

01. SOLS ET MATERIAUX DE REMBLAI

01.11 DELITEMENT DES SOLS, SABLES, MATIERES D'AGREGATION, GRAVILLONS ET GRAVES.....	2
01.12 GONFLEMENT DES SOLS, SABLES, MATIERES D'AGREGATION, GRAVILLONS, GRAVES ET MACHEFERS TRAITES (version 04/2025)	5
01.19 VITESSE SISMIQUE DANS LES SOLS COMPACTS..	31
01.24 PRELEVEMENT A LA LIVRAISON D'UN ECHANTILLON DE MATERIAUX POUR SOUS- FONDATION ET FONDATION DE TYPE GRANULAIRE (version 10/2018)	32
01.25 ESSAI DE SENSIBILITE AU GEL-DEGEL SPECIFIQUE AUX GRANULATS DONT LA RESISTANCE AU GEL- DEGEL EST DECLAREE F10 (version 04/2019).....	35

01.11 DELITEMENT DES SOLS, SABLES, MATIERES D'AGREGATION, GRAVILLONS ET GRAVES

Référence de base: -1) Méthode de mesure C.R.R. M.F. 67/93: "Mode opératoire pour l'évaluation de la stabilité dimensionnelle des scories LD et de matériaux similaires -2) Essai de délitement"

1. BUT DE L'ESSAI

Evaluer la stabilité des matériaux artificiels et des matériaux de recyclage.

2. PRINCIPE DE LA MÉTHODE

On mesure le morcellement du matériau après une immersion de 14 jours dans l'eau à 50° C.

3. APPAREILLAGE

- un jeu de tamis à ouverture de mailles de 2 - 4 - 5 - 7,1 - 10 - 14 - 20 - 25 - 31,5 - 40 - 50 - 56 - 63 mm;
- balance de capacité suffisante permettant de peser au 1/10 de sa capacité;
- étuve réglable à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- étuve réglable à $(52,5 \pm 2,5)^\circ\text{C}$ ou bain thermostatisé réglable à $(52,5 \pm 2,5)^\circ\text{C}$;
- conteneurs d'une capacité de (2 à 10) litres pouvant être fermés hermétiquement;
- récipient de protection éventuellement;
- eau distillée ou déminéralisée.

4. MODE OPÉRATOIRE

4.1 Nombre d'essais.

Le nombre d'essais constituant la détermination est fixé à trois.

4.2 Echantillonnage.

L'échantillonnage est effectué conformément à la norme NBN EN 932-1 et NBN EN 932-2 de manière à obtenir finalement 3 échantillons réduits de calibre 2/D de granulats secs de masse déterminée (voir tableau 01.11/1).

TABLEAU 01.11/1

Calibre nominal d'essai	Masse d'essai de l'échantillon réduit (3 x)
$d > 2 \text{ et } D \leq 10$	3500 g
$10 < D \leq 25$	7000 g
$25 < D \leq 40$	15000 g
$D > 40$	25000 g

4.3 Préparation de l'échantillon d'analyse.

L'essai est réalisé sur la fraction supérieure à 25 mm.

Sur demande expresse l'essai peut être effectué suivant les tamis de coupure et de mesure repris aux tableaux 01.11/2 et 3.

Les tamisages sont réalisés conformément aux principes énoncés dans la norme NBN EN 932-1.

Pour chacun de ces 3 échantillons, on procède à un lavage à l'eau suivi d'un tamisage sur le tamis dont l'ouverture de mailles est reprise au tableau 01.11/2.

TABLEAU 01.11/2

Calibre nominal d/D	Tamis de coupure (mm)	Tamis de protection (mm)
2/D	2	4
4/D	4	7,1
7/D	7,1	10
10/D	10	14
14/D	14	20
20/D	20	25
25/D	25	31,5
31,5/D	31,5	25
d/D	D	environ 1,4.d

Le passant à l'ouverture de mailles d est éliminé tandis que le refus est séché à $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ à masse constante, puis de nouveau tamisé à sec sur le même tamis que précédemment. Dans ce cas, le tamis de coupure est surmonté d'un tamis de protection dont le rôle est d'éviter la surcharge du tamis de coupure.

Les refus des 2 tamis sont alors rassemblés. L'échantillon ainsi préparé est pesé à 0,1 g près et sa masse (M_1) constitue une prise d'essai de 3,5 à 25 kg suivant le calibre D.

4.4 Mode opératoire.

Chaque prise d'essai est introduite dans un conteneur de capacité appropriée. On ajoute alors de l'eau distillée ou déminéralisée de manière à ce que son niveau soit de 1 cm environ au-dessus de celui de l'échantillon, puis on place les conteneurs dans le récipient de protection à l'intérieur de l'étuve à $(52,5 \pm 2,5)^{\circ}\text{C}$, ou dans un bain thermostatisé à $(52,5 \pm 2,5)^{\circ}\text{C}$. On ferme hermétiquement les conteneurs pour éviter l'évaporation de l'eau et on les laisse séjourner 14 jours. Passé ce délai, on procède à un nouveau tamisage en utilisant, selon le calibre nominal de départ, le tamis de mesure repris au tableau 01.11/3.

Le passant est éliminé tandis que le refus est séché à $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante, puis de nouveau tamisé à sec sur le même tamis que précédemment. Le tamis de mesure étant surmonté d'un tamis de protection dont le rôle est d'éviter la surcharge du tamis de mesure. Les refus des deux tamis sont rassemblés et pesés à 0,1 g près (masse M_2).

TABLEAU 01.11/3

Calibre nominal d/D	Tamis de mesure (mm)	Tamis de protection (mm)
2/D	2	4
4/D	4	7,1
7/D	5	7,1
10/D	7,1	10
14/D	10	14
20/D	14	20
25/D	20	25
31,5/D	25	31,5
d/D	0,7.d (le plus proche)	D

5 CALCULS

Le délitement, exprimé en pourcent avec deux décimales est obtenu par la formule:

$$\frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100$$

Le résultat est la moyenne de 3 essais exprimé avec une décimale.

6 EXPRESSION DU RÉSULTAT

Le rapport d'essai mentionne tous les résultats (individuels et moyenne) ainsi que les ouvertures des mailles des tamis de coupure et de mesure.

01.12 GONFLEMENT DES SOLS, SABLES, MATIERES D'AGREGATION, GRAVILLONS, GRAVES ET MACHEFERS TRAITES (version 04/2025)

SOMMAIRE

01.12.A - CAS DES SCORIES D'ACIERIES.

PARTIE 1: GRANULATS POUR COUCHES DE FONDATIONS NON LIEES;

PARTIE 2: GRANULATS POUR MELANGES BITUMINEUX;

01.12.B - CAS DES AUTRES MATERIAUX ARTIFICIELS.

01.12.C - CAS DES MACHEFERS TRAITES (version 04/2025)

01.12.A MODE OPERATOIRE POUR DETERMINATION DE L'AUGMENTATION DE VOLUME DE SCORIES D'ACIERIES UTILISEES COMME GRANULATS.

PARTIE 1 : GRANULATS POUR COUCHES DE FONDATIONS NON LIEES

références de base:

- circulaire AWA/178 – 95/150 – annexe 5 - addendum 1;
- Technische Lieferbedingungen und Richtlinien für die Güteüberwachung von Stahlwerksschlacken im Strassenbau – TL – SWS, Ausgabe 1992. – Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, No 66, 19 octobre 1992, RdErl. d. Ministerium für Stadtentwicklung und Verkehr v. 26.8.1992 – III B 6 – 30-05/199.
- NBN EN 1744-1: Essais pour déterminer les propriétés chimiques des granulats. Partie 1, analyse chimique

1. BUT DE L'ESSAI

Cette méthode d'essai est destinée à mesurer la susceptibilité à la désintégration et au gonflement de scories concassées d'aciéries résultant surtout de l'hydratation tardive de chaux surcuite (chaux libre) et dans certains cas, de l'oxyde de magnésium libre.

Cet essai est réalisé sur la fraction inférieure à 25 mm.

Note: Les scories de fours électriques, plus communément appelées scories E.A.F., font partie, au même titre que les laitiers de hauts fourneaux ou les scories de convertisseurs L.D., de la gamme des co-produits générés par la sidérurgie lors de la fabrication de l'acier. Elles proviennent de la gangue lors de la fusion des ferrailles prétraitées et dans certains cas de fonte, dans le four électrique à arc.

Lorsque la teneur en MgO total, mesuré suivant la norme NBN EN 196-2 est supérieure à 5 %, la durée des essais de gonflement est portée à 7 jours.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Un échantillon compacté de scories, composé à partir de fractions granulométriques définies, est soumis à un courant de vapeur à 100° C, dans un bain de vapeur à pression atmosphérique. De cette manière, l'humidité nécessaire pour favoriser les réactions d'hydratation est fournie en continu à l'échantillon. Tout changement de volume suite à ces réactions peut être lu sur le cadran d'un comparateur installé au centre de la face supérieure de l'échantillon. Le résultat donné est l'augmentation de volume, calculée en % par rapport au volume original de l'échantillon compacté de scories.

3. APPAREILLAGE ET MOYENS NÉCESSAIRES

3.1. Unité d'étuvage avec cylindre d'essai muni d'un comparateur à cadran couvrant un domaine de mesure (10 mm) avec une précision de 0,01 mm ou système équivalent.

L'équipement d'étuvage comporte deux chambres dans lesquelles de l'eau est portée à ébullition, en cours d'essai, par des éléments chauffants. La puissance maximale de chauffe des éléments est de 2 kW. Au-dessus de la chambre de chauffe se place l'échantillon de scories compacté, dans un cylindre muni d'un fond percé de trous de \varnothing 3 mm (cylindre de 210 mm de diamètre et de 100 mm de hauteur). La vapeur s'élevant lors du chauffage peut ainsi se propager régulièrement au travers de l'échantillon. Pour éviter une condensation à la paroi interne du cylindre par perte de chaleur, le cylindre est chauffé à $(120 \pm 5)^\circ\text{C}$ à l'aide d'un manteau chauffant circulaire adapté sur la paroi extérieure (puissance de 250 W). L'appareil est muni d'un dispositif permettant une remise à niveau automatique. L'appareil est représenté schématiquement aux figures 01.12A/1 et 2 qui contiennent des détails complémentaires de construction.

Le cylindre est équipé d'un couvercle constitué par une plaque métallique percée de trous de \varnothing 3 mm, rendue rigide au moyen d'un croisillon de lestage comportant un réceptacle central pour le pied du comparateur.

3.2. Masse de lestage d'un diamètre extérieur inférieur à 210 mm (par exemple 180 mm), muni d'une cavité centrale (diamètre de 10 mm) permettant le positionnement de la tige du comparateur d'une masse telle que l'ensemble "poids de lestage + grille équipée du croisillon de lestage" pèse $6,00 \pm 0,02$ kg.

3.3. Tamis avec ouvertures de mailles de 0,5 mm, 2,0 mm et tamis avec ouvertures carrées de 5,6 mm, 8,0 mm, 11,2 mm, 16,0 mm et 22,4 mm.

3.4. Perles (billes) de verre de 5 mm de diamètre.

3.5. Papier filtre de 240 mm de diamètre.

3.6. Table vibrante à fréquence d'environ 50 Hz et avec une amplitude de 3 mm.

3.7. Tige de sondage graduée en mm, avec une échelle totale de 200 mm.

3.8. Etuve travaillant jusqu'au moins 120°C .

3.9. Balance de 10 kg avec précision de 0,2 g.

3.10. Eau distillée.

3.11. Acide chlorhydrique dilué.

3.12. Huile de silicone.

4. ECHANTILLONNAGE

L'échantillon est prélevé conformément aux modes opératoires prescrits dans la norme NBN EN 932-1.

