

Sols : Reconnaissance et essais

**Indice CBR après immersion —
Indice CBR immédiat —
Indice Portant Immédiat**

Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR

- E : Soils : investigation and tests — CBR after immersion — Immediate CBR — Immediate bearing ratio — Measurement on sample compacted in CBR mould
- D : Boden : Erkundung und Prüfungen — CBR Index nach Immersion — Sofortiger CBR — Index sofortiger Bodenfestigkeitsindex — Messung an einer verfestigten Probe in der CBR Form

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général de l'AFNOR le 20 avril 1997 pour prendre effet le 20 mai 1997.

Remplace la norme homologuée NF P 94-078, de décembre 1992.

Correspondance

À la date de publication du présent document, il n'existe pas de travaux européens ou internationaux traitant du même sujet.

Analyse

Le présent document décrit les méthodes d'essai pour la mesure des indices suivants :

- indice CBR après immersion ;
- indice CBR immédiat ;
- Indice Portant Immédiat (IPI).

Descripteurs

Thésaurus International Technique : sol, essai, méthode par immersion, mesurage, caractéristique, grandeur, appareillage.

Modifications

Par rapport au document remplacé : précisions supplémentaires relatives aux modalités d'exécution de l'essai.

Corrections



Chaussées terrassements — Exécution des terrassements

BNSR/CTT

Membres de la commission de normalisation

Président : M BOLLE

Secrétariat : M J.P. JOUBERT — BNSR

M	ABDO	SYNDICAT NATIONAL DES FABRICANTS DE CEMENTS ET CHAUX
M	BERRAUD	BOUYGUES
M	BETOUX	RAZEL
M	BOLLE	
M	GIRAUD	EDF — TEGG
M	IRASTORZA	USIRF
MME	LEROY	SERVICE TECHNIQUE DE LA VILLE DE PARIS
M	MANOJLOVIC	CEMAGREF
MME	MARJOU	BNSR-SETRA
M	MICHAUT	COLAS
M	MUDET	SNCF
M	PUECH	SCETAUROUTE
M	RAYNAUD	CEBTP
M	RINCENT	RINCENT BTP SERVICES
M	SAINTON	BEUGNET
M	SCHAEFFNER	LCPC
MLLE	SIGAL	BEC FRERES
M	SMERECKI	AFNOR
M	VOGELI	DTP TERRASSEMENT

Sommaire

	Page
1	Domaine d'application 4
2	Références normatives 4
3	Définitions 4
4	Symboles et abréviations 5
5	Principe de l'essai 5
6	Appareillage 6
6.1	Matériel de confection des éprouvettes 6
6.2	Matériel de poinçonnement 6
6.3	Matériel de mise en immersion et de mesure du gonflement 7
7	Exécution de l'essai 7
7.1	Confection des éprouvettes 7
7.2	Exécution du poinçonnement 8
8	Calculs et résultats 8
9	Procès-verbal 9
Annexe A	(informative) Mode d'interprétation — Étude CBR 11

1 Domaine d'application

Le présent document décrit l'appareillage spécifique, et les modalités du processus opératoire des essais permettant la détermination :

- de l'Indice Portant Immédiat (IPI) ;
- de l'indice CBR immédiat ;
- de l'indice CBR après immersion ;

d'un sol ou d'un matériau granulaire utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des assises de chaussées.

Il définit en annexe la méthodologie de l'étude CBR appliquée à la recherche de l'indice CBR de dimensionnement d'une chaussée.

Il s'applique aux sols, matériaux rocheux, sous-produits industriels définis dans la norme NF P 11-300 et à condition que la proportion des éléments dont le D_{max} excède 20 mm ne dépasse pas 30 %. Il s'applique également à ces mêmes matériaux lorsqu'ils sont mélangés avec différents produits tels que chaux aériennes, liants hydrauliques ou pouzzolaniques, fibres,...

2 Références normatives

Ce document comporte par référence datée ou non datée des dispositions d'autres publications. Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à ce document que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

NF P 11-300	Exécution des terrassements — Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
NF P 94-049-1	Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Partie 1 : Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes.
NF P 94-049-2	Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Partie 2 : Méthode à la plaque chauffante ou aux panneaux rayonnants.
NF P 94-050	Sols : Reconnaissance et essais — Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux — Méthode par étuvage.
NF P 94-093	Sols : Reconnaissance et essais — Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol — Essai Proctor normal (600 kNm/m^3) — Essai Proctor modifié ($2\,700 \text{ kNm/m}^3$) ¹⁾ .

