

# RECOMMANDATIONS SYNTEC-INGÉNIERIE / USG SUR

**LES NORMES D'ESSAIS EN LABORATOIRE NF EN ISO 17892**



# PRÉAMBULE

**En France et dans plusieurs pays francophones, la réalisation des essais géotechniques de laboratoire sur sols s'est appuyée de longue date sur l'application des normes françaises d'essais en laboratoire de la série NF P94-xxx, publiées pour la plupart dans les années 1990.**

L'harmonisation au niveau international, ISO et CEN, des normes qui s'est opérée ces dernières années **a conduit à la publication entre 2014 et 2018 de la série des normes d'essais géotechniques en laboratoire NF EN ISO 17892-1 à 12 qui ont remplacé les normes françaises NF P94-xxx équivalentes, devenues ainsi caduques.** La mise en œuvre par les laboratoires des normes NF EN ISO 17892-xx a mis en évidence certains changements de pratique et parfois des difficultés d'application qui ont rendu difficile la mise en œuvre de ces nouvelles normes.

**Ceci a suscité un besoin de clarification auprès de la profession.** Le lancement en 2018 d'un groupe de travail commun, sous l'égide de Syntec-Ingénierie et de l'Union Syndicale Géotechnique (USG), sur la normalisation a permis ensuite la création d'un sous-groupe « Essais de mécanique des sols en laboratoire » dédié à la veille et à l'analyse des normes d'essais en laboratoire et plus particulièrement celles de la série NF EN ISO 17892-xx.

**Ce sous-groupe, qui regroupait des experts et des représentants de plusieurs laboratoires géotechniques en France, a fait le constat en 2020 que certaines normes NF EN ISO 17892-xx, bien que désormais en vigueur, n'étaient pas encore utilisées ou bien étaient appliquées de manière imparfaite et ce principalement par**

méconnaissance de l'existence de ces normes, ou en raison d'incompréhensions, d'erreurs de traduction ou de difficultés d'application de ces nouveaux textes, dont certains s'avéraient parfois très différents des normes françaises antérieures.

Ainsi, le sous-groupe de travail « Essais de mécanique des sols en laboratoire », mis en place sous l'égide de Syntec-Ingénierie et de l'Union Syndicale Géotechnique, s'est donné pour mission de faire une lecture détaillée de ces nouvelles normes NF EN ISO 17892-xx, afin d'établir des recommandations professionnelles précisant et commentant les normes, **pour favoriser et faciliter leur application dans l'ensemble des laboratoires d'essais géotechniques français.** Ce travail d'établissement de ces recommandations, incluant aussi la vérification de la traduction française des normes ISO, s'est étalé de 2021 à 2024.

**Le présent recueil compile les recommandations professionnelles d'accompagnement de la mise en œuvre des normes NF EN ISO 17892-xx, issues de ce travail.** Ces recommandations doivent se parcourir en parallèle de la lecture de chaque norme correspondante, afin de clarifier ou de compléter les chapitres ou paragraphes de la norme qui pourraient manquer de clarté ou de précision sur certains aspects.

**Grâce à ces recommandations, la volonté de Syntec-Ingénierie et de l'Union Syndicale Géotechnique, est de permettre une application systématique aisée ainsi qu'une compréhension et une interprétation uniformes de la série des normes NF EN ISO 17892-xx par l'ensemble des laboratoires français et francophones de mécanique des sols.**

REF. NORME	TITRE	DATE ET AMENDEMENTS
NF EN ISO 17892-1	Détermination de la teneur en eau	Décembre 2014 Amendement de Mai 2022
NF EN ISO 17892-2	Détermination de la masse volumique d'un sol fin	Décembre 2014
NF EN ISO 17892-3	Détermination de la masse volumique des particules solides	Décembre 2015
NF EN ISO 17892-4	Détermination de la distribution granulométrique des particules	Janvier 2018
NF EN ISO 17892-5	Essai de chargement par palier à l'oedomètre	Mars 2017
NF EN ISO 17892-7	Essai de compression uniaxiale	Février 2018
NF EN ISO 17892-8	Essai triaxial non consolidé non drainé	Mars 2018
NF EN ISO 17892-9	Essais en compression à l'appareil triaxial consolidés sur sols saturés	Avril 2018
NF EN ISO 17892-10	Essai de cisaillement direct	Décembre 2018
NF EN ISO 17892-11	Essais de perméabilité	Février 2019
NF EN ISO 17892-12	Détermination des limites de liquidité et de plasticité	Juillet 2018 Amendement de Septembre 2021 et Mars 2022

## **ANIMATEUR DU GROUPE ET EXPERTS**

Reboul Michaël, TECHNOSOL  
Bador Cédric, GEOTECHNIQUE SAS  
Cariou Rémi, INFRANEO  
Champroy Delphine, GEOTEC  
Cuinet Jean-Michel, HYDROGEOTECHNIQUE  
Dufour Julien, EDF - TEGG  
Guilleman Cyril, FONDASOL  
Magnan Jean-Pierre, UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL  
Nerot Laetitia, GINGER-CEBTP  
Poirier Aymeric, ALIOS  
Portier Daniel, GINGER-CEBTP  
Rogoff Irina, EDF - TEGG  
Schohn Mathieu, EDF - TEGG  
Tacita Jean-Louis, TECHNOSOL  
Tomasi Simon, HYDROGEOTECHNIQUE  
Zerhouni Moulay, FONDASOL

# NF EN ISO 17892-1 (DÉCEMBRE 2014) ET AMENDEMENT A1 (MAI 2022)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

**Partie 1 : Détermination de la teneur en eau**

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	<b>6</b>
3.1. TENEUR EN EAU W	
3.2. TENEUR EN FLUIDE W <sub>FL</sub>	<b>6</b>
<b>4. APPAREILLAGE</b>	
4.1. ÉTUVE	
4.2. THERMOMÈTRE	
4.3. BALANCE	
4.4. RÉCIPIENTS POUR ÉPROUVETTES	
4.4.1.	
4.4.2.	
4.5. DESSICCATEUR	
<b>5. MODE OPÉRATOIRE D'ESSAI</b>	<b>6</b>
5.1. PRÉPARATION DE L'ÉPROUVETTE	
5.1.1.	
5.1.2.	
5.1.3.	
5.1.4.	
5.1.5.	
5.2. MODE OPÉRATOIRE	<b>6</b>
5.2.1.	
5.2.2.	<b>6</b>
5.2.3.	
5.2.4.	
5.2.5.	
5.2.6.	
5.2.7.	
5.2.8.	<b>6</b>
<b>6. RÉSULTATS D'ESSAI</b>	
<b>7. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>6</b>
<b>ANNEXE A (NORMATIVE)</b>	
A.1 - EXIGENCES GÉNÉRALES	
A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	
A.3 - APPAREILLAGE	
<b>ANNEXE B (INFORMATIVE)</b>	
<b>ANNEXE C (INFORMATIVE)</b>	
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

### 3. TERMES ET DÉFINITIONS

#### 3.2. TENEUR EN FLUIDE $w_{fi}$

La teneur en fluide (notamment : eau salée) n'est pas l'objet du protocole de mesures présenté dans cette norme.

### 5. MODE OPÉRATOIRE D'ESSAI

#### 5.2. MODE OPÉRATOIRE

##### 5.2.2.

Dans le cas de sols sensibles à la chaleur (notamment : sols organiques ou contenant du gypse ou d'autres minéraux ayant une quantité notable d'eau chimiquement liée), la température d'étuvage doit être de 50 °C +/- 5 °C.

Le même critère de masse constante devra être atteint (variation de masse du sol sec entre 2 mesures, inférieure à 0,1 % pour une durée de séchage à l'étuve de 1 h au minimum).

##### 5.2.3.

Il est recommandé de respecter une durée minimale de séchage de 24h quelle que soit la nature du sol.

##### 5.2.8.

> Il peut être approprié de calculer également la teneur en fluide,  $w_{fi}$  (voir l'Annexe C).

### 7. RAPPORT D'ESSAI

a. Il convient de préciser sur le PV le mode de conditionnement de l'échantillon.

## NF EN ISO 17892-2 (DÉCEMBRE 2014)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

**Partie 2 : Détermination de la masse volumique d'un sol fin**

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	9
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	
3.1. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE P	
3.2. MASSE VOLUMIQUE SÈCHE P <sub>D</sub>	
<b>4. APPAREILLAGE</b>	9
4.1. MÉTHODE PAR MESURAGE DES DIMENSIONS GÉOMÉTRIQUES	9
4.2. MÉTHODE PAR IMMERSION DANS UN FLUIDE (PESÉE HYDROSTATIQUE)	9
4.3. MÉTHODE PAR DÉPLACEMENT D'UN FLUIDE	
<b>5. MODE OPÉRATOIRE D'ESSAI</b>	9
5.1. MÉTHODE PAR MESURAGE DES DIMENSIONS GEOMÉTRIQUES	
5.1.1. Généralités	
5.1.2. Éprouvette issue d'un bloc d'échantillon	
5.1.3. Éprouvette extraite du carottier	
5.1.4. Éprouvette cylindrique de diamètre inférieur à celui du carottier	9
5.1.5. Mesurages	
5.2. MÉTHODE PAR IMMERSION DANS UN FLUIDE (PESEE HYDROSTATIQUE)	
5.2.1. Préparation de l'appareillage	
5.2.2. Préparation de l'éprouvette et mesurages	9
5.3. MÉTHODE PAR DÉPLACEMENT D'UN FLUIDE	9
5.3.1. Préparation de l'appareillage	10
5.3.2. Préparation de l'éprouvette et mesurages	
<b>6. RÉSULTATS D'ESSAI</b>	
<b>6.1. VOLUME</b>	
6.1.1. Méthode par mesurage des dimensions géométriques	
6.1.2. Méthode par immersion dans un fluide (pesée hydrostatique)	
6.1.3. Méthode par déplacement d'un fluide	
<b>6.2. MASSE VOLUMIQUE</b>	
<b>6.3. MASSE VOLUMIQUE SÈCHE</b>	
<b>7. RAPPORT D'ESSAI</b>	10
<b>ANNEXE A - ÉTALONNAGE, ENTRETIEN ET CONTROLES (NORMATIVE)</b>	
A.1 - EXIGENCES GÉNÉRALES	
A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	
A.3 - APPAREILLAGE	
<b>ANNEXE B - EXPLICATIONS (INFORMATIVE)</b>	
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

a. La méthode par mesurage des dimensions géométriques inclut l'utilisation de la trousse coupante.

b. et c. L'imperméabilisation de l'échantillon doit être systématique et doit empêcher toute pénétration de fluide dans l'échantillon. L'échantillon doit par exemple être recouvert de paraffine.

## 4. APPAREILLAGE

### 4.1. MÉTHODE PAR MESURAGE DES DIMENSIONS GÉOMÉTRIQUES

Il faut comprendre ici par « trousse coupante » un emporte-pièce.

### 4.2. MÉTHODE PAR DÉPLACEMENT D'UN FLUIDE

La dimension du récipient ne doit pas être trop grande, mais juste adaptée à celle de l'éprouvette.

## 5. MODE OPÉRATOIRE D'ESSAI

Il est recommandé d'utiliser des éprouvettes de masse comprise entre 100 et 500 g.

### 5.1.4 Éprouvette cylindrique de diamètre inférieur à celui du carottier

La méthode dite de la « trousse coupante » rentre dans cette catégorie. Les dimensions de la trousse coupante doivent être adaptées à la nature et à la granulométrie ( $D_{max}$ ) du matériau.

### 5.2.2 Préparation de l'éprouvette et mesurages

#### 5.2.2.9

Si pendant cette étape la lecture de la masse déjaugée varie, cela signifie que l'éprouvette n'est pas parfaitement étanche.

Il convient alors de reprendre l'essai en améliorant l'imperméabilisation.

### 5.3 MÉTHODE PAR DÉPLACEMENT D'UN FLUIDE

Cette méthode est rarement utilisée dans la pratique française.

## 5.3.1 Préparation de l'appareillage

### 5.3.1.1

La dimension du récipient ne doit pas être trop grande, mais juste adaptée à celle de l'éprouvette.

## 7. RAPPORT D'ESSAI

b. Il convient de préciser sur le PV le mode de conditionnement de l'échantillon.

## NF EN ISO 17892-3 (DÉCEMBRE 2015)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

**Partie 3 : Détermination de la masse volumique des particules solides**

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	<b>13</b>
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	
3.1. MASSE VOLUMIQUE DES PARTICULES SOLIDES PS	
<b>4. APPAREILLAGE</b>	<b>13</b>
4.1. EXIGENCES D'ÉTALONNAGE	
4.2. GÉNÉRALITES	
4.2.1.	
4.2.2.	
4.2.3.	
4.2.4.	13
4.2.5.	
4.3. APPAREIL À DÉPLACEMENT DE LIQUIDE	13
4.3.1.	13
4.3.2.	
4.3.3.	
4.3.4.	
4.3.5.	
4.4. APPAREIL À DÉPLACEMENT DE GAZ	
4.4.1.	
4.4.2. Gaz comprimé	
<b>5. PROCÉDURES D'ESSAI</b>	<b>13</b>
5.1. MÉTHODE DU PYCNOMÈTRE A LIQUIDE	13
5.1.1. Généralités	
5.1.2. Mesures de référence	
5.1.3. Exigences relatives à l'éprouvette	
5.1.4. Mode opératoire d'essai	13
5.2. MÉTHODE DU PYCNOMÈTRE À GAZ	
5.2.1. Généralités	
5.2.2. Mesures de référence	
5.2.3. Exigences relatives à l'éprouvette	
5.2.4. Mode opératoire d'essai	
<b>6. RÉSULTATS DES ESSAIS</b>	<b>13</b>
6.1. MÉTHODE DU PYCNOMETRE À LIQUIDE	
6.1.1. Masse sèche de l'éprouvette	
6.1.2. Masse volumique des particules solides	13
6.2. MÉTHODE DU PYCNOMETRE A GAZ	
6.2.1. Masse sèche de l'éprouvette	
6.2.2. Volume de l'éprouvette	
6.2.3. Masse volumique des particules solides	
<b>7. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>14</b>

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

Jusqu'à présent, la pratique française considérait la réalisation d'essais sur la fraction de sol dont la dimension des particules est inférieure à 2 mm.

## 4. APPAREILLAGE

### 4.2.4.

Par « tirage forcé », il faut ici comprendre une étuve à circulation d'air forcée (exemple : étuve ventilée).

## 4.3. APPAREIL À DÉPLACEMENT DE LIQUIDE

### 4.3.1.

Le volume maximum du pycnomètre doit être adapté à la taille de l'échantillon. Un volume trop grand peut dégrader la précision de la mesure.

## 5. PROCÉDURES D'ESSAI

### 5.1. MÉTHODE DU PYCNOMÈTRE À LIQUIDE

#### 5.1.4.1. Éprouvettes séchées à l'étuve (méthode A)

##### 5.1.4.1.2.

Il convient d'attirer l'attention sur la nécessité de séparer les particules des agrégats de sols très argileux, notamment en utilisant les méthodes citées ici.

#### 5.1.4.2. Éprouvettes humides (méthode B)

##### 5.1.4.2.2.

Il convient d'attirer l'attention sur la nécessité de séparer les particules des agrégats de sols très argileux, notamment en utilisant les méthodes citées ici.

## 6. RÉSULTATS DES ESSAIS

### 6.1.2. Masse volumique des particules solides

Le dépouillement doit intégrer la variation de la masse volumique du liquide d'essai en fonction de la température.

