

ICS 91.060.01; 91.120.20

Version Française

## Eurocode 7: Calcul géotechnique - Partie 2: Calcul sur la base d'essais de laboratoire

Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der  
Geotechnik - Teil 2: Laborversuche für die geotechnische  
Bemessung

Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Design assisted  
by laboratory testing

La présente Prénorme européenne (ENV) a été adoptée par le CEN le 30 août 1997 comme norme expérimentale pour application provisoire.

La période de validité de cette ENV est limitée initialement à trois ans. Après deux ans, les membres du CEN seront invités à soumettre leurs commentaires, en particulier sur l'éventualité de la conversion de l'ENV en Norme européenne.

Il est demandé aux membres du CEN d'annoncer l'existence de cette ENV de la même façon que pour une EN et de rendre cette ENV rapidement disponible au niveau national sous une forme appropriée. Il est admis de maintenir (en parallèle avec l'ENV) des normes nationales en contradiction avec l'ENV en application jusqu'à la décision finale de conversion possible de l'ENV en EN.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays-Bas, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Suède et Suisse.



COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION

Centre de Gestion: rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

---

## Sommaire

Avant-propos.....	5
1 Généralités.....	8
1.1 Domaine d'application.....	8
1.2 Références normatives.....	9
1.3 Distinction entre principes et règles d'application.....	9
1.4 Définitions.....	9
1.5 Symboles et unités.....	11
1.6 Relation entre l'ENV 1997-1 et l'ENV 1997-2.....	11
2 Exigences communes à tous les essais de laboratoire.....	12
2.1 Exigences générales.....	12
2.2 Programme d'essais.....	12
2.3 Qualité des échantillons de sol.....	13
2.4 Matériel, modes opératoires et présentation.....	13
2.5 Évaluation des résultats d'essais.....	14
2.6 Assurance qualité et contrôle qualité.....	15
3 Etalonnage du matériel d'essai.....	15
3.1 Objectif.....	15
3.2 Exigences.....	15
4 Préparation des Éprouvettes de sol pour les essais.....	16
4.1 Objectif.....	16
4.2 Exigences.....	16
5 Essais de classification, d'identification et de description des sols.....	17
5.1 Généralités.....	17
5.2 Exigences applicables à tous les essais de classification.....	17
5.3 Teneur en eau.....	17
5.4 Masse volumique apparente.....	18
5.5 Masse volumique des particules.....	18
5.6 Granulométrie.....	19
5.7 Limites de consistance.....	19
5.8 Indice de densité des sols grenus.....	20
5.9 Dispersivité des sols.....	21
5.10 Gélivité.....	21
5.11 Evaluation des résultats d'essais.....	22
6 Essais chimiques sur Les sols et l'eau souterraine.....	22
6.1 Exigences applicables à tous les essais chimiques.....	22
6.2 Teneur en matières organiques.....	23
6.3 Teneur en carbonates.....	24
6.4 Teneur en sulfates.....	24
6.5 Valeur du pH (acidité et alcalinité).....	25
6.6 Teneur en chlorures.....	25
7 Essais de compressibilité des sols.....	26
7.1 Objectif.....	26
7.2 Exigences.....	26
7.3 Evaluation des résultats d'essais.....	27
8 Essais indicatifs de résistance des argiles.....	27
8.1 Objectif.....	27
8.2 Exigences.....	27
8.3 Evaluation des résultats d'essais.....	28

9	Essais de résistance des sols .....	28
9.1	Objectif et domaine d'application .....	28
9.2	Exigences .....	28
9.3	Evaluation des résultats d'essais .....	29
9.4	Essai de compression triaxiale consolidée .....	30
9.5	Essais consolidés de cisaillement direct à la boîte et annulaire .....	31
10	Essais de compactage des sols .....	31
10.1	Domaine d'application .....	31
10.2	Essais de compactage .....	31
10.3	Essai de portance CBR .....	32
11	Essais de perméabilité des sols .....	33
11.1	Objectif .....	33
11.2	Exigences .....	33
11.3	Evaluation des résultats d'essais .....	34
12	Préparation des éprouvettes de roche pour les essais .....	34
12.1	Objectif .....	34
12.2	Exigences .....	35
12.3	Evaluation des résultats d'essais .....	35
13	Essais de Classification des roches .....	36
13.1	Généralités .....	36
13.2	Identification et description de la roche .....	36
13.3	Teneur en eau .....	37
13.4	Masse volumique et porosité .....	37
14	Essais de gonflement des roches .....	38
14.1	Généralités .....	38
14.2	Pression de gonflement dans des conditions de variation de volume nulle .....	39
14.3	Déformation de gonflement d'une éprouvette confinée radialement avec surcharge axiale .....	39
14.4	Déformation de gonflement d'une éprouvette de roche non confinée .....	39
15	Essais de résistance des roches .....	39
15.1	Généralités .....	39
15.2	Essai de résistance à la compression et de déformabilité uniaxiales .....	40
15.3	Essai de charge ponctuelle .....	41
15.4	Essai de cisaillement direct .....	41
15.5	Essai brésilien .....	41
15.6	Essai de compression triaxiale .....	42
<b>Annexe A (informative) Informations détaillées sur les méthodes et les essais .....</b>		<b>43</b>
A.1	Généralités .....	43
A.2	Exigences communes à tous les essais de laboratoire .....	45
A.3	Etalonnage du matériel d'essai .....	49
A.4	Préparation des éprouvettes de sol pour les essais .....	53
A.5	Essais de classification, d'identification et de description des sols .....	59
A.6	Essais chimiques sur Les sols et l'eau souterraine .....	66
A.7	Essais de compressibilité des sols .....	69
A.8	Essais Indicatifs de résistance des sols .....	70
A.9	Essais de résistance des sols .....	71
A.10	Essais de compactage des sols .....	73
A.11	Essais de perméabilité des sols .....	74
A.12	Préparation des éprouvettes de roche pour les essais .....	75
A.13	Essais de classification des roches .....	76
A.14	Essais de gonflement des roches .....	78
A.15	Essais de résistance des roches .....	79

<b>Annexe B (informative) Bibliographie .....</b>	<b>83</b>
<b>B.1 Domaine d'application .....</b>	<b>83</b>
<b>B.2 Exigences communes à tous les essais de laboratoire .....</b>	<b>83</b>
<b>B.3 Etalonnage du matériel d'essai .....</b>	<b>83</b>
<b>B.4 Préparation des éprouvettes de sol pour les essais.....</b>	<b>83</b>
<b>B.5 Essais de classification, d'identification et de description des sols .....</b>	<b>83</b>
<b>B.6 Essais chimiques sur les sols et l'eau souterraine.....</b>	<b>85</b>
<b>B.7 Essais de compressibilité des sols .....</b>	<b>86</b>
<b>B.8 Essais indicatifs de résistance des sols .....</b>	<b>86</b>
<b>B.9 Essais de résistance des sols .....</b>	<b>87</b>
<b>B.10 Essais de compactage des sols.....</b>	<b>87</b>
<b>B.11 Essais de perméabilité des sols.....</b>	<b>87</b>
<b>B.12 Préparation des éprouvettes de roche pour les essais .....</b>	<b>88</b>
<b>B.13 Essais de classification des roches .....</b>	<b>88</b>
<b>B.14 Essais de gonflement des roches.....</b>	<b>88</b>
<b>B.15 Essais de résistance des roches.....</b>	<b>89</b>
<b>B.16 Articles et autres publications.....</b>	<b>89</b>

## Avant-propos

### Objectifs des Eurocodes

(1) Les Eurocodes structuraux constituent un ensemble de normes pour le calcul structural et géotechnique des bâtiments et des ouvrages de génie civil.

(2) Ils sont destinés à servir de documents de référence pour :

- a) prouver la conformité des bâtiments et des ouvrages de génie civil aux exigences essentielles de la Directive sur les Produits de Construction (DPC) ;
- b) servir de cadre pour établir des spécifications techniques harmonisées pour les produits de construction.

(3) Ils ne traitent de l'exécution et du contrôle que dans la mesure où il est nécessaire de préciser la qualité des produits de construction et le niveau de réalisation nécessaire pour être conforme aux hypothèses adoptées dans les règles de calcul.

(4) Jusqu'à ce que l'ensemble des spécifications techniques harmonisées concernant les produits et les méthodes de contrôle de leurs performances soient disponibles, certains Eurocodes structuraux traitent certains de ces aspects dans des annexes informatives.

### Historique du programme Eurocodes

(5) La Commission des Communautés Européennes (CCE) a initié le travail d'élaboration d'un ensemble de règles techniques harmonisées concernant le calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil, règles destinées, au début, à être utilisées en alternative aux différents règlements en vigueur dans les divers Etats Membres et à les remplacer ultérieurement. Ces règles techniques sont connues sous le nom d'"Eurocodes structuraux".

(6) En 1990, après consultation de ses Etats Membres, la CCE a transféré au CEN la charge de poursuivre le travail d'élaboration, de diffusion et de mise à jour des Eurocodes structuraux, et le secrétariat de l'AELE a accepté de soutenir le CEN dans son travail.

(7) Le Comité Technique CEN/TC 250 est responsable de tous les Eurocodes structuraux.

### Programme Eurocodes

(8) Le travail est en cours sur les Eurocodes structuraux suivants, chacun étant généralement constitué de plusieurs parties :

*EN 1990, Eurocode 0 - Bases du calcul.*

*EN 1991, Eurocode 1 - Bases du calcul et actions sur les structures.*

*EN 1992, Eurocode 2 - Calcul des structures en béton.*

*EN 1993, Eurocode 3 - Calcul des structures en acier.*

*EN 1994, Eurocode 4 - Calcul des structures mixtes acier-béton.*

*EN 1995, Eurocode 5 - Calcul des structures en bois.*

*EN 1996, Eurocode 6 - Calcul des structures en maçonnerie.*

*EN 1997, Eurocode 7 - Calcul géotechnique.*

*EN 1998, Eurocode 8 - Résistance des structures aux séismes.*

*EN 1999, Eurocode 9 - Calcul des structures en alliages d'aluminium.*

(9) Des sous-comités séparés, chargés des différents Eurocodes énoncés ci-dessus, ont été constitués par le CEN/TC 250.

(10) Cette partie de l'Eurocode structural concernant le calcul géotechnique est publiée par le CEN comme prénorme européenne (ENV) pour une durée initiale de trois ans.

(11) Cette prénorme est destinée à une application pratique expérimentale dans le cadre du dimensionnement des bâtiments et des ouvrages de génie civil relevant du domaine d'application défini dans le paragraphe 1.1.2 et au recueil d'observations.

(12) Dans deux ans environ, les Membres du CEN seront invités à formuler des observations officielles, qui seront prises en compte pour déterminer les actions futures.

(13) En attendant, les réactions et observations sur cette prénorme devront être adressées au secrétariat du sous-comité CEN/TC 250/SC 7 à l'adresse suivante :

NNI  
P.O.Box 5059  
NL-2600 GB Delft  
Pays-Bas

ou à votre organisme national de normalisation.

## **Documents d'application nationale**

(14) Etant donné les responsabilités des autorités dans les Etats Membres en matière de sécurité, santé et autres points couverts par les exigences essentielles de la DPC, des valeurs indicatives ont été attribuées à certains éléments de sécurité dans cette ENV qui sont identifiées par [ ]. Il incombe aux autorités de chaque Etat Membre d'attribuer des valeurs définitives à ces éléments de sécurité.

(15) Nombre de normes d'accompagnement, y compris celles donnant les valeurs des actions à prendre en compte ainsi que les mesures requises pour la protection à l'incendie, ne seront pas disponibles au moment de la publication de cette prénorme. Il est par conséquent prévu qu'un Document d'Application Nationale (DAN) donnant les valeurs définitives des éléments de sécurité, faisant référence aux normes d'accompagnement compatibles et précisant les directives nationales d'application de cette prénorme soit publié par chaque Etat Membre ou son organisme de normalisation. Il convient d'utiliser cette prénorme conjointement avec le Document d'Application Nationale en vigueur dans le pays où est situé le bâtiment ou l'ouvrage de génie civil à construire.

## **Points spécifiques à cette prénorme**

(16) Cette prénorme est destinée à servir de document de référence lors de l'utilisation des essais de laboratoire dans les calculs géotechniques. Elle traite de l'exécution et de l'interprétation des essais de laboratoire utilisés le plus couramment. La prénorme a pour but de s'assurer qu'une qualité suffisante est atteinte dans l'exécution des essais de laboratoire et dans leur interprétation.

(17) Dans le cadre de la normalisation européenne, la partie 1 de l'Eurocode 7 concernant le calcul des structures géotechniques a été élaborée. La partie 2 "Calcul géotechnique sur la base d'essais de laboratoire" traite du lien entre les exigences de calcul de la partie 1 et les résultats des essais de laboratoire effectués selon les normes, règles et autres documents acceptés. La partie 2 de l'Eurocode 7 aborde en particulier les exigences de la section 3 de la partie 1 "Données géotechniques".

(18) L'ENV 1997-2 et l'ENV 1997-3 sont complémentaires.

(19) Aucune autre norme n'a été publiée auparavant pour traiter de manière aussi approfondie que le présent document de l'utilisation des essais de laboratoire dans le calcul géotechnique. Certaines normes existantes traitent en partie du sujet traité dans le présent document. Toutefois, diverses normes nationales concernant les modes opératoires des essais de laboratoire ont été publiées.

**(20)** Le CEN/TC 250/SC 7 a défini le domaine d'application de la présente partie de l'Eurocode 7 comme suit :

- il convient que le document constitue une prénorme sur le comportement professionnel dans le domaine du calcul sur la base d'essais de laboratoire ;
- il convient que les exigences relatives à l'interprétation des résultats d'essais couvrent les valeurs "dérivées" des paramètres du sol et non les valeurs caractéristiques ;
- il convient que le document ne donne que les exigences qui sont indispensables pour obtenir des valeurs dérivées fiables pour les paramètres du sol ; les modes opératoires des essais sont à présenter ailleurs ; le présent document est un pas vers un ensemble global de normes comprenant les modes opératoires des essais, leur interprétation et la sélection des valeurs caractéristiques.

**(21)** En tant que tels, les essais de laboratoire eux-mêmes ne font pas partie du domaine couvert par cette prénorme. La présente prénorme se compose d'un texte principal (sections 1 à 15) et d'une annexe informative (sections A1 à A15). Le texte principal comprend les exigences et les aspects relatifs à chaque méthode d'essai de laboratoire. L'annexe informative contient des renseignements qui sont utiles pour la pratique mais qui sont susceptibles de ne pas être reconnus par tous les Etats Membres de façon aussi générale que les concepts du texte principal.

**(22)** La section 2 contient des exigences générales applicables aux essais de laboratoire traités, et la section 3 traite des exigences d'étalonnage. Les sections 4 à 11 traitent des exigences relatives aux essais de laboratoire sur les sols, la section 4 traitant de la préparation des éprouvettes de sols et les sections 5 à 11 traitant chacune séparément d'un essai de laboratoire. Les sections 12 à 15 traitent des exigences relatives aux essais de laboratoire sur les roches, la section 12 traitant de la préparation des éprouvettes de roches et les sections 13 à 15 traitant chacune séparément d'un essai de laboratoire.

**(23)** L'annexe informative A suit le même système de numérotation des sections que le texte principal (les sections A.2 à A.15 correspondent aux sections 2 à 15 dans le texte principal) et donne des informations complémentaires sur les principes de mesurage, les modes opératoires des essais, le nombre minimal des essais ainsi que les rapports et leur interprétation.

**(24)** Il n'existe pas actuellement de normes européennes ou ISO sur les modes opératoires des essais de laboratoire. En attendant que des modes opératoires d'essais aient été élaborés, l'annexe informative comporte une liste de normes, prénormes et autres documents à la disposition du public qui satisfont aux exigences de la présente prénorme.

Dans l'annexe, chaque fois que c'est possible, des listes d'opérations à effectuer et des tableaux sont fournis pour faciliter la planification, la vérification et l'interprétation des essais de laboratoire. L'annexe ne constitue nullement une liste complète de toutes les questions susceptibles de se poser mais elle signale des aspects importants dont il faut tenir compte.

## 1 Généralités

### 1.1 Domaine d'application

#### 1.1.1 Domaine d'application de l'Eurocode 7

**(1)P** L'Eurocode 7 s'applique aux aspects géotechniques du calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil. Il est fractionné en différentes parties séparées (voir 1.1.2).

**(2)P** L'Eurocode 7 traite des exigences concernant la résistance, la stabilité, l'aptitude au service et la durabilité des structures. Les autres exigences, par exemple celles relatives à l'isolation thermique ou acoustique, ne sont pas abordées.

**(3)P** L'Eurocode 7 doit être utilisé conjointement avec l'ENV 1991-1 "Bases du calcul" de l'Eurocode 1 "Bases du calcul et actions sur les structures", qui établit les principes et les exigences en matière de sécurité et d'aptitude au service, décrit les principes de base pour le calcul et la vérification des structures et donne des directives sur les aspects liés à leur fiabilité.

**(4)P** L'Eurocode 7 donne les règles de calcul des actions provenant du sol telles que les pressions des terres. Les valeurs numériques des actions à prendre en compte dans le calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil sont précisées dans l'ENV 1991 Eurocode 1 "Bases du calcul et actions sur les structures", qui s'applique aux différents types de construction.

**(5)P** Dans l'Eurocode 7, l'exécution n'est traitée que dans les limites nécessaires pour indiquer le niveau de qualité des matériaux et produits de constructions qu'il convient d'utiliser, ainsi que la qualité d'exécution des travaux sur le chantier qui sont indispensables pour satisfaire les hypothèses adoptées dans les règles de calcul. De façon générale, les règles relatives à l'exécution et à la qualité de réalisation des travaux sont à considérer comme des exigences minimales dont il se peut qu'elles doivent être complétées par la suite pour des types particuliers de bâtiments et d'ouvrages de génie civil ou de méthodes de construction.

**(6)P** L'Eurocode 7 ne traite pas des exigences particulières du calcul vis-à-vis du séisme.

L'Eurocode 8 "Résistance des structures au séisme" précise les règles complémentaires pour le calcul vis-à-vis du séisme qui complètent ou adaptent les règles de l'Eurocode 7.

#### 1.1.2 Domaine d'application de l'ENV 1997-2

**(1)P** La présente prénorme précise les exigences applicables à l'exécution, l'interprétation et l'utilisation des essais géotechniques effectués en laboratoire. La norme a pour but de faciliter le calcul géotechnique des structures. Elle ne remplace pas les normes nationales traitant du mode opératoire des essais.

**(2)** Les dispositions du présent document sont essentiellement destinées aux projets de catégorie géotechnique 2, comme défini en 2.1 dans l'ENV 1997-1.

**(3)P** L'ENV 1997-2 doit être utilisée conjointement avec l'ENV 1997-1.

**(4)** Pour chacun des essais de laboratoire traités, cette prénorme présente l'objectif de l'essai et ses exigences. Les exigences sont liées au programme, à l'appareillage et au mode opératoire de l'essai ainsi qu'à l'évaluation et à la présentation des résultats.

**(4)** Seuls les essais géotechniques en laboratoire couramment utilisés sont traités dans cette prénorme. Ils ont été choisis en fonction de leur importance dans la pratique géotechnique, de leur disponibilité dans les laboratoires géotechniques commerciaux et de l'existence d'un mode opératoire d'essai accepté en Europe. Les essais utilisés moins couramment, en particulier les essais plus élaborés qui peuvent être indispensables au calcul de structures de catégorie géotechnique 3, comme défini en 2.1 dans l'ENV 1997-1, sont mentionnés en rapport avec les essais concernés. Les sols non saturés ne sont pas traités. Les paramètres nécessaires, entre autres, aux calculs en éléments finis (coefficient de Poisson, module de cisaillement et module d'Young) ne sont pas traités non plus. Il est prévu que les mises à jour de la présente prénorme couvriront progressivement des essais de laboratoire plus élaborés, les sols non saturés et les paramètres de déformation.

**(5)** Ce document est destiné au responsable du calcul géotechnique d'un ouvrage.



## 1.2 Références normatives

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

*ENV 1991-1:1994, Eurocode 1 - Base du calcul et actions sur les structures - Partie 1 : Bases du calcul.*

*ENV 1997-1:1994, Eurocode 7 - Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales.*

*ENV 1997-3:1998, Eurocode 7 - Calcul géotechnique – Part 3 : Calcul sur la base d'essais sur le terrain.*

## 1.3 Distinction entre principes et règles d'application

(1)P Selon la nature de chacun des paragraphes, une distinction est faite dans la présente prénorme entre les principes et les règles d'application.

(2)P Les principes comprennent :

- des indications générales et des définitions ne présentant aucune alternative ; ainsi que
- des exigences et des modèles analytiques pour lesquels aucune alternative n'est admise, à moins d'indications spécifiques contraires.

(3)P Les principes sont précédés par la lettre P.

(4)P Les règles d'application sont des exemples de règles généralement reconnues, qui respectent les principes et sont conformes à leurs exigences.

(5)P L'utilisation de règles différentes des règles d'applications données dans le présent Eurocode est admise, pourvu qu'il soit démontré qu'elles sont conformes aux principes correspondants.

## 1.4 Définitions

### 1.4.1 Termes communs à tous les Eurocodes

(1)P Les termes utilisés en commun par tous les Eurocodes sont définis dans l'ENV 1991-1 Bases de calcul.

### 1.4.2 Termes communs à l'Eurocode 7

(1)P Pour les termes spécifiques à l'Eurocode 7, il est fait référence au paragraphe 1.5.2 de l'ENV 1997-1.

(2)P Les termes suivants, utilisés dans la présente partie de l'Eurocode 7, en plus ou à la place des termes définis en 1.5.2 de l'ENV 1997-1, sont définis ci-après :

#### 1.4.2.1

##### **expérience comparable**

définie en 1.4 dans l'ENV 1997-1. En outre, trois classes d'expériences comparables sont définies :

- **aucune** : si aucun résultat fiable n'est disponible ;
- **moyenne** : si des données concernant des sols semblables sont disponibles ou si les données du site correspondent à des connaissances publiées dans la littérature géotechnique ;
- **grande** : s'il existe des évaluations statistiques et/ou des corrélations publiées, ou si des résultats d'essais concernant un sol identique dans un lieu situé à proximité.

#### **1.4.2.2**

##### **valeur dérivée**

valeur d'une propriété géotechnique déduite des résultats d'essais par une formule théorique, une corrélation ou empiriquement. Les valeurs dérivées constituent la base du choix des valeurs caractéristiques des propriétés du sol à utiliser dans le calcul des structures géotechniques conformément à 2.4.3 dans l'ENV 1997-1

#### **1.4.2.3**

##### **échantillon remanié**

échantillon dans lequel la structure, la teneur en eau et les composants du sol ont été modifiés pendant le prélèvement

#### **1.4.2.4**

##### **essai sur éprouvette**

essai effectué sur un élément (éprouvette) de sol afin de déterminer une propriété en le soumettant à des déformations, des forces ou une percolation visant à simuler les conditions existant dans un massif de sol

#### **1.4.2.5**

##### **valeur mesurée**

valeur mesurée au cours d'un essai

#### **1.4.2.6**

##### **sol normalement consolidé**

sol dont l'état est sur la courbe vierge œdométrique

#### **1.4.2.7**

##### **sol surconsolidé**

sol dont l'état se trouve au-dessous de la courbe vierge œdométrique

#### **1.4.2.8**

##### **classe de qualité**

classification permettant d'évaluer la qualité d'un échantillon de sol. Pour les besoins des essais de laboratoire, les échantillons de sol sont répartis en cinq classes de qualité, la classe de qualité 1 correspondant à un échantillon non remanié et la classe de qualité 5 à un échantillon ne convenant pas pour des essais représentatifs

#### **1.4.2.9**

##### **éprouvette remaniée**

éprouvette totalement perturbée, à une teneur en eau proche de la teneur d'eau naturelle

#### **1.4.2.10**

##### **éprouvette recompressée**

éprouvette compactée dans un moule au moyen d'une dame ou sous une pression statique

#### **1.4.2.11**

##### **éprouvette reconstituée**

éprouvette préparée à l'état liquide (à la limite de liquidité pour les argiles) puis reconsolidée

#### **1.4.2.12**

##### **éprouvette reconsolidée**

éprouvette comprimée dans un moule ou une cellule sous une pression statique, en permettant le drainage de l'eau

#### **1.4.2.13**

##### **échantillon**

morceau de sol ou de roche prélevé dans le sol par des techniques d'échantillonnage

#### **1.4.2.14**

##### **éprouvette**

partie d'un échantillon de sol ou de roche utilisée pour un essai en laboratoire

#### **1.4.2.15**

##### **essai indicatif de résistance**

essai de nature plutôt rudimentaire donnant une indication de la résistance au cisaillement sans donner obligatoirement une valeur représentative. Les résultats d'un tel essai sont sujets à une incertitude considérable

#### 1.4.2.16

##### gonflement

dilatation du sol provoquée par une diminution de la contrainte effective qui peut être due à la diminution de la contrainte totale ou à l'absorption d'eau sous une contrainte totale constante. Le gonflement est l'inverse de la compression et de la consolidation

#### 1.4.2.17

##### échantillon non remanié

échantillon de sol dont les caractéristiques n'ont subi aucun changement d'importance pratique

### 1.5 Symboles et unités

#### 1.5.1 Symboles communs à tous les Eurocodes

(1)P Les symboles utilisés en commun par tous les Eurocodes sont définis dans l'ENV 1991-1 "Bases de calcul".

#### 1.5.2 Symboles utilisés dans l'Eurocode 7

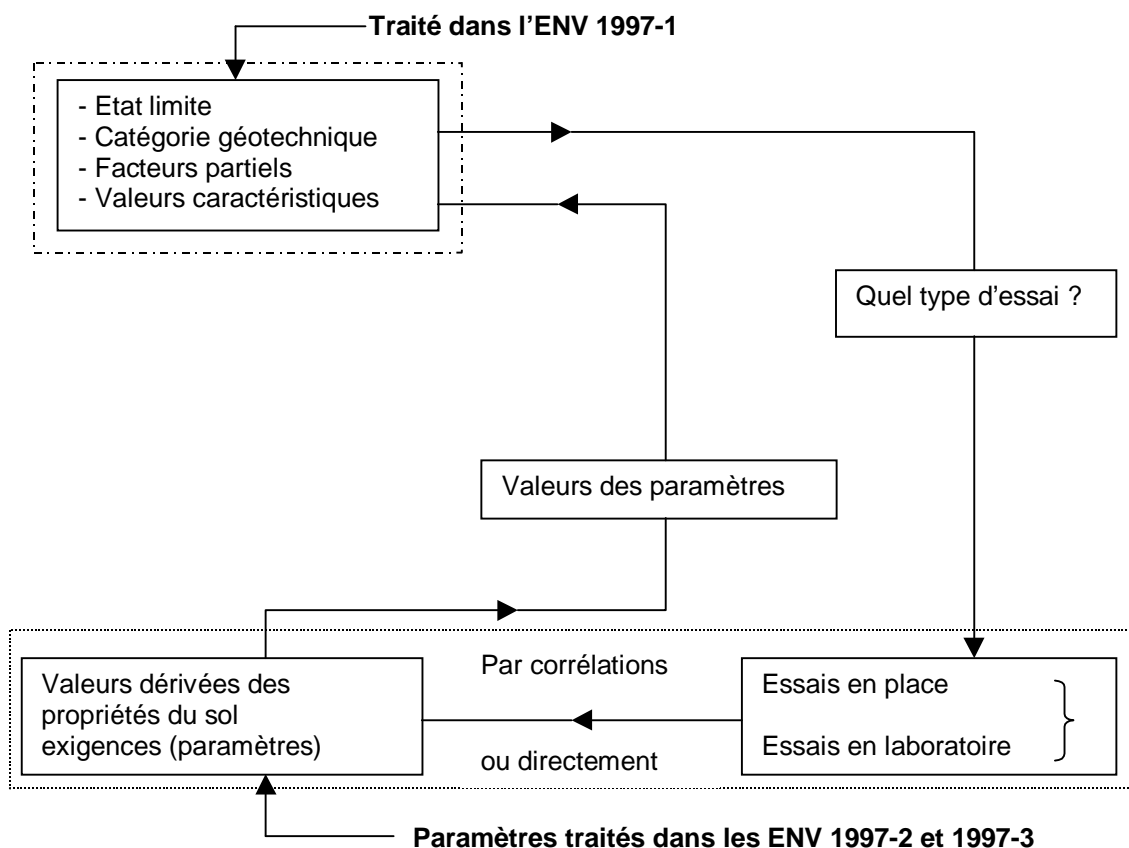
(1)P Les symboles utilisés couramment dans l'Eurocode 7 sont définis dans la section 1.8 de l'ENV 1997-1. Les symboles utilisés dans cette prénorme sont définis dans les textes correspondants.