NOTE : Le processus opératoire des essais traités dans le présent document s'inspire de la norme américaine ASTM (D 1883 :1973 — Reapproved 1978) — «Standard test method for bearing ratio of laboratory compacted soils».

3 Définitions

Pour les besoins du présent document, les définitions suivantes s'appliquent :

indice CBR après immersion ; indice CBR immédiat : Grandeurs utilisées pour caractériser un sol ou un matériau élaboré, en tant que support ou constituant d'une structure de chaussée ;

Indice Portant Immédiat : Grandeur utilisée pour évaluer l'aptitude d'un sol ou d'un matériau élaboré à supporter la circulation des engins de chantiers.

1) En cours de révision.

4 Symboles et abréviations

ρ_d	est la masse volumique du sol sec mesurée sur éprouvette ou sur le sol en place (exprimée en tonnes par mètre cube) ;
w	est la teneur en eau du sol (exprimée en pourcentage) ;
ρ_{dOPN}	est la masse volumique optimum Proctor normal : c'est la valeur maximale de la masse volumique du sol sec obtenue lorsqu'on compacte un sol à l'énergie Proctor normal (ρ_{dOPN} est exprimée en tonnes par mètre cube) ;
$wOPN$	est la teneur en eau optimum Proctor normal : c'est la teneur en eau particulière pour laquelle on obtient la ρ_{dOPN} d'un sol ($wOPN$ est exprimée en pourcentage) ;
ρ_{dOPM}	est la masse volumique optimum Proctor modifié : c'est la valeur maximale de la masse volumique du sol sec obtenue lorsqu'on compacte un sol à l'énergie Proctor modifié (ρ_{dOPM} est exprimée en tonnes par mètre cube) ;
$wOPM$	est la teneur en eau optimum Proctor modifié : c'est la teneur en eau particulière, pour laquelle on obtient la ρ_{dOPM} d'un sol ($wOPM$ est exprimée en pourcentage) ;
I.CBR immersion	est l'indice CBR d'un sol mesuré après quatre jours d'immersion de l'éprouvette avec application des surcharges définies au paragraphe 6.3 (exprimé en pourcentage) ;
I.CBR immédiat	est l'indice CBR d'un sol mesuré à la teneur en eau de confection de l'éprouvette avec application des surcharges définies au paragraphe 6.3 (exprimé en pourcentage) ;
IPI	est l'Indice Portant Immédiat, mesuré à la teneur en eau de confection de l'éprouvette sans application des surcharges définies au paragraphe 6.3 (exprimé en pourcentage) ;
h	est la hauteur initiale de l'éprouvette avant mise en eau (exprimée en centimètres) ;
Δh	est le gonflement mesuré à la fin de la période d'immersion (exprimé en centimètres) ;
G	est la valeur du gonflement linéaire relatif (exprimée en pourcentage).

5 Principe de l'essai

Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des forces observées sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements.

L'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés (voir article 8).

Les valeurs des paramètres (section du poinçon, vitesse d'enfoncement, enfoncement conventionnel, forces observées sur le matériau) sont normalisées et précisées dans les articles 6 et 7.

NOTE : Les indices CBR et IPI ne constituent pas des caractéristiques intrinsèques d'un sol. En effet, si ces grandeurs dépendent en partie de la nature du sol (granularité, plasticité), elles dépendent davantage de sa teneur en eau, de sa masse volumique sèche et de son degré de saturation, qui sont des caractéristiques d'état, celles-ci étant fonction des conditions de mise en œuvre et d'environnement.

L'indication de toute valeur d'un indice CBR ou IPI d'un matériau n'a donc de sens que si elle est assortie des caractéristiques d'état du sol prises en considération dans la confection de l'éprouvette c'est-à-dire :

- sa masse volumique à l'état sec ρ_d exprimée en pourcentage de la valeur de ρ_d OPN ou ρ_d OPM du sol ;
- sa teneur en eau exprimée en pourcentage de la valeur de $wOPN$ ou $wOPM$ du sol ;
- son état de saturation défini qualitativement par le fait que l'éprouvette est poinçonnée :
 - soit immédiatement, après sa confection, et l'on parle alors d'indice CBR immédiat ou IPI, suivant le processus opératoire suivi ;
 - soit après avoir été immergée durant quatre jours et l'on parle alors d'I.CBR après immersion.