## 7. RAPPORT D'ESSAI

d. Il convient de préciser également dans le rapport la fraction granulométrique ou le  $D_{\max}$  de l'éprouvette soumise à essai

## NF EN ISO 17892-4 (JANVIER 2018)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

**Partie 4 : Détermination de la distribution granulométrique des particules**

# SOMMAIRE

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

## 2. RÉFÉRENCES NORMATIVES

## 3. TERMES ET DÉFINITIONS

### 3.1. TAMISAGE

### 3.2. SÉDIMENTATION

### 3.3. GRANULOMÉTRIE

### 3.4. DISPERSION

### 3.5. COAGULATION

### 3.6. DIAMÈTRE ÉQUIVALENT DES PARTICULES

## 4. APPAREILLAGE

18

### 4.1. GÉNÉRALITÉS

18

4.1.1 - Balances

4.1.2 - Étuve de séchage

18

4.1.3 - Dispositifs de mesure du temps

4.1.4 - Dispositifs de mesure de la température

4.1.5 - Dessiccateur

4.1.6 - Récipients pour éprouvette

4.1.7 - Séparation d'échantillon après pré-traitement

### 4.2. MÉTHODE DE TAMISAGE

18

4.2.1 - Tamis de contrôle

18

4.2.2 - Agitateur de tamis mécanique (facultatif)

4.2.3 - Appareillage accessoire

### 4.3. MÉTHODE DU DENSIMÈTRE

18

4.3.1 - Densimètre

4.3.2 - Tube cylindrique de sédimentation

18

4.3.3 - Bain-marie (facultatif)

4.3.4 - Agitateur mécanique ou mélangeur

### 4.4. MÉTHODE DE LA PIPETTE

18

**Cette méthode est rarement appliquée aujourd'hui en France.**

4.4.1 - Pipette

4.4.2 - Tubes cylindriques de sédimentation

4.4.3 - Récipients pour éprouvettes prélevées à la pipette

4.4.4 - Bain-marie (facultatif)

4.4.5 - Agitateur mécanique ou mélangeur

4.4.6 - Centrifugeuse (facultatif)

### 4.5. RÉACTIFS

18

4.5.1 - Généralité

4.5.2 - Eau

18

4.5.3 - Agent dispersant

18

4.5.4 - Peroxyde d'hydrogène (facultatif)

4.5.5 - Acide chlorhydrique (facultatif)

<b>5. PROCÉDURES D'ESSAI</b>	<b>19</b>
5.1. SÉLECTION DE LA MÉTHODE D'ESSAI	19
5.2. MÉTHODE DE TAMISAGE	19
5.2.1 - Généralités	
5.2.2 - Préparation de l'éprouvette	19
5.2.3 - Mode opératoire d'essai	19
5.3. MÉTHODE DU DENSIMÈTRE	20
L'application de cette méthode est recommandée	
5.3.1 - Généralités	
5.3.2 - Préparation de l'éprouvette	20
5.3.3 - Mode opératoire d'essai	21
5.4. MÉTHODE DE LA PIPETTE	21
Cette méthode est aujourd'hui rarement pratiquée en France.	
5.4.1 - Généralités	
5.4.2 - Préparation de l'éprouvette	
5.4.3 - Mode opératoire d'essai	
5.5. ESSAIS COMBINÉS	
5.5.1 -	
<b>6. RÉSULTATS D'ESSAIS</b>	<b>22</b>
6.1. TAMISAGE	
6.1.1 - Fraction des particules passant au travers de chaque tamis	
6.2. DENSIMÈTRE	22
6.2.1 - Masse sèche totale	
6.2.2 - Fraction des particules passant au travers de chaque tamis	
6.2.3 - Valeur vraie du densimètre	
6.2.4 - Profondeur effective	
6.2.5 - Diamètre équivalent des particules	22
6.2.6 - Lecture corrigée du densimètre	
6.2.7 - Fraction des particules de dimension inférieure au diamètre équivalent	22
6.2.8 - Correction pour la fraction supérieure à 2 mm	
6.3. PIPETTE	22
6.3.1 - Masse sèche totale	
6.3.2 - Fraction des particules passant au travers de chaque tamis	
6.3.3 - Diamètre équivalent des particules	22
6.3.4 - Fraction des particules de dimension inférieure au diamètre équivalent	
6.3.5 - Correction pour la fraction supérieure à 2 mm	22
<b>7. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>22</b>
<b>ANNEXE B - PRÉ-TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS (INFORMATIVE)</b>	<b>22</b>
<b>B.2 - PRÉ-TRAITEMENT DES MATIÈRES CARBONATÉES</b>	<b>22</b>

## 4. APPAREILLAGE

### 4.1. GÉNÉRALITÉS

#### 4.1.2 - Étuve de séchage

Par « tirage forcé », il faut comprendre ici une étuve à circulation d'air forcée (exemple : étuve ventilée).

### 4.2. MÉTHODE DE TAMISAGE

#### 4.2.1 - Tamis de contrôle

Les tamis complémentaires doivent être cohérents avec les autres applications recherchées (GTR, VBS...)

### 4.3. MÉTHODE DU DENSIMÈTRE

#### 4.3.2 - Tube cylindrique de sédimentation

Le tube cylindrique de sédimentation est généralement une éprouvette graduée en verre.  
Il est possible d'utiliser des tubes de 2 litres en adaptant en proportion les quantités de matériaux.

### 4.4. MÉTHODE DE LA PIPETTE

Cette méthode est rarement appliquée aujourd'hui en France.

### 4.5. RÉACTIFS

#### 4.5.2 - Eau

L'utilisation de l'eau de robinet est possible pour l'étape de lavage sur les tamis

#### 4.5.3 - Agent dispersant

En sédimentation, le dosage recommandé en hexamétaphosphate de sodium est de 50 g/l

## 5. PROCÉDURES D'ESSAI

### 5.1. SÉLECTION DE LA MÉTHODE D'ESSAI

La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :

**La méthode d'essai, ou la combinaison de méthodes, devrait être spécifiée avant de conduire l'essai, ou être sélectionnée sur la base suivante :**

- 1) Si un échantillon contient moins d'environ 10 % de particules inférieures à 0,063 mm, l'essai de sédimentation n'est normalement pas exigé.
- 2) Si toutes les particules de l'échantillon sont inférieures à 2 mm et que celui-ci contient moins d'environ 10 % de particules supérieures à 0,063 mm, l'essai de tamisage complet n'est normalement pas exigé.
- 3) Pour tous les autres échantillons, un essai combinant essai au tamis et sédimentation devrait être réalisé afin de déterminer la distribution granulométrique complète des particules.

En l'absence de spécification avant de conduire l'essai, la lecture du paragraphe conduit donc selon les cas aux possibilités suivantes :

- 1) La réalisation d'un tamisage seul si il y a moins de 10% de particules inférieures à 63 µm.
- 2) La réalisation d'une sédimentation seule si il y a plus de 90% de particules inférieures à 63 µm
- 3) Les deux méthodes combinées (tamisage puis sédimentation) dans les autres cas.

### 5.2. MÉTHODE DE TAMISAGE

#### 5.2.2 - Préparation de l'éprouvette

##### 5.2.2.3 -

$D_{max}$  est exprimé en mm dans la Formule (1)

Il peut être ajouté au PV d'essais une mention indiquant que la masse de matériau utilisée a été limitée par les quantités disponibles

#### 5.2.3 - Mode opératoire d'essai.

##### 5.2.3.1 -

L'absence dans le Tableau 2 de valeurs de masse maximale pour les ouvertures de tamis inférieures à 6.3 mm en tamis de 300 ou 450 mm de diamètre indique l'absence de contraintes en ce sens pour ces gammes d'ouvertures et ces tamis.

#### 5.2.3.5 -

Ce constat peut être établi sur la base d'une observation visuelle

### 5.3 MÉTHODE DU DENSIMÈTRE

L'application de cette méthode est recommandée

#### 5.3.2 - Préparation de l'éprouvette

##### 5.3.2.1 -

La masse de sol sec indiquée (20 à 30 g) dans la norme correspond à une éprouvette de 1 litre. Dans le cas de l'utilisation d'éprouvette de 2 litres, la masse recommandée de sol sec de dimension inférieure à 0,063 mm à prélever est de 50g +/- 10g.

##### 5.3.2.15 -

*Une campagne d'essais croisés entre laboratoires français portant sur l'application de la méthode d'essai par sédimentation de la norme NF EN ISO 17892-4 a été réalisée en 2022 dans le cadre de l'élaboration des présentes recommandations. Les résultats de cette campagne ont montré d'importants écarts de résultats (non répétitivité des essais, discontinuité des parties tamisage et sédimentation, dispersion importantes entre résultats).*

*D'autre part, la comparaison de résultats sur le même échantillon obtenus par le protocole NF EN ISO 17892-4 et par le protocole NF P94-057 montre d'importantes divergences de résultats.*

*Les résultats de ces intercomparaisons ont fait l'objet d'une information auprès du WG13 de l'ISO TC182. Une demande de précision concernant la méthode d'essai de sédimentation de la NF EN ISO 17892-4 a été transmise au WG13 au moment de la publication des présentes recommandations.*

*Parmi les éléments susceptibles d'expliquer les écarts, le mode de préparation de l'éprouvette semble rentrer en jeu.*

Dans l'attente de l'instruction de la demande par le WG13, nous recommandons d'adapter la préparation de l'éprouvette de la manière suivante, inspirée de la norme NF P94-057 (aujourd'hui annulée):

- **Traitement de l'échantillon de sol :**

Le tamisat, au tamis de 63 µm, de l'échantillon de sol est recueilli avec son eau de lavage dans un bac. Le tout est mis à décanter. Une fois redevenue claire, l'eau du bac est siphonnée sans entraîner d'éléments fins. Le bac et son contenu sont ensuite placés dans une étuve.

Conventionnellement, l'évaporation de l'eau est considérée comme achevée si la masse du matériau contenu dans le bac ne varie pas de plus de 2/1 000 entre deux pesées successives effectuées immédiatement après la sortie de l'étuve.

L'intervalle entre 2 pesées est au minimum :

- De 4h dans le cas d'un étuvage à  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- De 8h dans le cas d'un étuvage à  $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Sur le tamisat séché, désagrégé avec le pilon dans le mortier puis homogénéisé, prélever une prise d'essai de 50 g +/- 10 g.

- **Imbibition de la prise d'essai**

Introduire la prise d'essai dans le récipient utilisé avec l'agitateur mécanique, ajouter 500 cm<sup>3</sup> du mélange eau et défloculant (dosage selon §4.2.3 de la NF EN ISO 17892-4) et laisser imbiber pendant au moins 15 h à la température ambiante.

- **Dispersion à l'agitateur mécanique**

La prise d'essai est dispersée dans la solution d'eau et de défloculant au moyen de l'agitateur mécanique qui doit fonctionner pendant 3 min minimum à 10 000 tr/min

- **Démarrage de l'essai**

Verser la suspension dispersée dans le tube cylindrique de sédimentation immédiatement après la fin de l'agitation mécanique.

Compléter par de l'eau distillée ou déminéralisée à la température ambiante jusqu'au volume utile du tube cylindrique de sédimentation (au minimum 1 litre, usuellement 2 litres).

### 5.3.3 - Mode opératoire d'essai.

#### 5.3.3.2 -

Les méthodes d'agitation manuelle usuelles en France sont également applicables.

#### 5.3.3.6 -

Il apparaît d'après les essais comparatifs sur des prises d'essais à 63 µm que la lecture à 0,5 min ne soit pas représentative (discontinuité avec la courbe de tamisage). Ce point peut ne pas être considéré dans le dépouillement de l'essai.

## 5.4 MÉTHODE DE LA PIPETTE

Cette méthode est aujourd'hui rarement pratiquée en France.

## 6. RÉSULTATS D'ESSAIS

### 6.1 DENSIMÈTRE

#### 6.2.5 - Diamètre équivalent des particules

Attention : pour l'application de la formule (7) donnant  $d_i$ , le temps est exprimé en minutes (et non en secondes). Le paramètre  $H_r$  doit être calculé conformément à la formule du chapitre A.3.9.2 de la présente norme NF EN ISO 17892-4.

#### 6.2.7 - Fraction des particules de dimension inférieure au diamètre équivalent

Il faut veiller à conserver la proportion 100/m dans la formule (9) dans le cas de l'utilisation d'un tube cylindrique de sédimentation de volume différent de 1 litre.

Par exemple dans le cas d'un tube cylindrique de sédimentation de 2 litres, multiplier la formule par 2 et appliquer la valeur de masse sèche  $m$  de l'éprouvette (50g +/-10g)

### 6.3 PIPETTE

#### 6.3.3 - Diamètre équivalent des particules

Point de vigilance : pour l'application de la formule (12), la valeur de  $t$  est exprimée en minutes (et non en secondes). Le paramètre  $H_r$  doit être calculé conformément à la formule du chapitre A.3.9.2 de la présente norme NF EN ISO 17892-4.

#### 6.3.5 - Correction pour la fraction supérieure à 2 mm

Ceci est appliqué en cas de réalisation de granulométrie fractionnée avec un tamis de fractionnement à 2 mm

## 7. RAPPORT D'ESSAI

a. Le procès-verbal doit bien préciser la méthode de sédimentation utilisée (densimètre ou pipette).

## ANNEXE B - PRÉ-TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS (INFORMATIVE)

### B.2 - Pré-traitement des matières carbonatées

Ce prétraitement peut être utile dans le cadre de matériaux à teneur importante en  $\text{CaCO}_3$ , de diamètre inférieur à 63  $\mu\text{m}$ .

## NF EN ISO 17892-5 (MARS 2017)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

### Partie 5 : Essai de chargement par palier à l'œdomètre

TERMINOLOGIE DE LA NORME	TERMINOLOGIE DANS LES RECOMMANDATIONS
Anneau de l'œdomètre	Bague de l'œdomètre
Capot	Piston
Plaques interstitielles	Disques poreux
Cadre de chargement	Bâti de chargement

Seuls les paragraphes ayant nécessité un commentaire sont identifiés dans le document.

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	<b>26</b>
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	
3.1. SURPRESSION INTERSTITIELLE	
3.2. CONSOLIDATION PRIMAIRE	
3.3. COMPRESSION SECONDAIRE	
3.4. GONFLEMENT	
3.5. PRESSION DE GONFLEMENT	
<b>4. SYMBOLES</b>	<b>26</b>
<b>5. MATÉRIEL</b>	<b>26</b>
5.1. BAGUE DE L'ŒDOMÈTRE	26
5.2. DISQUES POREUX	26
5.3. CORPS DE LA CELLULE	26
5.4. PISTON	
5.5. MESURE DE LA DÉFORMATION	
5.6. BÂTI DE CHARGEMENT	
5.7. APPAREILLAGE COMPLÉMENTAIRE	
5.8. APPAREIL POUR LA PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES	
5.9. EAU	27
<b>6. PROCÉDURE D'ESSAI</b>	<b>27</b>
6.1. EXIGENCES GÉNÉRALES	
6.2. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES	27
6.2.1. Sélection de la méthode de préparation	27
6.2.2. Taille à partir d'un échantillon en bloc ou extrait d'un tube de prélèvement	27
6.2.3. Extrusion à partir d'un tube d'un diamètre supérieur à celui de la bague	27
6.2.4. Éprouvettes recompressées	27
6.3. MESURE	28
6.3.1.	
6.3.2.	
6.3.3.	
6.4. PRÉPARATION DE L'APPAREIL	
6.4.1. Assemblage de la cellule	28
6.4.2. Assemblage dans le bâti de chargement	28
6.5. CHARGEMENT	28
6.5.1. Séquence de chargement	29
6.5.2. Application des charges	29
6.6. DÉMONTAGE	32
6.6.1.	
6.6.2.	
6.6.3.	32
6.6.4.	

<b>7. RÉSULTATS D'ESSAI</b>	<b>32</b>
7.1. GÉNÉRALITÉS	32
7.2. VALEURS INITIALES	
7.2.1. Généralités	
7.2.2. Teneur en eau initiale	
7.2.3. Masse volumique et masse volumique sèche initiales	
7.3. CARACTÉRISTIQUES DE COMPRESSIBILITÉ	32
7.3.1. Généralités	
7.3.2. Hauteur de l'éprouvette	
7.3.3. Déformation verticale	
7.3.4. Indice des vides	
7.3.5. Diagramme de contrainte de compression	32
<b>8. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>32</b>
8.1. GÉNÉRATION DE RAPPORTS OBLIGATOIRES	
8.2. GÉNÉRATION DE RAPPORTS FACULTATIFS	32
<b>ANNEXE A (NORMATIVE) – ETALONNAGE, MAINTENANCE ET VÉRIFICATIONS</b>	
A.1 - EXIGENCES GÉNÉRALES	
A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	
A.3 - MATÉRIEL	
<b>ANNEXE B (INFORMATIVE) – CALCULS SUPPLÉMENTAIRES</b>	<b>32</b>

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

La norme s'applique aux sols fins saturés

Dans le cas d'essais réalisés sur des éprouvettes de sols reconstituées ne correspondant pas à des terrains en place, le prescripteur des essais doit en définir les conditions de réalisation, notamment la densité sèche et la teneur en eau de l'éprouvette qui conditionnent les résultats de l'essai

Il est possible de limiter le biais de représentativité des hétérogénéités en multipliant le nombre d'essais.

Les essais sont systématiquement faits sur éprouvettes saturées

## 4. SYMBOLES

Les poids volumiques sont déduits avec  $g$  arrondi à  $10 \text{ m/s}^2$

Il ne faut pas confondre l'indice des vides en place  $e_0$  tel que défini par l'Eurocode 7 et l'indice des vides initial de l'éprouvette au début de l'essai, intitulé également  $e_0$  dans la norme NF EN ISO 17892-5. Par souci de clarification, il convient de retenir  $e_i$  comme étant l'indice des vides initial de l'éprouvette en début d'essai et  $e_0$  comme étant l'indice des vides du sol en place.

## 5. MATÉRIEL

### 5.1. BAGUE DE L'ŒDOMÈTRE

Les dimensions usuelles correspondent à un diamètre de 50 à 70 mm.

### 5.2. DISQUES POREUX

Il convient de lire « bague » au lieu de « anneau » sur les légendes de la figure 1.

### 5.3. CORPS DE LA CELLULE

Dans la pratique française, on privilégie l'utilisation de l'œdomètre à bague fixe

## 5.9. EAU

L'utilisation de l'eau du robinet est également possible

## 6. PROCÉDURE D'ESSAI

### 6.2. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES

#### 6.2.1. Sélection de la méthode de préparation

##### 6.2.1.1 -

Dans ce paragraphe il faut comprendre par « échantillon intact non remanié » un échantillon non perturbé, et par « sols remaniés » les sols perturbés

Il est fortement recommandé de privilégier la réalisation de l'essai à partir d'un prélèvement de sol intact.

Dans le cas d'une éprouvette reconstituée, le prescripteur de l'essai doit en définir les conditions de réalisation ; la densité sèche initiale, le recompage, le remoulage, la reconstitution ou la reconsolidation en vue de la réalisation d'un essai à l'œdomètre devront être précisés sur le rapport d'essai.

#### 6.2.2. Taille à partir d'un échantillon en bloc ou extrait d'un tube de prélèvement

La méthode présentée ci-après, qui consiste à extraire une portion de sol intact de la carotte de prélèvement pour y tailler ensuite l'échantillon avec la bague œdométrique, n'est pas adaptée pour les sols très compressibles (vases molles, tourbes peu denses). La moindre manipulation de ces sols peut conduire à leur remaniement et perturber les résultats de l'essai à l'œdomètre.