#### 1.5.3 Unités

(1) Pour les calculs géotechniques, les unités recommandées sont définies dans la section 1.6 de l'ENV 1997-1.

### 1.6 Relation entre l'ENV 1997-1 et l'ENV 1997-2

L'organigramme représenté ci-dessous montre la relation existant entre le calcul et les essais en place ou en laboratoire. La partie calcul est traitée dans l'ENV 1997-1 ; la partie concernant les valeurs des paramètres est traitée dans les ENV 1997-2 et 1997-3.



## **2 Exigences communes à tous les essais de laboratoire**

### **2.1 Exigences générales**

**(1)P** Lorsque l'on effectue un calcul sur la base d'essais de laboratoire, les exigences de la section 2 et celles des sections 3 à 15 correspondant aux essais utilisés doivent être satisfaites.

**(2)P** Les exigences concernant les reconnaissances géotechniques indiquées dans la section 2 de l'ENV 1997-3 doivent être respectées.

**(3)P** Les exigences contenues dans la section 3 de l'ENV 1997-1 doivent être respectées.

**(4)** Les exigences figurant dans cette prénorme représentent un minimum. Il est permis d'imposer des spécifications supplémentaires, des exigences de présentation supplémentaires ou une interprétation supplémentaire en fonction des conditions de terrain rencontrées ou des problèmes géotechniques étudiés.

**(5)** L'annexe A.2 présente de manière schématique les différentes étapes d'une étude du sol, en insistant particulièrement sur les essais de laboratoire.

### **2.2 Programme d'essais**

**(1)P** Il faut tenir compte, lors de l'élaboration du programme des essais de laboratoire, du type de construction, du type de sol et de la stratigraphie ainsi que des aspects géotechniques du projet.

**(2)P** Le programme d'essais doit être élaboré de façon à compléter et à élargir les informations obtenues grâce au programme d'essais en place. Le calcul géotechnique, les essais en place et les essais en laboratoire doivent former un tout où les résultats des essais sont utilisés de façon complémentaire et en combinaison durant toutes les étapes du travail.

**(3)** Avant de commencer l'exécution du programme d'essais en laboratoire, il convient d'examiner visuellement tous les échantillons de sol pour établir une coupe géotechnique préliminaire. Il convient de compléter l'examen visuel des échantillons par des essais manuels simples afin de classer et d'identifier le sol et d'avoir une première impression de sa consistance et de sa résistance. Il convient d'analyser les logs de forage et les résultats de reconnaissances existants et d'en tenir compte dans la coupe géotechnique préliminaire.

**(4)** Avant d'organiser un programme d'essais, il convient d'établir la stratigraphie attendue du site et de sélectionner les couches utiles pour les calculs afin de définir le type et le nombre des essais à effectuer dans chaque couche. Il convient d'identifier les couches en fonction du problème géotechnique, de sa complexité, de la géologie locale et des paramètres nécessaires au calcul.

**(5)P** Les échantillons pour les essais doivent être sélectionnés de façon à couvrir toute la plage des propriétés d'identification de chaque couche de sol concernée.

**(6)P** Le nombre des essais doit être suffisant pour répondre aux exigences spécifiées ici, en tenant compte également des exigences de sécurité du projet, du rapport coût/bénéfice des essais, des méthodes d'essais retenues et de l'expérience comparable disponible.

**(7)P** Les essais doivent être réalisés sur des éprouvettes représentatives des couches correspondantes.

**(8)P** Le programme d'essais doit être ajusté lorsque les résultats deviennent disponibles et que l'on peut vérifier les hypothèses initiales. En particulier, il faut examiner s'il est nécessaire de spécifier des essais complémentaires pour vérifier si les paramètres obtenus s'intègrent dans un schéma de comportement global cohérent du sol ou de la roche.

**(9)P** Il faut examiner si des essais plus élaborés ou une reconnaissance complémentaire sur le terrain sont nécessaires, compte tenu des aspects géotechniques du projet, du type du sol, de sa variabilité et du modèle de calcul.

## 2.3 Qualité des échantillons de sol

(1) Les échantillons de sol utilisés pour les essais de laboratoire sont répartis en cinq classes de qualité suivant les caractéristiques du sol qui restent inchangées pendant le prélèvement d'échantillons ou la manutention. Les classes sont décrites dans le Tableau 1.

**Tableau 1 - Classes de qualité des échantillons de sol destinés aux essais de laboratoire**

Propriétés du sol	Classe de qualité	1	2	3	4	5
<b>Caractéristiques du sol inchangées</b>						
Dimensions des particules		x	x	x	x	
Teneur en eau		x	x	x		
Masse volumique, indice de densité, perméabilité		x	x			
Compressibilité, résistance au cisaillement		x				
<b>Propriétés pouvant être déterminées</b>						
Séquence des couches		x	x	x	x	x
Limites grossières des couches		x	x	x	x	
Limites fines des couches		x	x			
Limites d'Atterberg, masse volumique des particules, teneur en matières organiques		x	x	x	x	
Teneur en eau		x	x	x		
Masse volumique, indice de densité, porosité, perméabilité		x	x			
Compressibilité, résistance au cisaillement		x				

(2)P Les échantillons doivent être testés dès que possible après leur prélèvement. Le transport et le stockage doivent être réalisés de telle manière qu'aucune modification des caractéristiques du sol ne soit susceptible de se produire.

(3)P Les effets du remaniement des échantillons sur les résultats des essais de laboratoire doivent être pris en compte lors de la préparation du programme d'essais et de l'interprétation des résultats d'essais.

(4) Les échantillons de sol, lorsqu'ils sont prélevés, sont toujours remaniés dans une certaine mesure.

(5) Pour la description des méthodes de prélèvement d'échantillons de sol et la qualité des échantillons obtenus par les différentes méthodes de prélèvement d'échantillons, on se reportera à l'ENV 1997-3.

## 2.4 Matériel, modes opératoires et présentation

(1)P Les essais doivent être réalisés en suivant des modes opératoires qui répondent aux exigences spécifiées dans les paragraphes correspondant à chaque essai.

(2)P Les détails des essais nécessaires à la détermination des paramètres dont on a besoin pour le calcul doivent être spécifiés.

(3)P Les contrôles de précision doivent être réalisés en utilisant des essais dupliqués ou par comparaison avec une base de données sur des types de sols comparables.

(4)P Il faut contrôler que le matériel de laboratoire utilisé pour les essais est adéquat et qu'il est étalonné correctement.

(5)P Les méthodes d'essais et les modes opératoires utilisés doivent être décrits avec les résultats d'essais. Tous les écarts par rapport à un mode opératoire standard doivent être signalés et justifiés.

(6) Il est permis de décrire les modes opératoires en faisant référence à des documents qui sont reconnus internationalement par la profession géotechnique.

NOTE Il n'existe pas encore de norme internationale ou européenne pour les essais.

(7) Sous réserve de satisfaire aux exigences de cette prénorme, il est permis d'adopter des méthodes alternatives pour présenter les résultats d'essais.

## 2.5 Évaluation des résultats d'essais

(1)P Les résultats d'essais doivent être évalués comme un tout, en regroupant les résultats des essais en place et en laboratoire. Pour chaque valeur dérivée d'une caractéristique du sol, on doit comparer les résultats avec l'expérience existante, en examinant particulièrement les résultats anormaux pour une couche donnée et en reconsidérant la définition des couches à la lumière des résultats obtenus. Les résultats doivent être interprétés en tenant compte du niveau de la nappe, du type de sol, de la méthode de forage, de la méthode de prélèvement d'échantillons, du transport, de la manutention et de la préparation des éprouvettes.

(2)P L'évaluation des résultats des essais de laboratoire doit tenir compte des comparaisons possibles avec l'expérience existante, des résultats d'autres types d'essais en laboratoire et en place capables de mesurer le même paramètre du sol, et des corrélations établies avec les propriétés d'identification du sol.

(3)P Lors de l'évaluation des résultats d'essais, on doit faire seulement les comparaisons pertinentes.

(4) Dans la mesure du possible, il convient d'indiquer dans les résultats les limitations ou les conditions auxquelles il convient de soumettre l'utilisation d'un paramètre de sol ou de roche.

(5) Cette prénorme s'applique aux sols rencontrés le plus couramment comme les sables, les limons et les argiles. Pour d'autres sols ayant une composition et/ou une géologie différentes, des exigences supplémentaires ou différentes peuvent être nécessaires. En particulier, il convient d'utiliser la notion d'une expérience comparable.

(6)P Aucun essai de résistance et de déformation ne doit être remplacé par des valeurs extraites de bases de données correspondant à une expérience comparable si celle-ci n'est pas bien documentée et si la qualité des données et des valeurs qui en ont été déduites n'a pas été contrôlée.

(7) Dans les sols naturels, des variations des propriétés mesurées peuvent indiquer des variations importantes dans les conditions géotechniques du site. Il est très important de repérer les zones plus faibles et d'estimer les incertitudes sur les résultats des essais de laboratoire. L'utilisation de statistiques pour déterminer des valeurs dérivées peut masquer la présence d'une zone plus faible. Il convient d'utiliser l'approche statistique avec prudence et, en général, en combinaison avec d'autres méthodes.

(8)P Lors de l'interprétation des résultats d'essais, il faut examiner s'il est nécessaire de poursuivre l'interprétation des résultats pour vérifier si chaque paramètre obtenu s'intègre dans un schéma de comportement cohérent du sol ou de la roche.

## **2.6 Assurance qualité et contrôle qualité**

(1)P Un système d'assurance qualité approprié doit être en place dans le laboratoire et le bureau d'études, et le contrôle qualité doit être exercé avec compétence dans toutes les phases des essais de laboratoire et dans l'interprétation des résultats d'essais.

## **3 Etalonnage du matériel d'essai**

### **3.1 Objectif**

(1) L'étalonnage a pour but d'assurer que les incertitudes dans les mesurages puissent être quantifiées chaque fois que cela est possible.

(2)P Pour y parvenir, tous les mesurages effectués dans un laboratoire d'essais doivent pouvoir être rattachés à des normes nationales ou internationales de mesurage.

### **3.2 Exigences**

#### **3.2.1 Instruments de mesurage**

(1)P Tous les instruments utilisés pour les essais doivent être étalonnés et les dossiers d'étalonnage et de réétalonnage doivent être tenus à jour.

(2)P Chaque instrument utilisé pour étalonner ou contrôler des instruments ne doit pas avoir dépassé la limite de validité de son étalonnage.

(3)P Les instruments utilisés dans le cadre des essais doivent faire l'objet de contrôles fréquents d'étalonnage et de stabilité.

(4)P Les instruments électroniques doivent être contrôlés dans les mêmes conditions (conditions électriques, conditionnement des signaux et matériel d'enregistrement) que celles des essais.

(5)P L'étalonnage doit être conforme à des normes identifiées, lorsque c'est possible, ou bien le laboratoire doit apporter une autre preuve satisfaisante de l'étalonnage et de la précision des résultats d'essais.

(6)P Tous les mesurages effectués au cours des essais doivent rester dans les limites d'étalonnage des instruments.

(7)P Les étalons et appareils utilisés pour l'étalonnage interne des instruments de travail doivent posséder des certificats d'étalonnage et être entretenus et stockés correctement.

#### **3.2.2 Appareillage d'essai**

(1)P Les caractéristiques importantes (par exemple : Dimensions, masses) de chaque élément de l'appareillage d'essai doivent être vérifiées et rester dans les tolérances de travail spécifiées.

(2)P Les étalonnages, mesurages et contrôles exigés pour des essais particuliers doivent être réalisés correctement et enregistrés.

**(3)P** Les dossiers d'étalonnage, de mesurage et de contrôle doivent être tenus à jour correctement par le laboratoire.

### **3.2.3 Défaut de fonctionnement du matériel**

**(1)P** Toute découverte d'un défaut de fonctionnement ou d'une variation d'étalonnage du matériel d'essai doit être immédiatement notifiée aux destinataires des résultats d'essais et toutes les données fournies depuis l'étalonnage ou le contrôle précédent doivent être réexaminées.

**(2)P** Le matériel concerné doit être ré-étalonné avant toute autre utilisation.

### **3.2.4 Environnement**

**(1)P** Les conditions ambiantes régnant dans le laboratoire au moment de l'étalonnage doivent être enregistrées.

## **4 Préparation des Eprouvettes de sol pour les essais**

### **4.1 Objectif**

**(1)** La préparation du sol pour les essais de laboratoire a pour objectif de fournir des éprouvettes aussi représentatives que possible du sol dont proviennent les échantillons.

**(2)** Pour leur préparation, les éprouvettes sont réparties en quatre catégories : Les éprouvettes remaniées, les éprouvettes non remaniées, les éprouvettes recompaquées ou remoulées et les éprouvettes reconstituées.

### **4.2 Exigences**

#### **4.2.1 Quantité de sol**

**(1)P** L'éprouvette de sol utilisée pour les essais doit être suffisamment grande pour reproduire les effets :

- des plus grandes particules présentes dans le sol en quantité significative ;
- des caractéristiques naturelles du sol comme sa structure ou sa texture.

**(2)P** Les échantillons non remaniés doivent être préparés dans des conditions de forte humidité. Si la préparation est interrompue, l'éprouvette doit être protégée contre le séchage.

**(3)** L'annexe A.6 précise les masses minimales de sol remanié nécessaires pour les essais de classification et les essais sur éprouvettes recompaquées. Les masses de sol requises pour la préparation d'éprouvettes non remaniées pour les essais de résistance et de compressibilité sont également indiquées dans l'annexe A.6.

#### **4.2.2 Manutention et traitement**

**(1)P** Tous les échantillons doivent être étiquetés clairement et sans ambiguïté.

**(2)P** Les échantillons de sol doivent être protégés en permanence contre les dommages et détériorations ainsi que contre les variations de température excessives. Les échantillons doivent être protégés contre le gel lorsqu'ils sont stockés sur le terrain. Il faut prendre particulièrement soin des échantillons non remaniés pour éviter qu'ils se déforment ou perdent de l'eau pendant la préparation des éprouvettes. Le matériau des conteneurs utilisés pour le prélèvement des échantillons ne doit pas réagir avec le sol qu'ils contiennent.

**(3)P** Il ne faut pas laisser sécher le sol avant les essais, sauf spécification contraire.

**(4)P** Lorsque des traitements de désagrégation sont appliqués, il faut éviter de casser les particules élémentaires. Si un traitement spécial des sols liés et cimentés est exigé, cela doit être spécifié.

**(5)P** On doit utiliser des méthodes de fractionnement pour obtenir des fractions représentatives en évitant la ségrégation des particules les plus grosses.



## **5 Essais de classification, d'identification et de description des sols**

### **5.1 Généralités**

(1) Jusqu'à présent, il n'existe aucune norme internationale ou européenne concernant l'identification des sols et leur description qui puisse être mentionnée dans cette prénorme à titre de référence. Il faut utiliser les normes nationales tant qu'une norme européenne n'a pas été introduite pour la classification des sols.

(2) Cette prénorme traite des essais d'identification et de classification suivants :

- teneur en eau ;
- masse volumique apparente ;
- masse volumique des particules ;
- granulométrie ;
- limites d'Atterberg ;
- indice de densité des sols granulaires ;
- dispersivité des sols ;
- gélivité.

(3) L'annexe A.5 fournit plus de détails sur chaque essai de classification et sur son interprétation, et des règles concernant le nombre minimal d'échantillons et d'essais dans chaque couche.

### **5.2 Exigences applicables à tous les essais de classification**

(1) Il convient de présenter, dans la mesure du possible, les résultats des essais de classification des sols en même temps que le profil du sol sur un graphique résumant la description du sol et tous les résultats des essais de classification.

(2) Lorsque c'est possible, l'emplacement des autres essais de laboratoire (tels que les essais à l'œdomètre et les essais triaxiaux) peut être indiqué sur la même figure.

(3) Pour tous les essais de classification, il convient de faire particulièrement attention au choix de la température d'étuvage car des températures trop élevées peuvent avoir des effets nuisibles sur la grandeur mesurée.

### **5.3 Teneur en eau**

#### **5.3.1 Objectif**

(1) L'essai a pour but de déterminer la teneur en eau d'un sol.

#### **5.3.2 Exigences**

(1) Il convient d'utiliser des éprouvettes de classe de qualité 3, au minimum.

(2) Si un échantillon ne contient qu'un seul type de sol, il convient d'effectuer au moins un essai sur cet échantillon pour déterminer sa teneur en eau.

### 5.3.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P Il faut vérifier jusqu'à quel point la teneur en eau mesurée en laboratoire sur le sol "tel que reçu" est représentative de la valeur "sur site". Dans cette vérification, il faut tenir compte des effets de la méthode de prélèvement des échantillons, du transport et de la manutention, de la méthode de préparation des éprouvettes et de l'environnement du laboratoire.

(2)P Il faut signaler la présence de quantités importantes d'halloysite, de montmorillonite ou de gypse, de sols à forte teneur en matières organiques, de matériaux dans lesquels l'eau interstitielle contient des matières solides dissoutes et de sols comportant des pores fermés remplis d'eau.

(3) Pour les sols mentionnés en 5.3.3 (2), une température de séchage d'environ 50 °C peut être mieux appropriée que celle habituellement prescrite ( $105 \pm 5$ ) °C, mais il convient de considérer les résultats obtenus avec prudence.

## 5.4 Masse volumique apparente

### 5.4.1 Objectif

(1) L'essai permet de déterminer la masse volumique apparente d'un sol. La masse volumique apparente sert également, conjointement avec la teneur en eau, à calculer la masse volumique du sol sec.

### 5.4.2 Exigences

(1) Il convient d'utiliser des éprouvettes de classe de qualité 2 au minimum.

(2)P La méthode d'essai à utiliser doit être spécifiée.

### 5.4.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P Les masses volumiques doivent être interprétées en tenant compte du niveau de la nappe, de la courbe granulométrique, de la minéralogie, de la dimension maximale des particules de l'échantillon et du remaniement de celui-ci.

(2) Sauf dans le cas de méthodes de prélèvement d'échantillons spéciales, comme par congélation, la masse volumique d'un sol grossier dans la nappe n'est généralement déterminée que de façon très approximative.

## 5.5 Masse volumique des particules

### 5.5.1 Objectif

(1) La masse volumique des particules est le quotient de la masse des particules par leur volume. La masse volumique des particules est nécessaire à la détermination précise d'un grand nombre de paramètres géotechniques.

### 5.5.2 Exigences

(1) Il convient de réaliser l'essai de préférence par la méthode du pycnomètre. Toutefois, d'autres modes opératoires sont possibles comme ceux de la méthode de la bouteille densimétrique (pycnomètre de petit volume) ou la méthode du pycnomètre à granulats.

### 5.5.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P Si les valeurs mesurées dans une couche ne sont pas comprises entre 2 500 kg/m<sup>3</sup> à 2 800 kg/m<sup>3</sup>, qui est la plage des valeurs usuelles de ce paramètre, il faut contrôler la minéralogie du sol, sa teneur en matières organiques et son origine géologique.

## 5.6 Granulométrie

### 5.6.1 Objectif

(1) Deux méthodes sont utilisées, suivant la taille des particules, pour déterminer la courbe granulométrique (distribution des dimensions des particules des sols) :

- la méthode par tamisage, pour les particules de dimensions supérieures à 63  $\mu\text{m}$  (ou le tamis disponible le plus proche) ;
- une méthode de sédimentation utilisant un densimètre ou une pipette pour les particules de dimensions inférieures à 63  $\mu\text{m}$  (ou le tamis disponible le plus proche).

### 5.6.2 Exigences

(1) Il convient d'appliquer des procédures d'élimination des matières organiques et des carbonates avant le tamisage et la sédimentation ou bien des procédures de correction des résultats pour tenir compte de la présence de carbonates et de matières organiques qui peuvent avoir un effet de collage ou de coagulation des particules, influant ainsi sur la courbe granulométrique.

(2) Il convient de tenir compte du fait que, pour certains sols (par exemple les sols crayeux), un traitement d'élimination des carbonates est inadapté.

(3) En cas de faible teneur en matières organiques, il convient de faire attention lors de l'élimination de ces dernières.

(4) Avant la sédimentation, il convient de ne pas sécher l'éprouvette. Si un séchage est nécessaire, il convient de l'effectuer à une température inférieure à 105 °C.

### 5.6.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P Le rapport doit mentionner :

- la position de la nappe par rapport aux éprouvettes testées ;
- la méthode de séchage utilisée ;
- si les matières organiques et les carbonates ont été éliminés et par quelle méthode ;
- la teneur en carbonates et/ou matières organiques, le cas échéant ;
- si les pourcentages massiques sont calculés par rapport au poids total (y compris les carbonates et les matières organiques).

## 5.7 Limites de consistance

### 5.7.1 Objectif

(1) Les limites de consistance comprennent la limite de liquidité, la limite de plasticité et la limite de retrait. Seule la détermination de la limite de liquidité et de la limite de plasticité est traitée.

(2) Les limites de consistance servent à caractériser le comportement des argiles et des sols limoneux lorsque la teneur en eau varie. La classification des argiles et des sols limoneux repose principalement sur les limites de consistance.

### 5.7.2 Exigences

(1) Il convient d'utiliser des éprouvettes de classe de qualité 4 au minimum.

(2)P Pour la limite de liquidité, la méthode d'essai à utiliser (enfouissement d'un cône ou coupelle de Casagrande) doit être spécifiée.

(3) En général, la méthode d'enfouissement d'un cône est préférée à la méthode de Casagrande. En particulier, la méthode du cône donne des résultats plus fiables pour les sols à faible plasticité.

## 5.8 Indice de densité des sols grenus

### 5.8.1 Objectif

(1) L'indice de densité situe l'indice des vides ou la masse volumique sèche d'un échantillon de sol par rapport à des valeurs de référence déterminées par des essais de laboratoire normalisés. L'indice de densité est utilisé pour caractériser la résistance au cisaillement et la compressibilité des sols sans cohésion sous une charge statique ou dynamique en établissant une relation entre l'indice des vides en place et les masses volumiques limites du matériau sec, appelées masses volumiques sèches maximale et minimale. La détermination de l'indice de densité donne une indication sur l'état de compacité des sols grenus drainants.

### 5.8.2 Exigences

(1)P Les éléments suivants doivent être spécifiés ou contrôlés :

- la quantité et la qualité des échantillons ;
- le type de mode opératoire à appliquer ;
- la méthode de préparation de chaque éprouvette ;
- le mode opératoire à appliquer.

(2) Il convient que le matériau contienne moins de 10 % de fines (particules passant au tamis de 63  $\mu\text{m}$ ) et moins de 10 % de gravier (particules retenues par le tamis de 6,3 mm).

(3)P Les résultats de l'essai de détermination de l'indice de densité doivent être consignés en même temps que les résultats disponibles sur la granulométrie, la teneur en eau naturelle, la masse volumique des particules solides et le pourcentage du matériau qui a été écrété (le cas échéant). Toute divergence par rapport à 5.8.2 (2) doit être signalée.

### 5.8.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Les valeurs des masses volumiques maximale et minimale obtenues en laboratoire ne représentent pas forcément les masses volumiques limites. Il est également reconnu en général que ces méthodes donnent des masses volumiques ayant une dispersion élevée.

(2) Les valeurs les plus faibles de l'indice de densité sont généralement retenues pour les décisions à prendre ultérieurement.

## 5.9 Dispersivité des sols

### 5.9.1 Objectif

(1) L'essai a pour but de définir les caractéristiques de dispersivité des sols argileux. Les essais standards de classification géotechnique des sols n'identifient pas la dispersivité du sol. Les essais de dispersivité sont réalisés sur les sols argileux, principalement pour les études de remblais en terre et d'autres structures géotechniques en contact avec de l'eau.

(2) Quatre types d'essais sont considérés :

- **l'essai à l'aiguille** : cet essai modélise l'action de l'eau qui s'écoule le long d'une fissure ;
- **le double essai au densimètre** : cet essai compare la dispersion des particules d'argile dans de l'eau pure sans agitation mécanique avec la dispersion obtenue en utilisant une solution dispersante et une agitation mécanique ;
- **l'essai « de miettes »** : cet essai montre le comportement de fragments de sol écrasé placés dans une solution de soude caustique (hydroxyde de sodium) ;
- **la détermination des sels solubles dans l'eau interstitielle** : cet essai permet d'établir une corrélation entre le pourcentage de sodium et le total des sels dissous dans un extrait saturé.

### 5.9.2 Exigences

(1)P Les éléments suivants doivent être spécifiés :

- un mode de stockage des éprouvettes les empêchant de sécher avant les essais ;
- les modes opératoires à appliquer ;
- la méthode de préparation des éprouvettes.

(2)P Les résultats des essais de dispersivité doivent être reliés à la courbe granulométrique et aux limites de consistance de l'échantillon.

(3) Pour l'essai à l'aiguille, il convient de préciser les conditions de compactage des éprouvettes de sol (par exemple : Du côté humide ou sec de l'optimum), et l'eau de ajoutée au sol (par exemple : Eau distillée ou eau de robinet).

(4) Pour le double essai au densimètre, on peut prescrire un troisième essai au densimètre s'il paraît nécessaire d'étudier l'effet de l'eau du robinet sur le sol en suspension.

(5) Pour l'essai « de miettes », il est permis de demander d'utiliser de l'eau distillée en plus de la solution de soude caustique.

## 5.10 Gélivité

### 5.10.1 Objectif

(1) La gélivité des sols joue un rôle essentiel dans le calcul des fondations placées au-dessus de la profondeur de pénétration du gel dans des sols gélifs. Les routes, les pistes d'atterrissage, les voies ferrées, les bâtiments sur fondations superficielles, les oléoducs enterrés, les barrages et les autres structures peuvent subir un soulèvement provoqué par le gel d'un sol gélif relié à une source d'eau. Les sols gélifs peuvent se trouver dans leur état naturel ou en remblai sous un ouvrage.

(2) Le risque de soulèvement dû au gel peut être estimé en utilisant des corrélations avec les paramètres de classification des sols (dimensions des particules, hauteur d'ascension capillaire et/ou teneur en fines) ou au moyen d'essais de laboratoire sur des échantillons naturels ou reconstitués.

### 5.10.2 Exigences

(1) Si l'estimation de la gélivité basée sur les paramètres de classification du sol n'indique pas clairement l'absence de tout risque de soulèvement dû au gel, il convient d'effectuer un essai de gonflement au gel en laboratoire. On peut citer comme exemples de sols nécessitant des essais en laboratoire en plus des corrélations avec les paramètres de classification les sols organiques, la tourbe, les sols salins, les sols artificiels et les sols grossiers à granulométrie étalée.

(2) Pour déterminer la gélivité d'un sol dans son état naturel, il convient d'effectuer des essais sur les échantillons naturels. Pour estimer la gélivité d'un remblai, il convient d'effectuer des essais de gonflement au gel sur des éprouvettes reconstituées.

(3) L'essai de gélivité en laboratoire est un essai de gonflement au gel. Si le risque d'affaiblissement du sol lors du dégel doit être testé, il convient d'effectuer un essai de portance CBR après le dégel de l'éprouvette. Il convient de soumettre l'éprouvette reconstituée à un ou plusieurs cycles de gel et dégel avant l'essai.

### 5.11 Evaluation des résultats d'essais

(1) Il convient d'interpréter les résultats en fonction du type de l'ouvrage, des règles utilisées pour le calcul et de l'expérience comparable disponible en considérant les conséquences des effets du gel.

## 6 Essais chimiques sur Les sols et l'eau souterraine

### 6.1 Exigences applicables à tous les essais chimiques

#### 6.1.1 Domaine d'application

(1) Bien que la composition chimique détaillée du sol soit peu intéressante pour les besoins du génie civil, la présence de certains composants chimiques dans le sol peut être très importante.

(2) Les essais chimiques courants dans un laboratoire de géotechnique se limitent en général à la détermination de la teneur en matières organiques (perte au feu, fraction organique totale, matières organiques), de la teneur en carbonates, de la teneur en sulfates, de la valeur du pH (acidité ou alcalinité) et de la teneur en chlorures. La norme ne traite que de ces cinq essais chimiques.