5. PRÉPARATION ET COMPACTAGE DES ÉCHANTILLONS D'ANALYSE

L'échantillon prélevé est séché immédiatement au laboratoire à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante.

Il est fait usage d'échantillons d'analyse 0/22 mm de mélanges minéraux secs de scories, combinés suivant la parabole de Fuller. Les proportions en masse des différentes fractions granulométriques sont données au tableau 1.

Fraction granulométrique	% en masse
0/0,5	15
0,5/2	15
2/5,6	19
5,6/8	10
8/11,2	11
11,2/16	15
16/22,4	15
TOTAL 0/22	100

Tableau 1: Proportions en masse des différentes fractions granulométriques

Les différentes fractions sont préparées par tamisage à partir de l'échantillon séché.

Dans le cas où l'échantillon à tester est d'un calibre d/D avec $d \geq 0$ mm, la préparation de fractions inférieures à 2 mm en quantité suffisante peut ne pas être obtenue; dans ce cas, il est convenu d'ajuster à 30 % (sur base volumique) la teneur en granulats inférieurs à 2 mm de chaque prélèvement particulier en lui incorporant du sable silicieux naturel sec de granulométrie 0/0,5. Comme indiqué plus loin, on cherche à obtenir un échantillon présentant, après compactage, un pourcentage de vide de 20 à 30 % en volume. Pour les calculs, il est tenu compte des masses volumiques moyennes des matériaux, à savoir $2,65 \text{ g/cm}^3$ pour le sable et $3,5 \text{ g/cm}^3$ pour les scories, sauf si les valeurs réelles sont connues au 1: Proportions en masse des différentes fractions granulométriques.

Les différentes fractions sont préparées par tamisage à partir de l'échantillon séché.

Dans le cas où l'échantillon à tester est d'un calibre d/D avec $d \geq 0$ mm, la préparation de fractions inférieures à 2 mm en quantité suffisante peut ne pas être obtenue; dans ce cas, il est convenu d'ajuster à 30 % (sur base volumique) la teneur en granulats inférieurs à 2 mm de chaque prélèvement particulier en lui incorporant du sable silicieux naturel sec de granulométrie 0/0,5. Comme indiqué plus loin, on cherche à obtenir un échantillon présentant, après compactage, un pourcentage de vide de 20 à 30 % en volume. Pour les calculs, il est tenu compte des masses volumiques moyennes des matériaux, à savoir $2,65 \text{ g/cm}^3$ pour le sable et $3,5 \text{ g/cm}^3$ pour les scories, sauf si les valeurs réelles sont connues.

La quantité de sable nécessaire pour chaque échantillon particulier se calcule comme exposé ci-après, en tenant compte de la quantité de granulats < 2 mm disponible par prélèvement (M_c). M_c est la masse totale des fractions 0/0,5 et 0,5/2 obtenues lors du tamisage divisée par le nombre d'échantillons nécessaires, y compris celui pour la détermination de la masse volumique absolue.

- Masse d'un échantillon: 4500 g (100 % scories).
- Masse totale nécessaire de granulats < 2 mm selon le tableau 1 (= 30 % de 4500 g): 1350 g
- Masse disponible de granulats < 2 mm: M_c
- Masse de sable naturel à ajouter (M_s): $M_s = ((1350 - M_c) \cdot 2,65) / 3,5$ (g)
- Masse de l'échantillon avec sable: $M_{cs} = 1350 + M_c + M_s$

La réduction de l'échantillon est exécutée conformément aux modes opératoires prescrits dans la norme NBN EN 932-2.

L'expansion est déterminée sur au moins deux échantillons prélevés séparément. Chaque échantillon est recombinaison séparément conformément à la distribution granulométrique mentionnée ci-dessus. La quantité de matériau requise pour chaque prélèvement particulier est de 4,5 kg (100 % scories ou de M_{cs} (scories + sable)). En complément, un échantillon identique est constitué pour déterminer la masse volumique absolue (CME 01.08).

Couvrir la base perforée du cylindre d'essai par un papier filtre rond (mat) et à l'aide d'une pelle de laboratoire, transférer l'échantillon préparé dans le cylindre (voir 3.1.)

La quantité de sable nécessaire pour chaque échantillon particulier se calcule comme exposé ci-après, en tenant compte de la quantité de granulats < 2 mm disponible par prélèvement (M_c). M_c est la masse totale des fractions 0/0,5 et 0,5/2 obtenues lors du tamisage divisée par le nombre d'échantillons nécessaires, y compris celui pour la détermination de la masse volumique absolue.

- Masse d'un échantillon: 4500 g (100 % scories).
- Masse totale nécessaire de granulats < 2 mm selon le tableau 1 (= 30 % de 4500 g): 1350 g
- Masse disponible de granulats < 2 mm: M_c
- Masse de sable naturel à ajouter (M_s): $M_s = ((1350 - M_c) \cdot 2,65) / 3,5$ (g)
- Masse de l'échantillon avec sable: $M_{cs} = 1350 + M_c + M_s$

La réduction de l'échantillon est exécutée conformément aux modes opératoires prescrits dans la norme NBN EN 932-2.

L'expansion est déterminée sur au moins deux échantillons prélevés séparément. Chaque échantillon est recombinaison séparément conformément à la distribution granulométrique mentionnée ci-dessus. La quantité de matériau requise pour chaque prélèvement particulier est de 4,5 kg (100 % scories ou de M_{cs} (scories + sable)). En complément, un échantillon identique est constitué pour déterminer la masse volumique absolue (CME 01.08).

Couvrir la base perforée du cylindre d'essai par un papier filtre rond (mat) et à l'aide d'une pelle de laboratoire, transférer l'échantillon préparé dans le cylindre (voir 3.1.) illustré à la figure 01.12A/1. Compacter ensuite dynamiquement l'échantillon sec sur la table vibrante (voir 3.6.) pendant 6 min à une fréquence de 50 Hz (amplitude 3 mm) et sous une charge statique de 0,035 kPa (produite par exemple par une pression d'huile).

Sous ces conditions d'essai, il subsiste dans le mélange un volume de vides de 20 à 30 % en volume, proche des conditions de la pratique.

Après compactage, déterminer le volume V_s de l'échantillon de scories qui est la différence entre le volume V_c du cylindre et le volume V_a de l'air entre la surface de l'échantillon de scories et le bord supérieur du cylindre. V_c et V_a sont calculés d'après les mesures effectuées au moyen de la tige de sondage (voir 3.7.); on calcule la moyenne des lectures effectuées en cinq points de mesure, l'un au centre et les quatre autres à (50-55) mm du bord sur deux diamètres se croisant à angle droit. Couvrir enfin la surface du mélange de scories à l'aide d'un filtre rond (mat) et ensuite avec une couche de perles de verre (voir 3.4.).

La masse totale de la couche de billes est de 1,5 kg. Les billes de verre sont distribuées régulièrement à l'intérieur du cylindre d'essai de manière à constituer une

surface plane. Afin de réduire le frottement entre chaque bille de verre, les lubrifier avant l'essai au moyen d'huile de silicone; pour une masse de 1,5 kg de billes, 1,5 g d'huile de silicone suffit.

Il faut renouveler la lubrification des billes de verre après chaque essai à la vapeur. Etant donné que de la chaux se dépose sur les billes de verre en cours d'essai, il est en outre nécessaire d'éliminer cette chaux, au minimum après quatre essais à la vapeur, à l'aide d'acide chlorhydrique dilué.

6. MODE OPÉRATOIRE DE L'ESSAI À LA VAPEUR

Lorsque la prise d'essai de scories a été recouverte de la couche de billes de verre, fixer le cylindre d'essai au générateur de vapeur et ajuster le manteau chauffant à la paroi externe du cylindre d'essai. Déposer alors la plaque perforée équipée du croisillon et la masse de lestage (voir 3.2.) sur la couche de billes. Fixer le comparateur, qui enregistre la levée de la surface de l'échantillon, à un statif rigide sur le générateur de vapeur. Après avoir enclenché le manteau chauffant et le générateur de vapeur, l'échantillon de scories se réchauffe, ce qui entraîne une expansion thermique. Afin de ne pas tenir compte des déformations dues à cette expansion thermique, ne mettre le comparateur à zéro qu'au moment où la vapeur commence à se dégager.

La durée totale de l'essai à la vapeur est de 24 h¹. A la fin de cette période, le soulèvement de la surface de l'échantillon d'essai est lu et calculé en % en volume par rapport au volume original (voir § 7).

La capacité du réservoir à eau du générateur de vapeur est d'une dimension permettant d'effectuer un essai à la vapeur pendant une période de 24 h.

Dans de nombreux cas, il est utile d'enregistrer la progression de l'augmentation de volume en fonction du temps. Comme c'est au début de l'essai à la vapeur que le gonflement se produit de la manière la plus marquée, il est recommandé d'effectuer les lectures à des intervalles de 15 min. Après 4 heures, l'intervalle peut être étendu à 60 min². Si l'augmentation de volume est suivie en fonction du temps, une interprétation détaillée des résultats d'essai est possible sur base des diagrammes enregistrés (cadence de gonflement en début d'essai, approche asymptotique d'une valeur limite en fin d'essai).

7. CALCULS

Le volume V_s de l'échantillon de scories est calculé avant l'étuvage à partir de l'équation suivante:

$$V_s = V_c - V_a$$

V_s est le volume de la prise d'essai de scories après compactage dans le cylindre d'essai, en centimètres cubes;

V_c est le volume du cylindre, en centimètres cubes;

V_a est le volume d'air entre la surface de l'échantillon de scories et le bord supérieur du cylindre, en centimètres cubes.

¹ La durée totale de l'essai à la vapeur est toutefois de 7 jours pour les scories de fours électriques dont la teneur en MgO total est supérieure à 5 %.

² Pour les scories E.A.F. dont la teneur en MgO total est > à 5 %, il est recommandé d'effectuer les lectures à des intervalles de 30 min. Après 8 heures, l'intervalle peut être étendu à 120 min. Après 48 heures, on procède à 2 lectures par jour.

Vc et Va sont calculés à partir de mesures de hauteur à la sonde et du diamètre (21 cm) du cylindre.

Après compactage, la masse volumique apparente et le pourcentage de vides du mélange compacté sont déterminés comme suit:

$$\rho_M = \frac{W}{V_S}$$

$$V_M = \left(1 - \frac{\rho_M}{\rho}\right) \cdot 100$$

où:

ρ_M est la masse volumique apparente du mélange compacté, en grammes par centimètre cube;

W est la masse du mélange compacté, en grammes;

V_M est le pourcentage de vide du mélange compacté, en volume %;

ρ est la masse volumique absolue du mélange 0/22, en g/cm³ (CME 01.08).

Après l'essai, calculer l'expansion en volume (%) d'après la déformation de l'échantillon lue au comparateur et le diamètre interne (21 cm) du cylindre d'essai, au moyen de l'équation suivante :

$$V = \frac{\pi \times h \times d^2}{4 \times V_S} \cdot 100$$

où:

V est l'expansion (en % en volume)

h est la déformation de l'échantillon après essai à la vapeur, en centimètres;

d est le diamètre intérieur (21 cm) du cylindre d'essai.

Lorsqu'un ajustement au moyen de sable a été nécessaire il faut rapporter l'expansion à la fraction volumique de scories réellement testée.

8. EXPRESSION DES RÉSULTATS

La moyenne arithmétique de l'expansion en volume, de deux prises d'essai est arrondie à 0,1 % près.