Il est préférable en présence de ces sols de tailler l'échantillon directement dans une portion de la carotte de prélèvement (cf Méthode d'Essai LCPC ME13).

#### 6.2.3. Extrusion à partir d'un tube d'un diamètre supérieur à celui de la bague

#### 6.2.4. Éprouvettes recompaquées

Il convient de comprendre par la dénomination « éprouvette recompaquée » une éprouvette reconstituée à une densité et une teneur en eau prédéfinies. Le prescripteur devra définir les conditions de préparation de l'éprouvette, notamment la densité sèche de confection.

Les paramètres obtenus par la méthode présentée dans ce chapitre 6.2.4 ne permettent pas de déterminer les caractéristiques de compressibilité du sol en place.

##### 6.2.4.1 -

Dans ce cas la mesure concerne le sol remanié et non le sol en place

## 6.3. MESURE

### 6.4.1 Assemblage de la cellule

#### 6.4.1.1 -

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

**Si des disques poreux humides sont utilisés, l'excès d'eau contenu doit pouvoir se drainer librement et l'eau à la surface des disques doit être éliminée avant de les placer dans la cellule oedométrique.**

**Cette précaution permettra d'éviter que le sol commence à gonfler avant même l'application du premier palier de chargement.**

### 6.4.2 Assemblage dans le bâti de chargement

#### 6.4.2.4 -

**Il convient de relever la date, l'heure, ainsi que la température au démarrage de l'essai, et à chaque palier.**

## 6.5 CHARGEMENT

### 6.5.1 Séquence de chargement

#### 6.5.1.5 -

**Il est recommandé de déterminer systématiquement la contrainte de préconsolidation.**

## 6.5.2 Application des charges

*Ce paragraphe de la norme NF EN ISO 17892-5 ne définit pas de séquence de chargement précise.*

*En l'absence d'une définition d'une séquence de chargement par le prescripteur de l'essai, Il est recommandé d'adopter la séquence de chargement issue de l'ancienne norme XP P 94-090-1 dont les principes sont rappelés ci-après.*

Il est recommandé de définir les paliers de chargement/déchargement à appliquer au cours de l'essai en prenant comme référence la contrainte effective verticale en place  $\sigma_{v0}$ . La valeur de  $\sigma_{v0}$  calculée sera d'autant plus pertinente si le profil de densité en continu du sondage est déterminé.

En fonction du comportement du sol lors de l'introduction de l'eau dans la cellule, deux séquences de chargement/déchargement sont possibles :

- **Si absence de gonflement à la mise en eau :**

Les paliers de chargement à suivre sont les suivants :

1.  $\sigma(1) < 10 \text{ kPa}$  (y compris le poids du piston et du disque poreux supérieur)
2.  $\sigma(2) = 0.5 \times \sigma'_{v0}$
3.  $\sigma(3) = 0.75 \times \sigma'_{v0}$
4.  $\sigma(4) = \sigma'_{v0}$
5. Poursuivre avec un taux d'accroissement compris entre 0.5 et 1, jusqu'à ce que la contrainte appliquée soit supérieure à la contrainte de préconsolidation et de sorte à avoir, dans la mesure du possible, un palier avec une contrainte comprise entre  $\sigma'_{v0}$  et  $\sigma'_p$ . Si  $\sigma'_p$  est inconnue au moment de l'essai, celle-ci est appréciée pendant le déroulement de l'essai à partir de l'exploitation de la courbe  $[Dh, \log \sigma]$  sur laquelle on considère que la contrainte de préconsolidation a été dépassée lorsqu'une courbure marquée apparaît (sous réserve que la valeur de  $\sigma'_p$  ainsi déterminée ne soit pas en contradiction avec les caractéristiques du sol fin et son histoire géologique).
6. Une fois atteint le premier palier noté  $n1$  pour lequel la contrainte est supérieure à la contrainte de préconsolidation ( $\sigma_{(n1)} > \sigma'_p$ ), on procède à un cycle de déchargement/rechargement selon les paliers donnés ci-dessous :

Déchargement du premier cycle :

- palier  $n1 = \sigma_{(n1)} > \sigma'_p$
- palier  $n1+1 = \sigma_{(n1+1)} = \text{compris entre } 0.5 \times \sigma'_{v0} \text{ et } 0.75 \times \sigma'_{v0}$
- palier  $n1 + 2 = \sigma_{(n1+2)} = \sigma(1)$

Rechargement :

- palier  $n1 + 3 = \sigma_{(n1+3)} = \sigma_{(n1+1)}$
- palier  $n1 + 4 = \sigma_{(n1+4)} = \sigma_{(n1)}$
- palier  $n1 + 5 = \sigma_{(n1+5)} = 2 \times \sigma_{(n1)} = 2 \times \sigma_{(n1+4)}$
- palier  $n1 + 6 = \sigma_{(n1+6)} = 2 \times \sigma_{(n1+5)}$
- palier  $n1 + 7 = \sigma_{(n1+7)} = 2 \times \sigma_{(n1+6)}$
- ...

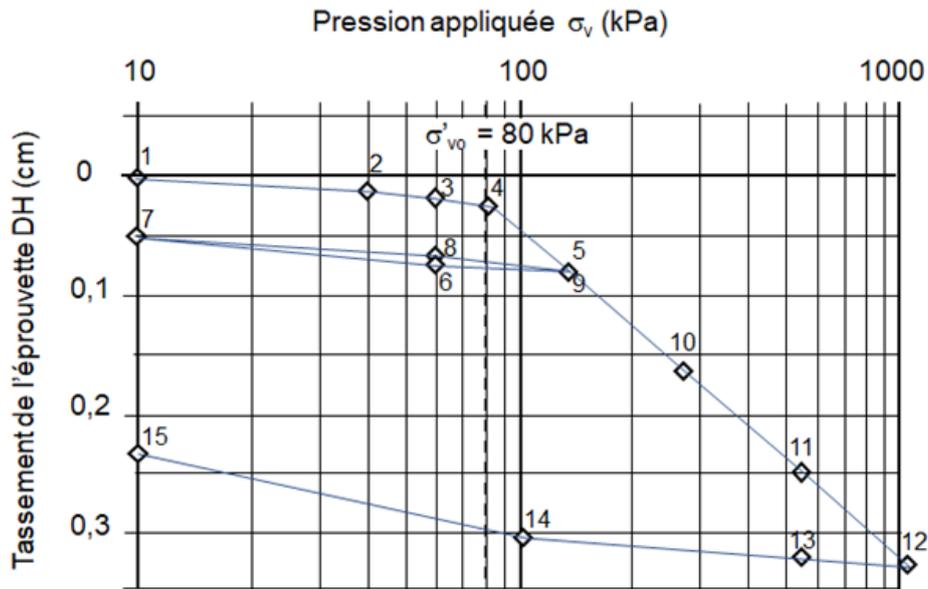
Au-delà du palier de rang  $(n1 + 4)$ , l'essai est poursuivi par au moins trois paliers de chargement avec un taux d'accroissement de la contrainte de 1.

Le dernier palier de chargement est choisi en fonction du respect des deux critères suivants, dans la limite des possibilités de l'appareillage :

- Obtention de trois points alignés de la courbe de variation de hauteur de l'éprouvette [ $D_h, \log \sigma$ ] ;
- Contrainte  $\sigma$  du dernier palier supérieure à la contrainte effective verticale à laquelle sera soumis le sol au droit du prélèvement après construction de l'ouvrage auquel se rapporte l'étude.

Le déchargement final peut être fait en une seule fois à la contrainte  $\sigma_{(1)}$ .

Ci-dessous un exemple de courbe d'essais en absence de gonflement à la mise en eau



• Si gonflement à la mise en eau :

Dans le cas de sols qui gonflent à la mise en eau, l'éprouvette mise en présence d'eau a tendance à soulever le dispositif d'application de la charge. Celui-ci devra alors être maintenu dans sa position initiale par un chargement qui lui est appliqué immédiatement et progressivement jusqu'à l'apparition du premier tassement stabilisé ; en appliquant par exemple successivement des contraintes voisines de  $0.5 \times \sigma'_{v0}$  ;  $0.75 \times \sigma'_{v0}$  ;  $\sigma'_{v0}$  ;  $1.5 \times \sigma'_{v0}$  ... Le fait d'appliquer des contraintes de valeurs croissantes proches les unes des autres permet de cerner au plus juste la valeur de la contrainte de gonflement.

Cette contrainte,  $\sigma_{(2)}$ , correspond à la contrainte où le premier tassement est apparu.

Le chargement est ensuite poursuivi avec un taux d'accroissement de la contrainte de chargement n'excédant pas 1.

Dès l'apparition d'une courbure marquée, on procède à un cycle de déchargement/rechargement jusqu'à la contrainte de premier tassement selon les paliers suivants :

Déchargement du premier cycle :

- palier n1 =  $\sigma_{(n1)} > \sigma'_p$
- palier n1 + 1 =  $\sigma_{(n1+1)}$  = compris entre  $0.5 \times \sigma'_{v0}$  et  $0.75 \times \sigma'_{v0}$
- palier n1 + 2 =  $\sigma_{(n1+2)} = \sigma_{(2)}$

Rechargement :

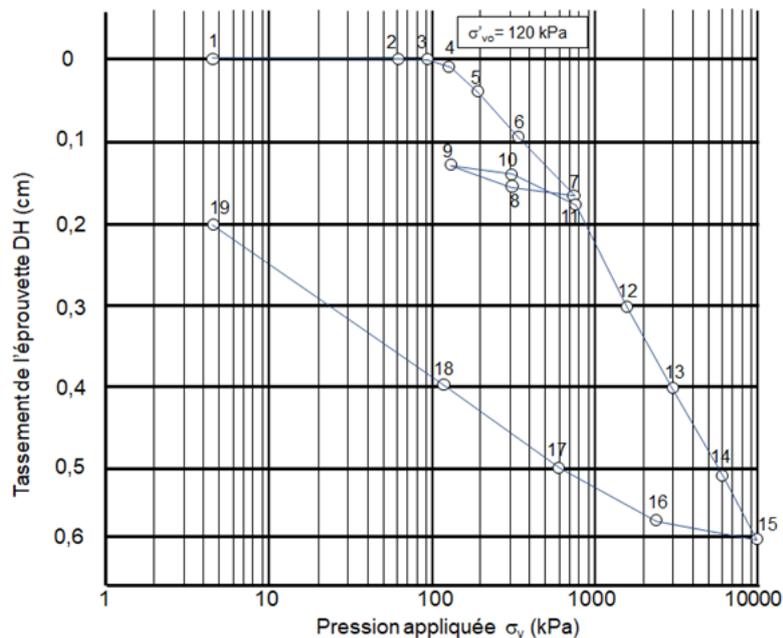
- palier n1 + 3 =  $\sigma_{(n1+3)} = \sigma_{(n1+1)}$
- palier n1 + 4 =  $\sigma_{(n1+4)} = \sigma_{(n1)}$
- palier n1 + 5 =  $\sigma_{(n1+5)} = 2 \times \sigma_{(n1)} = 2 \times \sigma_{(n1+4)}$
- palier n1 + 6 =  $\sigma_{(n1+6)} = 2 \times \sigma_{(n1+5)}$
- palier n1 + 7 =  $\sigma_{(n1+7)} = 2 \times \sigma_{(n1+6)}$
- ...

Le dernier palier de chargement sera choisi en fonction du respect des deux critères suivants, dans la limite des possibilités de l'appareillage :

- Obtention de trois points alignés de la courbe de variation de hauteur de l'éprouvette  $[Dh, \log \sigma]$  ;
- Contrainte  $\sigma$  du dernier palier supérieure à la contrainte effective verticale à laquelle sera soumis le sol au droit du prélèvement après construction de l'ouvrage auquel se rapporte l'étude.

Le déchargement se fait ensuite en effectuant un minimum de 4 à 5 paliers, (dont les deux ou trois derniers paliers de chargement précédents, puis les 2 derniers correspondent aux contraintes  $\sigma_{(2)}$  puis  $\sigma_{(1)}$ ).

Ci-dessous un exemple de courbe d'essai en cas de gonflement à la mise en eau :



D'une manière générale, un essai complet à l'œdomètre comprend, pour un sol non gonflant ou gonflant, la réalisation de 13 à 20 paliers au total.

#### 6.5.2.5 -

La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant pour la dernière phrase du paragraphe :

Si la détermination de la valeur du coefficient de consolidation  $C_v$  n'est pas exigée, autant de mesures peut ne pas être nécessaire. Sauf demande spécifique du client, il est recommandé de réaliser au minimum trois mesures du coefficient de consolidation  $C_v$ , à des valeurs de contrainte supérieures à la contrainte de préconsolidation  $\sigma_p$ .

#### 6.5.2.6 -

Les paliers de chargement sont maintenus 24h sous réserve que la durée d'application de la charge ait permis de dépasser la valeur  $t_{100}$  de l'annexe B2 de la norme XP P94-090-1 rappelée en fin de document. Le passage d'un palier au suivant ne se fait que si la déformation relative  $(DH/H_i)$  est inférieure à  $5 \cdot 10^{-4}$  pour une durée de 8h.

## 6.6 DÉMONTAGE

### 6.6.3

Déterminer la masse sèche de l'éprouvette, soit par :

- Séchage de l'ensemble de l'éprouvette conformément à la NF EN ISO 17892-1
- Pesage de l'éprouvette avec l'ensemble de l'équipement, et soustraction de la masse de l'équipement, et détermination de la teneur en eau finale en séchant une partie représentative conformément à la NF EN ISO 17892-1

## 7. RÉSULTATS D'ESSAI

Conformément au commentaire apporté au §4, le terme  $e_0$  doit être remplacé par  $e_i$  dans les expressions de ce paragraphe, afin d'éviter toute confusion vis-à-vis de la norme NF EN ISO 17892-8

### 7.1 GÉNÉRALITÉS

On se référera aussi aux annexes A et B de la norme XP P 94-090-1.

### 7.3 CARACTÉRISTIQUES DE COMPRESSIBILITÉ

#### 7.3.5 Diagramme de contrainte de compression

##### 7.3.5.1 -

La Figure 2 est simplifiée. D'autres exemples de courbes d'essai, plus complètes, sont présentées dans le commentaire à la fin du paragraphe 6.5.

## 8. RAPPORT D'ESSAI

### 8.2 GÉNÉRATION DE RAPPORTS FACULTATIFS

Il est recommandé d'ajouter systématiquement ces informations aux procès-verbaux d'essais. Il est recommandé de dépouiller les courbes de consolidation selon les deux méthodes (logarithme et racine carrée du temps).

En complément, les informations suivantes doivent également être apportées sur le procès-verbal :

- Tableau numérique de données des points expérimentaux du graphique compression-contrainte.
- Durée de chaque palier (en heures)
- Module oedométrique calculé à chaque palier.
- Les coefficients de consolidation  $C_v$ .
- Paramètres de compressibilité :  $C_c$ ,  $C_s$ ,  $\sigma'_{vo}$ ,  $\sigma'_p$ ,  $C_g$ ,  $\sigma'_g$ .

### Annexe B (informative) – Calculs supplémentaires

Il est recommandé de mener les calculs conformément aux annexes A et B (informatives) de la norme XP P94-090-1 rappelées ci-après.

## Annexe A

(informative)

### Détermination des principales caractéristiques de compressibilité à l'œdomètre

Les définitions données ci-après sont conventionnelles et ne se rapportent qu'aux paramètres définis par la norme.

#### A.1 Courbe de compressibilité

La courbe de compressibilité est la courbe continue qui relie les points expérimentaux représentés dans le diagramme  $(e_{(n)}, \lg \sigma_{v(n)})$  en échelle semi-logarithmique,  $e_{(n)}$  étant l'indice des vides de l'éprouvette à la fin du palier de chargement sous  $\sigma_{v(n)}$ .

La courbe donnant la variation de hauteur de l'éprouvette à partir de sa hauteur initiale  $H_i$  est éventuellement corrigée à partir de la courbe d'étalonnage du dispositif de mesurage :

$$\Delta H_c = H_i - H - \Delta H_e$$

#### A.2 Détermination de $C_s$ , $C_c$ , $\sigma'_p$ , $e_o$ , $E_{oed}$

##### A.2.1 Cas des sols non gonflants à la mise en eau

Comme indiqué sur la figure A.1, tracer la droite AB selon la pente moyenne de la boucle du premier cycle de déchargement/rechargement.

À partir du point D  $(e_i, \lg \sigma_{v(1)})$  de la courbe de compressibilité (point correspondant à  $\Delta H_i = 0$ ), mener la droite DL, parallèle à AB.

Tracer ensuite la droite MN issue de l'ajustement, sur la courbe de compressibilité, des trois derniers points expérimentaux des paliers de chargement.

L'indice de recompression  $C_s$  est la pente de la droite DL. Cette pente est définie comme la valeur absolue de la variation de l'indice des vides  $e$  pour un module de l'échelle logarithmique :

$$C_s = \Delta e / \Delta(\lg \cdot \sigma'_v)$$

De la même manière, l'indice de compression  $C_c$  est la pente de la droite MN :

$$C_c = \Delta e / \Delta(\lg \cdot \sigma'_v)$$

Par définition, la contrainte verticale effective de préconsolidation  $\sigma'_p$  correspond au point C résultant de l'intersection des droites DL et MN. Dans le cas d'échantillons de sol fortement remaniés par le prélèvement, la détermination de cette contrainte de préconsolidation est parfois sujette à caution.