(3) L'annexe A.6 fournit de plus amples détails sur chaque essai chimique et son interprétation ainsi qu'un certain nombre de directives.

#### 6.1.2 Objectif

(1) Les essais chimiques décrits ici ont pour but de classer le sol et d'évaluer les effets nuisibles du sol et de l'eau souterraine sur le béton, l'acier et le sol lui-même. Ces essais ne sont pas destinés aux études d'environnement.

#### 6.1.3 Exigences

(1)<sup>P</sup> Les points suivants doivent être spécifiés pour tous les essais :

- les échantillons à soumettre à l'essai ;
- le nombre d'échantillons à tester ;
- les modes opératoires à appliquer ;
- les traitements préliminaires, y compris le traitement des particules de trop grandes dimensions (c'est-à-dire  $d > 2$  mm) ;
- le nombre d'essais par couche et le nombre d'essais à dupliquer ;
- le nombre d'essais séparés à réaliser pour déterminer une valeur moyenne ;

- la forme du rapport ;
- les essais de classification supplémentaires exigés pour chaque essai ou série d'essais.

**(2)** Il est permis d'utiliser des échantillons de sol remaniés pour les essais chimiques mais la dimension des particules et la teneur en eau doivent être représentatives des conditions régnant sur le terrain (classes de qualité 1 à 3).

**(3)** Pour la détermination de la teneur en matières organiques, seule la dimension des particules a besoin d'être représentative (classe de qualité 4).

**(3)P** L'éprouvette soumise à l'essai doit être représentative de l'échantillon d'origine et des conditions régnant sur le terrain.

**(4)P** Il faut suivre strictement les modes opératoires appropriés pour le malaxage, l'étalement et le quartage afin d'éviter d'obtenir des résultats incohérents.

#### **6.1.4 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)P** Les résultats d'essais doivent être examinés en liaison avec la description géologique et l'environnement des sols.

**(2)P** Le cas échéant, il faut tenir compte des classifications reconnues en termes de paramètres mesurés.

### **6.2 Teneur en matières organiques**

#### **6.2.1 Objectif**

**(1)** L'essai de teneur en matières organiques est utilisé pour la classification du sol. La teneur en matières organiques est déterminée d'après la perte au feu (souvent notée LOI ou PF), qui est obtenue par combustion à température contrôlée d'une éprouvette préparée à cet effet. Il est également permis d'utiliser d'autres essais adéquats. Par exemple, il est permis de déterminer la teneur en matières organiques d'après la perte de masse lors du traitement du sol avec de l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ), ce qui donne une mesure plus spécifique des matières organiques.

**(2)** La présence de matières organiques peut avoir des effets indésirables sur le comportement mécanique des sols. Par exemple, la capacité portante est réduite, la compressibilité est accrue, le potentiel de gonflement et de retrait augmente avec la teneur en matières organiques. La présence de gaz peut provoquer des tassements immédiats importants, influencer les coefficients de consolidation déduits des essais de laboratoire et donner une résistance au cisaillement trompeuse dans les essais en contraintes totales. Les matières organiques ont un effet nuisible dans les sols utilisés en construction routière et, en général, elles sont associées à un faible pH et, parfois, à la présence de sulfates qui peuvent avoir des effets néfastes sur les fondations.

#### **6.2.2 Exigences**

**(1)P** Les points suivants doivent être spécifiés pour chaque essai ou série d'essais en plus des points énumérés en 8.1.3.

- La température de séchage.
- La température de combustion.
- Les corrections requises pour l'eau liée, les carbonates, etc.

**(2)** Les échantillons hétérogènes nécessitent des éprouvettes plus grandes et un appareillage approprié. Il convient d'utiliser des creusets de taille plus importante, adaptée à celle des éprouvettes.

**(3)P** La perte au feu doit être indiquée en pourcentage de la matière sèche d'origine, en donnant aussi la température de séchage, la température de combustion et les durées du séchage et de la combustion.

### 6.2.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Dans les argiles et les sols limoneux ayant une teneur modérée en matières organiques, les erreurs associées à la correction pour l'eau liée ou pour les carbonates peuvent être tellement grandes que des méthodes d'essais spéciales sont nécessaires.

## 6.3 Teneur en carbonates

### 6.3.1 Objectif

(1) La détermination de la teneur en carbonates sert à classer les sols et roches carbonatés naturels ou à indiquer le degré de cimentation.

(2) Le mesurage de la teneur en carbonates dépend de la réaction des carbonates avec l'acide chlorhydrique (HCl), qui libère du gaz carbonique. On admet que le seul carbonate présent est le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). La teneur en carbonate est mesurée d'après la perte de masse lors du traitement à l'acide chlorhydrique.

### 6.3.2 Exigences

(1) Les échantillons non homogènes exigent de grands échantillons initiaux. Il convient de les écraser et de les feuilleter.

(2) Une évaluation visuelle est nécessaire avant de choisir le traitement préliminaire approprié.

(3)P La teneur en carbonate doit être indiquée en pourcentage de la matière sèche d'origine.

### 6.3.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Certains carbonates (par exemple, la dolomite) peuvent ne pas se dissoudre dans une solution normalisée d'acide chlorhydrique pendant la durée prescrite. Des méthodes spéciales sont nécessaires pour les types de sol ou de roche contenant de tels carbonates.

## 6.4 Teneur en sulfates

### 6.4.1 Objectif

(1) L'essai a pour but de déterminer la teneur en sulfates, qui sert d'indice de l'effet néfaste éventuel du sol sur l'acier et le béton. A de rares exceptions près, tous les sulfates naturels sont solubles dans l'acide chlorhydrique. Certains sont solubles dans l'eau.

(2) La teneur en sulfates solubles dans l'acide est appelée « teneur totale en sulfates ». Elle est différente de la teneur en sulfates solubles dans l'eau. Il est important d'apprécier laquelle de ces valeurs doit être utilisée.

(3) L'eau souterraine contenant des sulfates dissous, en particulier des sulfates de sodium et de magnésium, peut attaquer le béton et d'autres matériaux placés dans le sol ou à la surface de celui-ci. La classification du sol et de l'eau souterraine en termes de teneur en sulfates est donc nécessaire pour que l'on puisse prendre des précautions adaptées.

### 6.4.2 Exigences

(1)P Il doit être spécifié, pour chaque essai ou groupe d'essais, en plus des éléments énumérés en 6.1.3, si l'essai doit porter sur les sulfates solubles dans l'acide ou sur les sulfates solubles dans l'eau.

(2) Les sols hétérogènes contenant des cristaux visibles de gypse nécessitent de grands échantillons qu'il convient d'écraser, de malaxer et de feuilleter afin d'obtenir des éprouvettes représentatives. Une évaluation visuelle est nécessaire avant de choisir la méthode de préparation appropriée pour les éprouvettes.



### 6.4.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P La teneur en  $\text{SO}_3$  ou  $\text{SO}_4$  doit être indiquée en pourcentage de la substance sèche ou en  $\text{g/dm}^3$ , pour les sulfates solubles dans l'acide ou dans l'eau.

## 6.5 Valeur du pH (acidité et alcalinité)

### 6.5.1 Objectif

(1) La valeur du pH de l'eau souterraine ou de la solution de sol dans l'eau permet d'évaluer l'éventualité d'une acidité ou d'une alcalinité excessive.

### 6.5.2 Exigences

(1)P Les points suivants doivent être spécifiés pour chaque essai ou groupe d'essais, en plus des points énumérés en 6.1.3.

- Si le sol doit être séché ou non.
- Les proportions du sol et de l'eau.

(2)P Des solutions tampons normalisées doivent être utilisées pour l'étalonnage du pH-mètre.

(3)P La valeur du pH des suspensions de sol ou de l'eau souterraine doit être consignée. La méthode d'essai doit être indiquée.

### 6.5.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Il convient de tenir compte dans l'évaluation du fait que, dans certains sols, les valeurs mesurées sont susceptibles d'être influencées par l'oxydation.

## 6.6 Teneur en chlorures

### 6.6.1 Objectif

(1) L'essai a pour but de déterminer la teneur en chlorures solubles dans l'eau ou dans l'acide de façon à pouvoir évaluer la salinité de l'eau interstitielle ou du sol. Les résultats fournissent un indice de l'effet éventuel de l'eau souterraine sur le béton, l'acier, d'autres matériaux et les sols.

### 6.6.2 Exigences

(1)P Les points suivants doivent être spécifiés pour chaque essai ou groupe d'essais, en plus des points énumérés en 6.1.3.

- S'il faut déterminer si les chlorures sont solubles dans l'eau ou dans l'acide.
- Si le sol doit-il être séché ou non.

(2)P Après le séchage, le sol doit être malaxé soigneusement afin de répartir tous les sels pouvant avoir migré pour former une croûte superficielle.

### 6.6.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P La teneur en chlorures, exprimée en  $\text{g/dm}^3$  ou en pourcentage de la masse sèche du sol, doit être indiquée. Les modes opératoires utilisés doivent mentionner si l'on a déterminé les chlorures solubles dans l'eau ou dans l'acide.

## 7 Essais de compressibilité des sols

### 7.1 Objectif

(1) Cette section traite des exigences relatives aux essais de compression par paliers et de gonflement à l'œdomètre et à l'évaluation du potentiel d'affaissement d'un sol. L'éprouvette cylindrique est confinée latéralement et, en général, soumise à des incréments discrets de chargement ou déchargement axial vertical, le drainage pouvant s'effectuer dans la direction axiale.

(2) Les essais de compression par paliers et de gonflement à l'œdomètre ont pour but de déterminer les caractéristiques de compressibilité, de consolidation et de gonflement des sols.

(3) L'objectif de l'essai de potentiel d'affaissement est de déterminer les paramètres de compressibilité du sol à l'état non saturé et d'évaluer la compression supplémentaire que provoque l'affaissement de la structure du sol lorsqu'il est inondé.

### 7.2 Exigences

(1) Pour déterminer la compressibilité d'une couche d'argile, de limon ou de sol organique, il convient d'utiliser des échantillons non remaniés (classe de qualité 1).

(2) Si les essais sont réalisés sur des échantillons de classe de qualité 2, il convient de tenir compte des effets du remaniement de l'échantillon dans l'interprétation des résultats.

(3)P Pour les éprouvettes recompactées, on doit spécifier la composition, la masse volumique et la teneur en eau des éprouvettes qui correspondent aux conditions du site ainsi que la méthode de préparation des éprouvettes.

(4)P Lorsque l'on planifie la détermination des caractéristiques de compressibilité d'une couche du sol, il faut tenir compte des éléments suivants :

a) pour la reconnaissance du site :

- les résultats des reconnaissances déjà effectuées ;
- les mesures de tassements effectuées sur des sites voisins ;
- le nombre et la qualité des échantillons ;
- le nombre et le type des essais en place.

b) pour les essais de laboratoire :

- le stockage des échantillons ;
- les dispositions particulières pour les sols sensibles et cimentés ;
- le nombre d'éprouvettes ;
- la préparation des éprouvettes ;
- l'orientation de l'éprouvette ;
- la nécessité d'effectuer des essais de classification supplémentaires.

(5)P Pour les cas de chargements ou déchargements complexes et/ou pour les conditions de sols difficiles, il faut envisager de réaliser des essais plus évolués que l'essai œdométrique à chargement par paliers, par exemple des essais à vitesse de déformation constante.

(6)P La contrainte verticale initiale ne doit pas dépasser la contrainte effective verticale en place.

(7) Pour les argiles à comportement ramollissant, une contrainte initiale égale au quart de la contrainte effective verticale en place est une valeur appropriée.

(8) Dans un essai de compression, la contrainte verticale maximale doit être bien supérieure à la contrainte verticale effective maximale susceptible d'exister sur le terrain. Dans un essai de gonflement, la plage des décrets de contrainte verticale à appliquer pendant l'essai doit comprendre la plage des contraintes susceptibles d'être appliquées sur le site.

(9)P Lors de l'essai de potentiel d'affaissement, les éprouvettes doivent être sélectionnées en tenant compte des connaissances existantes sur le comportement du sol lorsqu'il est soumis à une inondation. Il faut également tenir compte du type de structure envisagée et de sa tolérance aux tassements localisés. La contrainte sur l'éprouvette pour laquelle est appliquée l'inondation doit être en rapport avec la plage des contraintes verticales susceptibles de se produire sur le site.

(10) L'annexe A.7 donne des règles concernant le nombre minimal d'échantillons et d'essais par couche, ainsi que des informations complémentaires sur l'essai et son évaluation.

### 7.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) L'interprétation des résultats des essais œdométriques en termes de compressibilité est généralement plus fiable que leur interprétation en termes de comportement au cours du temps.

(2) Les résultats des essais œdométriques permettent d'estimer la pression de préconsolidation des argiles et des sols limoneux. L'estimation de la pression de préconsolidation peut être fortement altérée par le remaniement des échantillons et il convient de tenir compte de ces effets.

(3)P Il faut examiner l'opportunité d'exécuter des essais œdométriques à vitesse de déformation constante.

(4) La méthode d'essai à vitesse de déformation constante est souvent préférable à la méthode de chargement par paliers. Cette méthode peut être substituée librement à l'essai de chargement par paliers.

## 8 Essais indicatifs de résistance des argiles

### 8.1 Objectif

(1) Les essais indicatifs de résistance ont pour but de déterminer d'une manière simple et rapide la résistance au cisaillement des argiles non drainées. La résistance au cisaillement ainsi déterminée n'est qu'une approximation.

(2) Cette prénorme traite des essais indicatifs de résistance suivants :

- scissomètre de laboratoire ;
- pénétromètre de poche ;
- pénétration de cône (cône tombant ou cône suédois) ;
- compression simple ;
- essais de compression non consolidés non drainés.

### 8.2 Exigences

(1) L'annexe A.8 présente des informations sur chacun des essais indicatifs de résistance étudiés et une liste des points importants des modes opératoires de chaque essai.

(2) Il convient d'utiliser des éprouvettes non remaniées (classe de qualité 1).

### 8.3 Evaluation des résultats d'essais

- (1) De préférence, il convient de présenter les résultats avec la description du sol et les résultats des autres essais de classification du sol.
- (2) En général, l'essai de compression non consolidé non drainé donne des résultats plus fiables que les autres essais indicatifs de résistance.
- (3) En général, les essais indicatifs de résistance ne peuvent servir au calcul que s'il existe une expérience comparable bien documentée avec des sols semblables.

## 9 Essais de résistance des sols

### 9.1 Objectif et domaine d'application

- (1) Les essais ont pour but de déterminer les paramètres de résistance en contraintes effectives, les paramètres de pression interstitielle et/ou la résistance au cisaillement non drainée.
- (2) L'essai de compression triaxiale et deux types d'essais de cisaillement direct, l'essai de cisaillement rectiligne à la boîte et l'essai de cisaillement annulaire, sont traités. Pour les essais de cisaillement direct, les résultats s'appliquent uniquement au chargement en conditions drainées.
- (3) Cette méthode ne s'applique qu'aux sols saturés.

### 9.2 Exigences

- (1) Pour la détermination de la résistance au cisaillement des sols argileux, limoneux ou organiques, il convient d'utiliser des échantillons non remaniés (classe de qualité 1). Pour certains sols ou pour des besoins particuliers, les essais peuvent être réalisés sur des éprouvettes reconstituées ou remaniées.
- (2) Si des échantillons de classe de qualité 2 sont soumis à l'essai, il convient de tenir compte des effets du remaniement de l'échantillon dans l'interprétation des résultats.
- (3)P Pour les argiles, les éprouvettes doivent être aussi représentatives que possible des conditions du site.
- (4) Pour les limons et les sables, il est permis de recompresser les éprouvettes. Il convient de sélectionner une méthode de préparation qui reproduise aussi fidèlement que possible la structure et la masse volumique qui conviennent pour le calcul en cours.
- (5)P Pour les éprouvettes recompressées, la composition, la masse volumique et la teneur en eau des éprouvettes préparées, correspondant aux conditions du site, ainsi que la méthode de préparation des éprouvettes doivent être précisées.
- (6)P Pour un essai de résistance, les éléments suivants doivent être évalués ou précisés :
  - le nombre d'essais exigés ;
  - le choix de l'emplacement des éprouvettes dans les échantillons prélevés ;
  - la qualité requise de l'échantillon ;
  - la méthode de préparation des éprouvettes ;
  - l'orientation des éprouvettes ;
  - le type d'essai ;
  - les essais de classification qu'il est nécessaire d'effectuer ;
  - les conditions d'essais (par exemple : les contraintes de consolidation, le critère de fin de consolidation) ;

- la durée des incréments de consolidation ;
- la vitesse de cisaillement ;
- les critères de rupture ;
- la déformation à laquelle l'essai doit être arrêté ;
- les critères d'acceptabilité (par exemple : La saturation, la dispersion) ;
- la précision des mesures ;
- la forme de présentation des résultats d'essais ;
- tous les modes opératoires utilisés en plus de ceux mentionnés dans une norme acceptée.

**(7)P** La résistance au cisaillement et l'enveloppe de rupture de Mohr d'un échantillon doivent être déterminées par un ensemble de trois essais ou plus sous des contraintes effectives normales différentes.

**(8)P** Lors de la planification de la détermination de la résistance au cisaillement d'une couche du sol, il faut tenir compte des éléments suivants :

a) pour les reconnaissances en place :

- les résultats existants des essais effectués sur le terrain et en laboratoire pour des bâtiments voisins ;
- le nombre et la qualité des échantillons à prélever ;
- le nombre et le type des essais en place.

b) pour les essais de laboratoire :

- le stockage des échantillons ;
- le type de d'essai de cisaillement pour la détermination de la résistance au cisaillement ;
- le nombre d'éprouvettes ;
- la méthode de préparation des éprouvettes ;
- la nécessité d'effectuer des essais de classification supplémentaires.

**(9)P** Les conditions d'essai doivent être choisies de façon à reproduire aussi fidèlement que possible les conditions existant sur le terrain.

**(10)** L'annexe A.9 donne des règles concernant le nombre minimal d'échantillons et d'essais pour une couche, ainsi que des informations complémentaires sur l'essai et son évaluation.

### **9.3 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)** Les essais de compression triaxiale et de cisaillement direct fournissent des paramètres de résistance couramment acceptés, qui peuvent être applicables aux méthodes de calcul courantes mais qui ne le sont pas forcément pour d'autres analyses.

**(2)P** La présentation des résultats d'essais doit comprendre, le cas échéant :

- le(s) chemin(s) de contraintes effectives ;
- les courbes contrainte-déformation ;
- les courbes pression interstitielle-déformation ;
- le paramètre de pression interstitielle.

**(3)** Il est permis de fournir les cercles de Mohr en plus du (des) chemin(s) de contraintes effectives. L'extrapolation linéaire des résultats d'essais peut donner des valeurs erronées de la résistance d'un sol car, en général, l'enveloppe de rupture de Mohr n'est pas une droite, en particulier pour les faibles valeurs des contraintes normales.

**(4)P** La plage de contraintes dans laquelle les paramètres de résistance ont été déterminés en termes de contraintes effectives doit être indiquée.

**(5)** Il existe plusieurs méthodes permettant d'obtenir les paramètres de déformabilité et de résistance des sols en laboratoire et sur site. Il convient de comparer les résultats obtenus au cours de ces différents essais lors de l'évaluation des résultats.

**(6)** Il convient d'évaluer les résultats en tenant compte de la vitesse de déformation utilisée pour l'essai.

## **9.4 Essai de compression triaxiale consolidée**

### **9.4.1 Exigences**

**(1)P** Pour un essai de compression triaxiale, les éléments suivants doivent être évalués ou précisés :

- la méthode et le critère de saturation ;
- la contre-pression exigée ;
- tous les modes opératoires utilisés en plus de ceux mentionnés dans une norme acceptée (par exemple : Extrémités lubrifiées, mesurages locaux des déformations ou de la pression interstitielle).

**(2)P** Pour les essais triaxiaux consolidés non drainés, les exigences concernant la réponse de la pression interstitielle et le chemin de contrainte totale pour le cisaillement doivent être précisées.

**(3)P** Pour les essais consolidés drainés, les exigences concernant l'équipement de mesure de la variation de volume et le chemin de contraintes pour le cisaillement doivent être spécifiées.

**(4)P** Les essais de classification minimaux qui doivent être effectués en liaison avec les essais triaxiaux comprennent la détermination de la teneur d'eau avant et après l'essai et de la masse volumique apparente avant et après l'essai.

**(5)** Il convient de déterminer les limites d'Atterberg et la courbe granulométrique pour chaque ensemble d'essais triaxiaux effectués dans une même couche.

**(6)P** Les résultats doivent indiquer clairement le type d'essai réalisé et le critère choisi pour définir les paramètres de résistance (par exemple : valeur de pic du déviateur, valeur maximale du rapport des contraintes) ainsi que la vitesse de cisaillement imposée.

**(7)P** Les incertitudes concernant la saturation de l'éprouvette doivent être indiquées dans le rapport. Les écarts des modes opératoires ou du matériel d'essai par rapport à la norme de référence doivent être indiqués clairement dans le rapport et, le cas échéant, sur les principaux graphiques de présentation des résultats.

**(8)P** Il faut examiner s'il est nécessaire d'exécuter des essais plus évolués. Ces essais plus évolués en laboratoire comprennent l'essai d'extension triaxiale, l'essai de cisaillement simple, les essais de compression et d'extension en déformations planes, les essais triaxiaux vrais, l'essai de cisaillement directionnel ; tous peuvent être exécutés avec une consolidation anisotrope au lieu d'isotrope.

#### **9.4.2 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)** Il convient de tenir compte dans l'interprétation des résultats d'essais que la résistance au cisaillement non drainée, les paramètres de pression interstitielle et les relations contrainte-déformation sont plus influencés par le remaniement des éprouvettes que les paramètres de résistance.

**(2)** Des valeurs fiables du module de déformation ne peuvent être obtenues que par des essais consolidés de façon anisotrope, sauf si le coefficient de pression des terres au repos est égal à l'unité.

### **9.5 Essais consolidés de cisaillement direct à la boîte et annulaire**

**(1)P** L'emplacement et l'orientation de l'éprouvette doivent être étudiés soigneusement afin de reproduire aussi fidèlement que possible les conditions du site. Dans les essais de cisaillement à la boîte et annulaire, la rupture est forcée de se produire au niveau ou près d'un plan horizontal situé au milieu de l'éprouvette.

**(2)P** Les pressions interstitielles négatives et positives dues au cisaillement doivent être évitées durant l'essai car elles ne peuvent pas être mesurées et prises en compte dans l'interprétation de l'essai. La vitesse de cisaillement doit être suffisamment faible pour permettre aux pressions interstitielles de se dissiper.

## **10 Essais de compactage des sols**

### **10.1 Domaine d'application**

**(1)** Cette prénorme traite des essais de compactage et de l'essai de portance CBR.

**(2)** L'annexe A.10 donne des indications sur le nombre minimal d'échantillons à tester dans une couche, ainsi que des informations complémentaires sur l'essai et son évaluation.

### **10.2 Essais de compactage**

#### **10.2.1 Objectif**

**(1)** Les essais de compactage peuvent être utilisés pour déterminer la relation existant entre la masse volumique du sol sec et la teneur en eau lorsqu'un effort de compactage donné est appliqué. Ils donnent la teneur optimale en eau correspondant à la masse volumique sèche maximale pour un effort de compactage spécifié. Les essais de compactage en laboratoire fournissent la base des spécifications de compactage sur le terrain.

#### **10.2.2 Exigences**

**(1)P** Les éléments suivants doivent être spécifiés ou contrôlés :

- la quantité et la qualité des échantillons ;
- le traitement des sols qui contiennent des particules de dimension excessive ;
- le traitement des sols cohérents raides ;
- les modes opératoires à appliquer ;
- la rigidité du socle sur laquelle le moule est placé pendant le compactage ;
- la préparation des éprouvettes et leur maturation ;
- la conformité du matériel (moules et dames) utilisé aux prescriptions des normes ;

— l'énergie de compactage.

**(3)P** Il faut examiner l'opportunité d'exécuter des essais sur le terrain et non en laboratoire pour certains types de sols particuliers.

### **10.2.3 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)P** Les caractéristiques de compactage des sols doivent être fournies avec les courbes granulométriques, la teneur en eau naturelle, les limites d'Atterberg, la masse volumique des particules solides et la proportion de matériau de trop grandes dimensions par rapport à la masse de matériau sec avec la correction apportée, éventuellement.

## **10.3 Essai de portance CBR**

### **10.3.1 Objectif**

**(1)** L'essai a pour but de déterminer l'indice de portance CBR d'un échantillon compacté ou intact. L'essai de portance CBR permet d'évaluer la résistance potentielle des matériaux de couche de forme, de couche de fondation et de l'assise de base (y compris les matériaux recyclés) destinés à supporter une chaussée routière, une voie ferrée et une chaussée d'aérodrome. L'indice CBR obtenu au moyen de cet essai est le paramètre fondamental pour le calcul des chaussées souples.

**(2)** Le principe de l'essai consiste à déterminer la relation existant entre la force et la pénétration lorsque l'on fait enfoncer un poinçon de section normalisée à la surface du matériau.

### **10.3.2 Exigences**

**(1)P** Les éléments suivants doivent être spécifiés ou contrôlés :

- le nombre et la qualité des échantillons ;
- la méthode de préparation de chaque éprouvette ;
- le nombre d'essais à effectuer pour chaque ensemble d'éprouvettes ;
- le traitement des sols comportant des particules de dimensions excessives ;
- la maturation des éprouvettes ;
- si l'éprouvette doit être soumise à un trempage ou non ;
- en cas de trempage, si le gonflement doit être mesuré ;
- la surcharge à appliquer pour le trempage et pour l'essai ;
- la teneur en eau imposée lorsque l'on prépare des éprouvettes compactées ;
- la masse volumique sèche des éprouvettes ou l'effort de compactage ;
- la conformité du matériel (moules et dames) utilisé aux prescriptions de la norme ;
- si l'essai doit être réalisé sur une seule extrémité de l'éprouvette ou sur les deux.

### **10.3.3 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)P** Les résultats des essais d'indice de portance CBR doivent être rapportés avec la courbe granulométrique, la teneur en eau naturelle, les limites d'Atterberg, la masse volumique des particules solides et la proportion de matériau de trop grandes dimensions par rapport à la masse de matériau sec, le cas échéant.

**(2)P** Les valeurs de l'indice de portance CBR doivent être choisies en se basant sur le jugement de l'ingénieur et sur l'analyse de toutes les données pertinentes.



## 11 Essais de perméabilité des sols

### 11.1 Objectif

(1) L'essai a pour but de déterminer le coefficient de perméabilité (ou conductivité hydraulique) correspondant à l'écoulement de l'eau à travers un sol saturé d'eau. L'annexe A.10 donne la liste de quelques méthodes utilisées pour cet essai.

### 11.2 Exigences

(1) Pour les essais de perméabilité sur des sols argileux, limoneux ou organiques, il convient de n'utiliser que des éprouvettes de sol de classe de qualité 1 ou 2.

(2) Pour les argiles, si des éprouvettes de classe de qualité 3 sont utilisées pour les essais, il convient d'envisager une reconsolidation des éprouvettes afin de minimiser les effets du remaniement des échantillons.

(3) Pour les sables et les graviers, il est permis d'utiliser des éprouvettes de classe de qualité 3 et des échantillons de sol remaniés ou recompactés.

(4)P Les éprouvettes d'argile, de limon et de matières organiques soumises aux essais doivent avoir non seulement la même granularité et le même indice des vides que le sol du site, mais aussi la même stratification et elles doivent subir les essais à des niveaux de contraintes adaptés.

(5)P Lorsque l'on planifie la détermination du coefficient de perméabilité d'une couche de sol, il faut tenir compte des éléments suivants :

a) pour les études de terrain :

- les résultats des études antérieures effectuées sur le terrain et en laboratoire ;
- les résultats des mesures effectuées sur des sites voisins ;
- le nombre et la qualité des échantillons ;
- le nombre et le type des essais à réaliser sur le terrain.

b) pour les essais de laboratoire :

- le stockage des échantillons ;
- le type d'essai préférable pour la détermination de la perméabilité ;
- le nombre d'éprouvettes ;
- la préparation des éprouvettes ;
- l'orientation des éprouvettes ;
- la nécessité d'effectuer des essais de classification supplémentaires.