Pour ce qui concerne l'indice CBR de dimensionnement d'une chaussée, le concepteur doit choisir les caractéristiques d'état du sol qu'il entend prendre en considération en fonction des particularités du projet. À titre indicatif, on peut rappeler que les caractéristiques suivantes sont souvent retenues :

- teneur en eau : w_{OPM} ;
- masse volumique sèche : ρ_{dOPM} ;
- état de saturation : celui obtenu après quatre jours d'immersion.

Ce choix est cependant généralement pessimiste, car il est peut fréquent que le sol sous la chaussée se trouve dans un état de saturation comparable à celui de l'éprouvette placée durant quatre jours en immersion. Il convient donc de procéder à une évaluation la plus réaliste possible de l'état hydrique du sol sous la chaussée en service et de déterminer alors l'indice CBR de dimensionnement correspondant à cet état. Dans l'annexe A du présent document, on propose une méthodologie permettant d'évaluer l'incidence des variations des paramètres d'état (compacité et état hydrique) sur les valeurs de l'indice CBR de dimensionnement d'une chaussée.

Pour ce qui concerne l'IPI, on retient comme caractéristiques d'état :

- la teneur en eau (ou la plage de teneur en eau) pour laquelle on veut évaluer l'aptitude du matériau à supporter la circulation des engins ;
- la masse volumique du sol sec correspondant à la valeur obtenue lorsqu'on compacte le matériau à la teneur en eau considérée, à l'énergie Proctor normal dans le cas d'un sol et à l'énergie Proctor modifié dans le cas d'un matériau d'assise de chaussée.

6 Appareillage

6.1 Matériel de confection des éprouvettes

Il comprend :

- le moule CBR ;
- les dames ou machines de compactage Proctor normal et Proctor modifié ;
- l'ensemble des accessoires (plaque de base, rehausse, disque d'espacement, règle à araser,...) ;
- le matériel d'usage courant (balances, étuve, bacs,...).

L'ensemble du matériel est décrit dans la norme NF P 94-093.

6.2 Matériel de poinçonnement

Il comprend une presse d'une capacité efficace d'au moins 50 kN et possédant une course d'au moins 10 mm.

Cette presse doit être équipée :

- d'un poinçon cylindrique en acier de $49,6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ de diamètre, soit une section circulaire de $19,32 \text{ cm}^2 \pm 0,08 \text{ cm}^2$, et d'une dizaine de centimètres de longueur minimum ;
- d'un dispositif permettant l'enfoncement du poinçon dans le matériau à une vitesse de $1,27 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$;
- d'un dispositif de mesure de l'enfoncement du poinçon garantissant la mesure avec une incertitude absolue maximum de $0,1 \text{ mm}$;
- d'un dispositif de mesure des efforts de poinçonnement. La capacité de ce dispositif doit être adaptée à l'effort mesuré. Sa précision doit garantir la mesure avec une incertitude relative maximum de 1 %.

6.3 Matériel de mise en immersion et de mesure du gonflement

Il est constitué :

- d'un ou plusieurs bacs de hauteur suffisante pour assurer l'immersion complète des éprouvettes, tout en ménageant au-dessous de chacune d'elle une lame d'eau d'au moins 10 mm de hauteur (au moyen d'un caillebotis par exemple) ;
 - d'un disque, dit «de gonflement», métallique ou en matière plastique de 150 mm de diamètre et d'un poids n'excédant pas 300 g environ perforé sur toute sa surface par au moins 25 trous de $3 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de diamètre, uniformément répartis. Ce disque comporte, perpendiculairement en son centre, une tige de hauteur réglable, permettant de réaliser la mise à zéro du dispositif de mesure du gonflement, avant la mise en immersion ;
 - d'une série d'au moins trois surcharges constituées chacune d'un disque de $150 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de diamètre extérieur comportant un évidement central cylindrique de $\varnothing 54 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ permettant le passage aisé du poinçon. La masse de chaque surcharge doit être de $2,3 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$.
- Les surcharges peuvent être réalisées en deux pièces par sectionnement du disque défini précédemment suivant un plan diamétral afin de faciliter leur mise en place sur l'éprouvette et autour du poinçon.
- d'un dispositif permettant la mesure du gonflement avec une incertitude absolue maximum de 0,01 mm ; la plage de mesure doit être de 20 mm minimum.