La valeur approchée (par excès) de l'indice des vides du sol en place  $e_o$  est l'ordonnée du point représentatif E de la droite DL qui a pour abscisse la valeur de la contrainte effective verticale du sol en place  $\lg(\sigma'_{vo})$ .

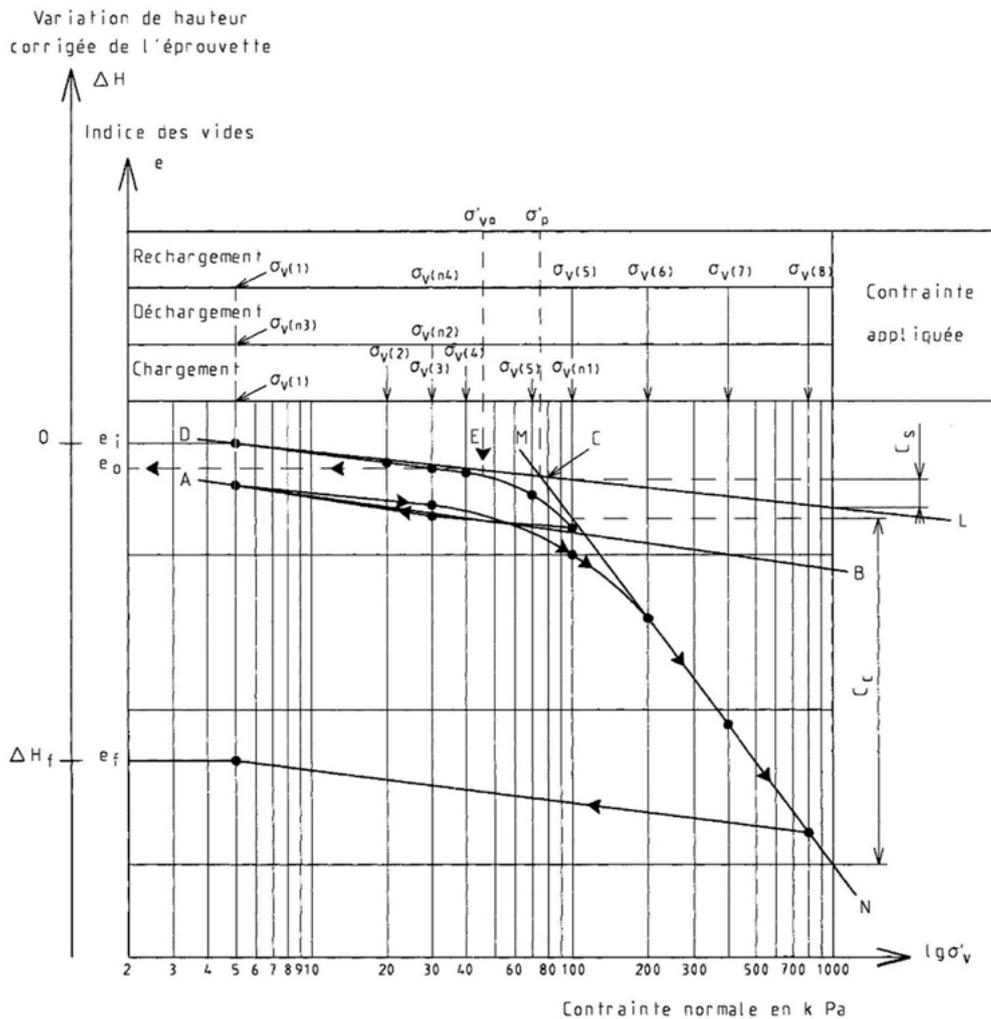


Figure A.1 : Courbe de compressibilité — Détermination graphique de  $\sigma'_p$ ,  $C_s$ ,  $C_c$ ,  $e_o$  — Exemple

### A.2.2 Cas des sols gonflants à la mise en eau

Dans le cas de sols gonflants à la mise en eau, la détermination correcte de l'indice de compression  $C_c$  et de la contrainte de préconsolidation  $\sigma'_p$  n'est possible que lorsque les trois derniers points expérimentaux de la courbe de compressibilité, correspondant aux contraintes de chargement les plus élevées, sont alignés (figure A.2). Sous réserve que la valeur de  $\sigma'_p$  ainsi déterminée ne soit pas en contradiction avec les caractéristiques du sol fin et son histoire géologique.

Après avoir tracé la courbe corrigée de compressibilité (voir figure A.2), tracer la droite AB ajustée sur les points expérimentaux de déchargement dont la contrainte  $\sigma'_v$  est comprise entre la contrainte  $\sigma_{v(2)}$  correspondant à l'apparition d'un premier tassement et la contrainte maximale atteinte par l'essai. La pente de cette droite AB correspond à l'indice de gonflement  $C_s$ , défini comme la valeur absolue de la variation d'indice des vides  $e$  pour un module de l'échelle logarithmique.

Dans le cas où les trois derniers points expérimentaux de la courbe de compressibilité sont alignés, on tracera la droite MN ajustée sur ces trois points. De la même manière, l'indice de compression  $C_c$  est la pente de la droite MN.

La contrainte verticale effective de préconsolidation  $\sigma'_p$  correspond, par définition, à l'abscisse du point d'intersection entre la droite MN et la droite DL (voir figure A.2).

### A.2.3 Cas des sols fortement surconsolidés mis en présence d'eau au déchargement

Tracer la courbe de compressibilité corrigée dans le système de coordonnées semi-logarithmique, l'indice des vides en fonction du logarithmique de la contrainte effective verticale ( $e = \lg \sigma'_v$ ).

La pente de la droite AB ajustée sur les points expérimentaux de la courbe de déchargement dont la contrainte appliquée  $\sigma_v$  est comprise entre  $\sigma'_{v0}$  et  $\sigma_{vn}$  la contrainte maximale atteinte lors de l'essai, est l'indice de gonflement  $C_s$ .

L'indice de compression  $C_c$  est la pente de la droite MN ajustée sur les derniers points expérimentaux de la courbe de compressibilité.

La pression de préconsolidation est l'intersection de la droite MN avec la droite DL parallèle à la droite AB.

La droite DL est tangente au voisinage du point d'abscisse  $\lg \sigma'_{v0}$ , à la courbe de compressibilité corrigée et constituée uniquement des points pour lesquels l'indice des vides  $e$  est strictement inférieur à l'indice des vides initial  $e_i$ .

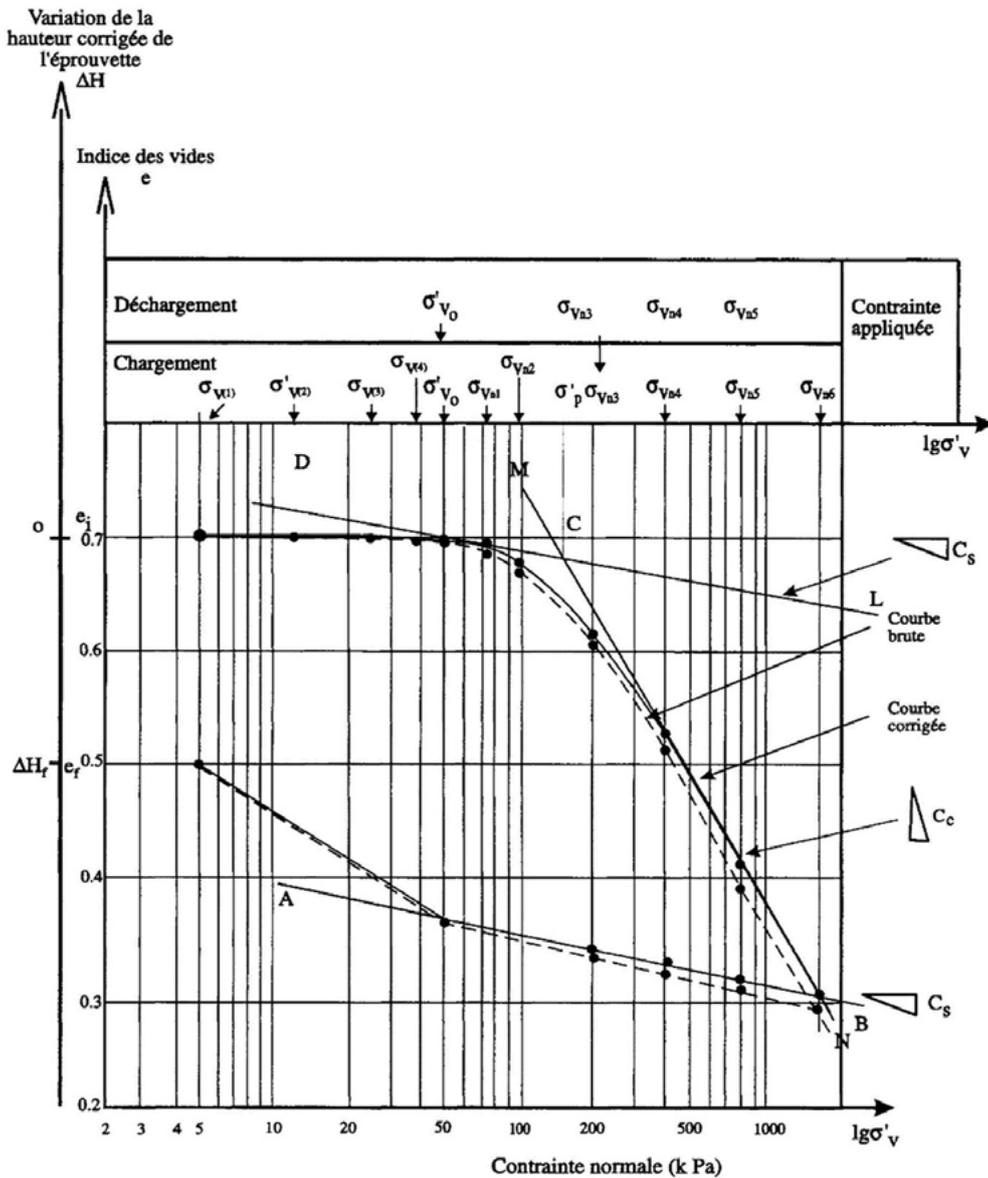


Figure A.2 : Courbe de compressibilité d'un sol gonflant — Détermination de  $\sigma'_p$ ,  $C_s$ ,  $C_c$  — Exemple

### A.3 Modules œdométriques sécants

Dans tout intervalle de contraintes  $\sigma'_{vb}$  et  $\sigma'_{va}$  (où  $\sigma'_{vb} > \sigma'_{va}$ ), un module œdométrique sécant peut être calculé par la formule :

$$E_{oed(\sigma'_{va}, \sigma'_{vb})} = \frac{\sigma'_{vb} - \sigma'_{va}}{(H_a - H_b)} H_i$$

avec :

$H_a$  la hauteur de l'éprouvette à la fin de la consolidation sous la contrainte  $\sigma_{va}$ .

$H_b$  la hauteur de l'éprouvette à la fin de la consolidation sous la contrainte  $\sigma_{vb}$ .

L'inverse du module œdométrique dans l'intervalle  $(\sigma'_{va}, \sigma'_{vb})$  est le coefficient de compressibilité  $m_v(\sigma'_{va}, \sigma'_{vb})$ .

## Annexe B

(informative)

### Détermination du coefficient de consolidation $c_v$

Cette annexe présente deux des méthodes utilisables pour la détermination du coefficient de consolidation.

#### B.1 Méthode de Taylor

##### B.1.1 Construction graphique

Tracer, pour un palier de chargement donné, la courbe de variation de hauteur de l'éprouvette  $s$  (figure B.1) en fonction de la racine carrée du temps écoulé exprimé en minutes et compté à partir du début du palier.

Tracer la droite  $D_1$  correspondant à la partie linéaire du début de cette courbe. Cette droite recoupe l'axe des ordonnées en un point  $s_c$  (zéro corrigé).

À partir de ce point, tracer une droite  $D_2$  de pente 1,15 fois celle de la droite  $D_1$ . La droite  $D_2$  recoupe la courbe de consolidation en un point correspondant conventionnellement à 90 % de la consolidation primaire ( $s_{90}$ ).

Vérifier que la fin de la partie linéaire de la courbe de tassement est proche de 60 % de la consolidation primaire ( $s_{60}$ ) :

$$\frac{s_{60} - s_c}{s_{90} - s_c} \approx \frac{6}{9}$$

L'abscisse du point d'ordonnée  $s_{90}$  est le temps  $t_{90}$ .

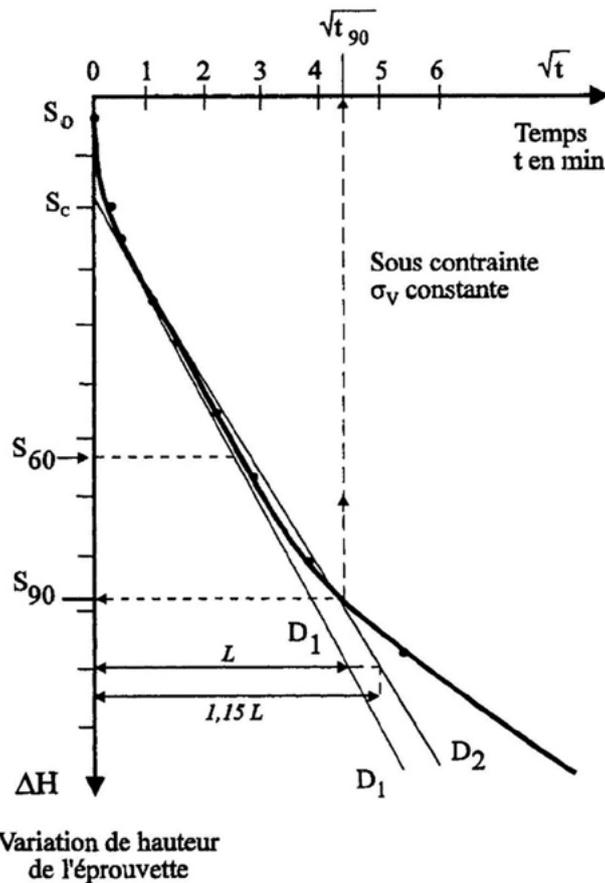


Figure B.1 : Courbe de variation de hauteur de l'éprouvette en fonction de la racine carrée du temps — Méthode de Taylor — Exemple

### B.1.2 Calcul du coefficient de consolidation $c_v$

Le coefficient de consolidation d'une éprouvette saturée est donné par la formule :

$$c_v = T_v \times h^2 / t$$

Pour un degré de consolidation de 90 % ( $t = t_{90}$ ),  $T_v = 0,848$ .

$h$  est la distance de drainage égale à la demi-épaisseur de l'éprouvette au moment où  $t = t_{90}$ , sous la contrainte  $\sigma_v$  considérée, lorsque le drainage se produit par les deux faces.

## B.2 Méthode de Casagrande

### B.2.1 Construction graphique

Pour un palier de chargement donné, le tassement conventionnel  $s_c$  est obtenu en déduisant du tassement obtenu à 0,1 min, la différence des tassements entre 0,4 min et 0,1 min.

Tracer sur la courbe de la figure B.2 les droites  $C_1$  correspondant à la tangente au point d'inflexion et  $C_2$  correspondant à la partie linéaire finale. Les droites  $C_1$  et  $C_2$  se coupent conventionnellement en un point de coordonnées  $(t_{100}, s_{100})$  qui représente la fin du tassement primaire.

Lire sur la figure B.2 le temps  $t_{50}$  nécessaire pour obtenir 50 % de consolidation, c'est-à-dire pour un tassement  $s_{50} = 0,5 (s_c + s_{100})$ .

