imbibition, on note le gonflement.

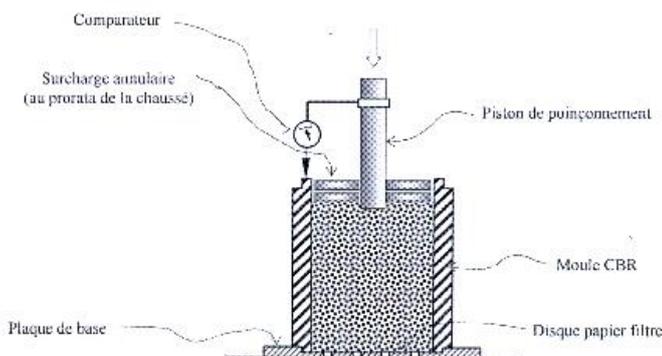


### 5.02.02/ Poinçonnement

On utilise une presse qui est munie d'un piston de poinçonnement de diamètre 4,96 cm (section 19,3 cm<sup>2</sup>), et qui est pourvue d'un contrôleur de cadence ainsi que d'un comparateur permettant de suivre les enfoncements au 1/100<sup>e</sup> de millimètre près.

On place l'échantillon sur le plateau, bien axé sur le piston de poinçonnement. Les charges annulaires sont remises en place (leur trou central laisse le passage au piston de poinçonnement).

On amène la tige au contact du sol et quand l'aiguille dynamométrique de la presse commence à bouger, on arrête le mouvement et on met le comparateur à zéro. Puis la presse est actionnée à une vitesse constante d'enfoncement égale à 1,27 mm/min, le mouvement étant régulé, soit de manière automatique, soit en suivant le cadencemètre de la machine.



On effectue simultanément les mesures de l'enfoncement et de la force exercée et on note (sans arrêter le poinçonnement) les forces qui correspondent aux enfoncement suivants :

ENFONCEMENT (MM)	0,625	1,25	2,00	2,50	5,00	7,50	10,00
TEMPS DE MESURE (MN)	0,50	1,00	1,50	2,00	4,00	6,00	8,00
FORCE DE POINÇONNEMENT (KN)							

On détermine enfin la teneur en eau de l'échantillon ainsi soumis à cet essai, à partir d'au moins 2 prélèvements (4 prélèvements sont conseillés) que l'on fait de part et d'autre de l'emprunte, dans la région qui a été soumise au poinçonnement.

La mesure de la teneur en eau doit suivre immédiatement l'opération de poinçonnement.

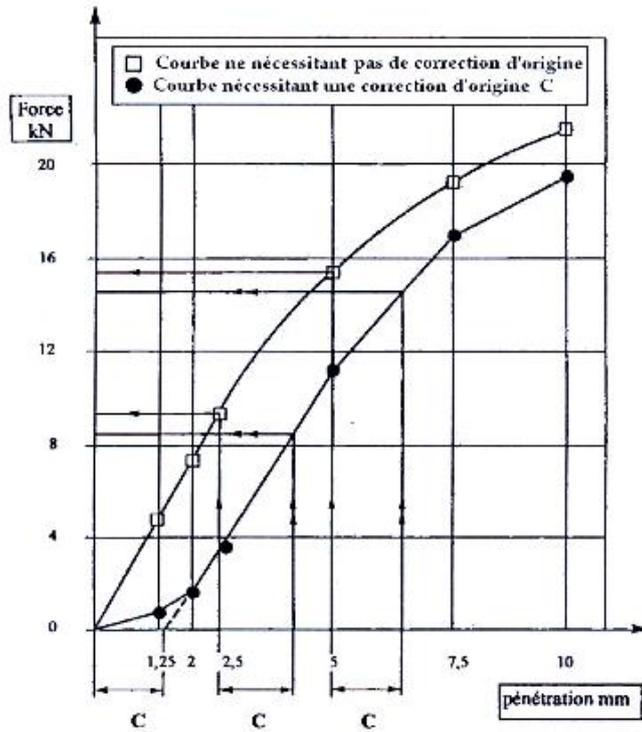
### 5.02.03/ Expression des résultats

Le procès verbal d'essai doit comporter les indications suivantes :

- Contrôle de la masse volumique sèche  $\gamma_d$  de l'échantillon compacté ; on devra ici, retrouver la masse volumique de l'essai Proctor Modifié  $\gamma_{dOPM}$ . Si la différence  $|\gamma_d - \gamma_{dOPM}| > 0,05 \text{ g/cm}^3$ , il y a eu faute ou erreur et l'essai devra être recommencé.
- Condition d'imbibition (le cas échéant).
- Gonflement ( $g$ ) pendant l'imbibition, exprimé en **gonflement linéaire relatif** par rapport à la hauteur initiale ( $h$ ) de l'échantillon :