**(6)P** En fonction des conditions d'utilisation des résultats de l'essai, les paramètres suivants doivent être précisés :

- a) pour les sols argileux, limoneux et organiques :
- les conditions de contrainte dans lesquelles l'éprouvette doit subir l'essai ;
  - le degré de précision de la condition d'écoulement à débit stabilisé ;
  - la direction de l'écoulement au travers de l'éprouvette ;
  - le gradient hydraulique sous lequel l'éprouvette doit subir l'essai ;
  - la nécessité d'une contre-pression et le degré de saturation exigé.
- b) dans le sable et le gravier :
- l'indice de densité auquel l'éprouvette doit être préparée ;
  - le gradient hydraulique sous lequel l'éprouvette doit subir l'essai ;
  - la nécessité d'une contre-pression et le degré de saturation exigé.

**(7)P** Lors du choix du gradient hydraulique, il faut vérifier que le gradient dans l'essai de laboratoire et le gradient sur le site sont compris dans le domaine d'application de la loi de Darcy. Le gradient hydraulique en laboratoire doit être proche de celui existant sur le terrain.

**(8)** Il convient de vérifier que les variations de volume dues à la consolidation de l'éprouvette n'ont qu'une influence négligeable sur la perméabilité mesurée.

**(9)P** Le rapport doit indiquer toutes les divergences concernant le degré de saturation des éprouvettes, les modes opératoires utilisés, la composition de l'éprouvette et tous les autres aspects, par rapport au mode opératoire préférentiel mentionné dans l'annexe A.11.

**(9)** L'annexe A.11 donne des indications sur le nombre minimal d'échantillons et d'essais pour une couche, ainsi que des informations complémentaires sur l'essai et son évaluation.

### **11.3 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)P** L'évaluation doit concerner :

- l'importance des effets des conditions aux limites (degré de saturation, direction de l'écoulement, gradient hydraulique, conditions de contraintes, densité et stratification, fuites latérales et perte de charge dans le filtre et les tubulures) sur les résultats des essais ;
- dans quelle mesure ces conditions correspondent bien à la situation sur le terrain.

**(2)** Pour les sols non saturés, les valeurs du coefficient de perméabilité peuvent être beaucoup plus petites que celles mesurées sur un sol saturé.

**(3)** Il convient d'examiner s'il convient d'appliquer une correction de température.

## **12 Préparation des éprouvettes de roche pour les essais**

### **12.1 Objectif**

**(1)** La préparation des éprouvettes pour les essais de roche a pour but de fournir des éprouvettes aussi représentatives que possible de la formation rocheuse étudiée.

**(2)** L'annexe A.12 donne de plus amples détails sur la préparation des éprouvettes de roche pour les essais ainsi qu'un certain nombre de règles.

## 12.2 Exigences

**(1)P** La façon de préparer les éprouvettes de roche doit être prescrite. Si ces prescriptions ne peuvent être respectées, l'éprouvette doit être préparée d'une manière aussi proche que possible des prescriptions et la façon dont l'éprouvette a été préparée doit être indiquée.

**(2)P** Tous les instruments et assemblages destinés à déterminer la rectitude, la planéité et la perpendicularité de la surface des extrémités doivent être contrôlés avec une périodicité régulière enregistrée, avec des tolérances satisfaisant au moins aux exigences des essais à réaliser sur la roche.

**(3)P** Les éléments suivants doivent être précisés :

- les conditions de stockage des échantillons de roche (stockage à court terme et/ou à long terme) ;
- la condition d'humidité des éprouvettes au moment de l'essai ;
- la méthode de préparation des éprouvettes de carottes rocheuses ;
- la méthode de détermination des dimensions de l'éprouvette et les tolérances de forme.

**(4)P** Il faut éviter les variations de teneur en eau. Si un changement se produit dans la teneur en eau naturelle, son effet doit être compensé dans le cadre de la préparation des essais.

**(5)P** La nécessité d'un recarottage à une dimension prescrite doit être définie en tenant compte de la méthode de carottage en laboratoire, du liquide de refroidissement utilisé et de la nécessité de soumettre les éprouvettes à une nouvelle saturation.

**(6)P** En même temps que les données et résultats de l'essai réalisé, le rapport doit contenir les éléments suivants :

- l'origine de l'éprouvette, y compris sa profondeur ou sa cote et son orientation dans l'espace ;
- les dates de préparation des éprouvettes et des essais ;
- les commentaires sur la représentativité des éprouvettes soumises aux essais ;
- toutes les dimensions et formes mesurées, et leur conformité aux spécifications ;
- la teneur en eau de l'échantillon/éprouvette (tel que reçu, pendant la préparation, saturé) ;
- les conditions de séchage (séchage à l'air ou en étuve, sous pression ou vide partiel).

**(7)** Il convient de signaler la cause et l'effet de toute modification de la teneur en eau.

## 12.3 Evaluation des résultats d'essais

**(1)P** Les résultats doivent être présentés sous forme de tableaux ou sur des journaux de forage.

**(2)P** Les informations suivantes doivent être données pour l'interprétation des résultats d'essais :

- la description physique de l'éprouvette y compris le type de roche (tel que grès, calcaire, granite, etc.), l'emplacement et l'orientation des particularités structurales inhérentes à la roche et toutes les discontinuités, les inclusions ou les défauts d'homogénéité ;
- le dessin de l'éprouvette ou une photographie en couleur pour les types de roches autres que les roches homogènes monotones ;
- l'indice RQD et le taux de récupération de la carotte, si possible ;
- les données permettant de justifier les contrôles de tolérances de rectitude des éléments sur une surface cylindrique, la planéité des surfaces d'appui aux extrémités et la perpendicularité des surfaces d'extrémité par rapport à l'axe de la carotte.

## 13 Essais de Classification des roches

### 13.1 Généralités

#### 13.1.1 Objectif

(1) Parmi les essais de classification des roches, la présente norme traite les suivants :

- identification et description de la roche ;
- teneur en eau ;
- masse volumique et porosité.

(2) La classification se rapporte à la division des roches identifiées en groupes ou catégories définis spécifiquement pour des certains besoins du génie civil. La classification est liée aux composants minéralogiques, à la structure, à la dureté, à la masse volumique, à la teneur en eau, à la porosité et à la résistance de la roche.

(3) L'annexe A.13 donne de plus amples détails et des règles sur l'essai de classification.

#### 13.1.2 Exigences

(1)P Pour la présentation du rapport sur les résultats des essais de classification, les résultats des essais doivent être examinés ensemble, comparés avec les logs de forage et les logs géophysiques correspondants et avec l'expérience comparable.

(2)P Le modèle géotechnique étayé par la classification des sols et des roches doit être comparé avec toutes les autres informations disponibles : logs de forage, logs géophysiques, photographies de carottes et autres informations géologiques de base disponibles. L'utilisation des cartes géologiques disponibles est essentielle pour la classification des massifs de roches et de sols.

(3) Une description cohérente peut nécessiter des avis complémentaires et l'utilisation d'exemples types avec comparaison des roches.

## 13.2 Identification et description de la roche

### 13.2.1 Objectif

(1) La méthode permet d'obtenir une identification et une description du matériau et du massif rocheux en se basant sur la composition minéralogique de la roche, sa granularité dominante, son groupe génétique, sa structure, son altération et d'autres éléments. La description peut être réalisée sur des carottes et d'autres échantillons de roche naturelle et sur les massifs rocheux in situ.

### 13.2.2 Exigences

(1)P Les éléments suivants doivent être spécifiés :

- le système de classification de la roche ;
- la nécessité d'effectuer des analyses géologiques approfondies ;
- la forme du rapport.

(2)P L'identification de la roche et sa description doivent être réalisées sur tous les échantillons reçus par le laboratoire, quelle que soit l'homogénéité de la roche, car l'identification et la description constituent le cadre de tous les essais et évaluations.

(3)P Le rapport doit être conforme au système de classification des roches spécifié.

### 13.3 Teneur en eau

#### 13.3.1 Objectif

(1) La teneur en eau de la roche est déterminée par étuvage à  $(105 \pm 5)$  °C.

#### 13.3.2 Exigences

(1)P Des mesures doivent être prescrites pour retenir l'eau pendant le prélèvement des échantillons et leur stockage.

(2)P Les éléments suivants doivent être spécifiés :

- la sélection des échantillons destinés aux essais ;
- leur stockage au laboratoire avant les essais ;
- la resaturation éventuelle des échantillons desséchés par la technique de saturation sous vide ;
- le nombre d'essais par couche ;
- le nombre d'essais à effectuer en parallèle avec d'autres essais sur des roches issues de la même formation ;
- le nombre de contrôles de précision à effectuer.

(3) Dans l'idéal, il convient d'utiliser au moins 10 morceaux d'une carotte cassée, chacun ayant une masse d'au moins 50 g et une dimension minimale égale à dix fois la taille maximale des grains. Toutefois, dans de nombreux cas, 50 g à 100 g par morceau suffiront.

(4)P Le rapport doit indiquer si la teneur en eau correspond à celle du site.

#### 13.3.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Il est permis d'effectuer des contrôles de plausibilité en comparant la teneur en eau mesurée avec la teneur en eau de saturation déduite de la masse volumique (ou de la porosité) de l'éprouvette. Il convient de vérifier les résultats anormaux en recommençant les essais.

(2)P Des comparaisons avec des corrélations existantes entre la teneur en eau et le type de roche doivent être faites.

### 13.4 Masse volumique et porosité

#### 13.4.1 Objectif

(1) L'essai permet de mesurer la masse volumique apparente et la masse volumique du matériau sec afin d'obtenir la porosité et les propriétés connexes d'un échantillon de roche.

#### 13.4.2 Exigences

(1)P Les éléments suivants doivent être spécifiés :

- la sélection des échantillons destinés aux essais ;
- leur stockage avant l'essai ;
- si les échantillons desséchés doivent être resaturés et par quelle technique ;
- le nombre d'essais exigés par formation ;
- si des essais parallèles doivent être effectués sur la même formation.

(2) Il convient de soumettre aux essais au moins trois éprouvettes, chacune ayant une masse d'au moins 50 g et une dimension minimale égale à dix fois la taille maximale des grains. Toutefois, dans de nombreux cas, 50 g à 100 g par morceau suffiront à réaliser une éprouvette représentative.

## 14 Essais de gonflement des roches

### 14.1 Généralités

#### 14.1.1 Objectif

(1) Certaines roches, notamment celles qui possèdent une forte teneur en argile, sont prédisposées au gonflement, au ramollissement et à la désintégration lorsqu'elles sont exposées à une humidification et un séchage ou un déchargement dans un environnement aqueux. De nombreux essais indicatifs destinés à la classification et à la comparaison d'éprouvettes de roche ont été développés, pour mesurer :

- la pression de gonflement dans des conditions de variation de volume nulle ;
- la déformation de gonflement d'une éprouvette confinée radialement avec surcharge axiale ;
- la déformation de gonflement d'une éprouvette de roche non confinée.

(2) Les essais indicatifs fournissent une estimation de la résistance au gonflement dans des conditions bien contrôlées.

(3) Les essais sont généralement effectués sur des roches plus molles comme l'argilite et les schistes. Ils peuvent être utilisés pour la caractérisation de roches plus dures soumises à altération. Il convient d'approfondir la classification des roches qui se désintègrent pendant les essais au moyen d'essais de classification des sols appropriés comme les limites de retrait, de liquidité et de plasticité, la courbe granulométrique, le type des minéraux argileux et les teneurs correspondantes.

(4) L'annexe A.14 donne de plus amples détails sur chacun des essais de gonflement et son interprétation ainsi qu'un certain nombre de règles.

#### 14.1.2 Exigences

(1) Les éprouvettes doivent être strictement conformes à la pratique recommandée dans l'annexe A.16 pour les cylindres droits ou les prismes rectangulaires. La taille des échantillons doit permettre la préparation d'éprouvettes par recarottage et/ou usinage au tour, l'axe pour une direction de mesurage du gonflement étant perpendiculaire à un lit ou une foliation.

(2)**P** Les éléments suivants doivent être spécifiés :

- la sélection des éprouvettes destinées aux essais ;
- la préparation des éprouvettes, leur orientation et leurs dimensions ;
- le nombre d'essais exigés par formation ;
- la méthode d'essai, le matériel et les étalonnages ;
- l'eau à utiliser (eau naturelle ou distillée, propriétés chimiques) ;
- la durée des enregistrements ;
- la nécessité de tracer des courbes de pression de gonflement ou de déplacement en fonction du temps écoulé depuis l'immersion ;
- les paramètres supplémentaires exigés ;
- les exigences relatives au rapport.

### 14.1.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P Les résultats doivent être analysés à la lumière de la description des essais, et des paramètres de classification doivent être définis.

(2)P La valeur utilisée dans le calcul doit être tirée de l'expérience acquise sur le terrain avec des types de roches comparables dans des conditions climatiques, de chargement et d'humidification similaires, mais il est permis de la compléter avec les résultats d'essais de gonflement, sous réserve que ces résultats ne soient utilisés qu'à titre de guide dans l'évaluation des propriétés des roches en place.

(3) Les processus d'altération à court terme et tout particulièrement à long terme qui sont à l'origine du gonflement, du ramollissement et de la désintégration par humidification et séchage peuvent n'être que partiellement reflétés par les essais de laboratoire, même dans des conditions similaires de chargement et de teneur en eau à cause de l'influence, entre autres, de la fissuration naturelle, des contraintes, du drainage et de la chimie de l'eau interstitielle.

## 14.2 Pression de gonflement dans des conditions de variation de volume nulle

### 14.2.1 Objectif

(1) L'essai est destiné à mesurer la pression nécessaire pour forcer une éprouvette de roche non remaniée à conserver un volume constant lorsqu'elle est immergée dans de l'eau.

(2) Il est permis d'utiliser l'essai pour estimer la pression de gonflement in situ par comparaison avec une expérience documentée concernant l'horizon rocheux.

### 14.2.2 Exigences

(1)P La force appliquée pour maintenir la condition de variation nulle de volume doit être corrigée pour tenir compte de la déformation du dispositif d'essai lui-même (roulements à billes, pierres poreuses et papier-filtre vers les platines d'extrémité) et de l'éprouvette de roche dans des conditions de contrainte appropriées.

## 14.3 Déformation de gonflement d'une éprouvette confinée radialement avec surcharge axiale

(1) L'essai est destiné à mesurer la déformation axiale due au gonflement développé sous une surcharge axiale constante, lorsqu'une éprouvette de roche non remaniée et confinée radialement est immergée dans de l'eau.

(2) Il est permis d'utiliser l'essai pour estimer le gonflement potentiel in situ par comparaison avec une expérience documentée concernant l'horizon rocheux considéré. Suivant la contrainte appliquée verticalement, l'essai fournit une base pour l'évaluation du soulèvement vertical ou de la déformation latérale d'une interface roche/structure.

## 14.4 Déformation de gonflement d'une éprouvette de roche non confinée

(1)P L'essai est destiné à mesurer la déformation due au gonflement développé lorsqu'une éprouvette de roche non remaniée et non confinée est immergée dans de l'eau. L'essai ne doit être appliqué qu'à des éprouvettes dont la géométrie ne change pas de façon perceptible. Il est suggéré que l'essai de gonflement avec confinement donne de meilleurs résultats avec les roches moins durables, qui se désagrègent.

(2) Il est permis d'utiliser l'essai pour estimer le gonflement potentiel sur le site par comparaison avec une expérience documentée concernant le même horizon rocheux. Le rapport doit indiquer clairement que l'éprouvette n'a pas été confinée radialement pendant l'essai de gonflement.

## 15 Essais de résistance des roches

### 15.1 Généralités

#### 15.1.1 Domaine d'application

(1) Cette prénorme comprend cinq méthodes de laboratoire pour déterminer la résistance d'une roche.

- l'essai de compression et de déformabilité uniaxiales ;
- l'essai de charge ponctuelle ;
- l'essai de cisaillement direct ;
- l'essai brésilien ;
- l'essai de compression triaxiale.

(2) L'annexe A.15 fournit de plus amples détails sur chaque essai de résistance et son interprétation.

### 15.1.2 Exigences

(1)P Les éléments suivants doivent être spécifiés :

- les échantillons à soumettre à l'essai ;
- la préparation des éprouvettes ;
- le nombre d'essais par formation ;
- tous les paramètres supplémentaires exigés.

### 15.1.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P Pour l'interprétation des résultats d'essais de résistance, le rapport doit comporter :

- des comparaisons avec des bases de données reconnues pour faciliter la détection des résultats anormaux, tout en tenant compte de la plage naturelle de variation des paramètres de résistance à la compression et de déformation dans une roche ;
- les corrélations avec les résultats des essais de classification ;
- une analyse de tous les résultats d'essais par rapport à la description géologique de la roche ; des méthodes statistiques doivent être utilisées pour obtenir les paramètres exigés pour le calcul.

## 15.2 Essai de résistance à la compression et de déformabilité uniaxiales

### 15.2.1 Objectif

(1) L'essai de compression uniaxiale permet de mesurer la résistance à la compression d'éprouvettes cylindriques de roche. L'essai est destiné à la classification et à la caractérisation de la résistance de la roche intacte.

### 15.2.2 Exigences

(1)P Les éléments suivants doivent être spécifiés, en plus des exigences indiquées en 15.1.2.

- l'orientation de l'éprouvette et ses dimensions ;
- la méthode d'essai ;
- le cas échéant, la définition du module (tangent, moyen ou sécant) et du coefficient de Poisson en fonction de la contrainte ou de la déformation.

### 15.2.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Pour l'évaluation des résultats d'essai, il est fait référence à 15.1.3.



## 15.3 Essai de charge ponctuelle

### 15.3.1 Objectif

(1) L'essai de charge ponctuelle sert d'essai indicatif pour la classification des roches. Il est également permis d'utiliser les résultats de cet essai pour estimer la résistance d'un groupe de roches dans le même domaine de compétence. L'essai de charge ponctuelle ne constitue pas une manière directe de mesurer la résistance de la roche mais un essai indicatif. La corrélation entre les résultats des essais de charge ponctuelle et la résistance doit être documentée dans chaque cas.

(2) L'essai permet de mesurer l'indice de résistance des éprouvettes de roche sous une charge ponctuelle et leur indice d'anisotropie de résistance, qui est le rapport entre les résistances sous charge ponctuelle dans les directions donnant les valeurs les plus grandes et les plus petites.

### 15.3.2 Exigences

(1)P En plus des exigences de 15.1.2, les méthodes d'essais pour les carottes, les blocs et les morceaux irréguliers doivent être spécifiées.

### 15.3.3 Evaluation des résultats d'essais

(1)P Parmi les résultats d'au moins 10 essais, les deux valeurs les plus élevées et les deux valeurs les plus basses doivent être supprimées avant de calculer la moyenne des valeurs restantes.

## 15.4 Essai de cisaillement direct

### 15.4.1 Objectif

(1) L'essai de cisaillement direct permet de mesurer les résistances au cisaillement direct de pic et résiduelle en fonction de la contrainte normale au plan de cisaillement.

(2) Cette prénorme traite des essais de laboratoire destinés à déterminer les paramètres fondamentaux de résistance au cisaillement et les caractéristiques de surface d'une discontinuité qui détermine la résistance au cisaillement. Dans ce dernier cas, il convient de réaliser une description précise de l'essai, comportant le type et la rugosité du joint, le type et l'épaisseur du matériau de remplissage, et la présence d'eau dans le joint.

### 15.4.2 Exigences

(1)P Les éléments suivants doivent être spécifiés, en plus des exigences indiquées en 15.1.2.

- l'orientation de l'éprouvette et ses dimensions ;
- les caractéristiques de la machine d'essai ;
- la vitesse de déplacement de cisaillement pendant l'essai ;
- les valeurs de la contrainte normale à imposer pendant les essais de cisaillement direct.

### 15.4.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Pour l'évaluation des résultats d'essai, il est fait référence à 15.1.3.

## 15.5 Essai brésilien

### 15.5.1 Objectif

(1) L'essai brésilien est destiné à mesurer indirectement la résistance à la traction uniaxiale d'éprouvettes de roche préparées à cet effet.

### **15.5.2 Exigences**

**(1)P** L'orientation de l'éprouvette doit être connue.

**(2)P** Les éléments suivants doivent être spécifiés, en plus des exigences indiquées en 15.1.2 :

- l'orientation de l'éprouvette testée et ses dimensions ;
- la méthode d'essai.

**(3)P** La variabilité de la méthode d'essai nécessite de dupliquer chaque essai sur des éprouvettes découpées en parallèle.

### **15.5.3 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)** Pour l'évaluation des résultats d'essai, il est fait référence à 15.1.3.

## **15.6 Essai de compression triaxiale**

### **15.6.1 Objectif**

**(1)** L'essai de compression triaxiale est destiné à mesurer la résistance d'éprouvettes cylindriques de roche soumises à une compression triaxiale. Un certain nombre d'essais permettent d'obtenir les valeurs nécessaires à la détermination de l'enveloppe de résistance. À partir de cette enveloppe, il est possible de déterminer l'angle de frottement interne et la cohésion.

**(2)** En général, il n'est prévu aucun drainage de l'eau interstitielle ni de mesure de la pression interstitielle. Dans certains types de roches (par exemple : les schistes, le calcaire et la craie) et dans certaines conditions, la pression interstitielle est susceptible d'influer sur les résultats. Pour ces types de roches, des systèmes d'essais triaxiaux évolués permettant la mesure de la pression interstitielle et des déformations volumiques sont nécessaires. Il est permis d'utiliser dans ces essais des techniques de mesurage semblables à celles utilisées pour la résistance à la compression uniaxiale en 15.1.

### **15.6.2 Exigences**

**(1)P** Les éléments suivants doivent être spécifiés, en plus des exigences indiquées en 15.1.2 :

- l'orientation de l'éprouvette et ses dimensions ;
- la méthode d'essai.

### **15.6.3 Evaluation des résultats d'essais**

**(1)** Pour l'évaluation des résultats d'essai, il est fait référence à 15.1.3.

## **Annexe A** (informative)

### **Informations détaillées sur les méthodes et les essais**

#### **A.1 Généralités**

##### **A.1.1 Domaine d'application**

(1) La présente annexe informative fournit des informations complémentaires sur la plupart des aspects traités dans le texte principal.

(2) A.2 présente des détails sur les exigences applicables à tous les essais de laboratoire.

(3) Dans l'annexe B figure une bibliographie donnant une liste de normes qui donnent des exemples de chaque essai de laboratoire. La liste suivante donne une vue générale des numéros des paragraphes et des essais traités dans la présente annexe. L'annexe A et l'annexe B ont le même système de numérotation que le texte principal.

A.3 Etalonnage

A.4 Préparation des éprouvettes de sol pour les essais

A.5 Essais de classification, d'identification et de description des sols

A.5.1 Teneur en eau

A.5.2 Masse volumique apparente

A.5.3 Masse volumique des particules

A.5.4 Granulométrie

A.5.5 Limites de consistance

A.5.6 Indice de densité des sols granulaires

A.5.7 Dispersivité des sols

A.5.8 Gélivité

A.6 Essais chimiques sur les sols et l'eau souterraine

A.6.1 Teneur en matières organiques

A.6.2 Teneur en carbonates

A.6.3 Teneur en sulfates

A.6.4 Valeur du pH (acidité et alcalinité)

A.6.5 Teneur en chlorures

A.7 Essais de compressibilité des sols

A.7.1 Essai de chargement par paliers à l'œdomètre

A.7.2 Essai de gonflement à l'œdomètre

- A.7.3 Essai d'affaissement à l'œdomètre
- A.8 Essais indicatifs de résistance des sols
  - A.8.1 Essai au scissomètre de laboratoire
  - A.8.2 Essai au pénétromètre de poche
  - A.8.3 Essai de pénétration de cône (cône tombant ou cône suédois)
  - A.8.4 Essai de compression simple
  - A.8.5 Essai de compression non consolidé non drainé
- A.9 Essais de résistance des sols
  - A.9.1 Essai de compression triaxiale consolidée
  - A.9.2 Essais de cisaillement direct à la boîte et de cisaillement annulaire
- A.10 Essais de compactage des sols
  - A.10.1 Essais de compactage
  - A.10.2 Essai de portance CBR
- A.11 Essais de perméabilité des sols
  - A.11.1 Essai de perméabilité à charge constante
- A.12 Préparation des éprouvettes de roche pour les essais
- A.13 Essais de classification des roches
  - A.13.1 Classification des roches
  - A.13.2 Teneur en eau
  - A.13.3 Masse volumique
  - A.13.4 Porosité
- A.14 Essais de gonflement des roches
- A.15 Essais de résistance des roches
  - A.15.1 Essai de résistance à la compression et de déformabilité uniaxiales
  - A.15.2 Essai de charge ponctuelle
  - A.15.3 Essai de cisaillement direct
  - A.15.4 Essai brésilien
  - A.15.5 Essai de compression triaxiale

## A.1.2 Abréviations et notations

(1) Les notations suivantes ont été utilisées dans la présente annexe.

ASTM	American Society for Testing and Materials (Société américaine pour les essais et les matériaux) ;
DGF	Dansk Geoteknisk Forening (Société danoise de géotechnique) ;
ETC	European Technical Committee (Comité technique européen) ;
LOI	Loss on ignition (perte au feu) ;
SIMR	Société internationale de mécanique des roches (International Society of Rock Mechanics) ;
ISSMFE	International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering (Société internationale de mécanique des sols et des travaux de fondations).

## A.2 Exigences communes à tous les essais de laboratoire

### A.2.1 Exigences générales

(1) La Figure A.2.1 présente schématiquement les différentes étapes de l'étude des sols, y compris les travaux effectués en laboratoire et sur le terrain et le processus d'évaluation des paramètres des sols et des roches. Les étapes de la Figure A.2.1 sont expliquées en détail dans les paragraphes suivants.

### A.2.2 Programme d'essais

(1) Suivant les conditions locales du sol, la géologie, le type et les dimensions de la structure et les aspects géotechniques importants, on peut créer un ou plusieurs profils différents pour représenter toutes les couches concernées. Il convient de considérer la géométrie la moins favorable.

(2) On peut considérer des couches dont les paramètres de sol et de chargement diffèrent peu comme une couche unique. On peut considérer une succession de couches fines dont les compositions et/ou les propriétés mécaniques sont très différentes comme une seule et même couche s'il est approprié de décrire leur comportement de façon globale et si ce comportement peut être représenté de manière satisfaisante par des paramètres de sol affectés à la couche équivalente (DGF, 1995).

(3) Il convient de sélectionner avec soin les échantillons à utiliser pour préparer des éprouvettes, en examinant les échantillons disponibles, la nature générale des sols et du site et les exigences du projet.

(4) Il convient d'établir la représentativité des échantillons et des éprouvettes en se basant sur les essais de classification.

(5) Le programme des essais de laboratoire dépend en partie de l'existence d'une expérience comparable. Il convient de déterminer l'étendue et la qualité de l'expérience comparable pour le sol considéré ou pour des sols comparables. Il convient d'utiliser les essais de classification des sols pour déterminer le niveau de similitude des sols. Il convient d'examiner la géologie pour établir la non-homogénéité prévisible dans des sols comparables. Il convient d'utiliser également les résultats éventuellement disponibles d'observations effectuées in situ sur des **structures voisines**.

(6) Lorsque c'est possible, il convient de prévoir des éprouvettes supplémentaires pour le cas de sols difficiles, d'éprouvettes endommagées et d'autres facteurs.

### **A.2.3 Qualité des échantillons de sol**

(1) Pour les essais sur les argiles, les limons et les sols organiques, la qualité des échantillons de sol à utiliser dépend de la propriété à déterminer et du mode opératoire utilisé.

(2) Pour un remblai ou une couche de sable ou de gravier, il est permis en général d'effectuer les essais sur des éprouvettes reconstituées. Il convient d'obtenir pour les éprouvettes reconstituées approximativement la même composition, la même masse volumique et la même teneur en eau que sur le site.