### B.2.2 Calcul du coefficient de consolidation $c_v$

Le coefficient de consolidation d'une éprouvette saturée est déterminé pour un degré de consolidation de 50 % à partir de :

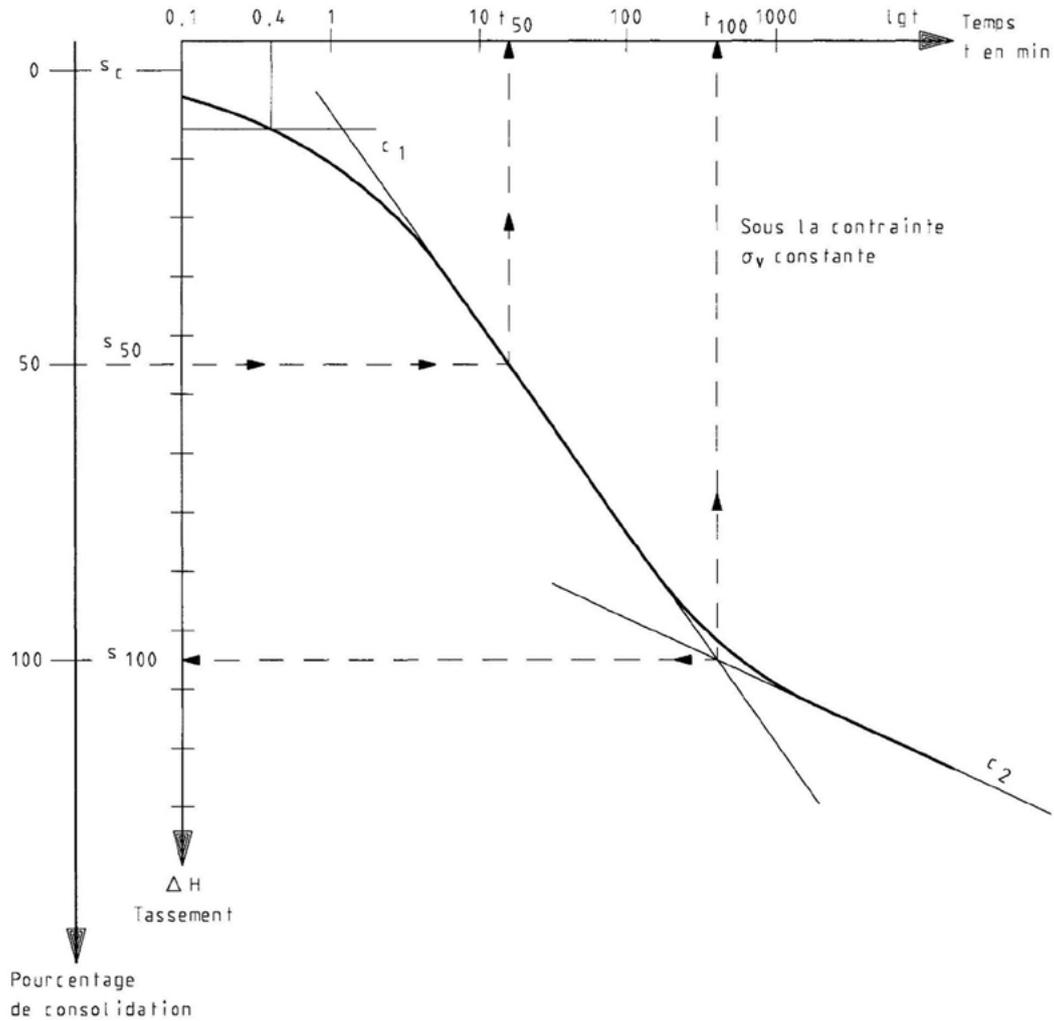
$$c_v = T_v h^2 / t$$

où :

$$T_v = 0,197 ;$$

$$t = t_{50} ;$$

$h$  est la distance de drainage égale à la demi-épaisseur de l'éprouvette au moment où  $t = t_{50}$ , lorsque le drainage se produit par les deux faces.



**Figure B.2 : Courbe de variation de hauteur de l'éprouvette en fonction du logarithme du temps — Méthode de Casagrande — Exemple**

## NF EN ISO 17892-7 (FÉVRIER 2018)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

### Partie 7 : Essai de compression uniaxiale

TERMINOLOGIE DE LA NORME	TERMINOLOGIE DANS LES RECOMMANDATIONS
Specimen	Eprouvette
Plateau supérieur	Chapeau
Plateau inférieur	Embase

Seuls les paragraphes ayant nécessité un commentaire sont identifiés dans le document.

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	<b>43</b>
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	<b>43</b>
3.1. RÉSISTANCE À LA COMPRESSION UNIAXIALE	
3.2. RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT NON DRAINÉE	
3.3. RUPTURE	<b>43</b>
<b>4. SYMBOLES</b>	<b>43</b>
<b>5. APPAREILLAGE</b>	<b>43</b>
5.1. GÉNÉRALITES	
5.2. BATI DE CHARGEMENT	
5.2.1.	
5.2.2.	
5.2.3.	
5.2.4.	
5.6. DISPOSITIFS DE MESURE	<b>43</b>
5.6.1. Dispositif de mesure du chargement	
5.6.2. Dispositif de mesure du déplacement	
5.7. APPAREILLAGE AUXILIAIRE	<b>43</b>
<b>6. PROCÉDURE D'ESSAI</b>	<b>44</b>
6.1. CONDITIONS GÉNÉRALES ET PRÉPARATION DU MATÉRIEL	
6.1.1.	
6.1.2.	
6.1.3.	
6.1.4.	
6.2. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES	<b>44</b>
6.2.1.	
6.2.2.	
6.2.3.	
6.2.4.	
6.2.5.	<b>44</b>
6.2.6.	
6.2.7.	<b>44</b>
6.2.8.	
6.3. LECTURES INITIALES	<b>44</b>
6.3.1.	
6.3.2.	
6.4. COMPRESSION	<b>44</b>
6.4.1.	<b>44</b>
6.4.2.	
6.4.3.	
6.4.4.	

## **6.5. DÉMONTAGE**

- 6.5.1.
- 6.5.2.
- 6.5.3.
- 6.5.4.

## **7. RÉSULTATS D'ESSAI**

44

### **7.1. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE, MASSE VOLUMIQUE SÈCHE ET TENEUR EN EAU**

- 7.1.1.
- 7.1.2.

### **7.2. CONTRAINTE ET DÉFORMATION PENDANT LA COMPRESSION**

- 7.2.1.
- 7.2.2.

### **7.3. RÉSISTANCE À LA COMPRESSION UNIAXIALE**

### **7.4. RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT NON DRAINÉE**

44

## **8. RAPPORT D'ESSAI**

44

### **8.1. INFORMATIONS OBLIGATOIRES**

### **8.2. INFORMATIONS FACULTATIVES**

44

## **ANNEXE A - ÉTALONNAGE, ENTRETIEN ET CONTROLES**

- A.1 - CONDITIONS GÉNÉRALES
- A.2 - ÉTATS ENVIRONNEMENTAUX
- A.3 - ÉQUIPEMENT

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme donne le protocole d'essai pour tester une éprouvette. Il est recommandé de tester au moins trois éprouvettes afin d'évaluer une dispersion éventuelle de la résistance en compression de l'échantillon.

## 3. TERMES ET DÉFINITIONS

### 3.3. RUPTURE

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Condition de contrainte ou de déformation pour laquelle l'un des critères suivants est rencontré :

- un pic de contrainte durant l'essai;
- un critère spécifique de déformation si un pic de contrainte n'a pas été atteint, par exemple 15% de déformation verticale

## 4. SYMBOLES

La résistance au cisaillement non drainée ne peut être assimilée à la cohésion non drainée  $c_u$  que dans le cas des sols fins saturés avec  $\phi_u=0$

## 5. APPAREILLAGE

### 5.6 DISPOSITIFS DE MESURE

Dans les paragraphes suivants, il faut comprendre par « précision » l'exactitude de l'appareillage, et par « calibration » il faut comprendre l'étalonnage.

### 5.7 APPAREILLAGE AUXILIAIRE

Dans ce paragraphe, il faut comprendre par « compas » un pied à coulisse.

## 6. PROCÉDURE D'ESSAI

### 6.2 PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES

#### 6.2.5

Dans ce paragraphe, il faut comprendre par « matériau restructuré » matériau remanié, et par « les cannelures » il convient de comprendre les rainures.

#### 6.2.7

Dans ce paragraphe, il faut comprendre par « mesure de longueur » le mesurage des dimensions géométriques.

### 6.3 LECTURES INITIALES

### 6.4 COMPRESSION

#### 6.4.1

Il est recommandé de maintenir la vitesse de déformation la plus constante possible durant l'essai.

## 7. RÉSULTATS D'ESSAI

### 7.4 RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT NON DRAINÉE

Cette détermination de cohésion non drainée  $c_u$  n'est valable dans le cas des sols fins saturés ( $\phi_u=0$ ).

## 8. RAPPORT D'ESSAI

### 8.2 INFORMATIONS FACULTATIVES

Il est recommandé d'ajouter systématiquement la courbe  $\sigma_v=f(\epsilon_v)$  sur le rapport d'essai.

## NF EN ISO 17892-8 (MARS 2018)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

### Partie 8 : Essai triaxial non consolidé non drainé

TERMINOLOGIE DE LA NORME	TERMINOLOGIE DANS LES RECOMMANDATIONS
$c_u$ : résistance au cisaillement non drainée	$c_u$ : cohésion non drainée des sols fins saturés (avec $\phi_u=0$ )
Tension	Traction
Embase supérieure ou plateau supérieur	Chapeau
Pression absolue	Pression cellulaire visée
Capteur de charge	Capteur de force
Appareillage accessoire	Appareillage complémentaire
Pression lithostatique	Contrainte verticale en place

Seuls les paragraphes ayant nécessité un commentaire sont identifiés dans le document.

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	<b>49</b>
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DEFINITIONS</b>	<b>49</b>
3.1. PRESSION CELLULAIRE	
3.2. CONTRAINTE DÉVIATORIQUE	
3.3. RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT NON DRAINÉ	
3.4. RUPTURE	<b>49</b>
<b>4. SYMBOLES</b>	<b>49</b>
<b>5. APPAREILLAGE</b>	<b>49</b>
5.1. GÉNÉRALITÉS	<b>49</b>
5.2. CELLULE TRIAXIALE	<b>49</b>
5.2.1.	
5.2.2.	
5.2.3.	
5.2.4.	<b>49</b>
5.2.5.	
5.3. MEMBRANE DE CONFINEMENT	
5.3.1.	
5.3.2.	
5.3.3.	
5.4. CIRCUIT DE PRESSION CELLULAIRE	<b>49</b>
5.5. PRESSE DE CHARGEMENT	
5.5.1.	
5.5.2.	
5.6. DISPOSITIFS DE MESURE	<b>50</b>
5.6.1. Dispositif de mesure de la force	<b>50</b>
5.6.2. Dispositif de mesure de la pression	<b>50</b>
5.6.3. Dispositif de mesure du déplacement vertical	<b>50</b>
5.7. FLUIDES DE PRESSION CELLULAIRE	<b>50</b>
5.8. APPAREILLAGE ACCESSOIRE	<b>50</b>
<b>6. PROCÉDURE D'ESSAI</b>	<b>50</b>
6.1. EXIGENCES GÉNÉRALES ET PRÉPARATION DU MATÉRIEL	<b>50</b>
6.1.1.	<b>50</b>
6.1.2.	
6.1.3.	
6.1.4.	<b>51</b>
6.2. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES	<b>51</b>
6.2.1.	<b>51</b>
6.2.2.	<b>51</b>
6.2.3.	
6.2.4.	<b>51</b>
6.2.5.	<b>51</b>

6.2.6.	
6.2.7.	
6.2.8.	52
6.2.9.	
<b>6.3. APPLICATION DE LA PRESSION CELLULAIRE ET RELEVÉS INITIAUX</b>	<b>52</b>
6.3.1.	
6.3.2.	52
6.3.3.	
6.3.4.	
6.3.5.	
6.3.6.	
6.3.7.	
<b>6.4. CISAILLEMENT</b>	<b>52</b>
6.4.1.	52
6.4.2.	
6.4.3.	
6.4.4.	
<b>6.5. DÉMONTAGE</b>	<b>52</b>
6.5.1.	
6.5.2.	
6.5.3.	
6.5.4.	
6.5.5.	52
6.5.6.	52
<b>7. RÉSULTATS D'ESSAIS</b>	<b>53</b>
<b>7.1. MASSE VOLUMIQUE, MASSE VOLUMIQUE SÈCHE ET TENEUR EN EAU</b>	<b>53</b>
7.1.1.	53
7.1.2.	
7.1.3.	
<b>7.2. ÉTAPE PRÉCEDANT LE CISAILLEMENT</b>	<b>53</b>
<b>7.3. CISAILLEMENT</b>	<b>53</b>
7.3.1. Section transversale corrigée	53
7.3.2. Contrainte déviatorique	53
7.3.3. Déformation verticale	
7.3.4. Résistance au cisaillement non drainé	53
<b>7.4. CORRECTION DUE À L'ÉLASTICITÉ DE LA MEMBRANE</b>	<b>54</b>
<b>8. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>54</b>
<b>8.1. ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT</b>	<b>54</b>
<b>8.2. ÉLÉMENTS FACULTATIFS POUVANT ÊTRE INTÉGRÉS AU RAPPORT</b>	

<b>ANNEXE A - ÉTALONNAGE, MAINTENANCE ET CONTROLES (NORMATIVE)</b>	<b>25</b>
A.1 - DISPOSITIONS GÉNÉRALES	25
A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	25
A.3 - APPAREILLAGE	26
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>27</b>

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

Au moins trois éprouvettes similaires d'un même échantillon sont préparées en vue de les soumettre au cisaillement sous au moins trois contraintes de confinement différentes afin de pouvoir déterminer les paramètres de résistance au cisaillement non drainé.

## 3. TERMES ET DÉFINITIONS

### 3.4 RUPTURE

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Condition de contrainte ou de déformation à laquelle l'un des critères suivants est rempli :

- contrainte déviatorique maximale.
- un critère de déformation spécifié si une contrainte déviatorique maximale n'a pas été atteinte, par exemple une déformation verticale de 15 %.

## 4. SYMBOLES

## 5. APPAREILLAGE

### 5.1 GÉNÉRALITÉS

Si le chapeau (5) et l'embase (11) sont équipés d'un système drainant, il convient d'utiliser des plaques imperméables (par exemple en plexiglas) qui sont disposées entre le chapeau ou l'embase et l'échantillon.

### 5.2 CELLULE TRIAXALE

#### 5.2.4

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les diamètres du chapeau et de l'embase inférieure devraient être égaux au diamètre de l'éprouvette. Un essai peut être réalisé sur des éprouvettes de diamètre inférieur au diamètre des embases à condition d'éliminer toute poche d'air sous la membrane aux extrémités de l'éprouvette.

### 5.4 CIRCUIT DE PRESSION CELLULAIRE

Attention, le critère d'exactitude sur l'application de la pression cellulaire est plus contraignant que celui indiqué dans la norme NF P 94-074, qui était de 2 kPa.

## 5.6 DISPOSITIFS DE MESURE

### 5.6.1 Dispositif de mesure de la force

Attention, le critère d'exactitude du dispositif de mesure de la contrainte verticale est plus contraignant que celui de la norme NF P 94-074, qui était +/-3% de la valeur à la rupture.

### 5.6.2 Dispositif de mesure de la pression

Attention, le critère d'exactitude du dispositif de mesure de la pression cellulaire est plus contraignant que celui de la norme NF P 94-074, qui était 2 kPa ou 1% de la plage complète du dispositif.

### 5.6.3 Dispositif de mesure du déplacement vertical

Attention : le critère d'exactitude du dispositif de mesure de la variation de hauteur de l'éprouvette est différent de celui de la norme NF P 94-074, qui était 0,04 mm.

## 5.7 FLUIDES DE PRESSION CELLULAIRE

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Le fluide cellulaire devrait être choisi de manière à ne pas pénétrer de façon significative dans l'échantillon à travers la membrane et qu'il n'extrait pas l'eau interstitielle de l'éprouvette à travers la membrane pendant la durée de l'essai. Il convient que le fluide cellulaire soit stabilisé à la température de l'essai.

## 5.8 APPAREILLAGE ACCESSOIRE

Il s'agit des équipements permettant de mesurer la teneur en eau conformément à la norme NF EN ISO 17892-1.

## 6. PROCÉDURE D'ESSAI

### 6.1 EXIGENCES GÉNÉRALES ET PRÉPARATION DU MATÉRIEL

#### 6.1.1

Dans le cas de matériaux à granulométrie uniforme, il est recommandé que les dimensions de la particule la plus grande ne dépassent pas 1/10 du diamètre de l'éprouvette.

#### 6.1.4.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Si l'on observe une fuite d'eau de la cellule ou de toute conduite d'eau, à tout moment lors du déroulement de l'essai, l'effet de la fuite sur le résultat de l'essai doit être évalué et si celui-ci est préjudiciable, l'essai peut être jugé invalide.

## 6.2 PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES

### 6.2.1

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les échantillons non remaniés doivent être examinés avant l'essai. Il convient de consigner dans le rapport d'essai tout remaniement significatif visible dans l'éprouvette. Les échantillons fortement remaniés ne donneront pas de résultats pertinents et il convient de ne pas les soumettre à la procédure d'essai.

### 6.2.2

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Des précautions doivent être prises afin de maintenir constante la teneur en eau de l'éprouvette durant sa préparation. Si la préparation est interrompue, l'éprouvette doit être protégée de manière à ce que sa teneur en eau ne change pas. La circulation d'air autour de l'éprouvette doit être évitée.

### 6.2.4

Le renvoi à la norme NF EN ISO 17892-2 fait référence à la méthode de mesurage des dimensions géométriques.

### 6.2.5

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les éprouvettes peuvent être préparés en laboratoire en reconstituant le matériau dans un moule avec ou sans la membrane en caoutchouc montée à l'intérieur. L'eau mélangée dans le matériau doit avoir un temps d'équilibre d'au moins 16 h avant le compactage.

La durée d'imbibition d'au moins 16 h est essentielle notamment pour les matériaux naturels argileux.

### 6.2.8.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Monter l'éprouvette dans l'appareillage avec la membrane et les joints toriques, de façon à la centrer par rapport au chapeau et à l'embase. Un soin extrême doit être apporté pour éviter, autant que possible, les déformations de l'éprouvette durant sa mise en place. Il est recommandé de mettre en place les éprouvettes de sols très mous sans les toucher avec les mains lors des étapes de préparation.

## 6.3 APPLICATION DE LA PRESSION CELLULAIRE ET RELEVÉS INITIAUX

### 6.3.2.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Régler la pression cellulaire à la valeur souhaitée par rapport à la mi-hauteur de l'éprouvette et laisser l'éprouvette se stabiliser avant de procéder au cisaillement. Une durée de stabilisation d'environ 10 minutes est généralement adaptée. Relever toute variation de hauteur de l'éprouvette.

Il convient de procéder au cisaillement dès lors que la pression cellulaire est stabilisée.

## 6.4 CISAILLEMENT

### 6.4.1

Il faut comprendre dans ce paragraphe par « matériau fragile » un matériau cassant.

## 6.5 DÉMONTAGE

### 6.5.5.

Cette identification est visuelle.