9. RAPPORT D'ESSAI

Le rapport d'essai doit contenir:

- le nom du producteur de la scorie;
- la durée du vieillissement;
- le calibre nominal du matériau fourni;
- l'ajout éventuel de sable pour la constitution des mélanges 0/22 testés: la masse M_s est mentionnée;
- la masse volumique absolue du mélange 0/22;
- la masse volumique apparente du mélange 0/22 compacté;
- le pourcentage de vide;
- l'expansion volumique après 24 h, arrondie à 0,1 %, avec l'enregistrement graphique s'il a été relevé (l'expansion volumique après 7 jours, lorsque la teneur en MgO est > à 5 %).

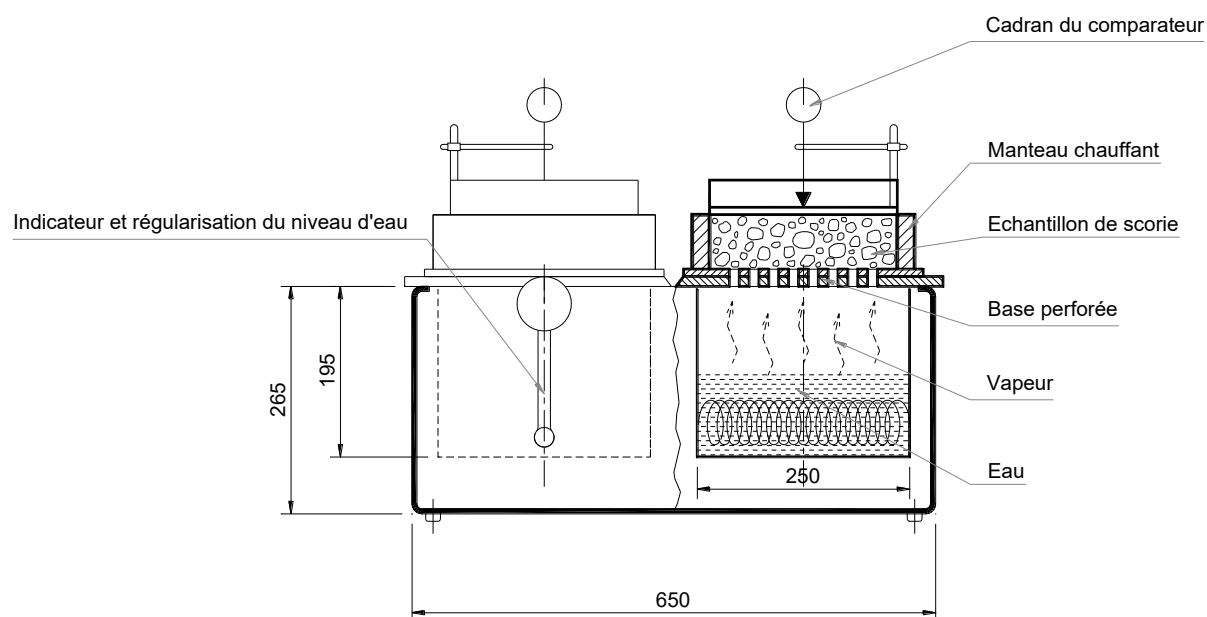


Fig. 01.12/A1

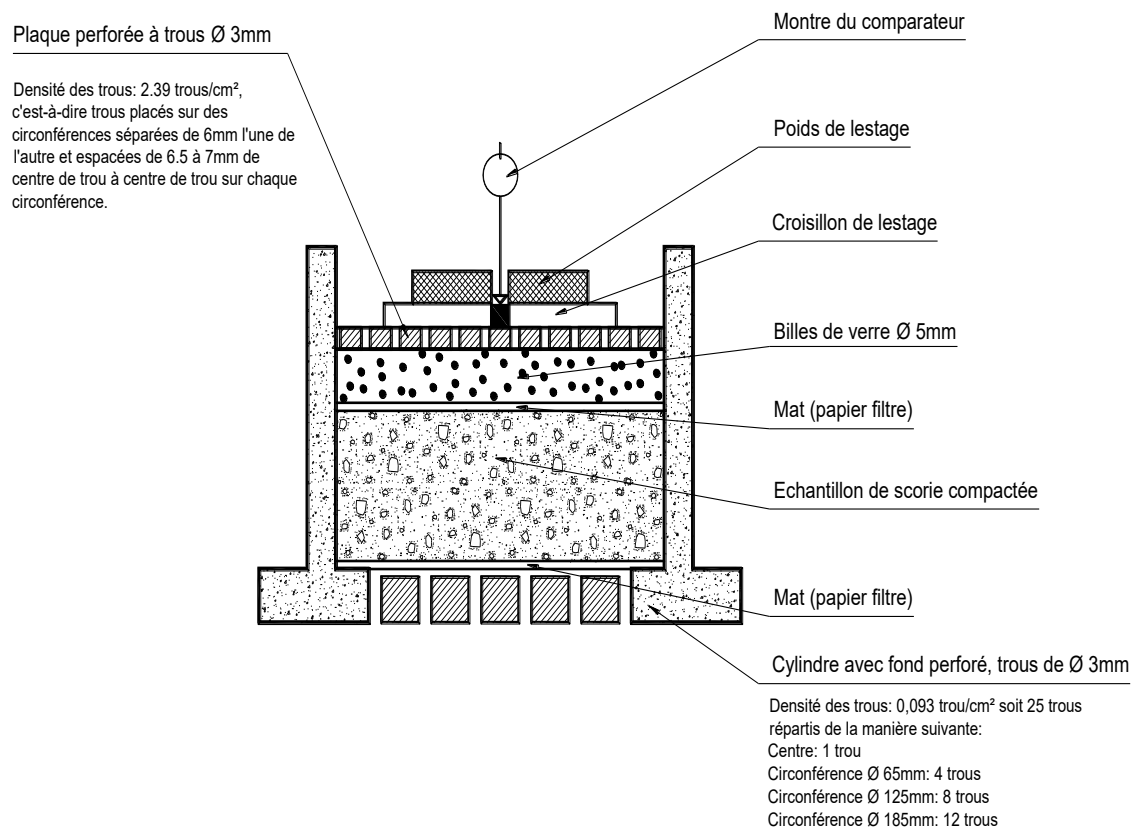


Fig. 01.12/A2

PARTIE 2 : GRANULATS POUR MELANGE BITUMINEUX

(Références de base :

- Circulaire AWA/178-95/150 – Annexe 5,
- Technische Lieferbedingungen und Richtlinien für die Güteüberwachung von Stahlwerksschlacken im Strassenbau – TL – SWS – StB, Ausgabe 1992. – Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, No 66, 19 octobre 1992, RdErl.d. Ministeriums für Stadtentwicklung und Verkehr v. 26.08.1992 – III B 6 – 30-05/199).

1. BUT DE L'ESSAI

Cet essai sert à estimer la stabilité volumique de scories d'aciérie utilisées pour la confection de revêtements bitumineux. La susceptibilité à former des gonflements locaux par la réaction de la chaux libre ou de la magnésie libre avec l'humidité est estimée au moyen d'une mesure directe et continue de la dilatation volumique.

Cette méthode est applicable pour un mélange dont la partie minérale (filler exclu) est constituée de scories.

2. PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Les éprouvettes type MARSHALL, fabriquées suivant le CME 54.16, d'une composition définie sont saturées d'eau sous vide et ensuite placées et maintenues à 40°C dans une cellule d'essai dans des conditions telles que l'humidité nécessaire à une réaction soit continuellement disponible. L'éprouvette est enrobée d'un mélange de vaseline et de paraffine. Cette éprouvette est surmontée d'un dispositif de mesure de variation de volume utilisant une colonne graduée contenant de l'eau distillée comme liquide de mesure.

Toute variation de volume de la scorie générée par la réaction de la chaux libre est transmise au liquide de mesure et peut être lue directement en cm³ sur la colonne graduée. Le résultat de l'essai est la variation de volume exprimée en % volumique par rapport au volume initial de l'éprouvette MARSHALL.

3. APPAREILLAGE ET MATIÈRES UTILISÉES

3.1. Cellule d'essai cylindrique en laiton munie d'une plaque de fond perforée, d'un couvercle pouvant être vissé et d'une colonne en verre graduée en ml montée de manière étanche (fig. 01.12A partie 2/1, qui comporte des informations techniques complémentaires).

3.2. Bain d'eau dont le fond est équipé d'une grille-support. Une régulation permet de maintenir les cellules d'essais à une température de $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ (profondeur minimum du bain d'eau: 16 cm).

3.3. Soucoupe à fond plat d'un diamètre utile d'au moins 15 cm et d'une profondeur de 3 cm.

3.4. Papier-filtre de \varnothing 10 cm.

3.5. Mélange de 80 % de vaseline à point de fusion de 25°C et de 20 % de paraffine (en masse).

3.6. Bitume 70-100 (B80).

3.7. Filler calcaire.

3.8. Eau distillée.

3.9. Produit d'étanchéité résistant à l'eau à 40° C (par exemple, colle au silicone, pour aquarium).

3.10. Huile à haute viscosité.

4. CONFECTION DES ÉPROUVETTES

Des éprouvettes «Marshall» sont confectionnées conformément aux prescriptions du CME 54.16 en respectant la composition suivante :

- liant bitumineux: bitume 70-100 (B80) 13,0 % -v
 - partie minérale: mélange de scories et de filler calcaire 81,5 % -v
 - pourcentage de vide dans l'éprouvette (par calcul) : 5,5 % -v
- total: 100,0 % -v

En fonction de la granularité des mélanges prévus sur chantier, la partie minérale est composée comme indiqué au tableau 01.12/1:

FRACTION GRANULOMETRIQUE	MELANGE 0 / 11,2	MELANGE 0 / 22
Filler calcaire	5	6
Scorie - 0,063 - 0,25	12	12
Scorie - 0,25 - 1,00	15	15
Scorie - 1,00 - 2,00	8	9
Scorie - 2,00 - 5,6	20	17
Scorie - 5,6 - 8,0	15	9
Scorie - 8,0 - 11,2	25	9
Scorie - 11,2 - 16,0	/	11
Scorie - 16 - 22	/	12
TOTAL (%)	100	100

Tableau 01.12/1 : Composition de la partie minérale (% en masse)

Le pourcentage de liant bitumineux exprimé en masse se calcule en tenant compte, d'une part, de la masse volumique et du volume de liant de l'éprouvette et, d'autre part, de la masse volumique et du pourcentage de vide fictif de la partie minérale de l'éprouvette obtenus par l'équation suivante :

$$B = \frac{100 \cdot B_V \cdot \rho_B}{\rho_{R,M}(100 - H_{M,bit}) + B_V \cdot \rho_B} \quad (\% \text{ en masse}) \quad (1)$$

où:

B = teneur en liant en % en masse;

B_V = teneur en liant en % volumique;

ρ_B = masse volumique du liant en g/cm³;

ρ_{R,M} = masse volumique apparente de la partie minérale;

H_{M, bit} = pourcentage de vide fictif de la partie minérale dans l'éprouvette.

Pour le calcul de la teneur en bitume selon l'équation (1), les valeurs suivantes peuvent être utilisées:

$B_V = 13,0$ % en volume;
 $\rho_B = 1,025$ g/cm³;
 $H_{M, bit} = 18,5$ % en volume.

De cette manière, l'équation (1) se simplifie en:

$$B = \frac{16,3}{\rho_{R,M} + 0,163} (\% \text{ en masse})$$

En appliquant un compactage conforme aux prescriptions et en utilisant un mélange hydrocarboné respectant la composition donnée ci-dessus, on obtient des éprouvettes Marshall comportant un pourcentage de vides de (5 à 6) %.

Le gonflement volumique doit être déterminé sur au moins 2 éprouvettes de chacun des deux mélanges comportant les pourcentages de liant suivant:

- a) Essai avec la teneur en liant calculée selon la méthode indiquée ci-dessus.
- b) Essai avec une teneur en liant calculée selon la méthode indiquée ci-dessus, et réduite de 0,5 % en masse de liant. Cet essai supplémentaire est demandé afin de pouvoir estimer l'influence sur le gonflement d'une erreur au niveau du dosage du liant.