7 Exécution de l'essai

7.1 Confection des éprouvettes

Il convient tout d'abord de choisir les différents ensembles de conditions d'état du sol (masse volumique sèche, teneur en eau, état de saturation), pour lesquels on veut réaliser l'essai.

Lorsque la dimension maximale des éléments du sol à étudier est inférieure à 20 mm, l'intégralité du sol est soumise à l'essai.

Si le sol contient des éléments supérieurs à 20 mm dans une proportion inférieure à 30 %, ils sont éliminés par tamisage. L'essai est alors réalisé sur la fraction restante.

Pour chaque ensemble de conditions d'état considéré, il convient de préparer, 5,5 kg minimum de matériau dans le cas où l'on recherche l'I.CBR immédiat ou l'IPI et 7 kg minimum de matériau dans le cas où l'on recherche l'I.CBR immersion.

On procède ensuite à la préparation du sol et au compactage dans les moules suivant les modalités décrites dans la norme NF P 94-093 (article 7).

Dans le cas où l'on détermine l'I.CBR immersion, la teneur en eau de confection de l'éprouvette est déterminée à partir du surplus de matériau, selon une des méthodes normalisées.

Le moule contenant l'éprouvette est ensuite désolidarisé de sa plaque de base, retourné pour que la face supérieure de l'éprouvette se retrouve en contact avec l'embase. Celle-ci est alors à nouveau solidarifiée avec le moule. Procéder à l'extraction du disque d'espacement puis à l'exécution du poinçonnement ou à la mise en immersion selon l'indice recherché.

7.2 Exécution du poinçonnement

Les modalités d'exécution du poinçonnement diffèrent selon que l'on détermine l'IPI, l'I.CBR immédiat ou l'I.CBR immersion.

Si l'objet de l'essai est la détermination de l'IPI, placer l'ensemble embase, moule, éprouvette sur la presse, en position centrée par rapport au piston de poinçonnement et procéder au poinçonnement de la manière suivante :

- mettre en contact la surface supérieure de l'éprouvette avec le piston ;
- initialiser les dispositifs de mesure des forces et des enfoncements ;
- exécuter le poinçonnement en maintenant la vitesse de pénétration à $1,27 \text{ mm/min} \pm 0,1 \text{ mm/min}$;
- établir la courbe effort-déformation correspondant, au moins, aux enfoncements de 1,25 mm ; 2 mm ; 2,5 mm ; 5 mm ; 7,5 mm et 10 mm ;
- déterminer la teneur en eau de l'éprouvette selon une des méthodes normalisées.

Si l'objet de l'essai est la détermination de l'I.CBR immédiat, interposer deux surcharges dans le volume libéré par le disque d'espacement. S'il est prévu que la contrainte apportée par la chaussée sur le sol soit supérieure aux 4,6 kg des surcharges ainsi constituées, il y a lieu d'ajouter autant de surcharges que nécessaire. L'ensemble moule plaque de base et surcharges est alors posé sur la presse. Exécuter ensuite le poinçonnement comme indiqué précédemment.

Si l'objet de l'essai est la détermination de l'I.CBR immersion :

- positionner le disque de gonflement sur l'éprouvette avant de mettre en place les surcharges comme indiqué précédemment ;
- mettre en place et initialiser le dispositif de mesure de gonflement ;
- immerger l'ensemble de sorte que l'éprouvette soit recouverte par une hauteur d'eau d'au moins 20 mm et qu'une lame d'eau d'au moins 10 mm de hauteur soit présente sous le moule.

Après quatre jours d'immersion ($\pm 2 \text{ h}$), relever la valeur de gonflement total atteint.

Retirer le moule et l'éprouvette du bac à immersion et après égouttage, exécuter le poinçonnement comme indiqué précédemment.

8 Calculs et résultats

On calcule les valeurs suivantes :

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement (en kN)}}{13,35} \times 100 \quad 2)$$

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 5 mm d'enfoncement (en kN)}}{19,93} \times 100 \quad 2)$$

- L'indice recherché est par convention la plus grande de ces deux valeurs ;
- Si nécessaire, faire une correction d'origine (voir figure 1).

2) Les valeurs de 13,35 kN et 19,93 kN sont respectivement les forces provoquant l'enfoncement du piston de 2,5 mm et 5 mm sur le matériau conventionnel de référence (voir article 5 «Principe de l'essai»).