Problème géotechnique/Projet (structure, géométrie, charges)  
Recueil et évaluation des informations existantes

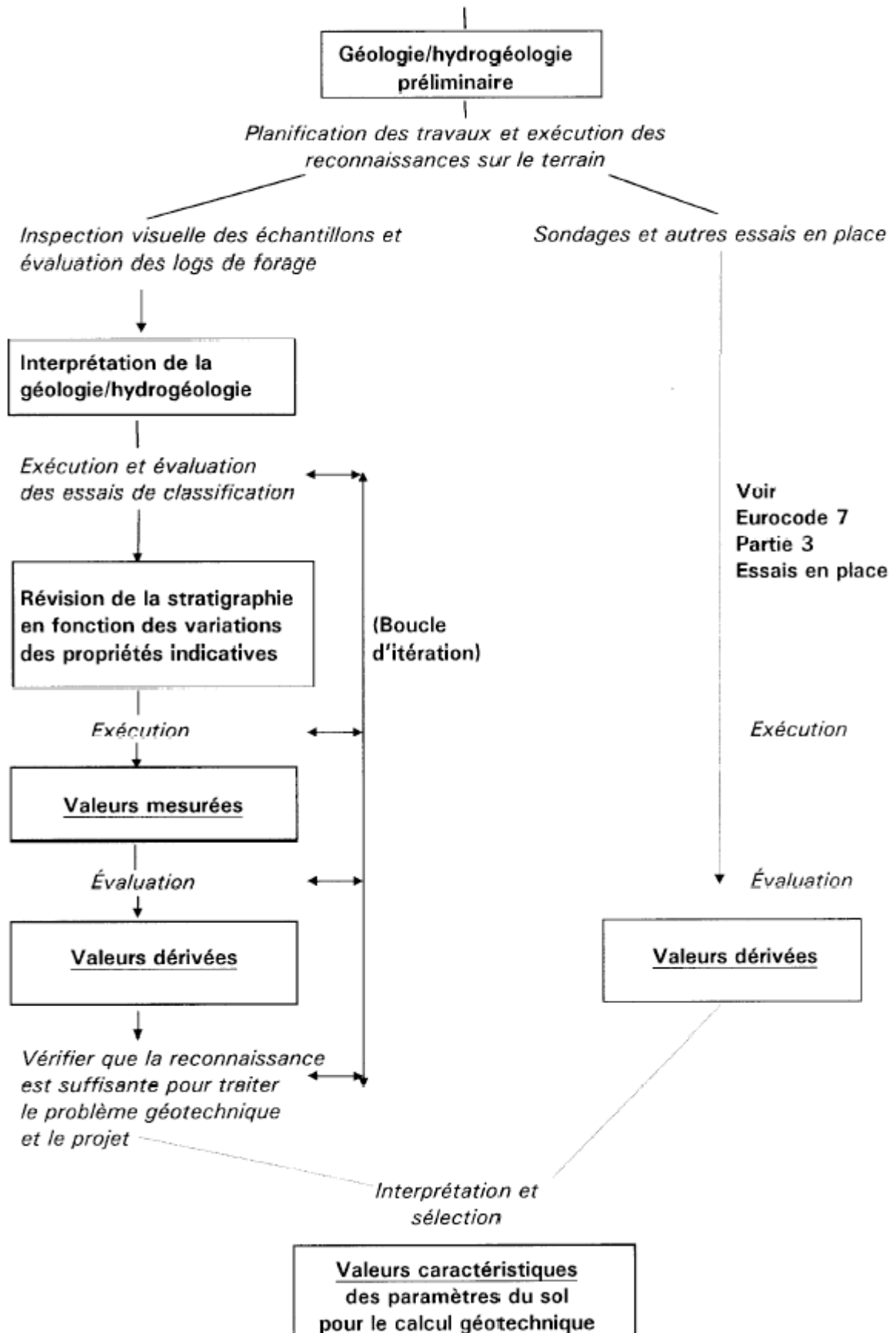


Figure A.2.1 - Etapes successives pour passer de la reconnaissance du sol au choix des valeurs caractéristiques pour un projet, une géométrie et des charges données

### **A.2.3.1 Essais de classification**

- (1) Il convient de réaliser les essais de classification des sols afin de déterminer la composition et les propriétés indicatives de chaque couche de sol. Il convient de sélectionner les échantillons pour les essais de classification de telle manière qu'ils soient répartis à peu près uniformément sur l'ensemble de la zone et sur l'épaisseur totale de la couche concernée par le calcul.
- (2) Si des différences importantes sont trouvées dans les propriétés indicatives des différentes parties d'une couche, il convient de subdiviser encore le profil de sol préliminaire.
- (3) Il convient d'utiliser les résultats des essais de classification pour vérifier si l'étendue des reconnaissances a été suffisante ou si une deuxième phase de reconnaissance est nécessaire (Figure A.2.1.).
- (4) Il convient d'utiliser les essais de classification pour vérifier la représentativité des éprouvettes.

### **A.2.3.2 Spécifications pour les essais**

- (1) Lorsque l'on doit réaliser des essais sur des échantillons non remaniés, il convient de spécifier la taille des éprouvettes à préparer pour les essais en tenant compte des dimensions des échantillons disponibles, du type de matériel d'essai disponible, de la taille maximale des particules présentes dans le sol, de la présence d'une "structure" dans le sol (en particulier, des discontinuités) et du nombre d'éprouvettes à préparer.
- (2) Il convient de préciser les détails des essais nécessaires à la détermination des paramètres nécessaires au calcul.
- (3) Chaque type d'analyse exige des paramètres particuliers et il n'est pas possible de fournir des paramètres applicables à tous les types de problèmes géotechniques.

### **A.2.3.3 Nombre d'essais**

- (1) Le nombre d'éprouvettes à soumettre aux essais dépend de l'homogénéité du sol, de la qualité et de l'importance de l'expérience comparable acquise avec ce sol et de la catégorie géotechnique du problème.
- (2) Il convient d'effectuer un nombre d'essais suffisant pour obtenir une valeur moyenne fiable pour le calcul.
- (3) Les paragraphes de l'annexe A.7 à A.17 suggèrent un nombre minimal pour chaque type d'essai destiné à des projets de catégorie géotechnique 2. Ce nombre minimal d'essais élémentaires pour une couche présume que la variabilité de celle-ci a été étudiée au moyen d'un nombre suffisant d'essais de classification.
- (4) Il est permis de réduire le nombre d'essais minimal requis suggéré en A.7 à A.17 si le calcul géotechnique ne doit pas être optimisé et s'il est effectué avec des valeurs comportant une marge pour les paramètres du sol. Il convient d'utiliser les tableaux pour vérifier si le nombre des essais a été suffisant.

## **A.2.4 Evaluation des résultats d'essais**

- (1) Il convient de regrouper les résultats de tous les essais (laboratoire, terrain, dossiers descriptifs pendant le forage) et de les présenter ensemble. Les points de données représentant les mesurages individuels d'un essai doivent se référer clairement à la méthode d'essai utilisée.
- (2) Il convient d'examiner les résultats du point de vue de leur plausibilité. Il convient de vérifier les valeurs mesurées par rapport à celles trouvées dans la littérature spécialisée, aux corrélations avec des propriétés indicatives et à l'expérience comparable.
- (3) La valeur caractéristique (voir 2.4.3 de l'ENV 1997-1) est le résultat de l'évaluation et de l'interprétation des résultats d'essais, en tenant compte d'autres essais de laboratoire, de corrélations, des résultats des essais en place, de la géologie et de toutes les autres expériences comparables relatives à la géométrie du problème et au type de chargement (voir Figure A.2.1).



## **A.3 Etalonnage du matériel d'essai**

### **A.3.1 Généralités**

(1) Il convient que tous les mesurages nécessaires à l'exécution des essais puissent être rattachés à des grandeurs étalons au travers d'une chaîne ininterrompue d'étalonnages. Il convient de limiter le nombre de maillons dans la chaîne d'étalonnage à ce qui est nécessaire à l'obtention de la précision requise.

(2) Il convient de faire étalonner ou ré-étalonner les instruments de mesure et le matériel d'essai soit par un organisme extérieur national agréé, soit de façon interne par le personnel de son propre laboratoire en utilisant des étalons secondaires.

(3) L'annexe B donne un aperçu de la documentation sur ce sujet qui est à la disposition du public.

### **A.3.2 Etalonnage des instruments de mesure**

(1) Il convient que tous les étalonnages soient réalisés par du personnel correctement formé. Dans le cas des étalonnages internes à l'entreprise, il convient de les faire effectuer uniquement par des personnes qui ont été autorisées à entreprendre ce travail et conformément à des modes opératoires écrits.

(2) Il convient que la précision des étalons et instruments de référence utilisés pour l'étalonnage des équipements de travail destinés à l'exécution des essais soit supérieure à la précision de ces derniers, de façon à pouvoir obtenir la précision voulue dans les mesurages effectués pendant les essais.

(3) Il convient d'inclure les éléments suivants dans les dossiers d'étalonnage :

- le nom de l'équipement ;
- le nom du fabricant, le type et le numéro de série ;
- la date de réception et la date de mise en service ;
- l'état du matériel au moment de la réception (par exemple : neuf, usagé, reconditionné) ;
- son emplacement actuel (le cas échéant) ;
- la date de chaque étalonnage et qui l'a fait, avec la référence des dossiers d'étalonnage ;
- les détails de l'entretien, des modifications, des défauts de fonctionnement, des erreurs d'utilisation, des détériorations ou des réparations.

(4) Il convient d'établir la traçabilité de l'étalonnage au moyen d'un certificat d'étalonnage pour l'équipement concerné, comportant les informations suivantes :

- le nom de l'organisme réalisant l'étalonnage ;
- le nom et l'adresse de l'organisme pour qui l'étalonnage est effectué ;
- la description et le numéro d'identification de l'instrument étalonné ;
- la méthode d'étalonnage ;
- le matériel utilisé pour l'étalonnage ;
- le numéro du certificat d'étalonnage de l'étalon ;
- la température d'étalonnage ;
- les données et résultats de l'étalonnage ;
- la date de l'étalonnage ;

— le nom et la signature de la personne effectuant l'étalonnage.

(5) Il convient de réaliser un ré-étalonnage de routine des instruments de mesure à des intervalles basés sur l'usage et sur l'analyse des données d'étalonnage, afin d'assurer que la précision requise ne sera pas perdue entre les étalonnages. Pour les intervalles maximaux entre ré-étalonnages, il convient de ne pas dépasser ceux donnés dans le Tableau A.3.1, quels que soient l'usage du matériel et l'histoire antérieure des étalonnages. Il convient d'indiquer la pratique adoptée pour l'étalonnage dans le système d'assurance qualité du laboratoire.

**Tableau A.3.1 - Intervalles maximaux entre les ré-étalonnages des instruments de mesure**

Grandeur physique	Type d'instrument	Intervalle maximal entre les ré-étalonnages
<b>Instruments mécaniques</b>		
Masse	Balances	6 mois, vérification quotidienne
	Poids	1 an
Longueur	Règles en acier	2 ans
	Pieds à coulisse	1 an
	Micromètres	1 an
Déplacement	Comparateurs	1 an
Volume	Verre volumétrique	1 an
	Indicateurs de variation de volume	2 ans
Masse volumique	Densimètres pour sol	Étalonnage initial uniquement
Température	Thermomètres	5 ans
	Thermocouples	6 mois
Temps	Horloges et chronomètres	1 an
Force	Anneaux dynamométriques	1 an
	Poids suspendus	2 ans
Pression	Manomètres	6 mois
<b>Instruments électroniques</b>		
Déplacement	Transducteurs électroniques	6 mois, et contrôle fonctionnel avant chaque essai
Variation de volume		
Force		
Pression		
Bruit électrique, dérive	Systèmes d'acquisition de données	6 mois
Traitement et calculs	Systèmes informatiques	12 mois

(6) Dès que l'on soupçonne une variation de précision sur un instrument, ou si un instrument a été maltraité, réparé, démonté, réglé ou révisé, il convient de le ré-étalonner avant toute nouvelle utilisation.

(7) Il convient de tenir compte des résultats des contrôles intérimaires avant utilisation (tels que le contrôle journalier des balances) pour décider de la nécessité d'un ré-étalonnage ou d'accroître les fréquences de ré-étalonnage.

(8) Il convient d'étalonner les équipements électroniques avec le même dispositif de lecture que celui utilisé pour les mesurages pendant les essais.

(9) Il convient de tenir compte des éléments suivants lors des étalonnages et des contrôles :

- contrôles du bruit électrique et de la dérive sur des périodes correspondant à la durée d'un essai type ;
- contrôles initiaux au début de chaque essai par rapport à des mesurages mécaniques afin de s'assurer que les transducteurs fonctionnent correctement ;

- vérification de l'exécution correcte des processus et des calculs informatiques.

### **A.3.3 Etalonnage et contrôle du matériel d'essai**

**(1)** Normalement, les caractéristiques du matériel d'essai indiquées dans les normes comprennent les tolérances de fabrication admissibles sur les dimensions critiques (telles que les mesures linéaires, la masse). Normalement, les tolérances de travail tiennent compte des variations de ces dimensions dues à l'usure en service. Sauf indication contraire, les tolérances de travail maximales admissibles sont égales à deux fois les tolérances de fabrication spécifiées. Lorsque la variation par rapport à une dimension spécifiée dépasse cette valeur, l'équipement n'est plus considéré comme conforme aux normes et il convient de le retirer du service.

**(2)** Les exigences de contrôle et d'étalonnage pour l'appareillage d'essai sont résumées dans le Tableau A.3.2, qui comprend également les intervalles maximaux entre ré-étalonnages ou contrôles.

**(3)** Il convient de contrôler l'absence de fuite dans les systèmes sous pression et les systèmes de drainage des échantillons (y compris les indicateurs de variation de volume) avant de débiter chaque essai. En outre, il convient de réaliser à des intervalles ne dépassant pas 12 mois des contrôles de pression à long terme sur des périodes équivalant à la durée des phases d'essais types.

**(4)** Il convient d'inclure les points suivants dans les dossiers d'étalonnage :

- le nom de l'équipement ;
- le nom du fabricant, le type et le numéro de série ;
- la date de réception et la date de mise en service ;
- l'état au moment de la réception (par exemple : neuf, usagé, reconditionné) ;
- l'emplacement actuel (le cas échéant) ;
- les détails des opérations d'entretien éventuellement réalisées ;
- les détails de tous les réglages, modifications, défauts de fonctionnement, erreurs d'utilisation, détériorations ou réparations ;
- les détails des contrôles d'étalonnage, y compris les dates ;
- la signature de la personne faisant les enregistrements.

**Tableau A.3.2 - Intervalles maximaux d'étalonnage et de contrôle de l'appareillage d'essai**

Elément	Etalonnage effectué lors de l'opération de contrôle	Intervalles maximaux entre contrôles
Etuves de séchage	Etalonnage de la régulation de température Vérification de la température Vérification du profil de température	1 an Quotidien Initialement
Bain à température constante	Etalonnage de la température Vérification de la température	1 an Quotidien
Tamis d'essai - plaque perforée - fil tissé	Mesurage des ouvertures Vérification par rapport à un étalon	6 mois* 3 mois*
Pénétration d'un cône	Vérification de l'angle du cône Vérification de la masse tombante Aiguillage de la pointe Liberté de mouvement Etalonnage de la jauge de pénétration	Initialement 1 an Chaque utilisation Chaque utilisation 1 an
Equipement de Casagrande pour la limite de liquidité	Vérification de la chute Vérification de l'outil à rainurer Vérification de l'usure des roulements	Chaque utilisation 1 semaine 3 mois
Moules de compactage	Vérification des dimensions	1 an*
Dames de compactage	Vérification de la masse et de la chute	1 an*
Marteaux vibrants	Fréquence et fonctionnement	1 an
Moules et gabarits d'éprouvettes	Vérification des dimensions	1 an*
Bagues de découpe	Vérification de l'état Vérification des dimensions et de la masse	Chaque utilisation 1 mois*
Vibreurs, agitateurs	Inspection Vérification de la fréquence	Chaque utilisation 1 an
Presse à œdomètre	Déformation sous charge	Initialement puis 2 ans
Eau dé-ionisée	Vérification de la conductance indiquée Vérification du pH et des sels dissous	Chaque utilisation 3 mois

\* ou après 400 utilisations, suivant la première des deux échéances.

### A.3.4 Etalonnage interne

(1) Pour les instruments de travail qui sont à ré-étalonner de façon interne, il convient que le laboratoire dispose d'étalons ou d'instruments de référence appropriés, qui sont utilisés uniquement pour l'étalonnage et dans aucun autre but.

(2) Il convient d'avoir des certificats d'étalonnage, délivrés par un organisme agréé ou une instance nationale compétente, pour les étalons et les instruments de référence par rapport auxquels les instruments de travail du laboratoire sont étalonnés. Le Tableau A.3.3 donne des exemples d'instruments et d'autres équipements pouvant servir d'étalons de laboratoire.

(3) Il convient que la précision des étalons et des instruments de référence soit supérieure à celle de l'équipement de travail en cours d'étalonnage. Il convient de les faire ré-étalonner par un organisme agréé à des intervalles ne dépassant pas ceux spécifiés dans le Tableau A.3.3.

**Tableau A.3.3 - Exemples d'instruments utilisés comme étalons**

Grandeur physique	Instruments	Intervalles maximaux entre ré-étalonnages
Masse	Poids étalons	2 ans
Longueur et déplacement	Blocs calibres Barres calibres	5 ans
Température	Thermomètre à mercure Thermocouple Thermomètre à résistance de platine	5 ans
Temps	(Référence à l'horloge parlante nationale, ou aux signaux horaires radio)	- -
Force	Anneau dynamométrique Transducteur de force électrique Presse hydraulique utilisant des contrepoids	1 an
Pression	Manomètre à échelle d'essai Contrôleur à piston	1 an
Granularité	Tamis de référence	1 an

## A.4 Préparation des éprouvettes de sol pour les essais

### A.4.1 Mode opératoire

(1) Le Comité Technique Européen N°5 "Essais de laboratoire" (ETC5) de la Société internationale de mécanique des sols et des travaux de fondations est en train d'élaborer des modes opératoires détaillés. Une partie seulement des principaux points de ces procédures est reproduite ici.

### A.4.2 Préparation d'un sol remanié pour les essais

#### A.4.2.1 Séchage du sol

(1) Normalement, il convient de ne pas sécher le sol avant l'essai, sauf indication contraire, mais de l'utiliser dans son état naturel. S'il faut sécher un sol, il convient d'utiliser l'une des méthodes suivantes :

- étuvage jusqu'à une masse constante dans une étuve ventilée à une température de  $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$  ;
- étuvage partiel dans une étuve ventilée à une température prescrite inférieure à  $100 ^\circ\text{C}$  ;
- séchage à l'air (partiel) par exposition à l'air à la température ambiante, avec ou sans ventilateur.

#### A.4.2.2 Désagrégation

(1) Il convient de définir l'intensité de la désagrégation à réaliser et le traitement des matériaux liants restants avec les exigences et conditions spécifiques de l'essai et de les spécifier. En particulier, il convient d'effectuer la désagrégation et le traitement à la teneur en eau naturelle du sol.

(2) Il convient de briser les agrégats de particules en évitant d'écraser les particules individuelles. L'action ne doit pas être plus intense que celle d'un pilon à tête caoutchoutée. Il faut être particulièrement prudent lorsque les particules du sol sont friables. Lorsqu'il faut préparer une grande quantité de sol, il convient d'effectuer la désagrégation par lots.

#### **A.4.2.3 Fractionnement**

(1) Il convient de mélanger soigneusement le sol désagrégé avant de le fractionner. Il convient de recommencer l'opération de fractionnement jusqu'à l'obtention d'échantillons représentatifs ayant les masses minimales prescrites pour servir d'éprouvettes.

#### **A.4.2.4 Masse de sol remanié pour les essais**

(1) Le Tableau A.4.1 résume les masses minimales de sol remanié requises pour les essais. Lorsque la masse minimale dépend de la taille des plus grosses particules présentes en quantité significative dans le sol, elle est liée à la masse minimale nécessaire au tamisage (désignée par MMT) donnée dans le Tableau A.4.1.

(2) La masse requise indiquée dans le Tableau A.4.1 permet la préparation d'une éprouvette avec une certaine marge de perte mais sans incorporer de particules de dimensions supérieures aux limites usuelles. Si l'on a besoin seulement de la fraction fine du sol pour les essais, la masse de l'échantillon de sol d'origine qui est préparée doit être suffisante pour fournir la masse prescrite de la fraction souhaitée.

(3) Lorsqu'il faut éliminer des particules de grandes dimensions de l'échantillon initial pour préparer les éprouvettes destinées aux essais, il convient d'enregistrer la plage des dimensions et la proportion en masse sèche des matériaux enlevés.

#### **A.4.2.5 Préparation des sols pour le compactage**

(1) Il convient de ne pas laisser sécher le sol qui doit être utilisé pour les essais liés au compactage. S'il est nécessaire de réduire la teneur en eau du sol, il convient de le faire par séchage à l'air.

(2) La limite supérieure admissible pour les dimensions des particules dépend de la taille du moule qui sera utilisé. Il convient d'éliminer les particules dont la taille est supérieure à celle indiquée dans le Tableau A.4.3 avant de préparer le sol pour les essais.

#### **A.4.3 Préparation des éprouvettes non remaniées**

(1) La méthode de préparation des éprouvettes à partir d'échantillons de sol non remaniés dépend du type d'échantillon et du type d'éprouvette à préparer.

(2) Le Tableau A.4.4 donne la masse approximative de sol nécessaire pour des éprouvettes de laboratoire types. La masse indiquée est suffisante pour une éprouvette avec une certaine marge pour les pertes dues à la taille de l'éprouvette.

**Tableau A.4.1 - Masse de sol nécessaire aux essais sur des échantillons remaniés**

Essai	Masse initiale requise	Masse minimale de l'éprouvette préparée pour l'essai		
Teneur en eau	(au moins deux fois la masse de l'éprouvette)	<b>Argile et limon</b> 30 g	<b>Sables</b> (D < 2 mm) 100 g	<b>Sols graveleux</b> (D > 10 mm) (0,3 x MMT) (500 g mini)
Masse volumique des particules	100 g	10 g (particules de dimension < 4 mm)		
Granulométrie				
Tamissage	2 g (MMT)	(MMT)		
Sédimentation		<b>Argile et limon</b>	<b>Sols sableux</b>	
- densimètre	250 g	50 g	100 g	
- pipette	100 g	12 g	30 g	
Limites d'Atterberg	500 g	300 g (particules de dimension < 0,4 mm)		
Indice de densité	8 kg	*		
Dispersivité	400 g	*		
Compactage	S NS			
- Moule "Proctor"	25 kg 10 kg	*		
- Moule "CBR"	80 kg 50 kg	*		
Essai CBR	6 kg	*		
Perméabilité		*		
Diamètre 100 mm	4 kg			
75 mm	3 kg			
50 mm	500 g			
38 mm	250 g			
Notation	D Diamètre des plus grosses particules en proportion significative (10 % ou plus en masse sèche)			
	S Particules de sol susceptibles d'être écrasées pendant le compactage			
	MMT Masse minimale à prélever pour tamissage : voir Tableau A.4.2			
	NS Particules du sol non susceptibles d'être écrasées			
*	La masse de l'éprouvette dépend du comportement du sol pendant l'essai			
**	Eprovettes pour essai de perméabilité dont la hauteur est égale à deux fois le diamètre			

**Tableau A.4.2 - Masse minimale pour le tamisage**

<b>Dimension des particules les plus grosses D [mm]</b>	<b>Masse minimale pour le tamisage (MMT)</b>
75	120 kg
63	70 kg
45	25 kg
37,5	15 kg
31,5	10 kg
22,4	4 kg
20	2 kg
16	1,5 kg
11,2	600 g
10	500 g
8	400 g
5,6	250 g
4	200 g
2,8	150 g
≤ 2	100 g

**Tableau A.4.3 - Tailles des particules admissibles pour les essais de compactage**

<b>Type d'essai</b>	<b>Dimension maximale des particules</b>
Compactage - dans un moule de 1 litre	20 mm
- dans un moule "CBR"	37,5 mm
Détermination de l'indice de portance CBR	20 mm



**Tableau A.4.4 - Masse de sol nécessaire pour les essais sur échantillons non remaniés**

Type d'essai	Dimensions de l'éprouvette		Masse initiale requise [g]	
	diamètre [mm]	hauteur [mm]		
œ�domètre	50	20	90	
	75	20	200	
	100	20	350	
Compression - simple - non consolidée-non drainée - consolidée drainée ou non drainée (triaxial)	35	70	150	
	38	76	200	
	50	100	450	
	70	140	1200	
	100	200	3500	
Boîte de cisaillement	<b>Section plane</b>			
	60 × 60	20		150
	100 × 100	20		450
	300 × 300	150	30000	
	Masse volumique (D = dimension maximale des particules*)	<b>Dimension maximale des particules</b>		
		D = 5,6 mm		
D = 8 mm		300		
D = 10 mm		500		
		D > 10 mm	1,4 x (MMT)**	
Notation : * D = Dimension des plus grosses particules en proportion significative (10 % ou plus en masse)				
** MMT = Masse minimale à prélever pour le tamisage, comme prescrit dans le Tableau A.4.1.				

#### A.4.4 Préparation des éprouvettes recompactées

##### A.4.4.1 Prescriptions générales

(1) Il est permis de recompacter des sols remaniés pour constituer des éprouvettes dans les deux cas suivants :

- compactage sous un effort spécifié à une teneur en eau spécifiée ;
- obtention d'une masse volumique sèche spécifiée à une teneur en eau spécifiée.

(2) Il convient de ne pas laisser sécher un sol argileux que l'on doit recompacter pour constituer des éprouvettes. S'il est nécessaire de réduire la teneur en eau du sol, il convient de le faire par séchage à l'air. S'il est nécessaire d'ajouter de l'eau pour augmenter la teneur en eau, il convient de bien la mélanger et de laisser le sol reposer dans un récipient hermétiquement fermé pendant au moins 24 heures avant son utilisation.

(3) Le sol doit être désagrégé avant le recompactage comme décrit en A.4.3.2.

(4) La limite supérieure des dimensions admissibles des particules dépend de la taille de l'éprouvette à constituer. Les particules dont la taille est supérieure à celle indiquée dans le Tableau A.4.5 doivent être éliminées avant de préparer le sol pour le recompactage.

(5) Il convient de vérifier avant et après le compactage la granularité de l'éprouvette recompactée.

**Tableau A.4.5 - Dimensions admissibles des particules en fonction de la taille de l'éprouvette**

Type d'éprouvette	Granularité maximale
Consolidation à l'œdomètre	H/5
Cisaillement direct (boîte de cisaillement)	H/10
Résistance à la compression (éprouvette cylindrique de H/d égal à 2 environ)	d/5
Perméabilité	d/12

avec : H = hauteur de l'éprouvette, d = diamètre de l'éprouvette

#### **A.4.4.2 Echantillon recompacté plus gros que l'éprouvette**

(1) Lorsque l'on prépare des éprouvettes pour un essai de consolidation à l'œdomètre, des essais de cisaillement direct ou de résistance à la compression, il convient normalement de compacter le sol de la manière prescrite dans un moule adapté dont la taille est supérieure à celle de l'éprouvette désirée. Il convient ensuite d'extruder du moule l'échantillon compacté et de préparer l'éprouvette suivant les modes opératoires décrits pour des échantillons non remaniés.

(2) Il est permis de compacter les éprouvettes destinées à des essais de perméabilité directement dans le moule ou le récipient dans lequel sera effectué l'essai.

(3) Pour un compactage sous un effort spécifié, il convient normalement que l'effort de compactage appliqué corresponde à celui utilisé dans l'un des deux types d'essais de compactage spécifiés pour l'essai de compactage (section 10 et A.10). Il convient d'appliquer le compactage par couche et de scarifier légèrement le dessus de chaque couche avant d'ajouter la suivante.

(4) Pour obtenir une masse volumique spécifiée, il est permis soit de compacter le sol dynamiquement soit de le comprimer sous une charge statique. Il convient de vérifier les masses et les volumes après la mise en place de chaque couche afin d'assurer que la masse volumique voulue sera obtenue. Il peut être souhaitable d'effectuer des essais préliminaires pour déterminer la méthode plus appropriée.

(5) Lorsque le sol contient de l'argile, il convient de sceller l'échantillon compacté et de le stocker pour une période de cure d'au moins 24 heures avant l'extrusion destinée à former les éprouvettes.

#### **A.4.4.3 Recompactage de l'éprouvette**

(1) Pour la préparation de petites éprouvettes destinées aux essais de cisaillement direct, aux essais œdométrique ou aux essais de compression, il convient de damer, de pétrir ou de compacter le sol dans un moule, une bague ou un tube approprié. Il est permis d'employer une dame à main adaptée ou la machine de compactage d'Harvard, ou de procéder par pétrissage. Il convient de veiller à éviter la formation de cavités à l'intérieur de l'éprouvette. Il convient, tout d'abord, de déterminer au moyen d'essais préalables le mode opératoire permettant d'obtenir la masse volumique ou l'effort de compactage désiré. Il convient de noter les détails de la procédure pour pouvoir recommencer l'opération pour obtenir un certain nombre d'éprouvettes avec des propriétés constantes.