5. MODE OPÉRATOIRE

Les éprouvettes Marshall sont tout d'abord saturées d'eau sous vide. Ceci permet de déterminer:

ρ_A masse volumique apparente;
 W_v absorption d'eau.

Ensuite, les éprouvettes sont positionnées dans le dispositif d'essai (fig. 01.12A partie 2/2) en utilisant une pince de laboratoire adéquate. La base des éprouvettes repose sur le fond perforé du dispositif d'essai sur lequel on a d'abord déposé un papier filtre. Ce dispositif est ensuite placé dans une soucoupe à fond plat, elle-même remplie d'eau de manière à ce que le fond perforé et le papier filtre soient tout juste recouverts par l'eau.

Il y a lieu de vérifier que d'éventuels rebords provenant de la confection des éprouvettes Marshall soient enlevés (grattés au couteau ou à la lime) et que l'éprouvette présente deux faces parfaitement planes et parallèles.

L'échantillon bien centré est ensuite enrobé d'un mélange vaseline-paraffine liquéfié par chauffage à $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$. Le niveau de recouvrement de l'éprouvette par cette paraffine est de (15 à 20) mm.

Après refroidissement et maintien de (10 à 30) minutes à température ambiante, le dispositif d'essai est rempli d'eau distillée désaérée jusqu'au niveau de la partie supérieure du filet de vissage du couvercle en laiton; celui-ci est ensuite vissé de manière étanche. Ensuite, toutes les bulles d'air sont évacuées, au moyen de la vanne de désaération du dispositif d'essai, de la cloche en verre et du tube gradué placés en même temps que le couvercle (fig. 01.12 partie 2/2).

Le dispositif d'essai préparé ainsi est placé avec la soucoupe sur une grille dans un bain d'eau régulé à $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ en maintenant continuellement la soucoupe jusqu'au positionnement sur la grille et puis la soucoupe d'essai est retirée de manière à ce que le fond perforé du dispositif d'essai soit en permanence immergé dans sa totalité

(il faut éviter l'entrée d'air dans le fond perforé). La hauteur du niveau d'eau du bac de maintien à 40 °C doit être ajustée de manière à atteindre le bas de l'échelle de mesure située sur le tube gradué. Ce niveau doit être maintenu durant toute la durée de l'essai (éventuellement par une régulation de niveau d'eau).

Le niveau d'eau dans le tube de mesure est tout d'abord réglé approximativement à environ 2 ml au-dessus du niveau de référence. Ensuite, après 2 heures de stabilisation en température à 40 °C, le zéro est réglé correctement au moyen de la vanne. Pour éviter l'évaporation de l'eau dans le tube de mesure, le ménisque est recouvert d'un mince film d'huile à haute viscosité.

La hauteur du niveau d'eau dans le tube de mesure est lue à heure fixe après 1, 3, 7, 14 et 28 jours, et arrondie à 0,1 ml.

6. EXPRESSION DES RÉSULTATS

Le gonflement de l'éprouvette est mesuré par l'intermédiaire de la variation du niveau d'eau dans le tube. La mesure exprimée en ml est l'expression chiffrée de ce gonflement V en cm^3 , il est exprimé en %, ramené au volume de départ de l'échantillon.

Le résultat de l'essai est la moyenne arithmétique du gonflement des 2 éprouvettes après 28 jours à 40 °C, arrondie au 0,1 % en volume.

Afin de pouvoir éventuellement extrapoler le comportement de l'éprouvette sur une durée supérieure, il est utile d'enregistrer les mesures et de les porter en diagramme.

7. RAPPORT D'ESSAI

Le rapport d'essai doit comporter :

- des données relatives au prélèvement, l'origine et la nature de la scorie d'aciérie contrôlée;
- la teneur en chaux libre de la scorie (% en masse);
- la durée du vieillissement;
- le calibre du mélange (0/11, 2 ou 0/22);
- l'absorption d'eau W_v des éprouvettes en % volumique;
- la masse volumique apparente (ρ_A);
- le pourcentage de vides H_{bit} des éprouvettes en % volumique;
- la durée de l'essai;
- le gonflement (valeurs individuelles des éprouvettes et moyenne arithmétique sur l'échantillon) en % volumique, avec éventuellement une représentation graphique des résultats.

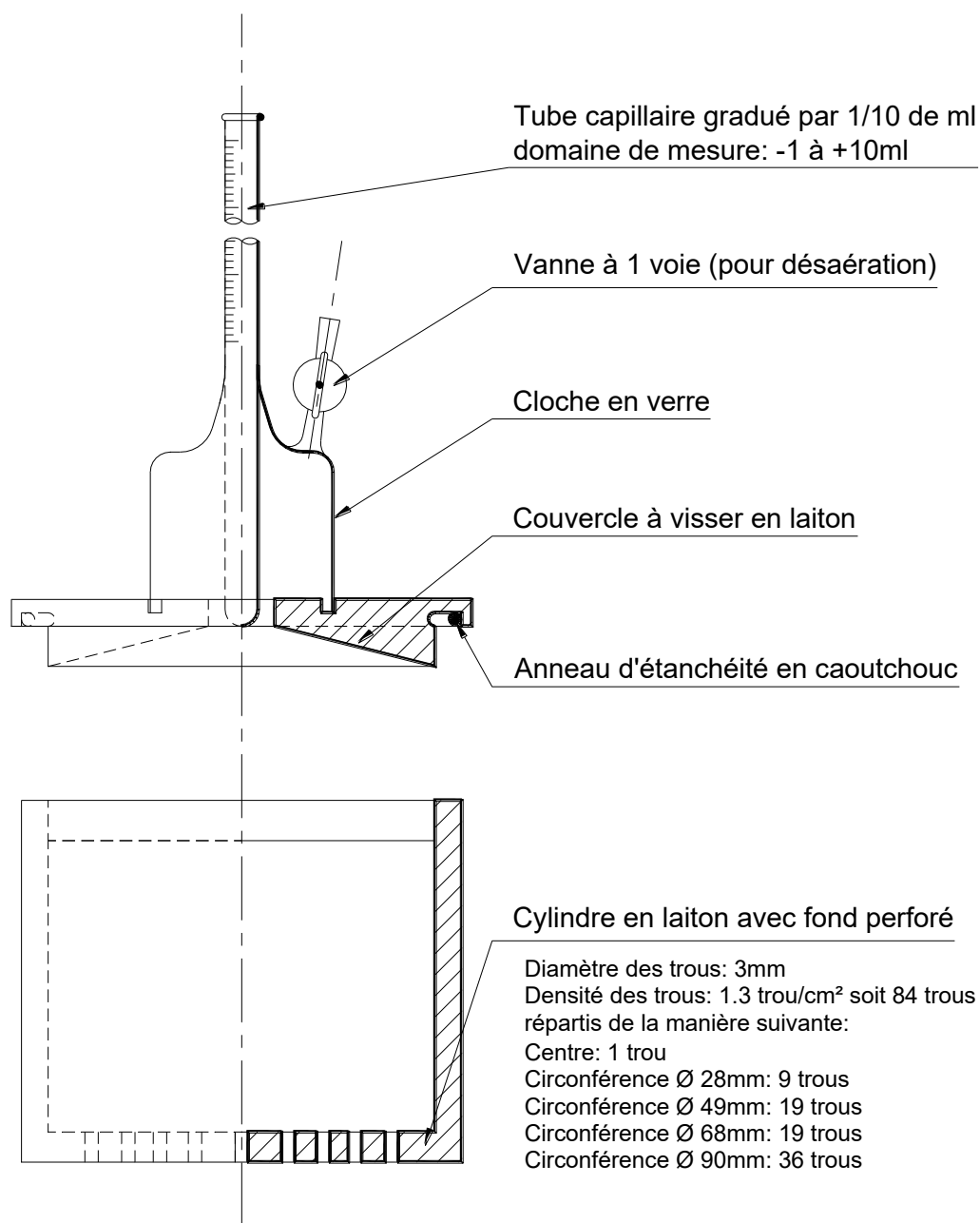


FIG. 01.12A - PARTIE 2/1 - DISPOSITIF DE GONFLEMENT
SUR EPROUVETTES MARSHALL

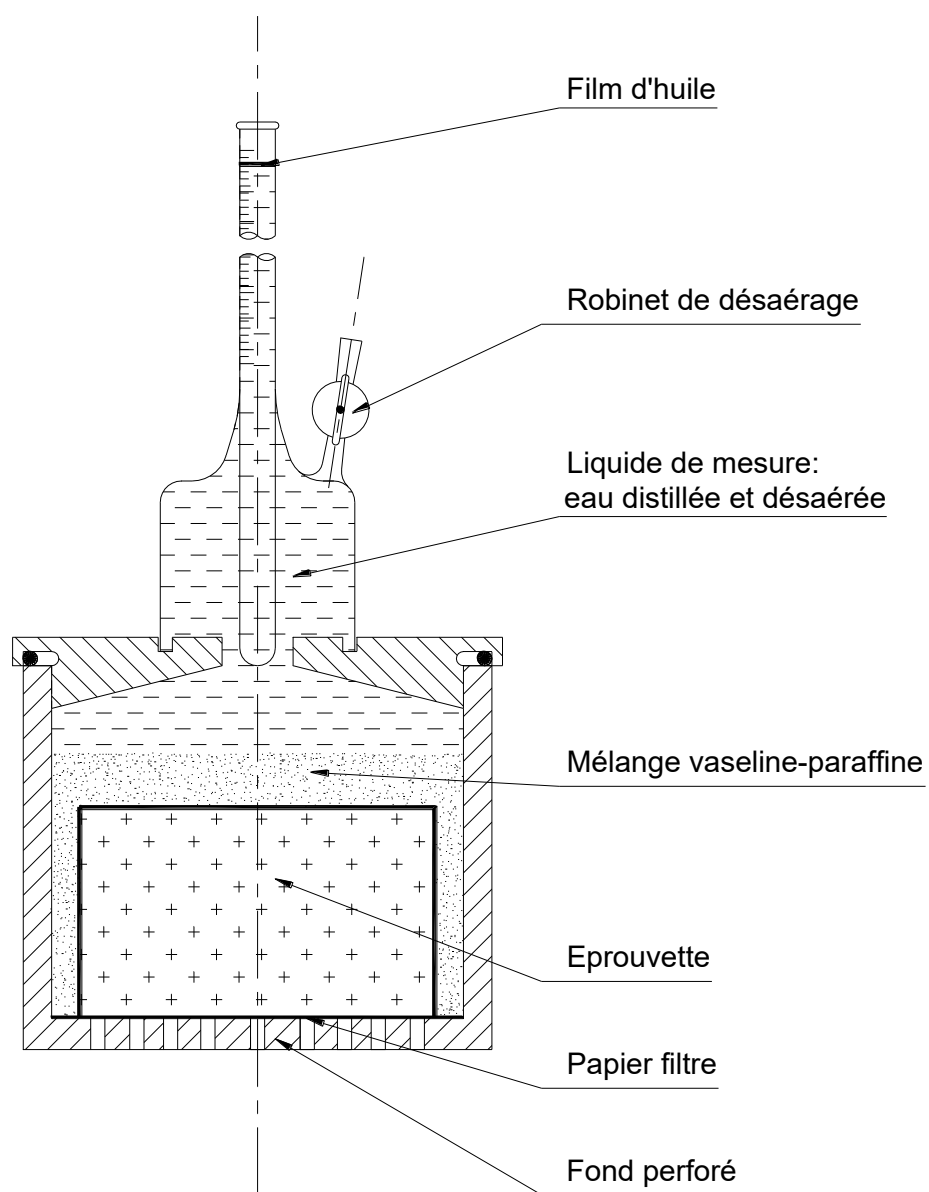


FIG 01.12A- PARTIE 2/2 SCHEMA DU DISPOSITIF AVEC EPROUVETTE
"MARSHALL" PLACÉE A L' INTERIEUR

01.12.B. ESSAI DE GONFLEMENT POUR LES AUTRES MATERIAUX ARTIFICIELS.