9 Procès-verbal

Le rapport d'essai doit comporter les informations minimales suivantes :

- le nom de l'organisme qui a réalisé l'essai ;
- la référence à la présente norme ;
- l'identification de l'affaire (titre, numéro d'affaire ou référence) ;
- l'identification de l'échantillon (date et lieu de prélèvement, numéro de sondage et profondeur) et du liant éventuellement ajouté (nature, origine, dosage, formule,...) ;
- la date de début de l'essai ;
- la méthode utilisée pour la détermination des teneurs en eau (avec référence à la norme choisie).

L'indice recherché étant déterminé, on précise sur la feuille d'essai :

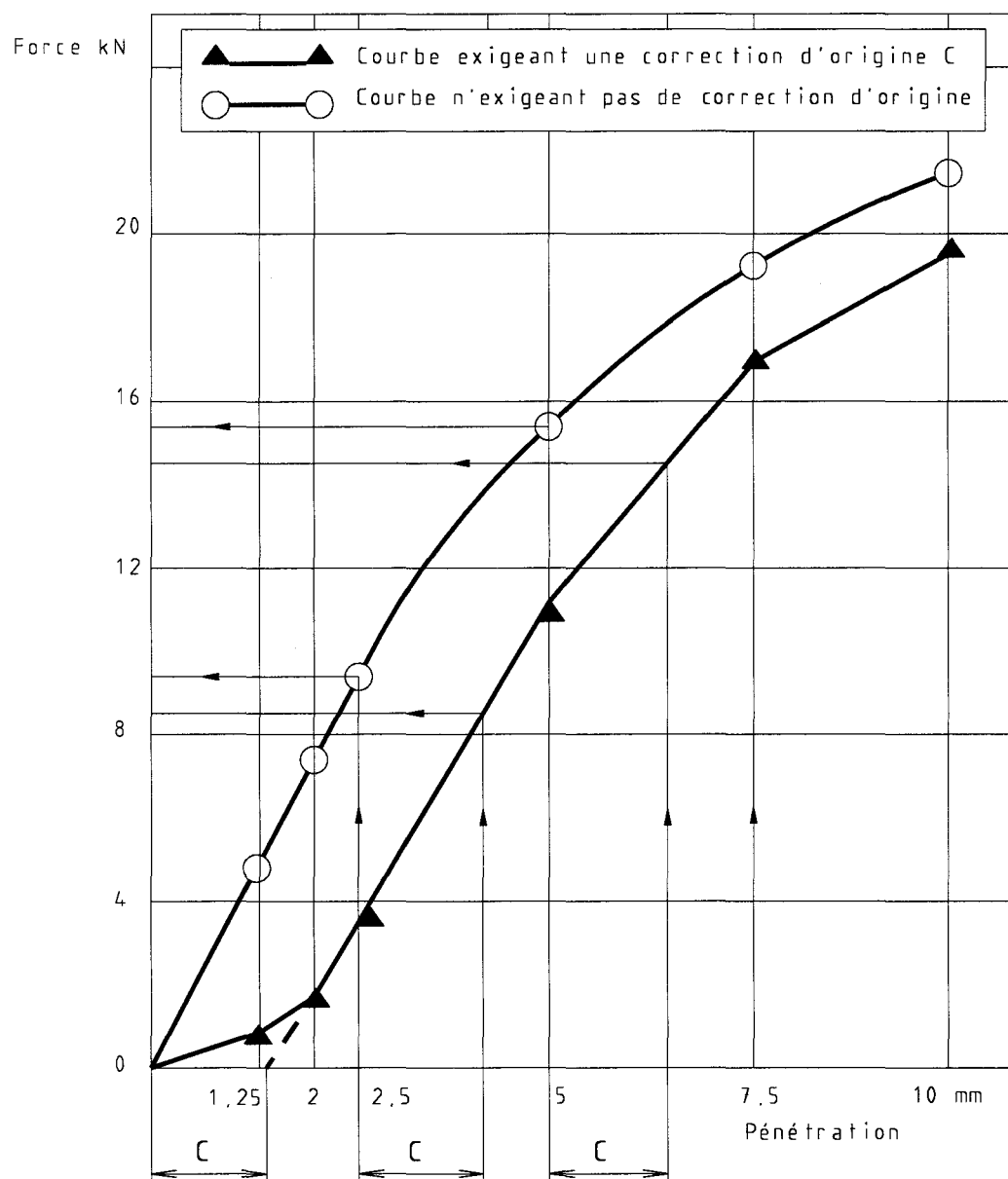
- s'il s'agit de l'I.CBR immédiat ou I.CBR immersion, ou d'un IPI ;
- la masse volumique sèche de l'éprouvette, exprimée en valeur absolue et en pourcentage de la masse volumique sèche maximum Proctor normal ou Proctor modifié du sol ;
- la teneur en eau de confection de l'éprouvette, exprimée en valeur absolue et en pourcentage de la teneur en eau Proctor optimum normal ou Proctor modifié du sol.