(2) Il est permis de réaliser le compactage des éprouvettes cylindriques de 100 mm de diamètre ou plus au moyen d'une dame à compacter. Il convient de préciser le nombre de couches et le nombre de coups nécessaire par couche.

(3) Lorsque le sol contient de l'argile, il convient de sceller l'éprouvette compactée et de la stocker pour une période de cure d'au moins 24 heures avant son utilisation, pour permettre à la surpression interstitielle de se dissiper.

#### **A.4.4.4 Resaturation**

(1) Invariablement, une éprouvette recompactée sera insaturée initialement. Normalement, une resaturation sera nécessaire avant les essais et elle doit être réalisée au moyen de l'une des méthodes de saturation reconnues données dans les modes opératoires des essais de résistance au cisaillement ou de compressibilité. Il convient de confirmer la saturation totale en vérifiant la valeur de B.

#### **A.4.4.5 Eprouvette remaniée**

(1) Le remaniement peut être obtenu en enfermant le sol dans un sac en plastique étanche où il est comprimé et pétri avec les doigts pendant plusieurs minutes. Une éprouvette remaniée est formée en refoulant le sol dans le moule approprié, par exemple à l'aide d'un refouloir. Il convient de réaliser cette opération aussi vite que possible afin d'éviter toute variation de la teneur en eau et sans emprisonner d'air. Il convient ensuite d'extruder l'éprouvette et de la tailler suivant la méthode appropriée indiquée en A.4.3.

#### **A.4.5 Préparation des éprouvettes reconstituées**

##### **A.4.5.1 Préparation de la boue**

(1) Il convient de mélanger soigneusement le sol avec l'eau pour former une boue homogène ayant une teneur en eau supérieure à la limite de liquidité. Il convient de commencer la préparation de la boue de préférence en partant de la teneur en eau naturelle sans sécher le sol. Toutefois, le séchage du sol et son broyage en poudre est également une possibilité. Si nécessaire, les particules les plus grosses peuvent être éliminées par un tamisage après lavage au moyen d'un tamis approprié. L'eau ajoutée peut être soit distillée soit dé-ionisée, soit avoir une composition chimique appropriée. Il convient d'obtenir une boue suffisamment fluide pour pouvoir la verser ; en général, une teneur en eau égale à environ deux fois la limite de liquidité est satisfaisante.

##### **A.4.5.2 Consolidation**

(1) La cellule dans laquelle l'échantillon est consolidé doit être suffisamment grande pour obtenir une éprouvette ou un échantillon à tailler ayant les dimensions exigées après la consolidation. Il convient d'assurer le drainage de l'échantillon sans permettre aux particules du sol de s'échapper.

(2) Après avoir versé la boue dans le moule, il convient de réaliser la consolidation initiale sous le poids de la plaque supérieure seule, jusqu'à ce que les extrémités de l'éprouvette soient suffisamment durcies pour éviter toute perte de matière sous les charges suivantes. La contrainte verticale appliquée pour la consolidation doit être suffisante pour permettre la manipulation de l'échantillon une fois consolidé, et il convient de la maintenir suffisamment longtemps pour que la consolidation soit quasiment terminée.

##### **A.4.5.3 Préparation de l'éprouvette**

(1) Il convient d'extruder de la cellule l'échantillon consolidé et de le tailler selon les besoins pour la préparation d'une ou plusieurs éprouvettes en suivant l'une des méthodes décrites en A.4 pour les échantillons non remaniés.

(2) Si des essais de consolidation unidimensionnelle doivent être effectués sur le sol reconstitué, il est permis de les réaliser dans la cellule ayant servi à consolider la boue.

#### **A.5 Essais de classification, d'identification et de description des sols**

##### **A.5.1 Généralités**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de la manière d'exécuter les essais de classification, d'identification et de description des sols.

##### **A.5.2 Listes de vérifications pour les essais de classification**

(1) Le nombre d'éprouvettes à soumettre aux essais dépend de la variabilité du sol et de l'importance de l'expérience acquise sur le sol et, dans une moindre mesure que pour les autres essais de sols, du problème géotechnique. Le Tableau A.5.1 donne des indications sur le nombre d'essais de classification à réaliser.

(2) Le Tableau A.5.2 présente une liste de recommandations pour chacun des essais de classification des sols figurant dans ce document.

**Tableau A.5.1 - Nombre minimal suggéré d'échantillons à soumettre aux essais de classification dans une couche de sol, pour les projets de catégorie géotechnique 2**

Essai de classification	Expérience comparable	
	non	Oui
Granulométrie	4 à 6	2 à 4
Teneur en eau	Tous les échantillons de classe de qualité 1 à 3	
Essai d'indice de résistance	Tous les échantillons de classe de qualité 1	
Limites d'Atterberg	3 à 5	1 à 3
Perte au feu (pour les sols organiques et argileux)	3 à 5	1 à 3
Masse volumique apparente	Tous les essais	
Indice de densité	Suivant le cas	
Masse volumique des particules	2	1
Teneur en carbonates	Suivant le cas	
Teneur en sulfates	Suivant le cas	
pH	Suivant le cas	
Teneur en chlorures	Suivant le cas	
Dispersivité du sol	Suivant le cas	
Gélinivité	Suivant le cas	

**Tableau A.5.2 - Memento pour les essais de classification des sols**

Essai de classification	Indications sur les essais et les points à contrôler
Teneur en eau	<p>Vérifier la méthode de stockage des échantillons.</p> <p>Coordonner le programme d'essais avec les autres essais de classification.</p> <p>La méthode d'étuvage normalisée est inappropriée pour l'halloysite, la montmorillonite, le gypse, les sols organiques ; des précautions peuvent être nécessaires.</p> <p>Signaler la présence d'halloysite, de montmorillonite, de gypse, de sols organiques.</p> <p>Pour les sols grossiers, une correction de la teneur en eau mesurée peut être nécessaire.</p> <p>Une correction est nécessaire pour les sols salins.</p>
Masse volumique apparente	<p>La méthode d'essai doit être sélectionnée.</p> <p>Vérifier les méthodes utilisées pour le prélèvement et la manutention des échantillons.</p> <p>Pour les grands projets de terrassements, la méthode peut nécessiter des adaptations ; on peut utiliser une méthode de terrain.</p> <p>Pour les sables et les graviers, une correction de la masse volumique mesurée peut être nécessaire ; on peut utiliser également des méthodes de terrain.</p>
Masse volumique des particules	<p>La préparation des échantillons (éprouvette étuvée ou éprouvette humide) peut influencer sur les résultats</p> <p>Vérifier si le matériau peut avoir des pores fermés ; pour ce type de matériau, des techniques spéciales pourraient être appropriées.</p> <p>Signaler si le matériel possède des pores fermés.</p> <p>Si les résultats tombent en dehors de la plage des valeurs types, il faut envisager des déterminations complémentaires ; la minéralogie et la teneur en matières organiques influent sur le résultat.</p>
Granulométrie	<p>Le choix de la méthode d'essai dépend des dimensions des particules et de leur distribution.</p> <p>Les carbonates et les matières organiques influent sur les résultats d'essais ; pour ces matériaux, il faut éliminer les carbonates ou les matières organiques, lorsque c'est approprié, ou adapter la méthode d'essai.</p> <p>Vérifier que la méthode de fractionnement/quartage utilisée est correcte (dimensions des particules et représentativité des échantillons)</p>
Limites d'Atterberg	<p>Choix de la méthode d'essai pour la limite de liquidité ; plusieurs méthodes sont acceptables mais la méthode du cône est recommandée.</p> <p>Vérifier la méthode de stockage des échantillons.</p> <p>Vérifier la préparation des éprouvettes et, en particulier, leur homogénéisation et leur malaxage.</p> <p>Vérifier si le sol a été séché.</p> <p>Le séchage peut influencer sur les résultats de façon spectaculaire et ne devrait pas être effectué à l'étuve.</p> <p>Il convient d'effectuer les essais rapidement sur les sols qui s'oxydent.</p> <p>Les résultats ne sont pas fiables pour les sols thixotropes.</p>
Indice de densité des sols grenus	<p>Vérifier la méthode de stockage des échantillons.</p> <p>Sélectionner le type d'essai à utiliser.</p> <p>Les résultats dépendent beaucoup du mode opératoire utilisé, et la variabilité est élevée pour les sables ayant moins de 10 % en poids de fines.</p> <p>Les éprouvettes préparées ont un fort degré de non-uniformité.</p>
Dispersivité des sols	<p>Il faut envisager de spécifier des conditions de compactage différentes pour les éprouvettes.</p> <p>Eviter le dessèchement de l'éprouvette avant l'essai.</p> <p>Il faut choisir les modes opératoires à utiliser.</p> <p>Il faut effectuer, en plus, des essais de classification.</p>
Gélinivité	---

### A.5.3 Teneur en eau

#### A.5.3.1 Modes opératoires

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de la manière d'exécuter les essais de classification, d'identification et de description des sols.

#### A.5.3.2 Evaluation des résultats d'essais

(1) Si l'eau du sol est saline, les sels dissous resteront dans le sol après le séchage, ce qui risque de donner une valeur erronée de la teneur en eau. Une valeur plus appropriée est la "teneur en fluide", c'est-à-dire la masse de fluide (eau plus sels) par unité de masse du sol sec.

(2) Pour les sols grossiers, la teneur en eau obtenue en laboratoire sur un échantillon dont la taille maximale des particules est limitée par la dimension de l'échantillon, risque d'être différente de la teneur en eau en place. Dans ce cas, il convient de corriger la teneur en eau en fonction du pourcentage de particules dépassant le diamètre maximal.

### A.5.4 Masse volumique apparente

#### A.5.4.1 Mode opératoire

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de méthodes de détermination de la masse volumique apparente des sols.

(2) La méthode de mesure directe des dimensions de l'éprouvette de sol n'est adaptée qu'aux sols cohérents. Pour les sols grenus, la masse volumique peut être normalement déterminée avec une précision suffisante au moyen d'essais in situ. Elle peut être déterminée de façon plus précise par des mesures effectuées sur un échantillon "non remanié" gelé.

(3) Le Tableau A.5.3 indique le nombre minimal d'essais nécessaires pour une couche de sols argileux ou limoneux. Dans ce tableau, le chiffre « un » indique que l'on vérifie une valeur déjà connue.

#### A.5.4.2 Evaluation des résultats d'essais

(1) Il convient de vérifier les résultats d'essais en calculant le degré de saturation, qui ne doit pas dépasser 100 %.

(2) Pour les sols grenus, la masse volumique du sol sec obtenue en laboratoire sur un échantillon dont la taille limite les dimensions maximales des particules peut différer de la masse volumique du sol sec en place. Dans ce cas, il convient de corriger la masse volumique du sol sec en fonction du pourcentage des particules plus grandes que le diamètre maximal.

**Tableau A.5.3 - Nombre minimal d'éprouvettes à soumettre aux essais de masse volumique, par couche de sol. Projets de catégorie géotechnique 2**

Variabilité de la masse volumique mesurée	Expérience comparable		
	Nulle	Moyenne	Grande
Plage des masses volumiques mesurées supérieure à environ 0,02 g/cm <sup>3</sup>	4	3	2
Plage des masses volumiques mesurées inférieure à environ 0,02 g/cm <sup>3</sup>	3	2	1

### **A.5.5 Masse volumique des particules**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de méthodes de détermination de la masse volumique des particules des sols.

(2) Le volume de matériau nécessaire pour la détermination de la masse volumique des particules du sol est très petit (10 g au minimum pour des particules de dimension inférieure à 4 mm). En général, l'éprouvette est extraite d'une éprouvette utilisée pour un autre essai de laboratoire.

(3) Dans les matériaux poreux ayant des pores fermés, les particules n'ont qu'une masse volumique apparente. Il convient dans ce cas de mesurer la masse volumique des particules solides en laboratoire au moyen d'une technique spéciale.

(4) Dans le cas des sols comportant des matières organiques, il convient de suivre des modes opératoires spéciaux pour les essais de laboratoire. Sinon, il convient d'utiliser les valeurs mesurées avec prudence.

(5) Il est permis d'appliquer des méthodes modernes comme le pycnomètre He. Il convient d'étalonner ces méthodes par rapport à l'une des méthodes utilisées plus couramment, par exemple les méthodes décrites dans les documents énumérés en B.5.5.

### **A.5.6 Granulométrie**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de méthodes d'analyse granulométrique des sols.

(2) Pour les sols grenus sans cohésion (composés majoritairement de particules de gravier et/ou de sable), la courbe granulométrique est déterminée par tamisage par voie humide et il est en général inutile d'exécuter une analyse sédimentométrique. Pour les sols fins (composés majoritairement de particules de limon et/ou d'argile), la méthode d'analyse sédimentométrique est utilisée, combinée avec un tamisage des particules sableuses éventuellement présentes. Pour les sols mixtes (contenant des particules de toutes dimensions), le tamisage et la sédimentométrie sont utilisés.

(3) Dans des matériaux à granularité étalée comme les moraines, il est parfois difficile d'obtenir la masse nécessaire à l'analyse granulométrique dans un forage. Il est préférable de réaliser la granulométrie sur des masses légèrement inférieures à celles indiquées en A.3 plutôt que de mélanger des échantillons non contigus d'une même couche.

(4) Il convient d'accorder un soin particulier aux essais effectués sur des argiles et des sols organiques. Par exemple, les particules d'argiles peuvent avoir un effet de collage qui peut devenir irréversible lors du séchage à 105 °C et les matières organiques s'oxydent partiellement pendant le séchage à cette même température.

(5) Il est également permis d'utiliser des méthodes modernes comportant des systèmes de détection mettant en œuvre des rayons X, des faisceaux laser, des mesures de masse volumique et des compteurs de particules. Il convient de les étalonner suivant les méthodes suggérées dans le présent paragraphe.

### **A.5.7 Limites de consistance**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de la manière d'exécuter les essais de consistance des sols.

### **A.5.8 Indice de densité des sols grenus**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de la manière de déterminer l'indice de densité des sols grenus.

(2) Le nombre minimal recommandé d'éprouvettes d'une même couche de sol à soumettre aux essais dans le cadre de projets de catégorie géotechnique 2 est de 2 pour la détermination de la masse volumique maximale et de 3 pour la détermination de la masse volumique minimale.

## **A.5.9 Dispersivité des sols**

### **A.5.9.1 Généralités**

(1) Certains sols argileux naturels se dispersent rapidement dans un faible courant d'eau par érosion colloïdale le long des fissures ou autres canaux d'écoulement. Ces sols sont fortement sujets à l'érosion externe et à l'érosion interne. La tendance d'un sol à s'éroder par dispersion dépend de la minéralogie et de la chimie de l'argile, et des sels dissous dans l'eau interstitielle du sol et dans l'eau qui l'érode. En général, les argiles dispersives ont une forte teneur en sodium.

### **A.5.9.2 Mode opératoire pour tous les essais**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de la manière d'exécuter des essais de dispersivité des sols.

(2) Les essais de dispersivité ne sont pas applicables aux sols dont la teneur en argile est inférieure à 10 % et dont l'indice de plasticité est inférieur ou égal à 4 %.

(3) Le nombre minimal recommandé d'éprouvettes d'une même couche de sol à soumettre aux essais dans le cadre de projets de catégorie géotechnique 2 est de 2 pour l'essai de dispersivité à l'aiguille, de 2 pour le double essai au densimètre, de 2 pour l'essai de détermination des sels solubles dans l'eau interstitielle et de 3 pour l'essai à la soude. Il convient de spécifier le nombre d'essais à réaliser en fonction du problème à traiter.

### **A.5.9.3 Essai de dispersivité à l'aiguille**

(1) L'annexe B donne une liste de documents fournissant des exemples de la manière d'exécuter l'essai de dispersivité à l'aiguille. Si l'on décide de suivre ces exemples, il convient de tenir compte de ce qui suit.

Il est recommandé de suivre les indications des documents figurant dans l'annexe B sauf pour les points suivants :

- il convient de compacter l'éprouvette dans un moule miniature d'Harvard à une teneur en eau proche de la limite de plasticité ;
- il convient de mettre en place cinq couches de sol pour obtenir une éprouvette d'une hauteur totale de  $(38 \pm 2)$  mm ;
- il convient d'appliquer un effort de compactage constant sur chaque couche de façon à obtenir une masse volumique du matériau sec égale à 95 % de celle déterminée en laboratoire au moyen d'un ou plusieurs essais de compactage normalisés.

(2) La présentation des résultats doit comporter :

- les résultats des essais de classification ;
- la masse volumique de l'éprouvette testée ;
- les charges d'eau utilisées et la durée des essais sous chacune d'elles ;
- les débits au travers de l'éprouvette ;
- la turbidité du fluide coulant à la fin de l'essai ;
- la taille et la forme du trou après l'essai ;
- la classification du sol selon la norme.

### **A.5.9.4 Double essai au densimètre**

(1) Il convient d'inclure dans la présentation des résultats les courbes granulométriques obtenues avec et sans solution dispersante et vibration ou agitation mécanique, et le pourcentage de dispersion.



#### **A.5.9.5 Essai à la soude**

(1) Il convient d'inclure dans la présentation des résultats la classification du sol comme sol dispersif ou non dispersif ainsi que les détails sur le réactif utilisé. L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de telles classifications.

#### **A.5.9.6 Sodium et sels dissous dans un extrait à saturation**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour la détermination des sels solubles dans l'eau interstitielle.

(2) Il convient d'indiquer dans le rapport le pourcentage de sodium échangeable obtenu.

### **A.5.10 Gélivité**

#### **A.5.10.1 Mode opératoire**

(1) L'annexe B.5 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour la détermination de la gélivité des sols.

(2) On peut prélever un échantillon intact à l'état non gelé dans un sol argileux ou limoneux meuble, ou l'état gelé dans les argiles, les limons et les sables (sans gravier). Si la taille de l'échantillon ne convient pas directement aux essais, l'échantillon peut être retaillé en procédant avec précaution.

(3) Les échantillons qui seront recompactés peuvent être fortement remaniés à condition que la courbe granulométrique ne soit pas modifiée par le prélèvement.

(4) Le diamètre d'une éprouvette de sol intact doit être égal à au moins cinq fois la dimension maximale des particules, sans être inférieur à 75 mm. Pour une éprouvette reconstituée, il convient d'adopter une taille minimale de 150 mm.

(5) Il est permis de saturer les éprouvettes naturelles comme les éprouvettes reconstituées en appliquant une contre-pression avant l'essai de gonflement au gel.

(6) Si un essai d'indice de portance CBR est nécessaire, il convient de le réaliser sur une éprouvette compactée à une teneur en eau proche de la teneur en eau optimale, déterminée par un essai de compactage (voir 12.2). Il convient de compacter l'éprouvette dans un moule en couches successives, ou dans un appareil de compression giratoire.

(7) En général, un essai d'indice de portance CBR est réalisé par échantillon. Toutefois, il convient de réaliser plusieurs essais si l'on veut évaluer l'influence, par exemple, de variations de la teneur en eau et de la force de compactage.

#### **A.5.10.2 Evaluation des résultats d'essais**

(1) Un sol est jugé gélif s'il présente un gonflement avec ségrégation lors de l'essai de gonflement au gel effectué en laboratoire.

(2) Le degré d'action du gel dans les sols argileux peu perméables est influencé par la durée de la saison hivernale, c'est-à-dire par l'altitude et la latitude du site considéré. Pour ces sols, plus l'hiver est long, plus l'action du gel est importante. Il convient d'en tenir compte dans les pays nordiques et alpins.

## **A.6 Essais chimiques sur Les sols et l'eau souterraine**

### **A.6.1 Généralités**

#### **A.6.1.1 Mode opératoire**

(1) L'annexe B.6 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour les cinq essais chimiques. Il existe également des méthodes équivalentes dans d'autres normes nationales et dans des manuels.

(2) Ces essais chimiques de routine font appel à des méthodes d'essais traditionnelles qui peuvent être exécutées dans beaucoup de laboratoires géotechniques. Il convient normalement de faire effectuer les essais chimiques destinés à détecter la présence d'autres substances par un laboratoire de chimie spécialisé.

(3) Une centaine de grammes de sol sec suffit à la plupart des essais chimiques. En général, un échantillon de sol séché beaucoup plus important sera nécessaire au début mais il ne faut qu'un très petit échantillon de sol séché pour les essais spécifiques. Un malaxage soigneux de l'échantillon initial et un fractionnement correct sont des opérations essentielles.

(4) La température de stockage avant l'essai est susceptible d'influer sur la dégradation biologique des matières organiques. Il convient de conserver, si possible, le matériau de l'échantillon à une température de 5 à 10 °C.

(5) La plupart des méthodes d'essais comprennent une opération d'étalonnage utilisant des échantillons "aveugles" et des échantillons de référence. Les méthodes électrochimiques comme le pH ont des schémas d'étalonnage bien définis avec un certain nombre de solutions ayant un pH connu.

(6) Des exigences particulières peuvent nécessiter des déviations par rapport aux modes opératoires normalisés, y compris la préparation des éprouvettes. Il convient de signaler clairement toutes les déviations des modes opératoires, y compris leurs motifs.

#### **A.6.1.2 Nombre d'essais**

(1) Il convient de tenir compte dans le nombre d'essais spécifié du fait que la teneur en matières organiques, la teneur en carbonates, la teneur en sulfates, la valeur du pH et la teneur en chlorures peuvent varier dans de grandes proportions même à l'intérieur d'une même couche géologique. Des essais multiples sur des échantillons rapprochés risquent d'être nécessaires pour définir la variabilité locale.

### **A.6.2 Teneur en matières organiques**

#### **A.6.2.1 Mode opératoire**

(1) L'annexe B.6 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour la détermination de la teneur en matières organiques.

à

(2) Normalement, la perte au feu est déterminée sur un échantillon représentatif de la fraction du sol inférieure 2 mm et est égale à la masse perdue lors de la combustion à la température prescrite d'une quantité de sol préparée. La teneur en matières organiques est calculée en se permettant que la matière organique est entièrement consommée lors de la combustion et que la perte de masse n'est due qu'à la combustion des matières organiques.

(3) La perte au feu est en général reliée à la teneur en matières organiques des sols qui ne contiennent que peu ou pas d'argiles et de carbonates. Pour les sols contenant plus d'argiles et/ou de carbonates, des facteurs sans lien avec la teneur en matières organiques peuvent être responsables de la majeure partie de la perte au feu.

(4) Une température de séchage inférieure à la valeur habituelle de  $(105 \pm 5)$  °C est nécessaire pour éviter l'oxydation de certaines matières organiques pendant le séchage. L'exemple mentionné en A.6.2.1(1) spécifie une température de séchage de  $(50 \pm 2,5)$  °C, mais il se peut que cette température ne suffise pas pour éliminer toute l'eau. Des essais de contrôle peuvent être nécessaires pour déterminer une température de séchage convenable.

(5) La température de combustion spécifiée dans l'exemple cité en A.6.2.1(1) est de  $(440 \pm 25) ^\circ\text{C}$ , mais d'autres normes imposent des températures pouvant aller jusqu'à  $750 ^\circ\text{C}$ . Il convient d'être prudent lors de la fixation de la température de combustion, en tenant compte des points suivants :

- certains minéraux argileux peuvent commencer à se désintégrer à des températures d'environ  $550 ^\circ\text{C}$  ;
- l'eau liée chimiquement peut disparaître à des températures d'essai inférieures ; par exemple, dans certains minéraux argileux, cela peut commencer à  $200 ^\circ\text{C}$ , et le gypse se désintègre aux environs de  $65 ^\circ\text{C}$  ;
- les sulfures risquent de s'oxyder et les carbonates de se désintégrer pour des températures comprises entre  $650 ^\circ\text{C}$  et  $900 ^\circ\text{C}$ .

Dans la plupart des cas, une température de combustion de  $500$  à  $520 ^\circ\text{C}$  serait appropriée.

(7) La durée des périodes de séchage et de combustion devraient être suffisante pour que l'équilibre soit atteint. Si la période de combustion dure moins de trois heures, il convient de montrer dans le rapport que la constance de la masse a été confirmée par des pesées répétées.

#### **A.6.2.2 Evaluation des résultats d'essais**

(1) La quantité de carbone organique et de matières organiques peut être reliée à la perte au feu, si cette dernière est corrigée pour tenir compte des autres composants éliminés.

### **A.6.3 Teneur en carbonates**

#### **A.6.3.1 Mode opératoire**

(1) L'annexe B.6 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour la détermination de la teneur en carbonates. Le présent document contient deux variantes de modes opératoires. Pour les besoins de cette prénorme, la méthode de titrage rapide est la procédure recommandée. Cette méthode devrait donner des résultats suffisamment précis pour les sols, sous réserve que l'on ait pris soin de s'assurer que le processus de dissolution est terminé, et qu'un nombre suffisant d'essais soit réalisé.

(2) Les documents listés dans l'annexe B décrivent également une méthode gravimétrique<sup>1)</sup>.

(3) D'autres exemples donnés dans les documents figurant dans l'annexe B déterminent la teneur en carbonate en mesurant la quantité de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) libérée dans un gazomètre à température régulée et à la pression atmosphérique.

#### **A.6.3.2 Evaluation des résultats d'essais**

(1) La teneur en carbonate de l'échantillon est exprimée sous forme de quantité de  $\text{CO}_2$ . Cette pratique est correcte au plan formel, mais peu pratique pour l'utilisation des résultats. Il est permis de donner les résultats en termes de quantité équivalente de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , qui est la composition du carbonate existant dans la plupart des types de sols. La quantité de  $\text{CaCO}_3$  équivalent est déduite de la quantité de  $\text{CO}_2$  par l'équation :  $\text{CaCO}_3 = 2,273 \cdot \text{CO}_2$ .

où : -  $\text{CaCO}_3$  est la teneur en  $\text{CaCO}_3$  en pourcentage du poids du sol sec ;

-  $\text{CO}_2$  est la teneur en  $\text{CO}_2$  en pourcentage du poids du sol sec.

NA.1.1.1\_\_\_\_\_

<sup>1</sup> identique à BS 1881 : partie 124 pour le béton durci

## **A.6.4 Teneur en sulfates**

### **A.6.4.1 Mode opératoire**

(1) L'annexe B donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour la détermination de la teneur en sulfates. La méthode gravimétrique est recommandée pour l'analyse des extraits à l'acide ou à l'eau ou de l'eau interstitielle, sauf si l'on peut montrer par une analyse comparative qu'une autre méthode possède une précision égale ou meilleure.

(2) La forme cristalline du sulfate de calcium, le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), commence à perdre son eau de cristallisation à des températures supérieures à environ 65 °C, ce qui peut donner lieu à une surestimation des teneurs en eau. Il convient dans ce cas de spécifier des températures de séchage inférieures à la normale pour la détermination de la teneur en eau.

(3) La relation entre les teneurs en  $\text{SO}_3$  et  $\text{SO}_4$  est donnée par  $\text{SO}_4 = 1,2 \cdot \text{SO}_3$ .

### **A.6.4.2 Evaluation des résultats d'essais**

(1) Dans l'interprétation, il convient de tenir compte du fait que le sulfate de calcium est peu soluble dans l'eau mais que, à l'échelle des temps géologiques, des quantités appréciables peuvent être dissoutes, comme cela se produit, par exemple, dans les formations karstiques. Il faut faire particulièrement attention lorsque les résultats obtenus sont marginaux par rapport aux catégories définies pour la classification.

(2) Il convient de sécher les échantillons comportant du gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) à une température de 50 °C. À des températures plus élevées, l'évaporation partielle de l'eau liée chimiquement risque de donner des résultats erronés.

(3) La présence de certaines autres substances (notamment de sulfures et de sesquioxydes) peut influencer les réactions chimiques ce qui influe ensuite sur les résultats des essais. Les sulfures du sol peuvent s'oxyder à long terme pour produire des sulfates supplémentaires.

## **A.6.5 Valeur du pH (acidité et alcalinité)**

### **A.6.5.1 Mode opératoire**

(1) L'annexe B.6 donne une liste de documents fournissant des exemples de mode opératoire pour la détermination de la valeur du pH. On dispose de plusieurs méthodes pour déterminer la valeur du pH. Parmi celles-ci, la méthode électrométrique, qui donne une lecture directe du pH soit dans une suspension de sol préparée soit dans l'eau interstitielle, est recommandée comme méthode de référence.