Référence de base: Méthode de mesure C.R.R. M.F. 67/93 : "Mode opératoire pour l'évaluation de la stabilité dimensionnelle des scories LD et de matériaux similaires: -
1) Essai de gonflement accéléré"

1. BUT DE L'ESSAI

Evaluer le potentiel de gonflement des matériaux artificiels et de réemplois autres que les scories LD et EAF.

2. PRINCIPE DE LA MÉTHODE

On mesure la dilatation linéaire, en fonction du temps et sous immersion dans l'eau, à une température de $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ d'une éprouvette cylindrique réalisée à partir de l'échantillon de matériaux à examiner. Si nécessaire, la teneur de la fraction inférieure à 2 mm est ajustée au moyen de sable siliceux naturel.

3. APPAREILLAGE ET PRODUITS

- Tamis à ouverture de mailles de (2 à 25) mm;
- Malaxeur pour matériaux de capacité au moins 10 kg;
- Gaine en plastique rigide (fig. 01.12B/1) fabriquée à partir d'un tuyau PVC à usage sanitaire :
 - diamètre extérieur: (100 - 101) mm;
 - hauteur $(120 \pm 0,2)$ mm;
 - épaisseur de la paroi: $(1,9 \pm 0,2)$ mm
- Disque de fond en plastique rigide de $(95 \pm 0,5)$ mm de diamètre et 10 mm d'épaisseur avec une petite rainure latérale pour faciliter son extraction;
- Moule Proctor Standard :
 - diamètre intérieur: 101,6 mm
 - hauteur: 117 mm
- Dame de compactage Proctor Standard :
 - diamètre: 50,5 mm
 - masse: 2,5 kg
 - hauteur de chute: 305 mm;
- Lame rigide à bord tranchant pour l'arasage;
- Petite dame d'un diamètre de (45 ± 5) mm (on peut par exemple utiliser un cylindre métallique de ce diamètre et d'une hauteur d'environ 100 mm);

Note: Les moules PROCTOR modifiés peuvent également convenir; dans ce cas, il faut adapter les dimensions des gaines et disques en plastique rigide et la dame de compactage.

- Enceinte cylindrique en plexiglas fermée par un couvercle permettant le passage de la tige d'un comparateur et le remplissage de ce réservoir selon le schéma de montage présenté à la fig. 01.12 B/1. Toute autre enceinte qui permet de reproduire assez fidèlement cette disposition peut convenir (par exemple bécier sans bec verseur). Les trois conditions suivantes sont cependant à respecter: un fond plan, un espace réduit entre l'éprouvette et la paroi de l'enceinte (1,5 cm maximum) et une assez bonne étanchéité au niveau du couvercle ;

Note: L'enceinte cylindrique en plexiglas n'est pas nécessaire si l'on plonge les éprouvettes directement dans un bain thermostaté (sans agitation).

- Disque en plastique rigide de (105 ± 1) mm de diamètre et 10 mm d'épaisseur (plaque de support); disque en plexiglas de (105 ± 1) mm de diamètre et d'environ 5 mm d'épaisseur (plaque de niveau);
- Comparateur avec précision de lecture au 0,01 mm;
- Dispositif de fixation du comparateur;
- Balance de 10 kg de capacité, sensibilité 0,1 g;
- Balance de 2 kg de capacité, sensibilité 0,01 g;
- Etuves réglables à $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ et à $(50 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ ou/et bain thermostatisé réglable à $(50 \pm 1)^{\circ}\text{C}$;
- Eau distillée ou déminéralisée;
- Sable siliceux naturel sec de granularité 0/0,5 mm et de masse volumique d'environ $2,65 \text{ g/cm}^3$ (ou valeur déterminée).

4. MODE OPÉRATOIRE

4.1. Nombre d'essais.

Le nombre d'essais est fixé à deux.

4.2. Préparation de l'échantillon.

1. L'échantillon de matériaux à analyser est pesé (masse P_1) puis tamisé sur le tamis à ouverture de maille de 25 mm. Le passant est ensuite homogénéisé. la quantité recueillie constitue l'échantillon d'essai et elle ne peut pas être inférieure à 8 kg. Le refus éventuel est pesé (masse P_2). Dans le cas où il dépasse 10 %, sa stabilité volumique est jugée au moyen de l'essai de délitement décrit au CME 01.11
2. On en prélève ensuite environ 2000 g, pesés exactement à 0,1 g près (masse P_3), sur laquelle on détermine:

a) la teneur en eau par séchage à $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante (masse P_4) à 0,1 g près:

$$W_o (\%) = \left(\frac{P_3 - P_4}{P_4} \right) \cdot 100$$

b) la fraction inférieure à 2 mm par tamisage de l'échantillon séché (masse P_5 à 0,1 g près).

La teneur de la fraction inférieure à 2 mm, T_s est calculée par la formule:

$$T_s (\%) = \frac{P_5}{P_4} \cdot 100$$

Si la teneur T_s obtenue est supérieure ou égale à 25 % et que W_o est supérieur à 4 %, on peut poursuivre les opérations de confection des éprouvettes en utilisant le solde de l'échantillon d'essai.

Si la teneur en eau W_o est inférieure à 4 %, il faut l'amener à $(5 \pm 1) \%$ par adjonction d'eau (cas n° 1, voir § suivant).

Dans le cas où T_s est inférieur à 25 % (cas n° 2, voir § suivant), il faut ajuster à 30 % (sur base volumique) la teneur de la fraction inférieure à 2 mm de l'échantillon d'essai en lui incorporant du sable naturel sec de composition granulométrique 0/0,5 (T_c %) et en tenant compte des masses volumiques mesurées des matériaux, à savoir ρ_s (g/cm^3) pour le sable et ρ_m (g/cm^3) pour les matériaux soumis à l'essai.

La teneur en masse du sable à ajouter est:

$$T_c = \frac{(30 - T_s) \rho_s}{\rho_m}$$

4.3. Préparation du mélange à compacter.

Lorsque T_s est $\geq 25 \%$ et $W_o > 4 \%$, on peut passer directement à la confection des éprouvettes.

Sinon:

Cas n° 1 ($W_o < 4 \%$)

On prélève au gramme près une masse de $5000 \cdot (1 + W_o/100)$ g de l'échantillon d'essai que l'on introduit dans le malaxeur et on lui incorpore $(250 - (W_o \cdot 50))$ g d'eau distillée ou déminéralisée. On mélange et on poursuit les opérations de confection des éprouvettes à partir de ce mélange.

Cas n°2 ($T_s < 25\%$)

On prélève au gramme près une masse de 5.000 g de l'échantillon d'essai. La quantité de sable sec à ajouter est calculée, en gramme, comme suit :

$$P_s (g) = \frac{T_c \cdot 5000}{70 \cdot (1 + W_o / 100)}^3$$

La quantité d'eau à incorporer éventuellement est déduite de la formule:

$$P_e (g) = 0,05 \cdot P_s + \left(\frac{5250}{(1 + W_o / 100)} - 5000 \right)^4$$

Le second terme (obtenu après simplification) représente la quantité d'eau qu'il faut ajouter à la prise de 5000 g de matériaux humide pour l'amener à $W = 5 \%$

Le mélange ainsi constitué est homogénéisé au malaxeur. On poursuit les opérations de confection des éprouvettes à partir de ce mélange.

4.4. Compactage Proctor Standard.

On effectue alors les pesées suivantes, à 0,1 g près:

- Le moule vide, contenant la gaine rigide en plastique (masse M_1)
- Le moule vide, contenant la gaine rigide en plastique ainsi que le disque de fond en plastique (masse M_2).

Le compactage se fait en 3 couches successives d'environ 3,5 cm d'épaisseur (correspondant chacune à environ 600 g de mélange), compactées chacune à raison de 25 coups de dame.

Les coups de dame doivent être bien répartis sur toute la surface de la couche de façon à obtenir un compactage aussi uniforme que possible.

³ Le chiffre 70 représente le pourcentage volumique final de la fraction "pierres" dans le mélange à réaliser. Cette fraction est constituée entièrement par les éléments supérieurs à 2 mm de l'échantillon d'essai.

⁴ $0,05 \cdot P_s$ est la quantité d'eau nécessaire pour amener le sable sec à $W = 5 \%$.

Le compactage est réalisé de manière à laisser un espace vide d'environ 1 cm dans le haut de la gaine en plastique.

On pèse le moule contenant le matériau compacté (masse M_3) à 0,1 g près.

Pour terminer la confection de l'éprouvette, on procède au remplissage successif des deux vides laissés aux extrémités de l'éprouvette avec du sable naturel contenant (8 à 9) % d'eau.

L'extrémité supérieur du moule est remplie de sable que l'on compacte légèrement avec la petite dame et que l'on arase ensuite avec la lame à bord tranchant.

On pèse l'ensemble (masse M_4) à 0,1 g près.

Puis on recommence l'opération à la base de l'éprouvette après avoir retourné la gaine dans le moule et retiré le disque de fond en plastique.

Après cette dernière opération, on pèse l'ensemble (moule + gaine + éprouvette + sable sans le disque de fond en plastique) (masse M_5) à 0,1 g près.

La seconde éprouvette est alors confectionnée de la même manière et, sur le solde du mélange (masse M_6), pesé à 0,01 g près, on détermine la teneur en eau par séchage à $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante (masse M_7):

$$W_m (\%) = \frac{M_6 - M_7}{M_7} \cdot 100$$

Les conditions choisies pour la préparation et le compactage du mélange conduisent à des éprouvettes dont la porosité se situe en général entre (25 et 30) %. Lorsque le matériau est plus fin (0/10 par exemple) avec une teneur en eau plus élevée (plus de 6 % par exemple), cette porosité peut atteindre une valeur de plus de 35 %.

4.5. Réalisation de l'essai.

L'éprouvette dans sa gaine est retirée du moule et placée verticalement sur sa plaque support dans le réservoir, sa face supérieure correspondant à la face supérieure du compactage.

On place alors la plaque de niveau qui repose à la fois sur le sable et sur le bord de la gaine, puis le couvercle et le comparateur selon le schéma de montage de la figure 01.12B/1.

On laisse reposer l'ensemble, à la température ambiante du laboratoire, pendant minimum 24 heures et maximum 72 heures. Le réservoir est progressivement rempli d'eau distillée ou déminéralisée jusqu'à un centimètre environ de la surface supérieure de l'éprouvette puis transféré dans une enceinte à température contrôlée de $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ (ou dans un bain thermostatisé).

Après une période d'environ 2 heures dans l'enceinte à 50°C , on procède à la première lecture du comparateur pour déterminer le point zéro (L_0). A partir de ce moment et à la même heure, on procède à la lecture du comparateur (L_t) une fois par journée de travail pendant une période de 28 jours calendrier.

La hauteur de l'éprouvette étant d'environ 100 mm, le pourcentage de dilatation linéaire est assimilé à la différence entre les lectures du comparateur ($\Delta h = L_t - L_0$), exprimées en millimètres avec deux décimales.