Dans le cas de l'I.CBR immersion, on précise en outre :

- la valeur de la déformation de l'éprouvette G, exprimée en pourcentage :

$$G = \frac{\Delta h}{h} \times 100$$

- la teneur en eau après immersion de l'éprouvette.

**Figure 1 : Tracés des courbes effort-pénétration**

Annexe A

(informative)

Mode d'interprétation — Étude CBR

La portance d'un sol dépendant considérablement de ses caractéristiques d'état, une valeur particulière d'un indice CBR correspondant à une masse volumique sèche, une teneur en eau, un degré de saturation donnés, ne permet pas en général de préjuger valablement du comportement de ce sol, en tant que support d'une chaussée. En effet, dans cette fonction l'état réel dans lequel il risque de se trouver peut varier dans une assez large plage, compte tenu des aléas des conditions hydriques et de mise en œuvre.

Pour pouvoir proposer une interprétation qui soit fondée, il est le plus souvent indispensable de déterminer les valeurs des indices CBR du sol pour un ensemble de conditions d'état balayant le domaine couvert par les aléas précités.

Il convient alors d'exécuter une étude CBR, selon le processus décrit ci-après :

a) choix des conditions de masse volumique sèche

Trois énergies de compactage sont choisies :

- l'énergie Proctor modifié ;
- l'énergie Proctor normal ;
- une énergie réduite, correspondant à environ 25 % de l'énergie Proctor normal (mêmes modalités que l'essai Proctor normal, à l'exception du nombre de coups de dame par couche, qui est réduit de 56 à 14).

b) choix des teneurs en eau

Cinq teneurs en eau réparties dans une plage couvrant l'étendue des teneurs en eau possible du sol, sont choisies dans le cas de chantier considéré.

c) choix des conditions d'état de saturation

En l'absence de données fiables sur les teneurs en eau d'équilibre du sol sous la chaussée, on adopte l'état de saturation obtenu après quatre jours d'immersion.

Les valeurs de l'I.CBR immersion, trouvées pour les $3 \times 5 = 15$ couples teneur en eau - masse volumique sèche, sont alors portées sur deux graphes, tels que ceux représentés (figures A.1 et A.2) :

- sur le graphe de la figure A.1, on porte les différentes valeurs de la masse volumique sèche et de la teneur en eau pour les trois énergies de compactage considérées ;
- sur le graphe de la figure A.2, on porte en correspondance de l'échelle des teneurs en eau du graphe de la figure A.1 les valeurs de l'I.CBR immersion ;
- enfin, on reporte sur le graphe de la figure A.1 le réseau des courbes iso-CBR après immersion, que l'on peut facilement construire, à partir du graphe de la figure A.2, en le découpant par des horizontales d'indice CBR donné.

À partir de ce réseau des courbes iso-CBR après immersion, il est immédiatement possible d'évaluer les variations de la portance CBR du sol, correspondant à des fourchettes réalistes de variation de ses caractéristiques d'état une fois mis en œuvre et par suite de définir un indice de dimensionnement de la structure, tenant compte des risques admis et des prescriptions imposées par le concepteur.