### **A.6.5.2 Evaluation des résultats d'essais**

(1) Des résultats d'essais erronés peuvent être causés par :

- l'oubli ou la mauvaise exécution de l'étalonnage du pH-mètre avant et après chaque série d'essais ;
- une protection insuffisante des électrodes lorsque l'instrument n'est pas en service ;
- le fait de ne pas laisser le pH-mètre se stabiliser avant d'effectuer des lectures de pH ;
- une contamination due à un lavage insuffisant des récipients servant au prélèvement d'échantillons d'eau souterraine.

## A.6.6 Teneur en chlorures

### A.6.6.1 Mode opératoire

(1) Les procédures de détermination de la teneur en chlorures comprennent :

- la méthode de Mohr pour les chlorures solubles dans l'eau ;
- la méthode de Volhard pour les chlorures solubles dans l'acide ou dans l'eau ;
- les procédés électrochimiques.

(2) Les deux premières méthodes font appel à la réaction d'échange entre les chlorures et le nitrate d'argent, mais des méthodes d'analyse différentes sont utilisées. Les deux méthodes exigent du soin lors de l'observation et de la pesée. La troisième méthode est basée sur la mesure de la conductivité dans des échantillons dilués à une teneur en eau connue.

(3) La présence de chlorures peut être confirmée par un essai qualitatif rapide : prendre environ 5 ml d'eau interstitielle filtrée, ou d'extrait de sol et d'eau en proportion de 1 pour 1, dans un tube d'essai. En cas de forte alcalinité (pH 12 à 14), ajouter quelques gouttes d'acide nitrique pour l'acidifier. Ajouter quelques gouttes d'une solution de nitrate d'argent à 1 %. Une turbidité appréciable indique la présence de chlorures en quantité mesurable, qui peut être déterminée par l'un des modes opératoires.

(4) La méthode de Volhard est la base des essais indiqués dans la norme britannique BS 1377 : partie 3<sup>2</sup>, paragraphe 7.2 (chlorures solubles dans l'eau) et paragraphe 7.3 (chlorures solubles dans l'acide), et de la méthode donnée dans la norme BS 812 : partie 118 pour les granulats minéraux. En principe, la solution de nitrate d'argent est ajoutée en excès dans la solution de chlorures acidifiée et la partie n'ayant pas réagi est neutralisée avec du sulfocyanate de potassium, de l'aluminium ferrique servant d'indicateur.

(5) Dans la méthode de Mohr, la solution d'essai et une solution à blanc pour comparaison sont titrées chacune avec une solution de nitrate d'argent à 0,02 N, du chromate de potassium étant utilisé comme indicateur. Cette méthode est préférable pour déterminer la présence de chlorures dans l'eau souterraine.

### A.6.6.2 Evaluation des résultats d'essais

(1) La relation théorique entre la salinité, exprimée par la teneur en chlorure de sodium, et la teneur en chlorures risque de ne pas être vérifiée à cause de la nature très mobile de l'anion chlorure.

## A.7 Essais de compressibilité des sols

### A.7.1 Modes opératoires

(1) L'annexe B.7 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour les essais de compressibilité des sols.

(2) Pour les échantillons non remaniés de sols cohérents normalement consolidés ou légèrement surconsolidés, un cycle de chargement-déchargement suffit normalement à déterminer la compressibilité. Pour les sols plus fortement surconsolidés dont les échantillons ont été remaniés, il convient d'effectuer un cycle de préchargement afin de réduire les déformations dues au remaniement des échantillons, aux effets de la stratification et de contraintes horizontales inférieures aux contraintes existant sur le site.

NA.1.1.1\_\_\_\_\_

<sup>2</sup>) voir annexe B Bibliographie

### A.7.2 Nombre d'essais

(1) Pour une couche de sol qui contribue de façon importante au tassement d'une structure, le Tableau A.7.1 donne des règles concernant le nombre minimal d'essais exigés en fonction de la variabilité du sol et de l'expérience comparable existante pour ce type de sol.

(2) Il convient d'augmenter le nombre d'éprouvettes testées si la structure est très sensible aux tassements. Dans le Tableau A.7.1, l'indication « un seul essai » représente la vérification des connaissances existantes. Si les nouveaux résultats d'essais ne correspondent pas aux données existantes, il convient de réaliser des essais complémentaires.

**Tableau A.7.1 - Nombre minimal d'éprouvettes à soumettre aux essais pour une couche de sol. Essai incrémental à l'œdomètre pour des projets de catégorie géotechnique 2**

Variabilité du module œdométrique $E_{oed}$ dans la plage de contrainte correspondante	Expérience comparable		
	Nulle	Moyenne	Grande
Variations relatives de $E_{oed}$ supérieures à 50 %	4	3	2
Variations relatives de $E_{oed}$ comprises entre 20 % et 50 %	3	2	2
Variations relatives de $E_{oed} < 20 %$	2	2	1*
* Un essai à l'œdomètre et un essai de classification suffisent à vérifier la compatibilité avec les connaissances comparables existantes			

### A.7.3 Evaluation des caractéristiques de compressibilité

(1) Il existe quatre méthodes largement utilisées pour déterminer la compressibilité d'un sol :

- l'analyse à rebours des tassements mesurés ;
- l'analyse empirique des résultats d'essais indirects réalisés sur le site, comme les sondages ;
- la mesure directe par des essais in situ, comme les essais de plaque et les essais pressiométriques ;
- les essais de compression avec des échantillons de sol en laboratoire.

L'évaluation du coefficient de perméabilité peut être optimisée par une combinaison de ces méthodes.

(2) La méthode la plus fiable pour évaluer les caractéristiques de compressibilité d'un sol est l'analyse à rebours de tassements mesurés sous des contraintes comparables. Pour les fondations sur du sable et du gravier, des essais en place tels que des sondages, sont souvent utilisés : leur interprétation est empirique et basée le plus souvent sur une expérience comparable. Dans les cas où l'on s'attend à trouver des sables, des sols plus grossiers, des limons et des argiles, il est souhaitable de combiner des méthodes de terrain et de laboratoire.

### A.8 Essais Indicatifs de résistance des sols

(1) Des exemples de modes opératoires pour les essais indicatifs de résistance suivants :

- scissomètre de laboratoire ;
- pénétromètre de poche ;
- essai de pénétration de cône (cône tombant), essai de compression simple ;
- essai de compression non consolidé non drainé ;

sont donnés dans les documents énumérés dans l'annexe B.8.

(2) Le Tableau A.8.1 propose une liste de recommandations et de commentaires pour les modes opératoires de chacun des essais indicatifs de résistance des sols traités par cette prénorme.

(3) Les essais ne s'appliquent qu'aux sols argileux.

**Tableau A.8.1 - Recommandations et commentaires concernant les essais indicatifs de résistance des sols argileux**

Essai	Recommandations et commentaires
Tous les essais	<p>Les essais fournissent un indice approximatif de résistance au cisaillement.</p> <p>Il existe une grande incertitude dans les mesurages.</p> <p>Utiliser les résultats avec précaution pour les sols non-homogènes et les sols comportant des fissures ou des surfaces de glissement.</p> <p>Tous les résultats sont affectés par la vitesse de l'essai.</p> <p>Il faut vérifier la répétitivité des essais.</p>
Scissomètre de laboratoire	<p>L'essai fournit en plus une estimation de la sensibilité et de la résistance au cisaillement remaniée.</p> <p>Vérifier le mode de rotation (manuel ou motorisé).</p> <p>Les essais peuvent être effectués sur des échantillons extrudés ou à l'intérieur du tube d'échantillonnage</p>
Pénétrromètre de poche	<p>Il convient d'éliminer les zones desséchées de l'éprouvette</p> <p>Pousser lentement le piston de chargement perpendiculairement et à une vitesse constante</p> <p>Recommencer l'essai autant de fois que possible.</p> <p>Vérifier que la zone testée est représentative en contrôlant le matériau sous l'empreinte du piston</p>
Pénétration d'un cône (cône tombant)	<p>L'essai peut être effectué sur des échantillons extrudés ou à l'intérieur du tube d'échantillonnage.</p> <p>Il fournit en plus une mesure de sensibilité sur éprouvette remaniée.</p> <p>Vérifier l'état d'usure sur la pointe du cône.</p> <p>Vérifier l'angle de la pointe du cône</p>
Compression simple	<p>La résistance à la compression simple est le double de la résistance au cisaillement non drainée.</p> <p>Eviter les temps d'attente entre la taille de l'éprouvette et l'essai pour éviter le dessèchement de l'éprouvette.</p> <p>Utiliser seulement des échantillons d'argiles molles qui conservent leur teneur en eau et dont la capillarité est suffisante pour garder constantes les contraintes effectives internes</p>
Compression non consolidée non drainée	<p>Il convient de ne pas laisser l'éprouvette de sol entrer en contact avec de l'eau. Il convient de ne pas mesurer les pressions interstitielles car cela exposerait l'éprouvette à l'eau.</p>

## A.9 Essais de résistance des sols

### A.9.1 Essai de compression triaxiale consolidée

#### A.9.1.1 Mode opératoire

(1) L'annexe B.9 cite un document qui décrit un exemple de mode opératoire pour les essais de compression triaxiale consolidée. Il existe d'autres documents décrivant des modes opératoires.

(2) On ne peut réaliser d'essais à plusieurs étapes que si l'on utilise des extrémités lubrifiées ou des rapports hauteur/diamètre importants. Les essais à plusieurs étapes ne sont généralement pas conseillés.

### A.9.1.2 Nombre d'essais

(1) Le Tableau A.9.1 donne des indications sur le nombre minimal d'essais exigés en fonction de la variabilité du sol et de l'expérience comparable existant pour ce type de sol. Si une seule série d'essais est exigée, l'essai est effectué pour fournir une vérification des connaissances existantes. Si les nouveaux résultats d'essais ne correspondent pas aux données existantes, il convient de réaliser des essais supplémentaires.

(2) Il est permis de réduire le nombre d'essais si l'on dispose de valeurs de résistance au cisaillement tirées d'autres méthodes d'essais comme, par exemple, des essais en place.

### A.9.1.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) En plus des résultats bruts des essais, il convient que l'ingénieur prenne en compte les caractéristiques de résistance au cisaillement non drainé et les corrélations existantes en fonction du type de sol, de l'indice de plasticité, etc. Il convient de relier les évaluations de la résistance au cisaillement non drainé au type d'essai ayant donné les résultats.

(2) Il convient de contrôler la valeur de l'angle de frottement interne par rapport aux corrélations le reliant, par exemple, au type de sol et à l'indice de densité dans le cas des sables. Il convient de comparer soigneusement les conditions de mesure de l'angle de frottement interne avec les conditions sur site (par exemple, conditions de déformation axi-symétrique et plane) et, le cas échéant, d'ajuster l'angle de frottement interne. Il convient de tenir compte également des corrélations existantes entre, par exemple, les résultats des essais de pénétration de cône et l'angle de frottement interne.

**Tableau A.9.1 - Nombre minimal d'éprouvettes d'une même couche de sol à soumettre aux essais de compression triaxiale pour un projet de catégorie géotechnique 2**

*(un essai signifie un ensemble de 3 éprouvettes)*

#### Essais destinés à déterminer l'angle de frottement interne (en contraintes effectives)

Variabilité de l'enveloppe de résistance Coefficient de corrélation $r$ de la courbe de régression	Expérience comparable		
	Aucune	Moyenne	Grande
$r \leq 0,95$	4	3	2
$0,95 < r \leq 0,98$	3	2	1
$r > 0,98$	2	1	1

#### Essais destinés à déterminer la résistance au cisaillement non drainé

Variabilité de la résistance au cisaillement non drainé (pour une même contrainte de consolidation)	Expérience comparable		
	Aucune	Moyenne	Grande
Rapport des valeurs maximale et minimale $> 2$	6	4	3
$1,25 < \text{Rapport des valeurs maximale et minimale} \leq 2$	4	3	2
Rapport des valeurs maximale et minimale $\leq 1,25$	3	2	1

## A.9.2 Essais consolidés de cisaillement direct à la boîte et de cisaillement annulaire

### A.9.2.1 Mode opératoire

(1) L'annexe B.9 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour les essais de cisaillement direct.

(2) Pour les essais de cisaillement à la boîte, il convient d'utiliser un matériel d'essai où les deux moitiés de la boîte de cisaillement se déplacent de façon rigoureusement parallèle pour éviter toute inclinaison. Seules les boîtes de cisaillement qui assurent le parallélisme donneront une simulation correcte du cisaillement in situ sur des surfaces de glissement. L'utilisation de demi-boîtes non parallèles peut conduire à des angles de frottement interne effectifs surestimés de 4 degrés pour les sols argileux et sous-estimés de 6 degrés pour les sables (voir Wernick, 1979).



### A.9.2.2 Préparation du programme d'essais

(1) L'essai de cisaillement direct (cisaillement à la boîte ou cisaillement annulaire) est réalisé de préférence pour des sols et des conditions de stabilité où l'on prévoit le développement d'un plan de rupture individualisé ou lorsque l'on doit déterminer les caractéristiques de résistance d'une interface.

(2) Des études comparatives ont montré que les résultats des essais de cisaillement direct à la boîte et des essais de cisaillement annulaire sont en bon accord. Dans l'essai à la boîte de cisaillement, la préparation de l'éprouvette est plus facile. Dans l'essai de cisaillement annulaire, les contraintes sont plus homogènes mais les déformations ne sont pas uniformes. Il est plus facile de produire des déformations importantes et, ainsi, de déterminer la résistance résiduelle d'un sol dans l'appareillage de cisaillement annulaire que dans une boîte de cisaillement.

(3) Il convient de prélever dans la couche de sol deux fois plus de matériau que nécessaire pour le nombre d'éprouvettes à soumettre aux essais.

### A.9.2.3 Nombre d'essais

(1) Le Tableau A.9.2 donne des règles concernant le nombre minimal d'essais exigés en fonction de la variabilité du sol et de l'expérience comparable existant pour ce type de sol. Ces recommandations s'appliquent dans le cas où seuls des essais de cisaillement direct seraient utilisés pour déterminer la résistance au cisaillement d'une couche de sol.

**Tableau A.9.2 - Nombre minimal d'éprouvettes d'une même couche de sol à soumettre aux essais de cisaillement direct pour un projet de catégorie géotechnique 2**

*(un essai signifie un ensemble de 3 éprouvettes)*

Variabilité de l'enveloppe de résistance Coefficient de corrélation $r$ de la courbe de régression	Expérience comparable		
	Nulle	Moyenne	Grande
Coefficient de corrélation $< 0,95$	4	3	2
$0,95 \leq$ Coefficient de corrélation $< 0,98$	3	2	2
Coefficient de corrélation $\geq 0,98$	2	2	1*
* Un essai unique et un essai de classification suffisent à vérifier la compatibilité avec l'expérience comparable			

## A.10 Essais de compactage des sols

### A.10.1 Mode opératoire applicable aux deux types d'essais

(1) L'annexe B.10 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour les essais de compactage des sols.

(2) Le nombre minimal des éprouvettes d'une même couche de sol à soumettre aux essais pour des projets de catégorie géotechnique 2 est de 3. Il convient de baser le nombre d'essais spécifiés sur un l'analyse technique du projet.

(3) Il convient de sélectionner le nombre d'essais à réaliser en tenant compte des variations de la granularité du sol, des limites d'Atterberg et de la quantité de matériau à compacter. Pour les barrages, la construction de routes, etc., on peut trouver dans les normes le nombre d'essais à réaliser dans différents cas particuliers.

### A.10.2 Exigences spécifiques aux essais de compactage

(1) Les essais de compactage utilisés le plus fréquemment sont les essais de compactage normal et modifié.

(2) Certains sols très perméables comme les graviers propres ou les sables grossiers propres à granularité uniforme ne permettent pas de déterminer une masse volumique maximale bien définie. Par conséquent, la teneur en eau optimale peut être difficile à obtenir.

(3) Pour les sols cohérents raides qui doivent être déchiquetés ou hachés en petits morceaux, les méthodes suggérées consistent à déchiqueter le sol pour qu'il passe au tamis de 5 mm, ou de le hacher en morceaux passant au tamis de 20 mm.

(4) Pour les sols cohérents raides qui doivent être déchiquetés ou hachés en petits morceaux, les résultats de l'essai de compactage dépendent de la taille des morceaux obtenus. Les masses volumiques déduites de l'essai ne correspondront pas forcément directement à celles obtenues sur le terrain.

(5) Pour les sols qui ne sont pas susceptibles de s'écraser, il est permis de n'utiliser qu'un seul échantillon pour les essais. L'échantillon peut servir plusieurs fois après avoir augmenté progressivement la quantité d'eau. Il convient de mentionner dans le rapport tout écart par rapport au mode opératoire courant.

(6) Pour les sols qui contiennent des particules sensibles à l'écrasement, il convient de préparer des lots séparés avec des teneurs en eau différentes.

### **A.10.3 Exigences spécifiques à l'essai d'indice de portance CBR**

(1) Il est permis de réaliser des essais sur site mais l'essai de laboratoire est le mode opératoire de référence.

(2) Il est permis de réaliser les essais sur du matériau non remanié ou sur du matériau recomposé.

(3) Il convient de choisir une teneur en eau du sol qui représente les conditions de calcul pour lesquels les résultats d'essais sont requis.

(4) Il convient de réaliser l'essai d'indice de portance CBR sur un matériau passant au tamis de 20 mm. Si le sol contient des particules retenues par ce tamis, il convient de les éliminer et de les peser avant de préparer l'éprouvette. Si la fraction retenue par le tamis de 20 mm est supérieure à 25 % en masse de la partie traversant le même tamis, l'essai d'indice de portance CBR n'est pas applicable.

(5) Lorsqu'une plage de teneur en eau doit être étudiée, il convient d'ajouter ou de retirer de l'eau du sol naturel après sa désagrégation. Il convient de ne pas laisser sécher l'échantillon.

## **A.11 Essais de perméabilité des sols**

### **A.11.1 Mode opératoire**

(1) L'annexe B.11 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires pour les essais de perméabilité des sols.

(2) Il convient de prélever dans la couche étudiée deux fois plus de matériau que nécessaire pour le nombre d'éprouvettes à soumettre aux essais.

(3) Il convient de sélectionner les éprouvettes à soumettre aux essais de façon à représenter les valeurs extrêmes des propriétés du sol concernées, c'est-à-dire la composition, l'indice de densité, l'indice des vides, etc.

(4) En règle générale, il convient de limiter le gradient hydraulique à 30 dans les argiles et les limons et à 10 dans les sables.

(5) Suivant le type de sol et la précision exigée pour le coefficient de perméabilité, il convient d'examiner la valeur du degré de saturation à imposer dans l'essai de perméabilité.

### **A.11.2 Nombre d'essais**

(1) Le Tableau A.11.1 donne des règles concernant le nombre minimal d'essais exigés en fonction de la variabilité du sol et de l'expérience comparable existant pour ce type de sol.

**Tableau A.11.1 - Nombre minimal d'éprouvettes d'une même couche de sol à soumettre aux essais de perméabilité pour un projet de catégorie géotechnique 2**

Variabilité du coefficient de perméabilité mesuré [k]	Expérience comparable		
	Aucune	Moyenne	Grande
$k_{\max}/k_{\min} > 100$	5	4	3
$10 < k_{\max}/k_{\min} \leq 100$	5	3	2
$k_{\max}/k_{\min} \leq 10$	3	2	1*
* Un essai unique et un essai de classification suffisent à vérifier la compatibilité avec les connaissances existantes			

(2) Dans le Tableau A.11.1, l'indication « un seul essai » représente une vérification des connaissances existantes. Si les nouveaux résultats d'essais ne correspondent pas aux données existantes, il convient de réaliser des essais complémentaires.

### A.11.3 Evaluation des résultats d'essais

(1) Il existe quatre méthodes largement utilisées pour déterminer le coefficient de perméabilité (conductivité hydraulique) :

- les essais en place, tels que les essais de pompage et de perméabilité en forage ;
- des corrélations empiriques avec la courbe granulométrique ;
- l'évaluation à partir d'un essai à l'œdomètre ;
- les essais de perméabilité sur des éprouvettes de sol dans le laboratoire.

L'évaluation du coefficient de perméabilité peut être optimisée par une combinaison de ces méthodes.

(2) Même dans une couche de sol homogène, il peut exister de grandes variations du coefficient de perméabilité dues à de petites variations des contraintes, de l'indice des vides, de la structure du sol, de sa granularité et de sa stratification. La méthode la plus fiable pour obtenir une valeur de coefficient de perméabilité est celle des essais en place.

(3) Même dans une couche de sol homogène, il convient de décrire le coefficient de perméabilité du sol par des valeurs limites inférieure et supérieure.

(4) Pour les limons et les argiles, le coefficient de perméabilité déduit des résultats des essais incrémentaux à l'œdomètre ne donne qu'une valeur approchée.

(5) Dans un sable homogène, on peut évaluer le coefficient de perméabilité d'une manière raisonnablement précise au moyen de corrélations avec la courbe granulométrique.

(6) Pour les sols argileux, limoneux et organiques où des échantillons non remaniés de haute qualité peuvent être obtenus, les essais de laboratoire sont susceptibles de donner des résultats d'essais fiables. Il convient de vérifier soigneusement la représentativité des éprouvettes testées.

(7) Pour certains types de sol, le degré de saturation est susceptible de modifier le coefficient de perméabilité de trois ordres de grandeur au plus.

## A.12 Préparation des éprouvettes de roche pour les essais

(1) Les méthodes suggérées par la Société Internationale de Mécanique des Roches (SIMR) pour la caractérisation des roches, les essais et les mesures ne comportent pas d'exigence spécifique pour la préparation des éprouvettes de roche. Toutefois, la plupart des méthodes d'essais comportent une section sur la préparation des échantillons, avec des exigences concernant leur volume, leur qualité, la méthode de préparation, les dimensions spécifiques et les contrôles de tolérances sur les dimensions et la forme.

(2) L'annexe B.12 donne une liste de documents fournissant des exemples de la pratique courante pour préparer des éprouvettes de carottes de roche et pour déterminer les tolérances sur les dimensions et la forme. Dans ce qui suit, des extraits de ces documents sont donnés, avec des observations sur ceux-ci.

(3) Il n'est pas toujours possible d'obtenir ou de préparer des éprouvettes de roche qui satisfont aux critères souhaitables indiqués dans les méthodes suggérées par la SIMR, par exemple pour les types de roches plus tendres, plus poreuses et mal cimentées et pour les types de roches qui ont des particularités structurales.

(4) Tous les instruments et montages destinés à déterminer la rectitude, la planéité et la perpendicularité de la surface des extrémités doivent être contrôlés selon une périodicité régulière enregistrée satisfaisant au moins aux exigences des essais spécifiques effectués sur les roches.

(5) La plupart des carottes non fracturées prélevées par un tube carottier simple, double ou triple en utilisant des techniques de forage rotatif peuvent être employées avec ou sans nouveau carottage après une finition des surfaces portantes d'extrémité. Il est également permis d'utiliser des blocs recueillis directement dans une formation rocheuse si leur orientation est indiquée clairement sur l'échantillon qui servira à recarotter les éprouvettes.

(6) Le volume requis pour l'échantillon dépend du programme d'essais. Pour un grand nombre de besoins, des échantillons de 300 mm à 1000 mm de longueur et de diamètre supérieur à 50 mm devraient suffire à la préparation d'éprouvettes de roche pour un ensemble d'essais de classification, de résistance et de déformation.

(7) La quantité de carottes nécessaires dépend fortement de la fissuration naturelle et induite du matériau rocheux. Il convient d'inclure dans la description initiale de la carotte une évaluation du degré de fissuration et d'homogénéité. Il convient d'utiliser cette description lors de la sélection des sections de carotte que serviront pour les essais.

(8) La sélection d'éprouvettes dans les zones de la carotte sans fracture risque de produire des éprouvettes non représentatives de la formation. Il convient d'en tenir compte dans le rapport.

(9) Pour les roches plus tendres (roches sédimentaires), le traitement de l'échantillon est extrêmement important pour les essais de déformabilité, de résistance et de gonflement. Il convient d'emballer les échantillons de roches destinés à ces essais sur le terrain dès qu'ils sortent du tube carottier. Même une courte exposition à l'air risque de modifier la teneur en eau et les propriétés inhérentes de la roche.

## **A.13 Essais de classification des roches**

### **A.13.1 Généralités**

(1) L'annexe B.13 donne une liste de documents fournissant des exemples d'essais de classification des roches.

(2) Il existe des systèmes de classification reconnus au niveau national et international pour différents besoins. Il existe des systèmes de classification des massifs rocheux, basés sur des méthodes semi-numériques, comme indiqué dans l'ouvrage de Bieniawski (1989) «Engineering Rock Mass Classification».

(3) La classification d'un massif rocheux sur la base de carottes exige de récupérer le plus de carottes possible afin de repérer les discontinuités et les cavités éventuelles. Il convient de limiter au minimum la perturbation des carottes lors du forage car la plupart des indices utilisés pour décrire la qualité d'une roche concernent les fractures découvertes dans les carottes.

(4) La plupart des systèmes de classification se réfèrent à des carottes et des échantillons prélevés par forage rotatif qui ont un diamètre d'au moins 50 mm. Pour la plupart des essais, une longueur de carotte sans fracture comprise entre 50 mm et 200 mm suffit aux essais de caractérisation de la roche.

### **A.13.2 Identification et description de la roche**

(1) L'annexe B.13 donne une liste de documents fournissant des exemples de modes opératoires.

(2) Il est permis d'utiliser n'importe quel système de classification publié et approuvé localement sous réserve de fournir dans le rapport une référence permettant de le retrouver.

### **A.13.3 Teneur en eau**

#### **A.13.3.1 Mode opératoire**

- (1) Il est permis d'appliquer des modes opératoires suivant les exemples donnés dans les documents énumérés dans l'annexe B.13.
- (2) Si cela est demandé, il convient de réaliser des contrôles de précision en comparant les résultats obtenus sur des éprouvettes prélevées en parallèle dans une même formation.

#### **A.13.3.2 Nombre d'essais**

- (1) En général, il convient de déterminer la teneur en eau au moins une fois par mètre de carotte.

### **A.13.4 Masse volumique et porosité**

#### **A.13.4.1 Mode opératoire**

- (1) Il est permis d'appliquer un mode opératoire suivant les exemples donnés dans les documents énumérés dans l'annexe B.13.
- (2) La détermination de la porosité (ou de l'indice des vides) nécessite de déterminer la masse volumique des particules solides (ou une estimation de celle-ci basée sur une expérience locale avec un type de roche similaire).
- (3) L'existence de pores fermés risque d'influer sur la porosité. Il est permis de baser la détermination du volume total des pores sur la masse volumique des solides d'un échantillon réduit en poudre ; par contre, la détermination des volumes des pores ouverts et des pores fermés nécessite une analyse spécialisée.
- (4) Il convient d'éviter les méthodes utilisant le déplacement de mercure.

#### **A.13.4.2 Nombre d'essais**

- (1) La masse volumique et la porosité doivent être déterminées au moins une fois tous les deux mètres, et au moins une fois pour chaque type de roche différencié sans tenir compte de l'homogénéité de la roche. Les paramètres de masse volumique et de porosité représentent une partie du cadre de la plupart des évaluations des propriétés de résistance et de déformation des roches.

## **A.14 Essais de gonflement des roches**

### **A.14.1 Généralités**

(1) L'annexe B.14 donne une liste de documents fournissant des exemples d'essais de gonflement des roches.

(2) Si possible, il convient de réaliser les essais sur des éprouvettes non remaniées car la structure de la roche a un effet important sur les caractéristiques de gonflement. Lorsque l'échantillon est trop fragile ou trop cassé pour permettre de préparer des éprouvettes, comme c'est le cas pour les matériaux de remplissage des joints, il est permis de réaliser les essais de gonflement sur des éprouvettes remaniées et recompaquées. Il convient alors de décrire les modes opératoires utilisés dans le rapport.

(2) Le Tableau A.14.1 donne des règles concernant le nombre minimal d'essais de gonflement exigés pour différentes dimensions d'éprouvettes. Ces suggestions s'appliquent à des sites où le risque de rencontrer des types de roches sujets au gonflement est limité. Pour les sites où les types de roches sont plus susceptibles d'être sujets au gonflement, il convient d'augmenter le nombre d'essais, en doublant au minimum les nombres indiqués dans le tableau. D'autres essais plus évolués peuvent être mieux adaptés pour déterminer le gonflement des roches sur le terrain.

### **A.14.2 Pression de gonflement dans des conditions de variation de volume nulle**

(1) L'annexe B.14 donne une liste de documents fournissant des exemples d'essais de détermination de la pression de gonflement dans des conditions de variation de volume nulle.