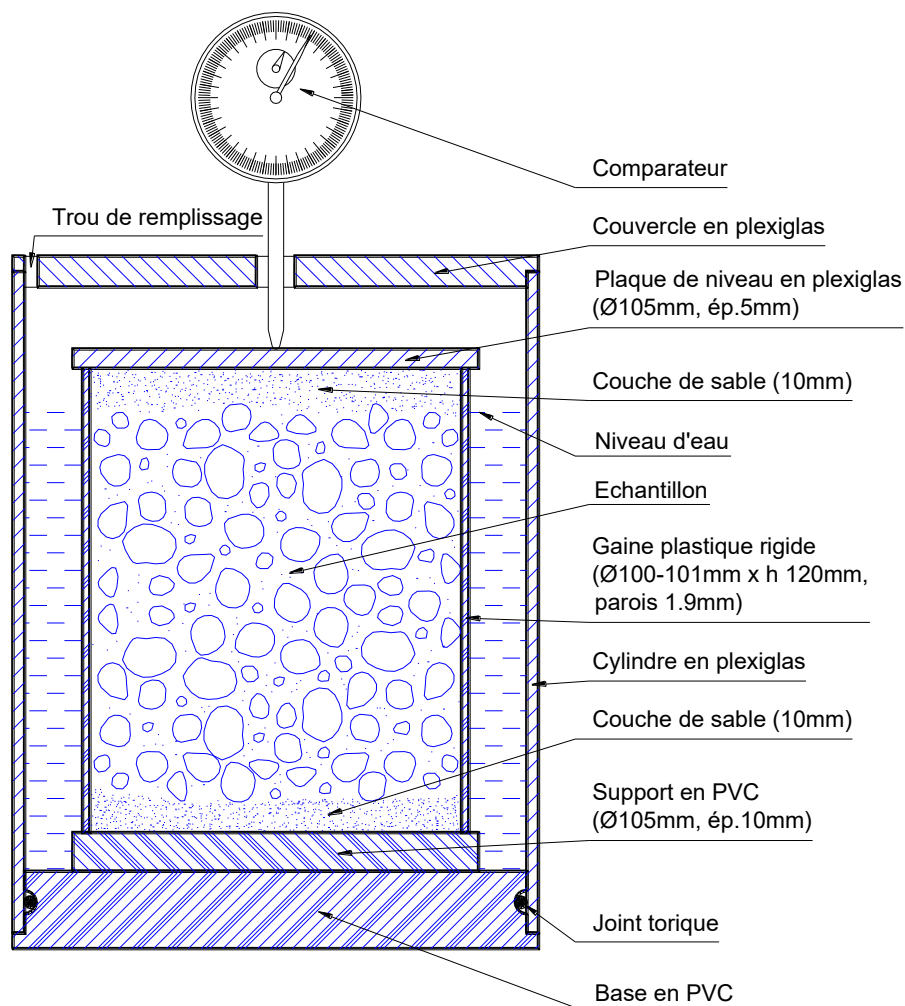
5. EXPRESSION DU RÉSULTAT

Le résultat final est la moyenne des deux pourcentages de dilatation linéaire, exprimée en pour cent avec une décimale. Les valeurs obtenues sont ensuite transposées graphiquement, en portant le temps en abscisse et la dilatation linéaire en ordonnée.

6. RAPPORT D'ESSAIS

Le rapport d'essais mentionne tous les résultats (individuels et moyenne) ainsi que les graphiques correspondants.

Fig. 01.12B/1 : EXEMPLE DE CELLULE DE GONFLEMENT



01.12.C Essai de gonflement pour les mâchefers traités (version 04/2025)

1. BUT DE L'ESSAI

Evaluer le potentiel de gonflement des mâchefers traités. On entend par mâchefers traités les matériaux solides produits par une installation effectuant le criblage, la séparation des métaux et la maturation de mâchefers bruts provenant d'unités autorisées d'incinération de déchets et n'ayant pas été mélangés ni avec des cendres volantes ni avec des cendres sous chaudière.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

On mesure la dilatation linéaire pendant au moins 28 jours à une température de $(50 \pm 1) ^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $(70 \pm 5) \%$ d'une éprouvette cylindrique réalisée à partir de l'échantillon de matériaux à examiner et avec une teneur en eau déterminée selon l'essai Proctor. Si nécessaire, la fraction supérieure à 20 mm est éliminée par criblage préliminaire.

3. APPAREILLAGE ET PRODUITS

- Tamis à ouverture de mailles de 20 mm.
- Malaxeur à circulation forcée ou tout autre équipement permettant le malaxage homogène du matériau à l'eau et/ou à un additif stabilisant.
- Moules fendus de forme cylindrique, de préférence en matière plastique, permettant de confectionner des éprouvettes dont la hauteur est le double du diamètre. Ces éprouvettes ont un diamètre défini dans la plage de $100 \text{ mm} \pm 15 \%$.

La tolérance sur le volume intérieur du moule est de $\pm 1,5 \%$ du volume nominal.

Ces moules doivent pouvoir être fermés sur la face inférieure pour pouvoir effectuer le compactage. Les moules fendus permettent le démoulage des éprouvettes.

- Appareil de compactage permettant la confection d'éprouvettes par les principes du vibrocompactage et qui doit comporter les éléments nécessaires pour délivrer au matériau dans le moule:
 - Une vibration dans le plan horizontal,
 - Une force verticale axiale croissante pendant le compactage de l'éprouvette d'une valeur maximale de 10 kN, appliquée au moyen d'un piston sur toute la section de l'éprouvette.

La combinaison de la vibration et de la force verticale doit être telle qu'elle permet le compactage d'une éprouvette du matériau à la masse volumique fixée dans un délai maximum égal à 45 s.

Note: cette description fait référence à la norme NBN EN 13286-52 (Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 52: Méthode de confection par vibrocompression des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques).

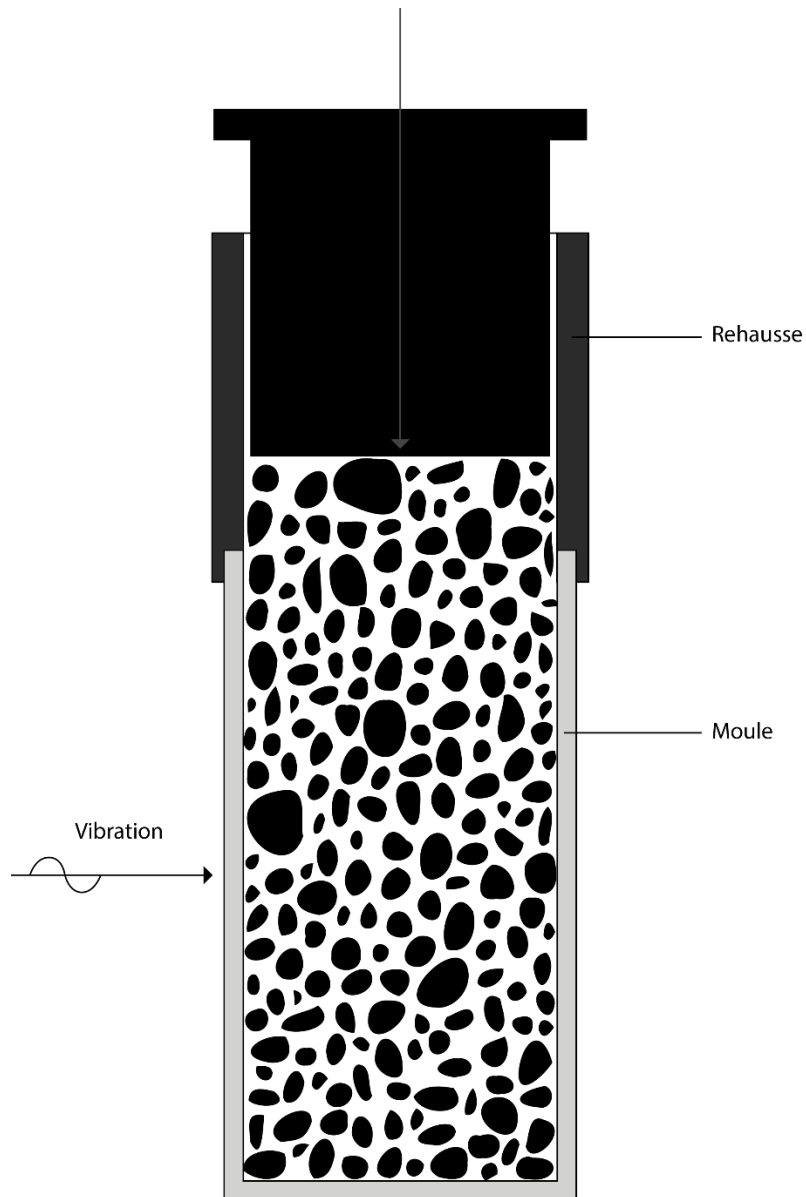


Fig. 01.12.C/1 : schéma de principe de compactage par vibrocompression

- Lame rigide à bord tranchant pour l'arasage de l'éprouvette après compactage.
- Balance de 3 kg de capacité minimale, sensibilité 0,1 g.
- Etuves ventilées, réglables à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
- Enceinte climatique réglable à $(50 \pm 1) ^\circ\text{C}$ et à $(70 \pm 5) \%$ d'humidité relative.
- Un dispositif permettant le démoulage de l'éprouvette à l'état intact.
- Un dispositif de mesure qui permet de mesurer la hauteur des éprouvettes en cinq points avec une précision de minimum 1 mm.

Note: en général, l'utilisation d'un pied à coulisse ne convient pas pour de telles mesures à cause de la fragilité des éprouvettes au moment de leur fabrication.

- Enceinte cylindrique en matière plastique fermée par un couvercle permettant le passage central de la tige d'un comparateur. Les dimensions de cette enceinte doivent respecter un espace réduit entre l'éprouvette et la paroi de l'enceinte de 30 mm maximum.
- Un fond plan à rebord en matière plastique rigide d'un diamètre suffisant pour recevoir l'enceinte cylindrique peut être utilisé pour poser l'éprouvette sur le statif de mesure de gonflement.

- Un statif de laboratoire, composé d'une plaque de base de dimensions minimales de 13 x 21 cm et d'une tige d'une longueur d'environ 40 cm.
- Un comparateur avec une plage de mesure de 0 à 25 mm et une précision de lecture de 0,01 mm.
- Dispositif de fixation du comparateur.
- Un disque circulaire de surcharge en acier ou en tout autre métal, de même diamètre que l'éprouvette et d'une masse de (1570 ± 10) g.

Note: Cette masse représente la surcharge moyenne d'une couche de 10 cm de béton bitumineux.

- Plateaux tarés ou récipients à couvercle pour la détermination de la teneur en eau des matériaux par étuvage à (110 ± 5) °C. Ces plateaux ou récipients ont un volume minimal de $(50 \times D)$ ml, D étant le diamètre des éléments les plus gros du matériau testé.
- Eau distillée ou déminéralisée.
- Papier aluminium de qualité commerciale.
- Feuille fraîcheur en polyéthylène de qualité commerciale.

4. MODE OPERATOIRE

4.1 Nombre d'essais.

Le nombre d'essais est fixe à deux.

4.2 Echantillon de laboratoire

L'échantillon de laboratoire représente au moins 50 kg de matériau sec du calibre 0/20 mm. Cet échantillon est prélevé à l'endroit de maturation des mâchefers traités, selon les dispositions de la norme belge NBN EN 932-1.

4.3 Préparation de l'échantillon

Dès réception de l'échantillon de laboratoire, ce dernier sera immédiatement séché dans une étuve ventilée à (110 ± 5) °C jusqu'à masse constante.

Ensuite, le matériau est éventuellement criblé sur le tamis à ouverture de maille, de 20 mm. Le passant est homogénéisé et est réduit à un échantillon d'essai de minimum 10 kg selon les modalités de la norme belge NBN EN 932-2.