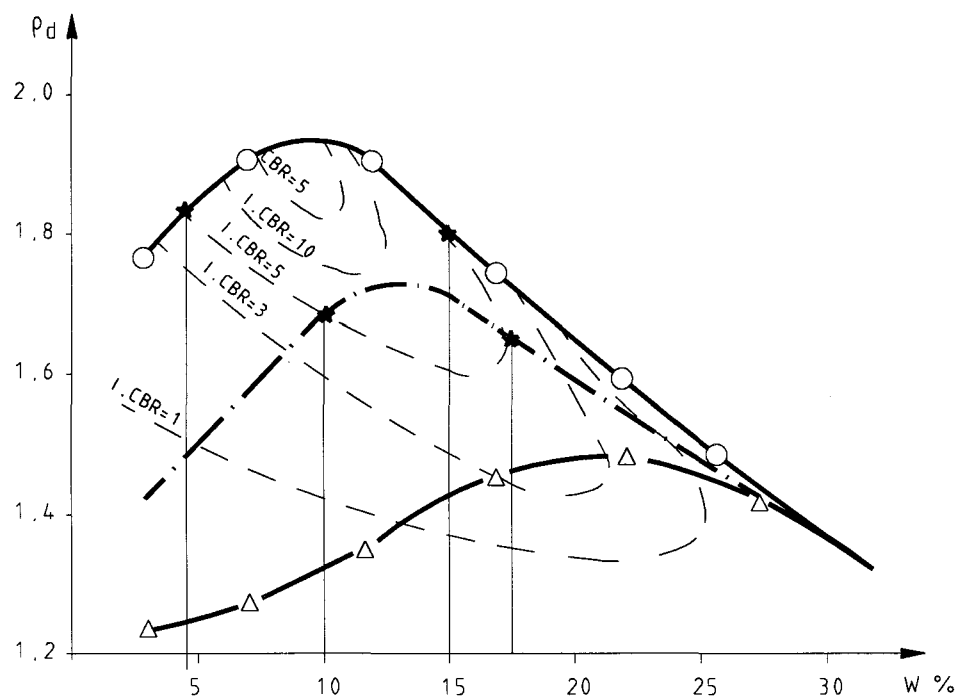


Figure A.1 : Tracé des courbes iso-CBR immersion

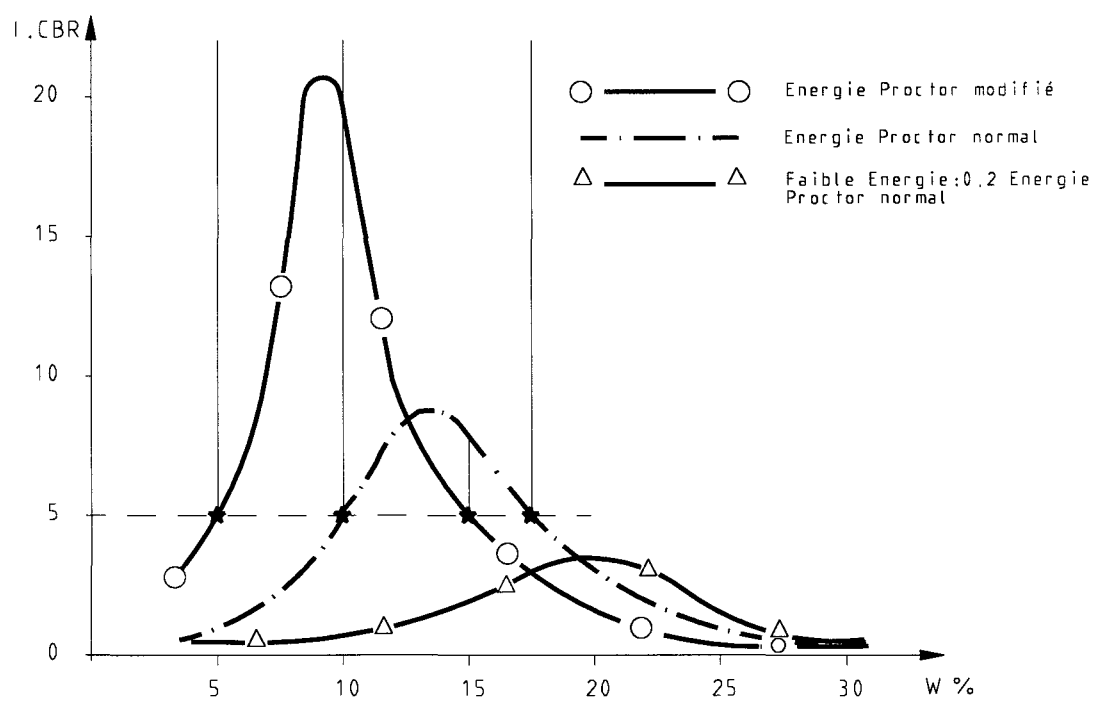


Figure A.2 : Étude CBR immersion