(2) L'appareillage d'essai peut être souvent constitué par une cellule œdométrique ordinaire, destinée à la consolidation du sol.

### **A.14.3 Déformation de gonflement d'une éprouvette confinée radialement avec surcharge axiale**

(1) L'annexe B.14 donne une liste de documents fournissant des exemples d'essais de gonflement d'éprouvettes de roche confinées.

(2) L'exemple spécifie l'utilisation d'un système de chargement capable d'appliquer une pression constante de 5 kPa sur l'éprouvette immergée dans l'eau. Toutefois, il est permis de faire appel à un équipement mieux approprié pour représenter le terrain. Il convient d'inclure dans le rapport d'essai et dans tous les documents d'interprétation une description de ces déviations éventuelles par rapport au mode opératoire.

### **A.14.4 Déformation de gonflement d'une éprouvette de roche non confinée**

(1) L'annexe B.14 donne une liste de documents fournissant des exemples d'essais de gonflement sur éprouvettes de roche non confinées.

**Tableau A.14.1 - Nombre minimal d'éprouvettes d'une même formation rocheuse à soumettre aux essais de gonflement pour des projets de catégorie géotechnique 2**

Essai de type	Épaisseur minimale	Diamètre minimal	Nombre minimal d'éprouvettes	Notes
(1) pression de gonflement dans des conditions de variation de volume nulle	15 mm et/ou 10 fois la granularité maximale	2,5 fois l'épaisseur	3	L'éprouvette doit être bien ajustée dans la bague
(2) déformation de gonflement d'une éprouvette confinée radialement avec surcharge axiale	15 mm et/ou 10 fois la granularité maximale	4 fois l'épaisseur	3 + éprouvettes identiques pour la teneur en eau	L'éprouvette doit être bien ajustée dans la bague
(3) Déformation de gonflement d'une éprouvette de roche non confinée	15 mm et/ou 10 fois la granularité maximale	15 mm et/ou 10 fois la granularité maxi	3 + éprouvettes identiques pour la teneur en eau	---

## A.15 Essais de résistance des roches

### A.15.1 Généralités

(1) L'annexe B.15 donne une liste de documents fournissant des exemples d'essais de détermination de la résistance de la roche.

### A.15.2 Résistance à la compression et de déformabilité uniaxiales

#### A.15.2.1 Mode opératoire

(1) Il convient de suivre l'exemple de mode opératoire décrit dans l'annexe B.15.2 pour les essais de résistance à la compression uniaxiale et les essais de déformabilité uniaxiale. En outre, il convient d'utiliser les modifications prescrites dans la présente prénorme.

(2) Le mode opératoire décrit par la SIMR comporte deux niveaux d'essais.

— Partie 1 : Méthode de détermination de la résistance à la compression uniaxiale de la roche ;

— Partie 2 : Méthode de détermination de la déformabilité de la roche en compression.

(3) La première méthode permet d'obtenir la résistance à la compression et la seconde donne, en plus, le module de déformation axiale (module d'Young) et le coefficient de Poisson. La deuxième méthode est préférable.

(4) Les modes opératoires suggérés par le document de la SIMR sont plutôt contraignants et il est extrêmement difficile de s'y conformer, en particulier pour ce qui concerne la préparation de l'échantillon et les tolérances géométriques. La pratique recommandée dans cette prénorme est moins stricte. Bien que les opérations recommandées par la SIMR soient souhaitables, un ensemble d'exigences minimales est donné ici. On pense qu'il est plus important de réaliser des essais en plus grand nombre que moins d'essais sur des éprouvettes de plus grande qualité.

(5) Il convient d'apporter les modifications suivantes au mode opératoire de la SIMR :

— Il convient d'avoir un diamètre de platine compris entre  $D$  et  $D + 10$  mm, où  $D$  est le diamètre de l'échantillon. Sous réserve de pouvoir s'assurer que la rigidité de la plaque est suffisante, il est permis d'avoir un diamètre de platine supérieur à  $D + 10$  mm. Des dispositions spéciales sont nécessaires pour centrer l'éprouvette correctement.

- Il convient d'incorporer un appui sphérique dans une au moins des deux platines d'extrémité.
- Il convient que les éprouvettes soient des cylindres circulaires droits ayant un rapport hauteur/diamètre compris entre 2 et 3 et un diamètre supérieur ou égal à 50 mm. Il est permis au rapport entre le diamètre de l'éprouvette et la plus forte granularité de la roche, dans le cas d'une roche tendre, de descendre jusqu'à 6/1 ; toutefois, un rapport de 10/1 est préférable.
- Les extrémités de l'éprouvette doivent être planes à 0,02 % du diamètre de l'éprouvette près et le défaut de perpendicularité par rapport à l'axe de l'éprouvette ne doit pas dépasser 0,1°.
- L'utilisation de matériaux de surfaçage ou de traitements de surface sur les extrémités autre qu'un usinage n'est pas admis, sauf si les essais concernent des roches tendres, où il convient que les caractéristiques mécaniques des matériaux de surfaçage soient meilleures que la roche à soumettre à l'essai.
- Il convient de déterminer le diamètre et la hauteur de l'éprouvette à 0,1 mm ou 0,2 % près, suivant la plus grande des deux valeurs.
- En ce qui concerne le mesurage des contraintes radiales et axiales avec des jauges de contrainte, la longueur de celles-ci doit être au moins égale à dix fois la granularité. En général, il ne convient pas que les jauges de contrainte, les micromètres à cadran ou les capteurs LVDT soient placés dans le tiers de la hauteur à partir des extrémités de l'éprouvette. Le mesurage de la déformation verticale sur la totalité de la hauteur de l'éprouvette n'est pas exclu si l'on peut démontrer que pratiquement le même résultat est obtenu lorsque la déformation est mesurée sur le tiers médian de la hauteur de l'éprouvette.
- Il convient d'appliquer la charge sur l'éprouvette à une vitesse d'augmentation de contrainte constante ou à une vitesse de déformation constante telle que la rupture intervienne au bout de 5 à 15 min. Si des cycles de chargement et de déchargement sont réalisés afin de mieux définir les paramètres de déformation, il convient d'exclure leur durée du temps mentionné ci-dessus.
- Il convient d'utiliser une machine ayant une capacité suffisante pour appliquer et mesurer la charge axiale sur l'éprouvette à une vitesse constante. Il convient de vérifier le parallélisme des platines de la machine.

**(6)** Il se peut que les déformations initiales incluent la mise en contact des extrémités de l'éprouvette avec la machine de compression et/ou la fermeture de microfissures dans l'éprouvette. La mesure des déformations verticales totales en utilisant uniquement la distance entre les deux platines en acier de la machine peut conduire à des propriétés de déformation erronées.

**A.15.2.2 Nombre d'essais**

**(1)** Les caractéristiques de la roche peuvent varier de façon importante en fonction de la lithologie, de la diagenèse ou de l'induration, de l'histoire des contraintes, de l'altération climatique, et d'autres processus naturels, même au sein d'un horizon géologique. Le Tableau A.15.1 donne des règles concernant le nombre minimal d'essais de compression uniaxiale en fonction de la variabilité de la roche et de l'expérience comparable existante.

**Tableau A.15.1 - Nombre minimal d'éprouvettes d'une même formation à soumettre aux essais de compression uniaxiale, essais brésiliens et essais triaxiaux pour des projets de catégorie géotechnique 2**

Ecart type de la résistance mesurée [s]	Expérience comparable		
	Aucune	Moyenne	Grande
s supérieur à 50 % de la moyenne	6	4	2
s compris entre 20 % et 50% de la moyenne	3	2	1
s inférieur à 20 % de la moyenne	2	1	0*

\* Valable uniquement pour des types de roches très homogènes avec une expérience étendue sur des emplacements voisins.



### A.15.3 Essai de charge ponctuelle

#### A.15.3.1 Mode opératoire

- (1) Pour la méthode recommandée à utiliser, voir l'annexe B.15.3.
- (2) L'essai peut être réalisé avec un matériel portatif ou à l'aide d'une machine d'essai de laboratoire et il est permis de le conduire soit sur le terrain soit en laboratoire.
- (3) Il est permis d'utiliser pour les essais des éprouvettes de roche sous forme de carotte (essais *diamétraux* et *axiaux*), de blocs découpés (essai sur *bloc*) ou de morceaux irréguliers (essai sur *morceaux irréguliers*) sous réserve de suivre les spécifications de forme et de dimensions du document de référence (SIMR, par exemple).

#### A.15.3.2 Nombre d'essais

- (1) La valeur moyenne de l'indice de résistance sous charge ponctuelle est utilisée pour la classification des échantillons ou des couches. Pour obtenir une valeur moyenne représentative, il convient d'effectuer au moins 5 essais.
- (2) Pour la caractérisation de la roche et la prévision d'autres paramètres de résistance, le nombre d'essais nécessaires est plus élevé que celui prescrit en A.15.2.2. En général, il convient de réaliser au moins 10 essais distincts par couche.

### A.15.4 Essai de cisaillement direct

#### A.15.4.1 Mode opératoire

- (1) Il convient de suivre l'exemple indiqué dans l'annexe B.15. Certaines modifications ont été introduites en se basant sur les recommandations du rapport SPRINT Rpt 216 concernant l'assurance-qualité des essais géotechniques.
- (2) Il convient d'apporter les modifications suivantes au mode opératoire de la SIMR.
  - La machine d'essai doit avoir une course plus grande que la dilatation ou la consolidation prévue, et elle doit pouvoir maintenir la charge normale à 2 % près de la valeur sélectionnée pendant toute la durée de l'essai. Il convient de mesurer la dilatation pendant l'essai avec la même précision que les déplacements de cisaillement.
  - La vitesse de déplacement de cisaillement doit être inférieure à 0,1 mm/min dans les 10 min qui précèdent une série de lectures. Si un enregistrement automatique des données est utilisé, il se peut qu'il ne soit pas nécessaire de réduire la vitesse de déplacement en cisaillement à 0,1 mm/min.
  - Il convient de reconsolider l'éprouvette sous chaque nouvelle contrainte normale, et de poursuivre le cisaillement selon les critères donnés par la SIMR. Si les surfaces des échantillons sont nettoyées avant le début d'une nouvelle phase d'essai, ou si la charge est supprimée sur les échantillons avant leur repositionnement, il convient de le noter dans le rapport d'essai. Il convient de décrire l'aspect du matériau enlevé par le nettoyage.
- (3) Il est également permis de déterminer la résistance au cisaillement direct par des essais sur le terrain. Ces derniers nécessitent une évaluation détaillée des caractéristiques des discontinuités du terrain.
- (4) Les résultats sont utilisés, par exemple, dans l'analyse de l'équilibre dans les problèmes de stabilité des pentes ou pour l'analyse de la stabilité des fondations de barrages, de tunnels ou de cavités souterraines.
- (5) Il est permis d'utiliser des éprouvettes de roche sous forme soit de carottes soit de blocs découpés. Il convient d'avoir une surface minimale de 2500 mm<sup>2</sup> sur le plan d'essai. Dans le cas de joints non comblés, il convient d'avoir un rapport d'au moins 10/1 entre le diamètre des éprouvettes ou son arête (dans le cas d'un profil en travers carré) et la plus forte granularité dans la roche. Un rapport égal ou supérieur à 0,5 est recommandé entre la longueur du joint et la taille de la boîte de cisaillement, afin d'éviter des problèmes éventuels d'instabilité de la machine de cisaillement.

(6) Il convient d'utiliser un matériel adapté pour découper l'éprouvette, par exemple un trépan carottier de grand diamètre ou une scie à roche. Il convient d'éviter les perceuses à percussion, les marteaux et les ciseaux car les échantillons doivent être aussi peu perturbés que possible.

(7) En général, l'inclinaison de l'éprouvette par rapport à la masse rocheuse, et son orientation au montage dans la machine d'essai sont sélectionnés de façon à ce que le plan de cisaillement coïncide avec un plan de fragilité dans la roche, par exemple un joint, un plan de stratification, de schistosité ou de clivage, ou avec l'interface entre le sol et la roche ou le béton et la roche.

#### **A.15.4.2 Nombre d'essais**

(1) La détermination de la résistance au cisaillement doit comprendre, de préférence, au moins cinq essais sur le même horizon d'essai et dans la même famille de joint, chaque éprouvette étant soumise aux essais sous des contraintes normales différentes mais constantes et comprises dans la plage des contraintes susceptibles d'être appliquées.

### **A.15.5 Essai brésilien**

#### **A.15.5.1 Mode opératoire**

(1) Il convient de suivre l'exemple indiqué dans l'annexe B.15.

(2) Il convient de découper des éprouvettes dont le diamètre est supérieur ou égal à la taille de la carotte (environ 54 mm) et l'épaisseur approximativement égale à son rayon. La surface cylindrique doit être exempte de marques d'outils évidentes. Aucune irrégularité dans l'épaisseur de l'éprouvette ne doit dépasser 0,025 mm. Les faces des extrémités doivent être planes à 0,25 mm près et parallèles à 0,25 degrés près.

(3) Pour les schistes et autres roches anisotropes, il est recommandé de découper des éprouvettes parallèlement et perpendiculairement à la stratification. Pour les éprouvettes découpées parallèlement à l'orientation de la stratification, il convient de préciser la direction de la charge.

#### **A.15.5.2 Nombre d'essais**

(1) Le Tableau A.15.1 donne des règles concernant le nombre minimal d'essais brésiliens en fonction de la variabilité de la roche et de l'expérience comparable existante. Pour la caractérisation de la roche et la prévision d'autres paramètres de résistance, le nombre d'essais nécessaires est plus élevé.

### **A.15.6 Essai de compression triaxiale**

#### **A.15.6.1 Mode opératoire**

(1) Il convient de suivre l'exemple indiqué dans l'annexe B.15.

(2) Il convient de découper des éprouvettes dont le diamètre  $D$  est supérieur ou égal à la taille de la carotte (environ 54 mm) et l'épaisseur égale à 2 ou 3 fois le diamètre tel que défini dans la section 13 et avec des caractéristiques conformes à 15.1.

#### **A.15.6.2 Nombre d'essais**

(1) Le Tableau A.15.1 donne des règles concernant le nombre minimal d'essais de compression triaxiale en fonction de la variabilité de la roche et de l'expérience comparable existante. Pour la caractérisation de la roche et la prévision d'autres paramètres de résistance, le nombre d'essais nécessaires est plus élevé.

## **Annexe B** (informative)

### **Bibliographie**

#### **B.1 Domaine d'application**

#### **B.2 Exigences communes à tous les essais de laboratoire**

Aucun document.

#### **B.3 Etalonnage du matériel d'essai**

Aucun document.

#### **B.4 Préparation des éprouvettes de sol pour les essais**

Aucun document.

#### **B.5 Essais de classification, d'identification et de description des sols**

##### **B.5.1 Domaine d'application**

Aucun document.

##### **B.5.2 Memento pour les essais de classification des sols**

Aucun document.

##### **B.5.3 Teneur en eau**

ETC5-C1.97:1998, Méthode de détermination en laboratoire de la teneur en eau des sols. DIN-Beuth Verlag Berlin.

DIN 18 121:1998, "Subsoil ; testing procedures and testing equipment, water content, determination by drying in oven".

NF P 94-050:1995, "Sols - Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Méthode par étuvage".

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 2 : Classification tests.

SN 670 340:1959, Essais - Teneur en eau / Versuche - Wassergehalt.

ASTM D2216:1992, Test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil, rock, and soil-aggregate mixtures.

ASTM D2974:1987, Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils.

ASTM D4542:1995, Test methods for pore water extraction and determination of the soluble salt content of soils by refractometer.

#### **B.5.4 Masse volumique apparente**

ETC5-C2.97:1998, Méthode de détermination en laboratoire de la masse volumique d'un sol fin. DIN-Beuth Verlag Berlin.

DIN 18 125:1997, Soil, investigation and testing Determination of density of soil - Part 1 : Laboratory tests.

NF P 94-053:1991, Sols - Reconnaissance et essais - Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire - Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 2 : Classification tests.

SN 670 335:1960, Versuche – Raumgewicht - Sandersatz-Methode / Essais - Poids spécifique apparent - Méthode du sable.

#### **B.5.5 Masse volumique des particules**

ETC5-C3.97, 1998, Méthode de détermination en laboratoire de la masse volumique des grains : méthode du pycnomètre. DIN-Beuth Verlag Berlin.

DIN 18 124:1997, Soils, investigation and testing - Determination of density of solid particles - Capillary pycnometer, wide mouth pycnometer ".

NF P 94-054:1991, Sols - Reconnaissance et essais - Détermination de la masse volumique des particules solides du sol - Méthode du pycnomètre à eau.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 2 : Classification tests.

SN 670 335:1960, Versuche - Raumgewicht - Sandersatz-Methode / Essais - Poids spécifique apparent - Méthode du sable.

ASTM D854:1992, Test method for specific gravity of soils.

ASTM D4404:1984, Determination of pore volume and pore volume distribution of soil and rock by mercury intrusion porosimetry".

#### **B.5.6 Granulométrie**

ETC5-C4.97, 1998, Méthode de détermination en laboratoire de la granulométrie. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

DIN 18 123:1996, Soil, investigation and testing - Determination of grain-size distribution".

NF P 94-056:1996, Sols - Reconnaissance et essais - Analyse granulométrique des sols - Méthode par tamisage à sec après lavage.

NF P 94-057:1992, Sols - Reconnaissance et essais - Analyse granulométrique des sols - Méthode par sédimentation.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 2 : Classification tests; 9.2 Wet sieving method.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 2 : Classification tests; Subclause 9.5 Sedimentation by the hydrometer method.

SN 670 810c:1986, Granulats minéraux et sols - Analyse granulométrique par tamisage / Mineralische Baustoffe und Lockergesteine - Siebanalyse.

SN 670 816:1964, Matériaux pierreux - Sédimentométrie par la méthode de l'aréomètre / Gesteinsmaterialien - Schlammversuch nach der Araeometermethode.

ASTM D2217:1985, Wet preparation of soil samples for particle size analysis and determination of soil constants.

ASTM D422:1963, Testmethod for particle size analysis of soils.

### **B.5.7 Limites de consistance**

ETC5-C5.97, 1998, Méthode de détermination en laboratoire des limites d'Atterberg. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

DIN 18 122:1997, Soil, investigation and testing. Consistency limits - Part 1 : Determination of liquid limit and plastic limit.

NF P 94-051:1993, Sols - Reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau.

NF P 94-052-1:1995, Sols - Reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Partie 1 : Limite de liquidité - Méthode du cône de pénétration.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 2 : Classification tests Clause 4. Determination of the liquid limit.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 2 : Classification tests Clause 5. Determination of the plastic limit and plasticity index.

SN 670 345:1959, Essais. Limites de consistance / Versuche - Konsistenzgrenzen.

### **B.5.8 Indice de densité des sols grenus**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 4 : Compaction related tests - Clause 4, Determination of maximum and minimum dry densities for granular soils.

### **B.5.9 Dispersivité des sols**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 5 : Compressibility, permeability and durability tests; Clause 6. Determination of dispersibility.

### **B.5.10 Gélivité**

SN 670 321:1994, Essais sur les sols - Essai de gonflement au gel et essai CRB après dégel (CRB<(Index)F / Versuche an Böden - Frosthebungsversuch und CRB-Versuch nach dem Auftauen (CRB <(Index)F>).

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 5 : Compressibility, permeability and durability tests; Clause 7. Determination of frost heave.

## **B.6 Essais chimiques sur les sols et l'eau souterraine**

### **B.6.1 Généralités**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 3 : Chemical and electrochemical tests.

### **B.6.2 Teneur en matières organiques**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 3 : Chemical and electrochemical tests. Clause 4. Determination of the mass loss on ignition or an equivalent method.

ASTM D2974:1987, Test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils

### **B.6.3 Teneur en carbonates**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 3 : Chemical and electrochemical tests - Clause 6 Determination of the carbonate content.

DIN 18129, Soil - investigation and testing - Determination of lime content.

Head Vol 1:1992, (see annex B.18).

NF P 94-049-1:1996, Sols - Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en carbonate - Méthode du calcimètre.

#### **B.6.4 Teneur en sulfates**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 3 : Chemical and electrochemical tests. Clause 5. "Determination of the sulphate content of soil and ground water".

#### **B.6.5 Valeur du pH (acidité et alcalinité)**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 3 : Chemical and electrochemical tests. Clause 9. "Determination of the pH value".

#### **B.6.6 Teneur en chlorures**

BS 812:Part 118: 1988, Testing aggregates. Methods for determination of sulphate content.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 3 : Chemical and electrochemical tests. Subclause 7.2 / subclause 7.3.

### **B.7 Essais de compressibilité des sols**

#### **B.7.1 Modes opératoires**

ETC5-D1.97, 1998, Essai œdométrique à chargement incrémental. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 5 : Compressibility, permeability and durability tests.

NS 8017:1991, Geotechnical testing - Laboratory methods - Determination of one-dimensional consolidation properties by oedometer testing - Method using incremental loading.

ASTM D2435:1996, Test method for one-dimensional consolidation properties of soils.

### **B.8 Essais indicatifs de résistance des sols**

#### **B.8.1 Modes opératoires**

##### **Scissomètre de laboratoire**

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 7 : Shear strength test.

##### **Pénétrromètre de poche**

SN 670 350:1992, Essais sur les sols - Pénétrromètre de poche et de laboratoire / Versuche an Böden - Taschenpenetrometer, Taschen- und Laborflügelsonde.

## **Pénétration de cône**

SS02 7125:1991, Geotechnical test methods. Undrained shear strength. Fallcone test Cohesive soil.

ETC5-E1.97, 1998, Méthode de détermination en laboratoire de la résistance au cisaillement non drainé : essai au cône. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

## **Compression simple**

ETC5-E2.97, 1998, Méthode de détermination en laboratoire de la résistance à la compression simple : essai de compression simple sur sols cohérents. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

## **Compression non consolidée non drainée**

ETC5-E3.97, 1998, Méthode de détermination en laboratoire de la résistance au cisaillement non drainé : essai triaxial non consolidé non drainé. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

## **B.9 Essais de résistance des sols**

### **B.9.1 Essai de compression triaxiale consolidée**

ETC5-F1.97, 1998, Méthodes d'essai à l'appareil triaxial : Essai consolidé sur sols saturés. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

### **B.9.2 Essais consolidés de cisaillement direct à la boîte et annulaire**

ETC5-F2.97, 1998, Méthodes de laboratoire pour l'essai de cisaillement direct. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 7 : Shear strenght test.

ASTM D 3080:1990, Test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions".

## **B.10 Essais de compactage des sols**

### **B.10.1 Mode opératoire applicable aux deux types d'essais**

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 4 : Compaction related tests ; Clause 3 Determination of dry density/moisture content relationship.

BS 1377:1990 Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 4 - Compaction related tests ; Clause 7 "Determination of California Bearing Ratio (CBR)".

### **B.10.2 Exigences spécifiques aux essais de compactage**

Aucun document.

### **B.10.3 Exigences spécifiques à l'essai d'indice de portance CBR**

Aucun document.

## **B.11 Essais de perméabilité des sols**

### **B.11.1 Modes opératoires**

ETC5-G1.97, 1998 Méthode de détermination de la perméabilité d'un sol à charge constante ou variable. DIN-Beuth Verlag, Berlin.

BS 1377:1990, Methods for test for soils for civil engineering purposes - Part 5 - Compressibility , permeability and durability tests.

DIN 18130-1:1998, Soil - Investigation and testing. Determination of the coefficient of water permeability – Part 1 : Laboratory tests.

### **B.11.2 Nombre d'essais**

Aucun document.

### **B.11.3 Évaluation des résultats d'essais**

Aucun document.

## **B.12 Préparation des éprouvettes de roche pour les essais**

ASTM D4543:1985, Preparing rock core specimens and determining dimensional and shape tolerances.

## **B.13 Essais de classification des roches**

### **B.13.1 Généralités**

BS 5930:1981, Code of practice for site investigation. Section 8 Description and classification of rocks for engineering purposes.

ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring - Part I Site Characterisation (1981).

ISO/DIS 14699:1995, Geotechnics in civil engineering. Identification and description of rock.

### **B.13.2 Identification et description de la roche**

BS 5930:1981, Code of practice for site investigation. Section 8 Description and classification of rocks for engineering purposes.

### **B.13.3 Teneur en eau**

ISRM Part 1 : Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties. Section 1: Suggested method for determination of the water content of a rock sample.

### **B.13.4 Masse volumique et porosité**

ISRM Part 1 Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties, Section 2 : Suggested method for porosity/density determination using saturation and calliper techniques.

ISRM Part 1 Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties. Section 3 : Suggested method for porosity/density determination using saturation and buoyancy techniques.

## **B.14 Essais de gonflement des roches**

### **B.14.1 Teneur en eau**

ISRM Suggested Methods for Rock Characterisation, Testing and Monitoring, Part 2 : Suggested Methods for Determining Swelling and Slake-durability Index Properties.



### **B.14.2 Indice de pression de gonflement dans des conditions de variation nulle de volume**

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties. Test 1 : "Suggested Method for Determination of the Swelling Pressure Index of Zero Volume Change".

### **B.14.3 Indice de déformation due au gonflement pour une éprouvette confinée radialement avec surcharge axiale**

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties. Test 2 : "Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Index for a Radially Confined Specimen with Axial Surcharge".

### **B.14.4 Déformation due au gonflement développé dans une éprouvette de roche non confinée**

ISRM Suggested Methods For Determining Swelling and Slake-Durability Index Properties. Test 3 : "Suggested Method for Determination of the Swelling Strain Developed in an Unconfined Rock Specimen".

## **B.15 Essais de résistance des roches**

### **B.15.1 Généralités**

Aucun document.

### **B.15.2 Essai de résistance à la compression uniaxiale et de déformabilité**

ASTM D 2938:1991, Standard test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens.

### **B.15.3 Essai de charge ponctuelle**

ISRM Suggested method for determining point load strength ; revised version has been published in International Journal for Rock Mechanics. Min. SCI. & Geomech. Abstr. Vol 22, No. 2, pp. 51-60, 1985.

### **B.15.4 Essai de cisaillement direct**

ISRM Suggested method for determining shear strength, Part 2 : "Suggested method for laboratory determination of direct shear strength".

### **B.15.5 Essai brésilien**

ISRM Suggested method for determining tensile strength of rock materials, Part 2 : "Suggested method for determining indirect tensile strength by the Brazil test".

### **B.15.6 Essai de compression triaxiale**

ISRM "Suggested method for determining the strength of rock materials in triaxial compression".

## **B.16 Articles et autres publications**

Bieniawski, Z.T. (1989)  
"Engineering Rock Mass Classification"  
Wiley, New York, 251 p.

BRE Paper BR 279 (19--)  
«Sulphate and acid attack on concrete in the ground: recommended procedures for soil analysis»  
Building Research Establishment, Garston, Watford, U.K.

DGF (1995)  
«A guide to engineering geological description»

DGF Bulletin 1, Rev. 1, May 1995, Aalborg, Denmark.

Head, K.H. (1992)  
Manual of Soil Laboratory Testing. Vol.1: Soil Classification and Compaction Tests, 2nd ed. Pentech Press, London, U.K.

Head, K.H. (1994)  
Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests, 2nd ed. Pentech Press, London, U.K.

Head, K.H. (1986)  
Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 3: Effective Stress Tests.  
Pentech Press, London, U.K.

ISRM (1985)  
Suggested method for determining point load strength.

International Journal of Rock Mechanics  
Min. Sci & Geomech. Abstr. Vol 22, No. 2, pp. 51-60.

Sherard, J.L., Decker, R.S. and Ryker, N.L. (1972)  
Piping in Earth Dams of Dispersive Clay.  
Proc. ASCE Specialty Conf. on Performance of Earth and Earth-Supported Structures. June 1972, Purdue University, West Lafayette, Indiana. Vol. 1, Part 1, pp.589-626.

Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Decker, R.S. and Steel, E.F. (1976)  
Pinhole test for identifying dispersive soils.  
J. Geotechn. Eng. Div., ASCE. Vol. 102, No. GT1 (January), pp. 69-85.

SPRINT (1995)  
Quality Assurance in Geotechnical Testing.  
Report SPRINT Ra 216 ter (Various cities).

Wernick, E. (1979)  
A 'true direct shear apparatus' to measure soil parameters of shear bands  
Proc. VII. ECSMFE, Brighton, Vol. 2, 1979, pp. 175-182