4.4 Préparation du mélange à compacter

On introduit l'échantillon d'essai dans le malaxeur à circulation forcée ou équivalent et on lui incorpore de l'eau distillée ou déminéralisée pour obtenir une teneur en eau correspondante à la teneur en eau optimale du Proctor normal du matériau (W_{OPN}). Toute autre technique assurant l'obtention d'un mélange mécanique homogène est autorisée.

4.5 Confection d'éprouvettes

La masse m de matériau à introduire dans le moule est fonction du volume du moule V , de la masse volumique sèche imposée $\rho_{d\text{ OPN}}$, de la teneur en eau au compactage w_0 . Elle est donnée par la formule:

$$m = \frac{V \times \rho_{d\text{ OPN}} (100 + w)}{100}$$

La pesée est réalisée à 10 g près. Veiller à ce que la portion inutilisée de matériau présente visuellement une granulométrie semblable à celle de l'échantillon prélevé.

On pèse le moule, muni de son couvercle inférieur, à 0,1 g près. Noter cette masse M_0 en g. Placer le moule dans le compacteur.

Introduire le matériau dans le moule surmonté de sa rehausse. Placer le piston sur le matériau. Mettre en route la vibration horizontale, puis appliquer la compression verticale axiale à l'aide de l'appareillage décrit en 3.

La durée maximale de compactage doit être inférieure à 60 secondes. Si la durée est supérieure à cette valeur, il y a lieu de reconsidérer, soit la masse volumique sèche que l'on cherche à obtenir, soit la teneur en eau de compactage. Ces conditions sont également valables si la cohésion de l'éprouvette formée est insuffisante pour pouvoir la manipuler.

Après compactage, sans retourner le moule, vérifier la hauteur du matériau dans le moule. S'il apparaît une surépaisseur ou un manque de matériau, supérieurs à 2 mm, il faut rejeter cette éprouvette et en refaire une autre en modifiant, s'il y a lieu, les conditions de fabrication (voir aussi ci-dessus). Le cas échéant, il faut refaire un autre mélange. On ne peut en aucun cas réutiliser du matériau déjà compacté.

Si l'éprouvette se présente avec une surépaisseur inférieure à 2 mm, on peut l'araser à l'aide de la lame à bord tranchant.

Peser le moule avec l'éprouvette et son couvercle inférieur à 0,1 g près. Noter la masse M_1 en g.

La seconde éprouvette est alors confectionnée de la même manière. Sur le solde du mélange on détermine la teneur en eau au compactage w_0 en % selon les modalités de la norme belge NBN EN 1097-5.

4.6 Réalisation de l'essai

L'éprouvette est retirée du moule à l'aide d'un tube fendu. Lors de cette action, l'éprouvette doit rester à l'état intact. Ensuite on détermine la hauteur initiale de l'éprouvette par une mesure en cinq points avec une précision de 1 mm. La moyenne des ces mesures H_0 est exprimée en mm.

L'éprouvette est placée sur le fond plan et est prudemment entourée d'une feuille fraîcheur, puis d'une feuille en papier aluminium de façon à protéger l'éprouvette contre l'assèchement pendant la période d'essai.

On place alors la surcharge sur l'éprouvette, en veillant qu'elle soit bien centrée, et le tout est mis sous globe. L'ensemble est ensuite centré sur la plaque de base du statif de laboratoire avant de le transférer à l'enceinte climatique.

On installe la tige du comparateur au centre de la surcharge, de façon à ce qu'on puisse mesurer un gonflement de minimum 20 mm ainsi qu'un tassement de maximum 5 mm.

Un exemple de montage est montré à la figure 01.12C/2.

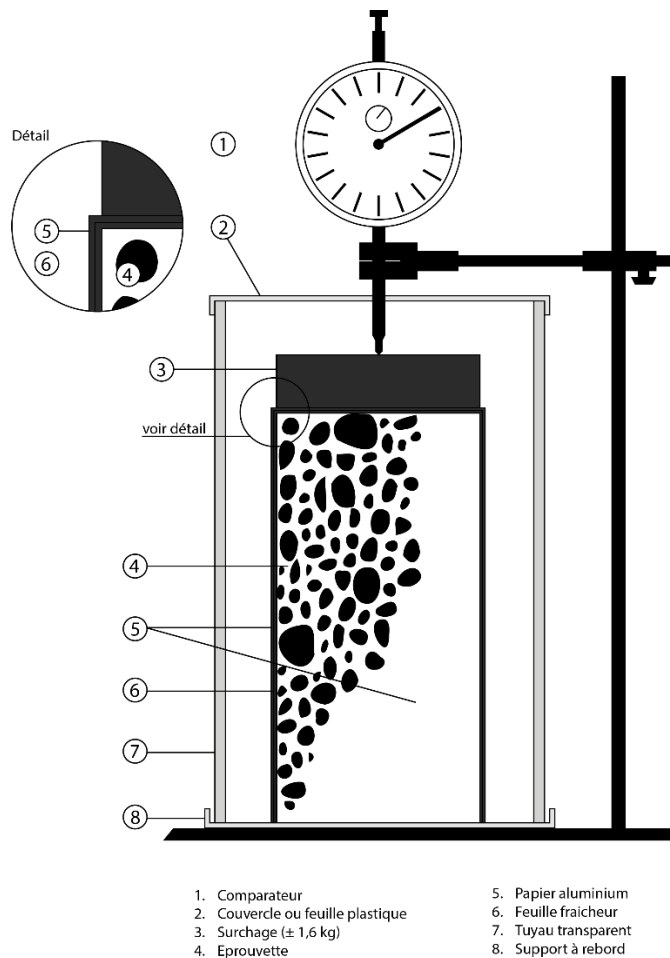


Fig. 01.12.C/2: Exemple de cellule de gonflement

On laisse climatiser l'ensemble des deux éprouvettes pendant au moins 1 heure avant d'exécuter la lecture initiale L_0 en mm. A partir de ce moment et à la même heure (si possible) on procède à la lecture du comparateur (L_1) une fois par journée de travail pendant une période minimale de 28 jours calendrier.

Note: S'il s'avère que le gonflement ne s'est pas stabilisé après 28 jours, on peut poursuivre les observations à titre informatif.

A la fin de l'essai, on enlève le comparateur, le globe, la surcharge et la protection de l'éprouvette. On observe l'état de l'éprouvette après l'essai sur le plan des déformations et d'existence de fissures et d'éclats. De préférence, on prendra une photographie de l'éprouvette.

Ensuite on mesure à nouveau l'épaisseur de l'éprouvette en cinq points dont on détermine la valeur moyenne H_1 en mm.

Finalement, on délite l'éprouvette afin de déterminer sa teneur en eau à la fin de l'essai W_1 (%).

5. CALCULS

On calcule consécutivement les paramètres suivants:

Masse de l'éprouvette humide avant l'essai $M_h = M_1 - M_0$

Masse de l'éprouvette sèche avant l'essai $M_s = M_h(1 + w_0)$

Masse volumique sèche de l'éprouvette $\rho_d = M_s/J$ (g/cm³)

Le gonflement linéaire à chaque lecture = $((L_1 - L_0)/H_0) \cdot 100$ (%).

Un exemple de formulaire d'essai est donné en annexe.

6. EXPRESSION DU RESULTAT

Le résultat final est la moyenne des deux pourcentages de dilation linéaire après 28 jours, exprimée en pourcent avec une décimale. Les valeurs obtenues pour les deux éprouvettes sont ensuite transposées graphiquement, en portant le temps (en jours) en abscisse et la dilatation linéaire (en %) en ordonnée. Un exemple de graphique est donné en annexe.

7. RAPPORT D'ESSAI

Le rapport d'essai comprend:

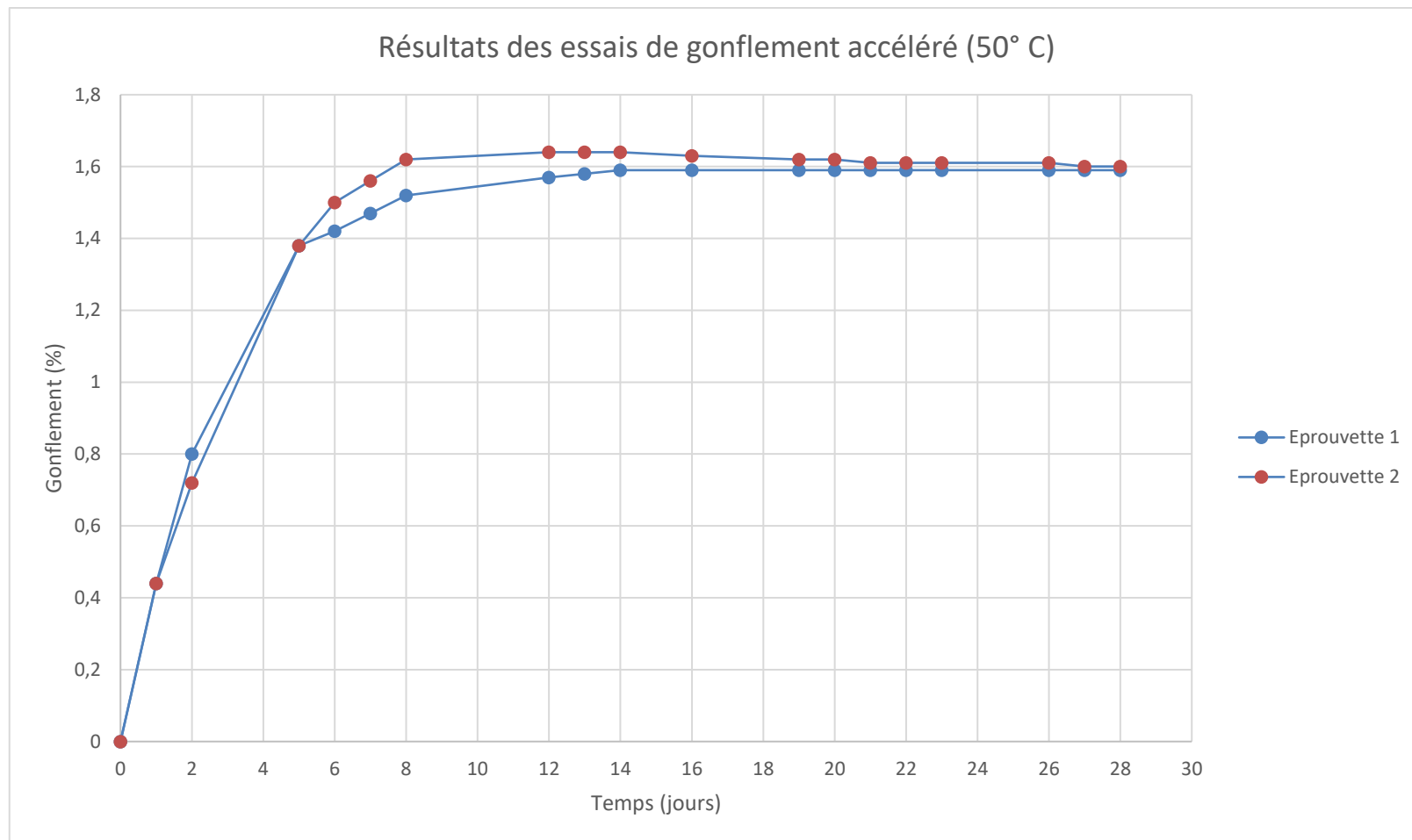
- La référence à ce mode opératoire;
- Toutes les données relatives au matériau testé;
- Tous les résultats (individuels et moyennes) ainsi que les graphiques correspondants.