### 6.5.6.

La mesure de la teneur en eau sur la surface de rupture est optionnelle. La pratique en France est de faire la mesure sur l'éprouvette entière.

## 7. RÉSULTATS D'ESSAIS

### 7.1 MASSE VOLUMIQUE, MASSE VOLUMIQUE SÈCHE ET TENEUR EN EAU

#### 7.1.1

Il faut comprendre dans ce paragraphe par « poids humide » le poids mouillé.

Généralement, la réalisation d'une mesure de teneur en eau à partir des chutes de matériau de l'éprouvette est suffisant.

### 7.2 ÉTAPE PRÉCÉDANT LE CISAILLEMENT

Ceci s'applique essentiellement dans le cas de sols très mous.

*La note ci-dessous est absente de la version NF de la norme. Il s'agit ici de la traduction de la version EN.*

#### NOTE

La valeur de  $f$  est usuellement de  $1/3$  pour les sols homogènes sous contraintes isotropes, mais d'autres valeurs peuvent être appropriées en cas de contraintes anisotropes.

### 7.3 CISAILLEMENT

#### 7.3.1 Section transversale corrigée

La rapidité d'un essai UU est telle que le terme  $\Delta H_i$  n'est généralement pas mesuré, et négligé. La formule peut donc être simplifiée ;  $A_{cor} = V_i / (H_i - \Delta H_s)$

#### 7.3.2 Contrainte déviatorique

- A l'exception du cas de sols très mous, le terme correctif,  $(\Delta\sigma_v)_m$  peut être négligé au regard de la contrainte appliquée sur l'éprouvette lors du cisaillement.
  - Les termes  $K$  et  $\alpha\sigma_c$  peuvent être pris en compte en les soustrayant de la lecture du capteur de force par une remise à zéro après application de la pression cellulaire.
- La formule approchée devient alors  $P/A_{cor}$ ,  $P$  étant alors la valeur corrigée.

#### 7.3.4 Résistance au cisaillement non drainé

La Formule (5) n'est valable que dans le cas de sols fins saturés, avec  $\phi_u = 0$ .  
Dans les autres cas, il convient de tracer les cercles de Mohr et de déduire la résistance au cisaillement non drainé par tracé de la tangente aux cercles (cf commentaire §8.1).

## 7.4 CORRECTION DUE À L'ÉLASTICITÉ DE LA MEMBRANE

Cette correction est indispensable dans le cas de sols très mous.

## 8. RAPPORT D'ESSAI

### 8.1. ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT

Dans le cas de la réalisation d'un essai avec plusieurs éprouvettes, comme recommandé dans ce document, il convient de préciser l'ensemble des éléments demandés (à l'exception du  $k$ ) pour chaque éprouvette.

La résistance au cisaillement non drainée est déterminée par le tracé de la tangente aux cercles de Mohr de l'ensemble des éprouvettes. L'ordonnée à l'origine de cette tangente est le paramètre  $c_{UU}$  et l'angle de la tangente est  $\phi_{UU}$ .

Le tracé des cercles de Mohr de l'ensemble des éprouvettes, et de la tangente à ces cercles, et la détermination des paramètres  $c_{UU}$  et  $\phi_{UU}$  doivent être ajoutés au procès-verbal de l'essai.

Si l'angle de la tangente  $\phi_{UU}$  est proche de zéro, la résistance au cisaillement non drainé peut être assimilée à la cohésion non drainée  $c_u$  (avec  $\phi_u=0$ ). C'est notamment le cas des sols fins saturés.

Dans les autres cas, la résistance au cisaillement non drainé est caractérisée par les paramètres  $c_{UU}$  et  $\phi_{UU}$ .

Il convient de mentionner sur le procès-verbal d'essai si une correction est appliquée sur le calcul de la contrainte déviatorique, et laquelle.

## NF EN ISO 17892-9 (AVRIL 2018)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

### Partie 9 : Essais en compression à l'appareil triaxial consolidés sur sols saturés

TRADUCTION INITIALE	TRADUCTION CORRIGÉE
Embase supérieure ou plateau supérieur	Chapeau
Pression absolue	Pression cellulaire visée
Espace vide	Vide interstitiel
Embase inférieure	Embase
Système de chasse d'eau	Système d'évacuation d'eau

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	59
3.1. ESSAI CIU	59
3.2. ESSAI CAU	
3.3. ESSAI CID	59
3.4. ESSAI CAD	
3.5. PRESSION INTERSTITIELLE	
3.6. CONTRE-PRESSION	
3.7. PRESSION CELLULAIRE	
3.8. CONTRAINTE DÉVIATORIQUE	
3.9. CONTRAINTE EFFECTIVE	
3.10. RUPTURE	59
<b>4. SYMBOLES</b>	
<b>5. APPAREILLAGE</b>	59
5.1. GÉNÉRALITES	
5.2. CELLULE TRIAXIALE	
5.2.1.	
5.2.2.	
5.2.3.	
5.2.4.	
5.2.5.	
5.2.6.	
5.3. MEMBRANE DE CONFINEMENT	59
5.3.1.	
5.3.2.	59
5.3.3.	
5.3.4.	
5.4. DISQUES DRAINANTS	
5.4.1.	
5.4.2.	
5.5. PAPIER FILTRE	59
5.5.1.	
5.5.2.	59
5.5.3.	
5.6. CIRCUITS DE PRESSION	59
5.7. PRESSE DE CHARGEMENT	
5.7.1.	
5.7.2.	
5.8. DISPOSITIFS DE MESURE	60
5.8.1. Dispositif de mesure de la force	60
5.8.2. Dispositifs de mesure de la pression	60

# SOMMAIRE

5.8.3. Dispositif de mesure du déplacement vertical	60
5.8.4. Dispositif de mesure de la variation du volume	60
<b>5.9. FLUIDES CELLULAIRE ET DE CONTRE-PRESSION</b>	<b>60</b>
5.9.1.	60
5.9.2.	
5.9.3.	
<b>5.10. APPAREILLAGE COMPLÉMENTAIRE</b>	<b>60</b>
<b>6. PROCÉDURE D'ESSAI</b>	<b>61</b>
<b>6.1. EXIGENCES GÉNÉRALES ET PRÉPARATION DU MATÉRIEL</b>	<b>61</b>
6.1.1.	61
6.1.2.	
6.1.3.	
6.1.4.	
6.1.5.	
6.1.6.	61
6.1.7.	61
<b>6.2. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES</b>	<b>61</b>
6.2.1.	
6.2.2.	61
6.2.3.	62
6.2.4.	
6.2.5.	62
6.2.6.	
6.2.7.	62
6.2.8.	62
6.2.9.	
6.2.10.	
6.2.11.	63
6.2.12.	
<b>6.3. SATURATION DE L'ÉPROUVETTE</b>	<b>63</b>
6.3.1. Saturation	
6.3.2. Application d'une pression cellulaire et d'une contre-pression	63
6.3.3. Contrôles de saturation	64
<b>6.4. CONSOLIDATION ISOTROPE (ESSAIS CIU ET CID)</b>	
6.4.1.	
6.4.2.	
<b>6.5. CONSOLIDATION ANISOTROPE (ESSAIS CAU ET CAD)</b>	
6.5.1.	
6.5.2.	
<b>6.6. FIN DE LA CONSOLIDATION</b>	
<b>6.7. CISAILLEMENT</b>	<b>64</b>
6.7.1. Généralités	64
6.7.2. Essais non drainés (CIU et CAU)	65

# SOMMAIRE

6.7.3. Essais drainés (CID et CAD)	65
<b>6.8. DÉMONTAGE</b>	<b>65</b>
6.8.1.	
6.8.2.	
6.8.3.	
6.8.4.	
6.8.5.	
6.8.6.	65
6.8.7.	65
<b>7. RÉSULTATS D'ESSAIS</b>	<b>66</b>
<b>7.1. MASSE VOLUMIQUE, MASSE VOLUMIQUE SÈCHE ET TENEUR EN EAU</b>	<b>66</b>
7.1.1.	66
7.1.2.	
7.1.3.	
<b>7.2. CALCULS DES PARAMÈTRES D'ESSAI</b>	<b>66</b>
7.2.1. Hauteur après consolidation	
7.2.2. Section transversale corrigée	
7.2.3. Corrections dues à l'élasticité de la membrane	66
7.2.4. Correction due aux bandes de papier filtre	66
7.2.5. Contrainte verticale totale	66
7.2.6. Contrainte verticale effective:	
7.2.7. Contrainte horizontale totale	
7.2.8. Contrainte horizontale effective	
7.2.9. Variation de pression interstitielle	
<b>8. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>66</b>
8.1. ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT	66
8.2. PRÉSENTATION GRAPHIQUE	66
8.3. ÉLÉMENTS POUVANT FIGURER AU RAPPORT	67
<b>ANNEXE A - ÉTALONNAGE, MAINTENANCE ET CONTRÔLES (NORMATIVE)</b>	
A.1 - DISPOSITIONS GÉNÉRALES	
A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	
A.3 - APPAREILLAGE	
<b>ANNEXE B - CALCULS SUPPLÉMENTAIRES POUR LA RÉSISTANCE EFFECTIVE AU CISAILEMENT (INFORMATIVE)</b>	
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	

### 3. TERMES ET DÉFINITIONS

#### 3.1 ESSAI CIU

Il s'agit de l'essai couramment dénommé CU+u.

#### 3.3 ESSAI CID

Il s'agit de l'essai couramment dénommé CD.

#### 3.10 RUPTURE

Le critère d'arrêt en déformation usuellement appliqué en France est une déformation verticale maximale de 15%

### 5. APPAREILLAGE

#### 5.3 MEMBRANE DE CONFINEMENT

##### 5.3.2.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

L'utilisation d'une membrane de confinement et de drains latéraux qui conduirait à une correction sur la contrainte déviatorique de plus de 10% à la rupture ne devrait pas être utilisée (voir 5.5, 7.2.3 et 7.2.4).

#### 5.5 PAPIER FILTRE

##### 5.5.2.

Il convient que les drains latéraux soient également mis au contact des papiers filtres pour assurer la continuité du drainage.

#### 5.6 CIRCUITS DE PRESSION

Le critère d'exactitude sur l'application de la pression cellulaire est plus contraignant que celui indiqué dans la norme NF P 94-074, qui était de 2 kPa.

Le critère d'exactitude sur l'application de la contrainte radiale effective est plus contraignant que celui indiqué dans la norme NF P 94-074, qui était de 4 kPa.

## 5.8 DISPOSITIFS DE MESURE

### 5.8.1 Dispositif de mesure de la force

Attention, le critère d'exactitude du dispositif de mesure de la contrainte verticale est plus contraignant que celui de la norme NF P 94-074, qui était +/-3% de la valeur à la rupture.

### 5.8.2 Dispositifs de mesure de la pression

#### 5.8.2.1

Attention, le critère d'exactitude du dispositif de mesure de la pression cellulaire est plus contraignant que celui de la norme NF P 94-074, qui était 2 kPa ou 1% de la plage complète du dispositif.

### 5.8.3 Dispositif de mesure du déplacement vertical

Attention, le critère d'exactitude du dispositif de mesure de la variation de hauteur de l'éprouvette est différent de celui de la norme NF P 94-074, qui était 0,04 mm.

### 5.8.4 Dispositif de mesure de la variation du volume

Attention, le critère d'exactitude du dispositif de mesure de la quantité d'air ou d'eau pénétrant ou sortant de l'éprouvette est différent de celui de la norme NF P 94-074, qui était 0.3%.

## 5.9 FLUIDES CELLULAIRE ET DE CONTRE-PRESSION

### 5.9.1

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Le fluide cellulaire devrait être choisi de manière à ne pas pénétrer de façon significative dans l'échantillon à travers la membrane et qu'il n'extrait pas l'eau interstitielle de l'éprouvette à travers la membrane pendant la durée de l'essai.

## 5.10 APPAREILLAGE COMPLÉMENTAIRE

Il s'agit des équipements permettant de mesurer la teneur en eau conformément à la norme NF EN ISO 17892-1

## 6. PROCÉDURE D'ESSAI

### 6.1 EXIGENCES GÉNÉRALES ET PRÉPARATION DU MATÉRIEL

#### 6.1.1.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les éprouvettes doivent être cylindriques avec un diamètre d'au moins 34 mm et une hauteur comprise entre 1,8 et 2,5 fois le diamètre. Il convient que les dimensions de la particule la plus grande ne dépassent pas 1/6 du diamètre de l'éprouvette. Les éprouvettes présentant des dimensions différentes, ou des valeurs différentes du rapport hauteur sur diamètre peuvent être testées avec des procédures d'essai particulières.

Dans le cas de matériaux à granulométrie uniforme, il est recommandé que les dimensions de la particule la plus grande ne dépassent pas 1/10 du diamètre de l'éprouvette.

#### 6.1.6.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Si l'on observe une fuite d'eau de la cellule ou de toute conduite d'eau, à tout moment lors du déroulement de l'essai, l'effet de la fuite sur le résultat de l'essai doit être évalué et si celui-ci est préjudiciable, l'essai peut être jugé invalide.

#### 6.1.7.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

L'absence de fuite sur le circuit peut être vérifiée lorsque l'installation est prête pour le montage de la cellule triaxiale. Une faible succion par dépression (par exemple 10 kPa, mais pas plus que la contrainte effective prévue) peut être appliquée dans la tubulure de drainage. La source de dépression doit ensuite être déconnectée. Si la dépression décroît après une durée de 2 min environ, il convient de prendre des mesures permettant de détecter et d'éliminer les éventuelles fuites de la membrane ou des tubulures de drainage.

### 6.2 PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES

#### 6.2.2.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les échantillons non remaniés doivent être examinés avant l'essai. Il convient de consigner dans le rapport d'essai tout remaniement significatif visible dans l'éprouvette. Les échantillons fortement remaniés ne donneront pas de résultats pertinents et il convient de ne pas les soumettre à la procédure d'essai.

### 6.2.3.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Des précautions doivent être prises afin de maintenir constante la teneur en eau de l'éprouvette durant sa préparation. Si la préparation est interrompue, l'éprouvette doit être protégée de manière à ce que sa teneur en eau ne change pas. La circulation d'air autour de l'éprouvette doit être évitée.

### 6.2.5

Le renvoi à la norme NF EN ISO 17892-2 fait référence à la méthode de mesurage des dimensions géométriques.

### 6.2.7.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les éprouvettes peuvent être préparées en laboratoire en reconstituant le matériau dans un moule avec ou sans la membrane en caoutchouc montée à l'intérieur. L'eau mélangée dans le matériau doit avoir un temps d'équilibre d'au moins 16 h avant le compactage. Une méthode par « sous-compactage » par couches peut être utilisée pour le sable afin d'obtenir un échantillon homogène. Les éprouvettes reconstituées de sable peuvent également être préparées par pluviation dans l'air ou dans l'eau.

Concernant la méthode de « sous-compactage », on pourra se référer à l'article de R. Ladd, *Preparing test specimens using undercompaction, Geotechnical testing journal, vol.1-issue 1 (1978) pp.16-23*

La durée d'imbibition d'au moins 16 h doit être appliquée pour les matériaux naturels argileux.

### 6.2.8.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les éprouvettes de sols grossiers peuvent être maintenues en appliquant une légère dépression (généralement comprise entre 10 kPa et 20 kPa) une fois le moule fendu retiré, et jusqu'à ce qu'une pression dans la cellule de l'appareil triaxial positive d'une amplitude égale soit appliquée.

## 6.2.11.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Monter l'éprouvette dans l'appareillage avec les papiers filtres (si utilisés), la membrane et les joints toriques, de façon à la centrer par rapport au chapeau et à l'embase. Un soin extrême doit être apporté pour éviter, autant que possible, les déformations de l'éprouvette durant sa mise en place. Il est recommandé de mettre en place les éprouvettes de sols très mous sans les toucher avec les mains lors des étapes de préparation.

## 6.3 SATURATION DE L'ÉPROUVETTE

## 6.3.2. Application d'une pression cellulaire et d'une contre-pression

## 6.3.2.1

Il est recommandé d'appliquer la procédure de saturation décrite dans la NF P 94-074, dont les principales étapes sont rappelées ci-après :

Appliquer dans la cellule, le circuit de drainage ayant été fermé, la pression  $\sigma_c$  et une pression  $u_{cp}$ . Lorsque cette pression  $\sigma_c$  n'est pas définie, adopter :

$$\sigma_c = 2/3 \sigma'_{v0} + u_0 \text{ et tel que } \sigma_c - u_{cp} < 2/3 \sigma'_{v0}$$

où :

$\sigma'_{v0}$  est la contrainte effective verticale ;

$u_0$  est la pression interstitielle supposée dans le sol en place.

Lorsque ces valeurs ne sont pas connues, prendre  $\sigma_c = 50$  kPa et  $u_{cp} = 30$  kPa.

Régler le circuit de contre-pression à la valeur  $u_{cp}$  (voir note 2).

Ouvrir le drainage.

Attendre environ 30 min pour obtenir la stabilisation de l'écoulement du liquide circulant dans l'éprouvette sous cet état initial.

NOTE 1 : Pour les sols raides ( $c_u > 75$  kPa) et gonflants, la procédure donnée en annexe A peut également être choisie.