$$g = (\Delta h/h) \times 100$$

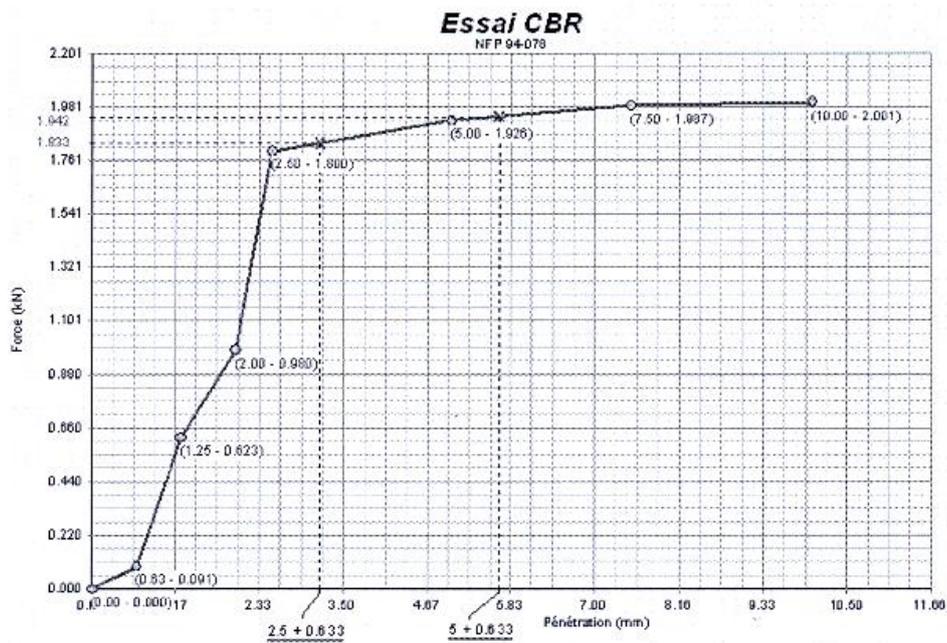
Il est nécessaire de tracer la courbe **effort-poinçonnement** avant la détermination de  $F_{CBR25}$  et  $F_{CBR50}$ . en effet, un décalage de zéro peut se produire et il faut alors le corriger.



La correction d'origine étant faite, on calcule I.CBR25 et I.CBR50 de la façon suivante :

$I.CBR_{25} = \frac{\text{Force (en kN) à 2,5 mm d'enfoncement}}{13,35 \text{ kN}} \times 100$ $I.CBR_{50} = \frac{\text{Force (en kN) à 5 mm d'enfoncement}}{20 \text{ kN}} \times 100$	<p>L'indice CBR est :</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <math display="block">I.CBR = \max(I.CBR_{25}; I.CBR_{50})</math> </div>
--	---

On utilisera le modèle :

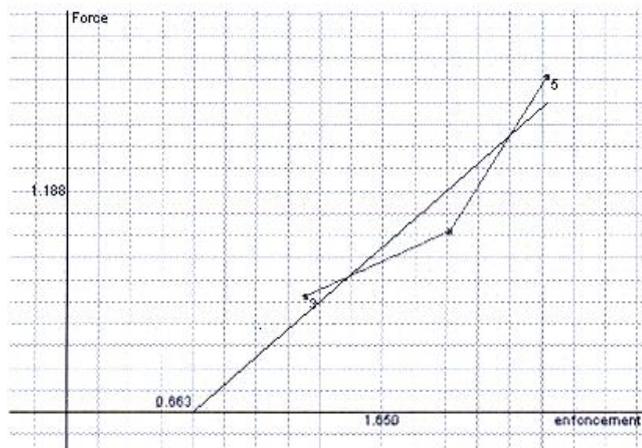


Calcul de la correction

Tracer la droite équivalente en pied de pente.

Pour cela, on prend pour point de départ le 3<sup>ème</sup> point de la courbe de coordonnées (1,25 ; 0,623) et pour point d'arrivée le 5<sup>ème</sup> point de la courbe de coordonnées (2,50 ; 1,80). Par régression linéaire, on obtient la droite équivalent qui coupe l'axe des abscisses en 0,663 ; il s'agit de la correction à appliquer.

De sorte que pour notre essai :  $I.CBR = \max (I.CBR_{25} = 13,73 ; I.CBR_{50} = 9,74) = 14$



# ESSAI C.B.R.

PROVENANCE :  
 SONDAGE :  
 PROFONDEUR :  
 NATURE DU SOL :

DOSSIER N° :  
 DATE :  
 OPERATEUR :

ETAT INITIAL			
Moule	N°		
Poids total humide	$P_{th}$		g
Poids du moule	$P_m$		g
Poids du sol humide	$P_{sh} = P_{th} - P_m$		g
Teneur en eau de compactage	$w_0$		%
Poids du sol sec	$P_s = \frac{P_{sh}}{1 + \frac{w_0}{100}}$		g
Volume du moule	V		cm <sup>3</sup>
POIDS VOLUMIQUE SEC	$\gamma_s = \frac{P_s}{V}$		g/cm <sup>3</sup>

ETAT FINAL			
IMBIBITION : NON NORMALE COMPLETE *			
Date de mise en immersion :		Durée :	
Teneur en eau après imbibition :		$w_f =$ %	
Gonflement		Gonflement linéaire absolu :	
Date, Heure	Comparateur	$\Delta l =$ mm	
		Gonflement linéaire relatif :	
		$\Delta l / l_0$	

## POINÇONNEMENT

Temps approximatif		Enfoncement	Force F	Pression P P = 5,17 F
mn	s	mm	kN	bar
0'	30"	0,625		
1'		1,25		
1'	40"	2		
2'		2,5		
4'		5		
6'		7,5		
8'		10		
10'		12,5		

$$\frac{P(2,5)}{0,70} =$$

$$\frac{P(5)}{1,05} =$$

INDICE PORTANT

C.B.R. = %