Essai de gonflement accélérée sur mâchefers traités

Echantillon n°
Calibre
Provenance

Nature
Dossier
Demandeur

	Date	Heure	Opérateur	Temp (°C)	H.R. (%)	Lecture L1 (mm)	Gonflement ((L ₁ -L ₀)/H ₀ .100 (%)
Date du compactage							
W _{OPN}							
ρ _{dOPN}							
Moule n°							
Masse du moule M ₀ (g)							
Masse introduite m (g)							
Masse du moule + éprouvette humide M ₁ (g)							
Etat avant l'essai							
Teneur en eau au compactage w ₀ (%)							
Masse de l'éprouvette humide M _h =M ₁ -M ₀ (g)							
Masse de l'éprouvette sèche M _s =M _h /1+w ₀ (g)							
Diamètre de l'éprouvette ø (mm)							
Hauteur de l'éprouvette H ₀ (mm)							
Volume de l'éprouvette V (cm ³)							
Masse volumique sèche ρ _d = M _s /V (g/cm ³)							
Surcharge (g)							
N° du récipient pour la teneur en eau							
N° du comparateur							
Lecture initiale L ₀ (mm)							
Etat après l'essai							
Hauteur de l'éprouvette H ₁ (mm)							
Masse de l'éprouvette M ₂ (g)							
Teneur en eau w ₁ (%)							



01.19 VITESSE SISMIQUE DANS LES SOLS COMPACTS

01.24 PRELEVEMENT A LA LIVRAISON D'UN ECHANTILLON DE MATERIAUX POUR SOUS-FONDATION ET FONDATION DE TYPE GRANULAIRE (version 10/2018)

Référence de base: NBN EN 932-1

1. BUT DE L'ESSAI

Prélever un échantillon représentatif à la livraison d'un matériau granulaire en vue de la réalisation d'essais de laboratoire.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

Réaliser le prélèvement représentatif d'un échantillon de matériaux pour sous fondation ou fondation de type granulaire:

- Déverser le contenu du camion à faible allure sous forme d'andain sur une surface "propre".
- Araser la partie supérieure de l'andain de manière à obtenir une plateforme.
- Constituer un échantillon global à partir de plusieurs prises élémentaires.

3. EQUIPEMENT

- Pelle col de cygne ronde en acier.
Dimensions minimales de la partie en tôle: 25 x 25 cm



fig. 01.24/1 - pelle

- Contenants de transport propres, imperméables et non absorbants, de type sac en plastique d'au moins 100 µm d'épaisseur ou bac ou pot avec couvercle.
- Balance (précision 1 kg).

REMARQUE:

- alternativement à la balance, des récipients rigides de volume connu peuvent être utilisés. Dans ce cas, la masse volumique des produits en vrac est considérée comme étant égale à 1000 kg/m³.

4. MODE OPERATOIRE

Le contenu d'une livraison de matériau est déversé sur une surface « propre » (zone dégagée préalablement définie). Pour ce faire, le camion avancera à faible allure afin de déverser son contenu sous forme d'andain.



fig. 01.24/2 – déversement sous forme d'andain

REMARQUES:

- S'assurer de la propreté du bac de l'engin utilisé !
- Si le matériau à prélever est constitué d'un mélange de plusieurs matériaux, il appartient à l'adjudicataire de s'assurer que ceux-ci ont été correctement mélangés préalablement (soit en carrière soit sur site)

A l'aide d'un engin de chantier, araser le dessus de l'andain en un seul coup de bac à bord plat, afin d'obtenir une plateforme d'une hauteur d'environ 2/3 de la hauteur initiale de l'andain.



fig. 01.24/3 – arasement de l'andain & zone de prélèvement

REMARQUE:

- L'opérateur en charge de l'arasement prend soin de ne pas lisser la surface de la plateforme et de ne passer son bac qu'une seule fois sur la largeur de celui-ci.

Cette plateforme constitue la zone de prélèvement sur laquelle aucune autre opération ne peut être effectuée (pas de circulation d'engins ni de personnes aux endroits de prélèvement).

L'opérateur en charge du prélèvement réalise plusieurs prises élémentaires réparties de manière homogène dans la partie centrale de la plateforme.

REMARQUE:

- Il est recommandé d'exclure de la zone de prélèvement les bords de la plateforme (min 30cm).

Une prise élémentaire consiste à enfoncer une seule fois la pelle à col de cygne à la surface de la plateforme constituée du matériau homogène et foisonné. Il y a donc autant de prises élémentaires que d'emplacements de prélèvement.

Le nombre de prises élémentaires à réaliser est défini de manière à obtenir une quantité de matériau minimale permettant de répondre à la formule suivante:

$$10 \times \sqrt{D}$$

où D (en mm) correspond au calibre (d/D ou 0/D) du matériau granulaire à échantillonner. Cette quantité est indépendante de l'usage (sous-fondation ou fondation).

Les prises élémentaires sont ensuite rassemblées afin d'obtenir l'échantillon représentatif.

Le tableau ci-après reprend, à titre d'exemples, les quantités d'échantillon nécessaires pour les calibres les plus fréquemment utilisés.

D du calibre d/D ou 0/D (mm)	Masse minimale (kg)
20	45
31.5	56
40	63
63	80
80	89
90	95

Cet échantillon est réparti dans plusieurs contenants. Chaque contenant est identifié de façon claire et indélébile.

Le marquage doit comprendre:

- un code unique;
- le lieu et la date de l'échantillonnage;
- la désignation du matériau;
- le nombre de contenants dans lesquels l'échantillon est réparti.

À la réception au laboratoire d'essais, ce dernier reporte le numéro interne d'échantillon attribué sur les contenants correspondants.

REMARQUES:

- *Les échantillons de laboratoire sont emballés et transportés de façon à préserver leur état au moment de l'échantillonnage (teneur en eau, teneur en fines, ...).*
- *Si nécessaire, les conteneurs sont pourvus d'un couvercle étanche, par exemple, pour préserver l'humidité ou les matières volatiles des échantillons de laboratoire.*

5. RAPPORT DE PRÉLÈVEMENT

Le rapport est conforme au §11 de la norme NBN EN 932-1 et doit notamment comprendre les éléments suivants:

- l'identification du rapport;
- les coordonnées du projet;
- la date et le lieu de prélèvement;
- la référence du bon de livraison du camion échantillonné;
- le type de matériaux prélevés (classe granulaire ou désignation);
- le code unique repris sur le marquage de l'échantillon;
- la masse de l'échantillon prélevé;
- les observations réalisées pendant le prélèvement;
- les personnes présentes lors du prélèvement.

01.25 ESSAI DE SENSIBILITE AU GEL-DEGEL SPECIFIQUE AUX GRANULATS DONT LA RESISTANCE AU GEL-DEGEL EST DECLAREE F10

(version 04/2019)

Référence de base:

- NBN EN 1367-1: Essais pour déterminer les propriétés thermiques et l'altérabilité des granulats. Partie 1: détermination de la résistance au gel-dégel
- NBN EN 933-1: Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage

1. BUT DE L'ESSAI

Sur base de la teneur en fines, déterminer la sensibilité spécifique à des cycles de gel-dégel d'un granulat dont la résistance au gel-dégel est déclarée F10.

2. PRINCIPE DE LA METHODE

La norme NBN EN 1367-1 donne une méthode pour déterminer la résistance d'un granulat aux cycles de gel-dégel.

Pour certaines applications, des matériaux avec une plus grande sensibilité (F10) sont acceptables aux conditions suivantes :

- la teneur en fines ($\leq 63 \mu\text{m}$) produites lorsque le granulat est soumis à des cycles de gel-dégel est limitée ($\text{FF2} \leq 2\%$)

ET

- la somme de la teneur en fines initiale et de la teneur en fines produites précitées est limitée ($\text{FFt} \leq 5\%$).

Dès lors, en complément à la détermination de la résistance au gel-dégel selon NBN EN 1367-1, il y a lieu de procéder aux essais suivants :

- détermination de la teneur initiale en fines ($\leq 63 \mu\text{m}$) du granulat selon NBN EN 933-1;
- exposition du granulat exempt de fines aux cycles de gel-dégel définis dans l'essai NBN EN 1367-1;
- détermination de la teneur en fines ($\leq 63 \mu\text{m}$) produites par les cycles de gel-dégel selon NBN EN 933-1.

Ces essais sont limités à la fraction inférieure à 90 mm de l'échantillon, quel que soit son calibre.

3. APPAREILLAGE

- Appareillage selon la norme NBN EN 1367-1
- Appareillage selon la norme NBN EN 933-1, à l'exception des tamis
- Tamis de 90 mm et de $63 \mu\text{m}$ d'ouvertures de mailles (+ éventuellement un tamis de protection)
- 3 récipients (1 par éprouvette) de taille appropriée à l'armoire de congélation et permettant de limiter la hauteur d'échantillon dans le récipient

4. MODE OPERATOIRE

4.1. Préparation des échantillons

Préparer 3 éprouvettes d'un échantillon d/D par quartage selon la NBN EN 932-1.

Eliminer par tamisage à sec la fraction supérieure à 90 mm.

La masse minimale de chaque éprouvette écrétée à 90 mm est fixée conformément au tableau 1 de la NBN EN 1367-1, repris ci-après:

Granularité	Masse par éprouvette
$D \leq 16$	$(2000 \pm 100) \text{ g}$
$16 < D \leq 32$	$(4000 \pm 200) \text{ g}$
$D > 32$	$(6000 \pm 300) \text{ g}$

4.2. Teneur initiale en fines

Déterminer la teneur initiale en fines ($\leq 63 \mu\text{m}$) de chaque éprouvette selon la norme NBN EN 933-1 par lavage (sans récupération des fines) puis tamisage à sec sur un tamis de $63 \mu\text{m}$.

4.3. Exposition aux cycles de gel-dégel

Placer chaque éprouvette débarrassée de ses fines dans un récipient de taille appropriée à l'armoire de congélation et permettant de limiter la hauteur d'échantillon dans le récipient. L'utilisation de plusieurs récipients par éprouvette est interdite.

Imbiber chaque éprouvette selon le §8.1 de la norme NBN EN 1367-1.

L'exposer aux 10 cycles de gel-dégel définis au §8.2 de la norme NBN EN 1367-1.

4.4. Teneur en fines produites par les cycles de gel-dégel

A la fin du dixième cycle, pour chaque éprouvette, déterminer la teneur en fines ($\leq 63 \mu\text{m}$) produites par les cycles gel-dégel selon la norme NBN EN 933-1 par lavage puis tamisage à sec sur un tamis de $63 \mu\text{m}$.

5. RESULTATS

Calculer la teneur initiale en fines de chaque éprouvette conformément au §8.1 de la NBN EN 933-1 et donc arrondie à 0,1%.

Calculer la teneur initiale en fines de l'échantillon comme la moyenne arithmétique (=FF1) des résultats des 3 éprouvettes, arrondie à 0,1%.

Calculer la teneur en fines de chaque éprouvette après cycles de gel-dégel, conformément au §8.1 de la NBN EN 933-1 et donc arrondie à 0,1%.

Calculer la teneur en fines produites par les cycles de gel-dégel de l'échantillon comme la moyenne arithmétique (=FF2) des résultats des 3 éprouvettes, arrondie à 0,1%.

Calculer la teneur totale en fines comme la somme de la teneur initiale en fines et de la teneur en fines produites par les cycles de gel-dégel

FFt = FF1 + FF2, arrondie à 1%.

6. RAPPORT D'ESSAI

Les informations suivantes doivent être consignées dans le rapport d'essai :

- Référence à cette méthode;
- Identification du laboratoire;
- Identification de l'échantillon (origine, nature, calibre);
- Date de réception de l'échantillon;
- Date de l'essai;
- Masse sèche initiale de chaque éprouvette;
- Teneurs initiales en fines (=FF1) individuelles et moyenne ;
- Teneurs en fines produites par les cycles de gel-dégel individuelles et moyenne (=FF2);
- Teneur totale en fines (FFt).