NOTE 2 : La contre-pression permet d'améliorer la saturation des éprouvettes grâce à la compression et à la dissolution des bulles de gaz dans le liquide interstitiel. La contre-pression est établie par augmentation progressive par paliers. La pression cellulaire est ajustée au fur et à mesure, de façon à maintenir la contrainte effective définie en 7.1.1.2. Les quantités de liquide absorbées ou expulsées sont notées. Les différents paliers sont au plus les suivants, exprimés en kilopascals : 50 — 100 — 200 — 400 — 600 — 800... La fin de chaque palier est atteinte lorsque la variation de volume, en fonction du temps, tend à se stabiliser. La dernière pression est maintenue jusqu'à stabilisation des variations de volumes drainés. Les ordres de grandeur de la contre-pression nécessaire pour assurer la saturation sont :

- sols mous :  $u_{cp} = 200$  kPa ;
- sols fermes :  $u_{cp} = 400$  kPa ;
- sols raides :  $u_{cp} = 800$  kPa ;
- sables dilatants :  $u_{cp} = 800$  kPa.

La même contre-pression est appliquée à toutes les éprouvettes.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

**NOTE :** À la fin de l'opération de saturation, une pression d'eau interstitielle dans l'éprouvette d'au moins 300 kPa est normalement nécessaire à une saturation adéquate, sauf dans le cas d'éprouvettes d'argile molle prélevées sous la nappe phréatique, pour lesquelles cette pression d'eau interstitielle élevée n'est pas nécessaire.

#### 6.3.2.4

Il s'agit ici du gaz dissout dans l'eau interstitielle.

### 6.3.3 Contrôles de saturation

#### 6.3.3.2.

L'incrément de pression  $\Delta\sigma_c$  généralement appliqué est de 50 kPa environ.

#### 6.3.3.6.

Dans ce paragraphe, il faut comprendre par « système avec coussin d'air » le système doté d'un palier à air.

## 6.7 CISAILLEMENT

### 6.7.1 Généralités

#### 6.7.1.2.

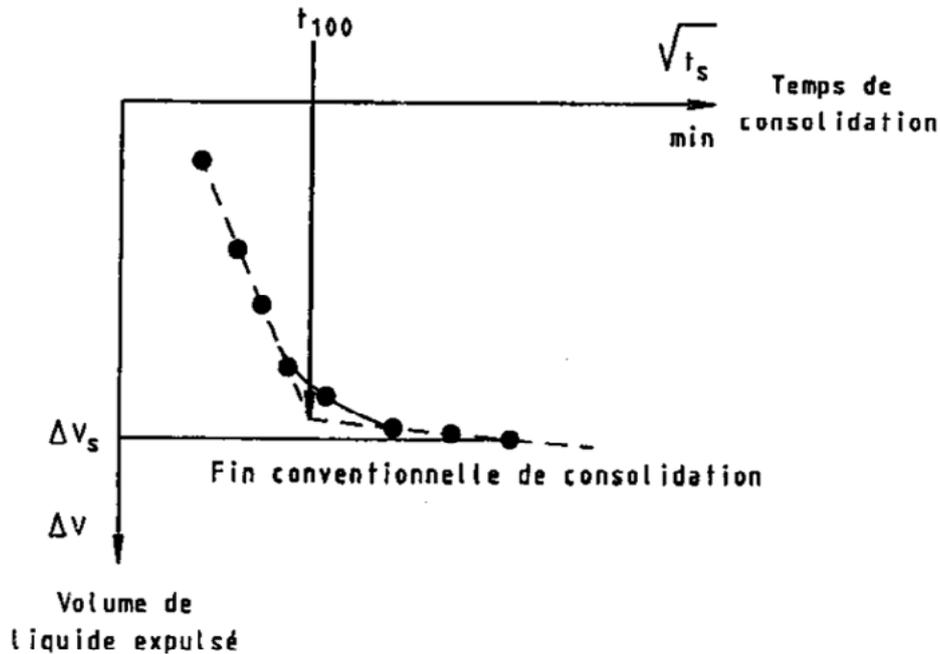
*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Les valeurs initiales indiquées par tous les dispositifs de mesure doivent être relevées et la position de toutes les vannes doit être vérifiée. Relever le taux de déformation volumétrique immédiatement avant le cisaillement.

## 6.7.2 Essais non drainés (CIU et CAU)

## 6.7.2.2.

Il est recommandé de privilégier la méthode dite « de Casagrande » permettant de définir le  $t_{100}$  à partir du graphique  $\Delta V_c = f(\sqrt{t})$  (remplacer  $\Delta V_s$  par  $\Delta V_c$  et  $\sqrt{t_s}$  par  $\sqrt{t}$ )



Il est possible d'appliquer les valeurs de F du Tableau 1 pour tout élancement compris entre 1.8 et 2.5.

## 6.7.3 Essais drainés (CID et CAD).

## 6.7.3.2.

La vitesse maximale de déplacement vertical du bâti est exprimée ici en taux de déformation verticale de l'éprouvette par heure. Par exemple : pour une éprouvette de hauteur  $H_c = 70$  mm, la vitesse  $v_{max}$  ne pourra pas dépasser 7 mm/h.

## 6.8 DÉMONTAGE

## 6.8.6.

Cette identification est visuelle.

## 6.8.7

La mesure de la teneur en eau sur la surface de rupture est optionnelle. La pratique en France est de faire la mesure sur l'éprouvette entière.

## 7. RÉSULTATS D'ESSAIS

### 7.1 MASSE VOLUMIQUE, MASSE VOLUMIQUE SÈCHE ET TENEUR EN EAU

#### 7.1.1

Généralement, la réalisation d'une mesure de teneur en eau à partir des chutes de matériau de l'éprouvette est suffisant.

### 7.2 CALCULS DES PARAMÈTRES D'ESSAI

#### 7.2.3 Corrections dues à l'élasticité de la membrane

Cette correction est indispensable dans le cas de sols très mous.

#### 7.2.4 Correction due aux bandes de papier filtre

##### 7.2.4.1 Correction sur la contrainte verticale totale

Cette correction est indispensable dans le cas de sols très mous.

##### 7.2.5 Contrainte verticale totale

- A l'exception du cas de sols très mous, les termes correctifs  $(\Delta\sigma_v)_m$  et  $(\Delta\sigma_v)_{fp}$  peuvent être négligés au regard de la contrainte appliquée sur l'éprouvette lors du cisaillement.
  - Les termes  $K$  et  $a\sigma_c$  peuvent être pris en compte en les soustrayant de la lecture du capteur de force par une remise à zéro après application de la pression cellulaire.
- La formule approchée devient alors  $P/A_{cor}$ ,  $P$  étant alors la valeur corrigée.

## 8. RAPPORT D'ESSAI

### 8.1 ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT

Les paramètres de résistance au cisaillement seront obtenus à l'aide d'un minimum de 3 éprouvettes, et pourront être déterminés à partir de l'annexe B.

Le rapport d'essai présentera les tracés ayant permis la détermination des paramètres de résistance au cisaillement ( $c'$ ,  $\phi'$ ...).

### 8.2 PRÉSENTATION GRAPHIQUE

Le tracé du volume pendant la consolidation en fonction de la racinée carrée ou du logarithme du temps sera présenté en annexe du procès-verbal

### 8.3 ÉLÉMENTS POUVANT FIGURER AU RAPPORT

Dans le cas de l'essai non drainé, l'interprétation devra également être menée en contraintes totales afin de déterminer les paramètres de résistance apparente au cisaillement non drainée usuellement dénommés  $\phi_{cu}/c_{cu}$  et  $c_{uo}/\lambda_{cu}$ .

Ces résultats doivent systématiquement figurer dans le rapport d'essai.

## NF EN ISO 17892-10 (DÉCEMBRE 2018)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

### Partie 10 : Essais de cisaillement direct

TERMINOLOGIE DE LA NORME	TERMINOLOGIE DANS LES RECOMMANDATIONS
remoulé	remanié
extrémité (de l'éprouvette)	faces supérieure et inférieure
conteneur	boite
disques drainants	interfaces drainants
essai de cisaillement par inversion multiple de la boite	essai de cisaillement alterné

Seuls les paragraphes ayant nécessité un commentaire sont identifiés dans le document.

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	
3.1. ESSAI DE CISAILLEMENT DIRECT	
3.2. ESSAI DE CISAILLEMENT À LA BOÎTE	
3.3. ESSAI DE CISAILLEMENT ANNULAIRE	
3.4. RUPTURE	
3.5. PRESSION INTERSTITIELLE	
3.6. CONSOLIDATION PRIMAIRE	
<b>4. SYMBOLES</b>	71
<b>5. APPAREILLAGE</b>	71
5.1. GÉNÉRALITÉS	
5.2. DISPOSITIFS DE CISAILLEMENT	71
5.2.1. Appareil d'essai de cisaillement à la boîte	71
5.2.2. Appareil de cisaillement annulaire	71
5.3. DISPOSITIFS DE CHARGEMENT	
5.3.1.	
5.3.2.	
5.3.3.	
5.4. DISPOSITIFS DE MESURE	
5.4.1. Dispositifs de mesure de la charge	
5.4.2. Dispositifs de mesure du couple	
5.4.3. Dispositifs de mesure des déplacements	
5.5. APPAREILLAGE ACCESSOIRE	71
<b>6. PROCÉDURE D'ESSAI</b>	71
6.1. DISPOSITIONS GÉNÉRALES	71
6.1.1.	
6.1.2.	71
6.2. PRÉPARATION DE L'ÉPROUVETTE	72
6.2.1. Dispositions générales et choix de la méthode de préparation	
6.2.2. Dispositions générales applicables à la préparation d'éprouvettes à partir d'échantillons non remaniés	72
6.2.3. Taille à partir d'échantillons extrudés ou en bloc	
6.2.4. Extrusion d'un carottier d'un diamètre supérieur à celui du moule et du gabarit de coupe	72
6.2.5. Préparation des éprouvettes fabriquées en laboratoire	72
6.3. MESURES ANTÉRIEURES À L'ESSAI	
6.3.1.	
6.3.2.	
6.3.3.	
6.4. PRÉPARATION DE L'ÉQUIPEMENT	
6.4.1.	
6.4.2.	

# SOMMAIRE

6.4.3.	
6.4.4.	
6.4.5.	
<b>6.5. CONSOLIDATION</b>	<b>72</b>
6.5.1.	
6.5.2.	
6.5.3.	
6.5.4.	
6.5.5.	
6.5.6.	
6.5.7.	72
<b>6.6. CISAILLEMENT</b>	<b>72</b>
6.6.1.	
6.6.2.	
6.6.3.	
6.6.4.	
6.6.5.	72
6.6.6.	
6.6.7.	73
6.6.8.	
6.6.9.	73
6.6.10.	
6.6.11.	
6.6.12.	
<b>7. RÉSULTATS DE L'ESSAI</b>	<b>73</b>
7.1. TENEUR EN EAU	
7.2. MASSE VOLUMIQUE INITIALE DU SOL SEC	
7.3. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE INITIALE	
7.4. INDICE DES VIDES INITIAL	
7.5. DEGRÉ DE SATURATION INITIAL	
7.6. INDICE DES VIDES PENDANT L'ESSAI	
7.7. CONTRAINTES ET DÉPLACEMENTS	
7.7.1. Cisaillement à la boîte	
7.7.2. Cisaillement annulaire	
7.8. TRACÉS	
<b>8. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>73</b>
8.1. ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT	73
8.2. ÉLÉMENTS POUVANT FIGURER AU RAPPORT	73
<b>ANNEXE A - ÉTALONNAGE, MAINTENANCE ET CONTROLES (NORMATIVE)</b>	
A.1 - DISPOSITIONS GÉNÉRALES	
A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	
A.3 - APPAREILLAGE	
<b>ANNEXE B - CALCULS SUPPLÉMENTAIRES POUR LES PARAMÈTRES DE RÉSISTANCE EFFECTIVE (INFORMATIVE)</b>	

## 4. SYMBOLES

Il ne faut pas confondre l'indice des vides en place  $e_0$  tel que défini par l'Eurocode 7 et l'indice des vides initial de l'éprouvette au début de l'essai, intitulé également  $e_0$  dans la norme NF EN ISO 17892-5. Par souci de clarification, il convient de retenir  $e_i$  comme étant l'indice des vides initial de l'éprouvette en début d'essai et  $e_0$  comme étant l'indice des vides du sol en place.

## 5. APPAREILLAGE

### 5.2 DISPOSITIFS DE CISAILLEMENT

#### 5.2.1 Appareil d'essai de cisaillement à la boîte

##### 5.2.1.5

Ce rapport de 2.5 entre la largeur ou le diamètre de l'éprouvette et sa hauteur est supérieur à celui précédemment appliqué dans le cadre de la NF P 094-071-1

#### 5.2.2 Appareil de cisaillement annulaire

Ce type d'essai n'était jusqu'à présent pas couvert par la normalisation française.

### 5.5 APPAREILLAGE ACCESSOIRE

La première liste d'appareillage correspond aux équipements permettant de déterminer la teneur en eau conformément à la norme NF EN ISO 17892-1

## 6. PROCÉDURE D'ESSAI

Afin de déterminer les paramètres de cisaillement, il est nécessaire de réaliser l'essai sur au minimum trois éprouvettes de même dimensions, préparées dans les mêmes conditions et cisillées à la même vitesse, soumises chacune à une valeur de contrainte verticale différente.

### 6.1 DISPOSITIONS GÉNÉRALES

#### 6.1.2.

Il conviendra de bien noter sur le PV d'essai la présence éventuelle de particules de dimensions supérieures au 1/10 de la hauteur de l'éprouvette.

## 6.2 PRÉPARATION DE L'ÉPROUVETTE

### 6.2.2 Dispositions générales applicables à la préparation d'éprouvettes à partir d'échantillons non remaniés

#### 6.2.2.1

Les boîtes circulaires permettent d'assurer une meilleure qualité des éprouvettes.

### 6.2.4 Extrusion d'un carottier d'un diamètre supérieur à celui du moule et du gabarit de coupe

#### 6.2.4.2.

Cette opération vise à éliminer les extrémités remaniées de la carotte

### 6.2.5 Préparation des éprouvettes fabriquées en laboratoire

Il s'agit ici des éprouvettes reconstituées en laboratoire.

#### 6.2.5.1

Il convient que l'imprégnation du matériau reconstitué soit homogène.

## 6.5 CONSOLIDATION

### 6.5.7.4.

Il est recommandé de ne pas retenir une valeur de  $s_f$  inférieure à 1.5 mm pour les sols fins fermes.

### 6.5.7.5

Il est recommandé de limiter les vitesses de cisaillement à 0.025 mm/min pour des boîtes de cisaillement de dimensions usuelles.

La vitesse de cisaillement devra être identique pour les trois éprouvettes de l'essai.

## 6.6 CISAILLEMENT

### 6.6.5.

Il est recommandé d'appliquer un intervalle de mesure du déplacement horizontal de 0.2 mm jusqu'à 2 mm, puis 0.5 mm au-delà.

### 6.6.7.

Il est recommandé d'arrêter l'essai pour un déplacement de 5 mm.

### 6.6.9.3.

Il convient que la résistance au cisaillement soit stabilisée afin de mettre fin à l'essai

## 7. RÉSULTATS DE L'ESSAI

Conformément au commentaire apporté au §4, le terme  $e_0$  doit être remplacé par  $e_i$  dans les expressions de ce paragraphe, afin d'éviter toute confusion vis-à-vis de la norme NF EN ISO 17892-5.

## 8. RAPPORT D'ESSAI

### 8.1 ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT

Le rapport d'essai doit présenter sur un même document les résultats obtenus pour l'ensemble des éprouvettes testées.

En cas de présence de particules de dimension supérieure à 1/10 de la hauteur de l'éprouvette, il convient de préciser la dimension maximale de ces particules et leur nature.

Les courbes de la contrainte de cisaillement et de la variation de hauteur en fonction du déplacement linéaire horizontal des différentes éprouvettes seront tracées sur le même graphique.

### 8.2 ÉLÉMENTS POUVANT FIGURER AU RAPPORT

Il est recommandé d'apporter systématiquement les informations suivantes sur le procès-verbal :

- Le temps de consolidation  $t_c$
- la masse volumique des particules solides en indiquant si elle a été mesurée ou estimée ( $Mg/m^3$ );
- les valeurs initiales de l'indice des vides et du degré de saturation (%);
- la courbe de contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte verticale (normale) à la rupture.
- l'angle de frottement effectif ( $\phi'$ ) et la cohésion effective ( $c'$  en kPa), sans décimale, avec l'indication des critères de rupture adoptés ;
- l'angle de frottement effectif et la cohésion effective à l'état final du cisaillement (palier)

## NF EN ISO 17892-11 (FÉVRIER 2019)

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

### Partie 11 : Essais de perméabilité

TERMINOLOGIE DE LA NORME	TERMINOLOGIE CORRIGÉE
Couvercle supérieur	Chapeau
Socle	Embase
Perméamètre annulaire à oedomètre	Perméamètre à cellule oedométrique
Contrainte efficace	Contrainte effective
Anneau d'oedomètre	Bague d'oedomètre
Transducteurs	Capteurs

Seuls les paragraphes ayant nécessité un commentaire sont identifiés dans le document.

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	77
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	
3.1. PERMÉAMÈTRE	
3.2. DÉBIT	
3.3. VITESSE D'ÉCOULEMENT	
3.4. GRADIENT HYDRAULIQUE	
3.5. COÉFFICIENT DE PERMÉABILITÉ	
3.6. DEGRÉ DE SATURATION	
<b>4. SYMBOLES</b>	
<b>5. APPAREILLAGE</b>	77
5.1. GÉNÉRALITÉS	
5.2. PERMÉAMÈTRES	
5.2.1. Généralités	
5.2.2. Perméamètres à paroi rigide	77
5.2.3. Perméamètre à paroi flexible	77
5.3. DISQUES DRAINANTS	77
5.4. PROPRIÉTÉS DE L'EAU DE PERMEATION	
5.5. DISPOSITIFS DE MESURE ET DE CONTRÔLE	77
5.5.1. Hauteur de charge	
5.5.2. Dispositifs de mesure du déplacement et du volume	
5.5.3. Dispositif de mesure du volume d'écoulement	77
5.6. APPAREILLAGE ACCESSOIRE	78
<b>6. MODE OPÉRATOIRE D'ESSAI</b>	78
6.1. EXIGENCES GÉNÉRALES	78
6.1.1. Saturation	78
6.1.2. Gradient hydraulique	78
6.1.3. Température de l'eau	
6.2. PRÉPARATION DE L'ÉPROUVETTE	78
6.2.1. Généralités	78
6.2.2. Perméamètre à paroi rigide	78
6.2.3. Perméamètre à paroi flexible	79
6.3. PRÉPARATION DE L'ESSAI	79
6.3.1. Perméamètre cylindrique	
6.3.2. Anneau d'œdomètre	79
6.3.3. Perméamètre à paroi flexible	79
6.4. MESURE DE PERMÉABILITÉ	79
6.4.1.	79
6.4.2.	
6.4.3.	
6.4.4.	
6.4.5.	

6.4.6.	79
6.4.7.	
<b>6.5. DÉMONTAGE</b>	
6.5.1.	
6.5.2.	
6.5.3.	
6.5.4.	
6.5.5.	
<b>7. RÉSULTATS D'ESSAI</b>	<b>80</b>
<b>7.1. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE, MASSE VOLUMIQUE SECHE, TENEUR EN EAU ET DEGRE DE SATURATION</b>	<b>80</b>
7.1.1.	
7.1.2.	
7.1.3.	80
<b>7.2. COEFFICIENT DE PERMEABILITÉ ET GRADIENT HYDRAULIQUE</b>	<b>80</b>
7.2.1.	80
7.2.2.	80
<b>7.3. CORRECTION DE LA TEMPÉRATURE D'ESSAI</b>	
<b>8. RAPPORT D'ESSAIS</b>	
<b>8.1. ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT</b>	
<b>8.2. ÉLÉMENTS POUVANT FIGURER AU RAPPORT</b>	
<b>ANNEXE A - ÉTALONNAGE, MAINTENANCE ET CONTROLES</b>	
A.1 - EXIGENCES GÉNÉRALES	
A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	
A.3 - ÉQUIPEMENT	

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

Afin de déterminer le type d'appareillage à utiliser selon la perméabilité du matériau, on pourra s'appuyer sur le rapport BRGM *BRGM/RP-53721-FR* de Juin 2005 concernant les *Recommandations pour la caractérisation de la perméabilité des barrières d'étanchéité des installations de stockage de déchets*.

## 5. APPAREILLAGE

### 5.2.2 Perméamètres à paroi rigide

#### 5.2.2.2 Perméamètre cylindrique

Usuellement, on utilise en France des éprouvettes de dimensions de celles du moule Proctor ou CBR.

#### 5.2.2.3 Perméamètre annulaire à oedomètre

Il s'agit de la perméabilité déterminée avec une cellule oedométrique classique.

### 5.2.3 Perméamètre à paroi flexible

#### 5.2.3.1 Généralités

Il s'agit de la perméabilité déterminée avec une cellule triaxiale classique.

#### 5.2.3.2 Membranes

Dans ce paragraphe, il faut comprendre par « scellées » les membranes jointes.

## 5.3 DISQUES DRAINANTS

Il faut comprendre par « doit être supérieure au moins d'un ordre de grandeur » que la perméabilité de l'ensemble disque plus papier-filtre doit être au moins dix fois supérieure à celle de l'éprouvette.

## 5.5 DISPOSITIFS DE MESURE ET DE CONTRÔLE

### 5.5.3 Dispositif de mesure du volume d'écoulement

La méthode de mesure du volume d'écoulement par mesure du temps de parcours des bulles d'air est peu pratiquée en France.

## 5.6 APPAREILLAGE ACCESSOIRE

La teneur en eau est déterminée selon la norme NF EN ISO 17892-1

Dans ce paragraphe, il faut comprendre par « compacteur » la presse à cisaillement, et par « dames de compactage » les tiges de compactage.

## 6. MODE OPÉRATOIRE D'ESSAI

### 6.1 EXIGENCES GÉNÉRALES

#### 6.1.1 Saturation

Il est donc recommandé dans le cas d'éprouvettes d'argiles de réaliser des mesures de saturation en début et fin d'essai, y compris dans le cas d'essais réalisés sur un bâti oedométrique ou dans un moule Proctor.

#### 6.1.2 Gradient hydraulique

Il est recommandé d'appliquer le gradient maximal indiqué dans le Tableau 1 pour le cas considéré.

### 6.2 PRÉPARATION DE L'ÉPROUVETTE

#### 6.2.1 Généralités

##### 6.2.1.3.

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

Des éprouvettes peuvent être préparées directement à l'intérieur d'un perméamètre cylindrique ou à partir de tubes ou de blocs d'échantillons préalablement préparés ou non remaniés pour les perméamètres à oedomètre ou à paroi flexible.

#### 6.2.2 Perméamètre à paroi rigide

La méthode de préparation d'un échantillon pour moule Proctor ou CBR correspond à la méthode décrite dans les paragraphes 6.2.2.1 et 6.2.2.2

##### 6.2.2.2.

La méthode de préparation d'un échantillon pour oedomètre correspond à la méthode décrite dans les paragraphes 6.2.2.3 à 6.2.2.7.

### 6.2.3 Perméamètre à paroi flexible

La méthode de préparation d'un échantillon pour cellule triaxiale correspond à la méthode décrite dans les paragraphes 6.2.3.1 à 6.2.3.5.

## 6.3 PRÉPARATION DE L'ESSAI

### 6.3.2. Anneau d'œdomètre

#### 6.3.2.2.

Le couvercle supérieur correspond au piston de la cellule oedométrique.

#### 6.3.2.4.

Il est recommandé que la contrainte verticale appliquée pour l'essai soit indiquée par le prescripteur.

### 6.3.3 Perméamètre à paroi flexible

#### 6.3.3.1

La méthode décrite dans les paragraphes 6.3.3.2 et 6.3.3.3 décrit la méthode de saturation d'une éprouvette en cellule triaxiale.

## 6.4 MESURE DE PERMÉABILITÉ

### 6.4.1

Les méthodes appliquées en France sont généralement celle sous charge constante (cellule triaxiale ou moule Proctor/CBR) ou sous charge variable (œdomètre ou moule Proctor/CBR)..

### 6.4.6

*La traduction en français actuelle de la norme est incorrecte. La traduction corrigée en français de la version de référence (en anglais) conduit au texte suivant :*

La valeur de perméabilité calculée doit être constante sur quatre intervalles de temps. Si on observe une tendance croissante ou décroissante, des mesures supplémentaires doivent être réalisées jusqu'à obtenir des résultats constants.

## 7. RÉSULTATS D'ESSAI

### 7.1 MASSE VOLUMIQUE APPARENTE, MASSE VOLUMIQUE SÈCHE, TENEUR EN EAU ET DEGRÉ DE SATURATION

#### 7.1.3

Dans ce paragraphe, il faut comprendre par « masse humide » la masse mouillée.

### 7.2 COEFFICIENT DE PERMÉABILITÉ ET GRADIENT HYDRAULIQUE

#### 7.2.1

#### 7.2.2

Il s'agit ici des intervalles de temps de mesure durant l'essai.

**NF EN ISO 17892-12 (JUILLET 2018)  
AMENDEMENT 1 (SEPTEMBRE 2021)  
ET AMENDEMENT 2 (MARS 2022)**

Reconnaissance et essais géotechniques – Essais de laboratoire sur les sols

**Partie 12 : Détermination des limites de liquidité et de plasticité**

# SOMMAIRE

<b>1. DOMAINE D'APPLICATION</b>	
<b>2. RÉFÉRENCES NORMATIVES</b>	
<b>3. TERMES ET DÉFINITIONS</b>	
3.1. LIMITE DE LIQUIDITÉ WL	
3.2. LIMITE DE PLASTICITÉ WP	
3.3. INDICE DE PLASTICITÉ IP	
3.4. SOL NON PLASTIQUE	
<b>4. APPAREILLAGE</b>	<b>85</b>
4.1. GÉNÉRALITÉS	<b>85</b>
4.1.1. Balance	
4.1.2. Récipients pour éprouvette d'essai	
4.1.3. Eau	85
4.1.4. Appareillage accessoire	
4.2. MÉTHODE DU CONE TOMBANT	<b>85</b>
4.2.1. Appareil du cône tombant	85
4.2.2. Cônes	85
4.2.3. Récipient à éprouvette	
4.2.4. Dispositif de chronométrage	
4.3. MÉTHODE DE CASAGRANDE	<b>85</b>
4.3.1. Appareil de Casagrande	
4.3.2. Socle et pieds en caoutchouc	85
4.3.3. Coupelle	
4.3.4. Came	
4.3.5. Support	
4.3.6. Moteur d'entraînement (facultatif)	
4.3.7. Outil à rainurer	
4.4. APPAREILLAGE POUR LA DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITÉ	<b>85</b>
4.4.1. Plaque de malaxage	
4.4.2. Tige ou étalon	
<b>5. PROCÉDURE D'ESSAI</b>	<b>86</b>
5.1. CHOIX DE LA MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ	<b>86</b>
5.2. PRÉPARATION DE L'ÉPROUVETTE	<b>86</b>
5.2.1.	
5.2.2.	
5.2.3.	
5.2.4.	86
5.2.5.	
5.2.6.	
5.2.7.	
5.2.8.	
5.2.9.	
5.2.10.	
5.2.11.	
5.2.12.	

<b>5.3. DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ PAR LA MÉTHODE DU CONE TOMBANT</b>	<b>86</b>
5.3.1 -	
5.3.2 -	
5.3.3 -	
5.3.4 -	
5.3.5 -	
5.3.6 -	
5.3.7 -	
5.3.8 -	86
5.2.13.	
5.2.14.	
5.2.15.	
5.2.16.	86
5.2.17.	
5.2.18.	86
<b>5.4. DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITE PAR LA MÉTHODE DE CASAGRANDE</b>	<b>86</b>
5.4.1.	
5.4.2.	
5.4.3.	
5.4.4.	
5.4.5.	
5.4.6.	
5.4.7.	
5.4.8.	
5.4.9.	
5.4.10.	
5.4.11.	
5.4.12.	
5.4.13.	86
5.4.14.	
5.4.15.	86
<b>5.5. DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITÉ</b>	<b>86</b>
5.5.1.	
5.5.2.	
5.5.3.	
5.5.4.	
5.5.5.	
5.5.6.	
5.5.7.	86
5.5.8.	
5.5.9.	
5.5.10.	
5.5.11.	

<b>6. RÉSULTATS D'ESSAIS</b>	<b>87</b>
6.1. PROPORTION D'ÉCHANTILLON INFÉRIEUR A 0,4 MM	87
6.2. DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ PAR LA MÉTHODE DU CONE TOMBANT	87
6.2.1.	87
6.2.2.	
6.2.3.	
6.3. DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ PAR LA MÉTHODE DE CASAGRANDE	87
6.3.1.	87
6.3.2.	87
6.3.3.	87
6.3.4.	
6.4. LIMITE DE PLASTICITÉ	
6.4.1.	

<b>7. RAPPORT D'ESSAI</b>	<b>87</b>
7.1. ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT	87
7.2. ÉLÉMENTS OPTIONNELS POUVANT FIGURER AU RAPPORT	87

#### **ANNEXE A - ÉTALONNAGE, MAINTENANCE ET CONTROLES (NORMATIVE)**

- A.1 - DISPOSITIONS GÉNÉRALES
- A.2 - CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES
- A.3 - APPAREILLAGE
- A.4 - APPAREILLAGE POUR LA DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITÉ (NORMATIVE)
- B.1 - PARAMÈTRES SUPPLÉMENTAIRES
- B.2 - GRAPHIQUE DE PLASTICITÉ

## 4. APPAREILLAGE

### 4.1 GÉNÉRALITÉS

#### 4.1.3 Eau

L'eau du robinet peut également être utilisée

### 4.2 MÉTHODE DU CÔNE TOMBANT

#### 4.2.1 Appareil du cône tombant

##### 4.2.1.3

L'utilisation du cône 80g/30° est recommandée.

#### 4.2.2 Cônes

##### 4.2.2.1

La contrainte de 40 mm de profondeur minimale est différente de la norme NF, et les récipients doivent être adaptées.

### 4.3. MÉTHODE DE CASAGRANDE

#### 4.3.2 Socle et pieds en caoutchouc

Il convient de s'assurer que le socle est bien en caoutchouc car il existe également certains matériels non conformes, par exemple en bakélite ou autre.

### 4.4 APPAREILLAGE POUR LA DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITÉ

L'utilisation d'une plaque en marbre lisse est admise.

## 5. PROCÉDURE D'ESSAI

### 5.1 CHOIX DE LA MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ

La méthode de l'essai en 4 points est à recommander. La méthode de l'essai en 1 point est déconseillée.

### 5.2 PRÉPARATION DE L'ÉPROUVETTE

#### 5.2.4.

La détermination de la teneur en eau de l'échantillon doit être systématique.

### 5.3. DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ PAR LA MÉTHODE DU CÔNE TOMBANT

#### 5.3.8

La profondeur de pénétration à la Limite de Liquidité de la norme NF EN ISO 17892-12 (20 mm avec le cône 80 g/30°) est modifiée par rapport à la pratique de la NFP94-052-1, qui était de 17 mm avec le cône 80 g/30°.

#### 5.2.16

Il est recommandé de partir de l'état le plus humide pour aller vers l'état le plus sec.

#### 5.2.18

Cette méthode n'est pas recommandée.

### 5.4 DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ PAR LA MÉTHODE DE CASAGRANDE

#### 5.4.13.

Il est recommandé de partir de l'état le plus humide pour aller vers l'état le plus sec.

#### 5.4.15.

Cette méthode n'est pas recommandée

### 5.5 DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITÉ

#### 5.5.7.

En se référant à la norme NF P94-051, il est recommandé que le rouleau au moment où il atteint un diamètre de 3 mm ait une longueur d'environ 10 cm et ne soit pas creux

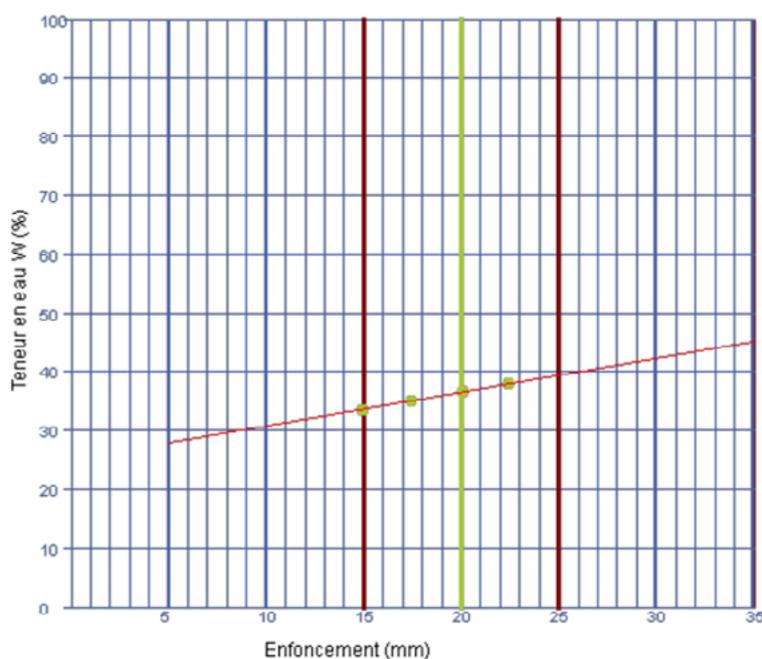
## 6. RÉSULTATS D'ESSAIS

### 6.1 PROPORTION D'ÉCHANTILLON INFÉRIEUR À 0,4 MM

### 6.2 DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ PAR LA MÉTHODE DU CÔNE TOMBANT

#### 6.2.1

Dans le cas du cône de 80 g, il est recommandé d'adopter une échelle des abscisses linéaire comme sur l'illustration ci-dessous



### 6.3 DÉTERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITÉ PAR LA MÉTHODE DE CASAGRANDE

#### 6.3.1

#### 6.3.2

#### 6.3.3

Cette méthode n'est pas recommandée.

## 7. RAPPORT D'ESSAI

### 7.1 ÉLÉMENTS DEVANT FIGURER AU RAPPORT

Ne pas oublier de préciser le type de cône utilisé

### 7.2 ÉLÉMENTS OPTIONNELS POUVANT FIGURER AU RAPPORT

Il est recommandé de systématiser l'insertion des graphes de détermination de wL



[www.syntec-ingenierie.fr](http://www.syntec-ingenierie.fr)

22-28 rue Joubert, 75009 Paris

01 44 30 49 60

[contact@syntec-ingenierie.fr](mailto:contact@syntec-ingenierie.fr)



[www.union-syndicale-geotechnique.com](http://www.union-syndicale-geotechnique.com)

Union Syndicale Geotechnique

15-17 rue Traversière

75012 PARIS

Date de publication : Novembre 2024

Imprimé sur du papier recyclé

