

Chapitre 3 : Compactage des sols

- 3.1 Théorie de compactage,
- 3.2 Essais de compactage en laboratoire (Essais Proctor normal et modifié),
- 3.3 Matériels et procédés spéciaux de compactage in-situ,
- 3.4 Prescriptions et contrôle de compactage.

3.1 Théorie de compactage

Le compactage est l'ensemble des opérations mécaniques (apport d'énergie mécanique), qui conduisent à accroître la densité d'un sol. En faisant, la texture du sol est resserrée ce qui réduit les déformations et tassements et augmente la compacité du sol et améliore sa capacité portante. Les ouvrages couramment concernés par le compactage sont les remblais routiers, les barrages en terre et les aéroports. La densification mécanique du sol peut entraîner :

- ✓ Modification de la granulométrie.
- ✓ Modification de la teneur en eau.
- ✓ Réduction ou élimination des risques de tassement.
- ✓ Augmentation de la résistance du sol et la stabilité du talus.
- ✓ Amélioration de la capacité portante.
- ✓ Limitation des variations de volume causées par gel, gonflement et retrait.

Proctor a montré que le compactage est fonction de quatre paramètres : la masse volumique du sol sec, la teneur en eau, l'énergie de compactage et le type de sol (granulométrie, minéralogie,...).

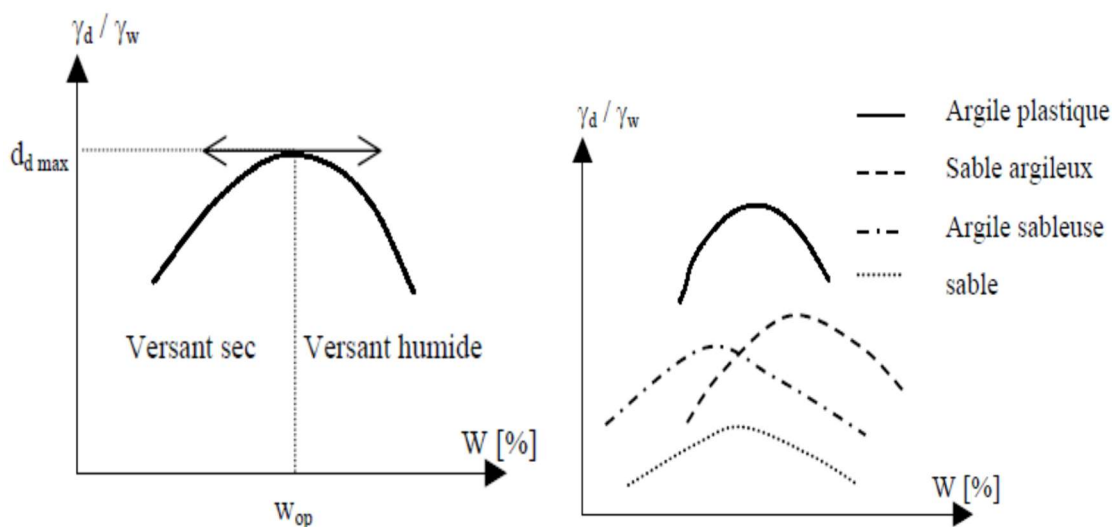
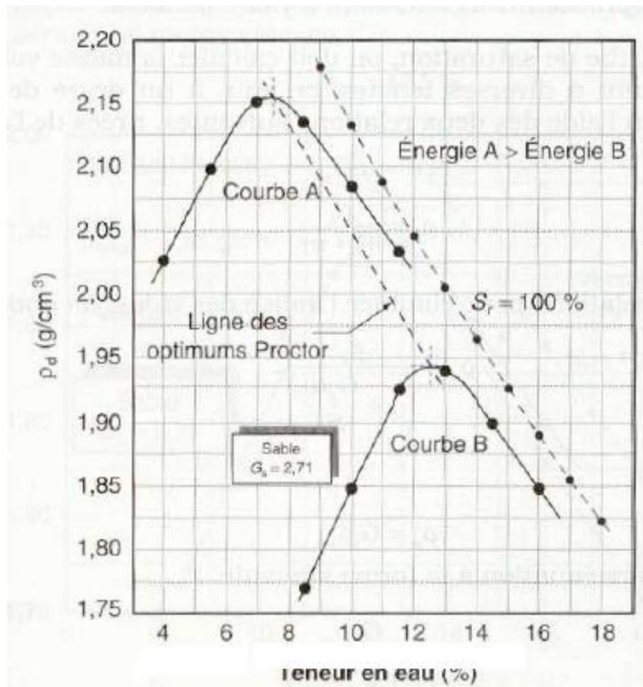
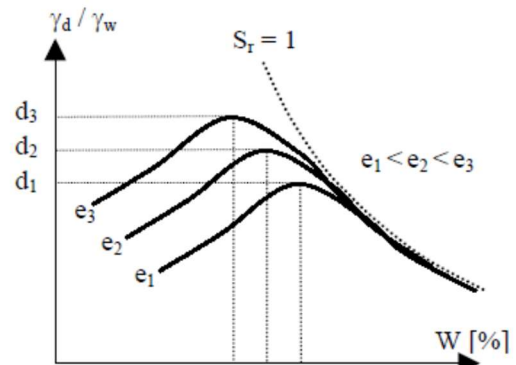


Fig. 3.1 : Courbe de compactage

Fig. 3.2 : Influence du type de sol

Fig. 3.4 : Courbe de saturation
Fig. 3.3 : Influence de l'énergie de compactage

Le compactage augmente la stabilité des sols et leur capacité à porter des charges, mais modifie en même temps certaines de leurs propriétés. Les plus touchées sont la structure des sols, la perméabilité, le gonflement et le retrait, la compressibilité, ainsi que la résistance au cisaillement.

3.2 Essais de compactage en laboratoire (Essais Proctor et CBR)

3.2.1 But de l'essai

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale (w_{opt}) pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage (Fig.3.5)

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différents teneurs en eau.

On définit ainsi plusieurs points d'une courbe (w ; γ_d) ; on trace cette courbe qui présente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale (w_{opt}) et l'ordonnée la densité sèche optimale (γ_{dopt})

3.2.2 Types de moules

On utilise pour ces essais deux types de moules de dimensions différentes :

Le moule Proctor ($\Phi_{moule} = 101,6 \text{ mm}$ / $H_{sol} = 117 \text{ mm}$) lorsque le matériau est suffisamment fin (pas d'éléments supérieurs à 5mm ; $\Phi \leq 5 \text{ mm}$),

Le moule CBR (California Bearing Ratio) pour des matériaux de dimensions supérieures à 5mm et inférieures à 20mm ($\Phi_{moule} = 152 \text{ mm}$ / $H_{sol} = 152 \text{ mm}$).

Avec chacun de ces moules, on peut effectuer (énergie normalisée de compactage choisie) respectivement l'essai Proctor normal (pour Travaux de compactage en bâtiment et/ou de barrage) et l'essai Proctor modifié (pour Travaux de compactage routier essentiellement).

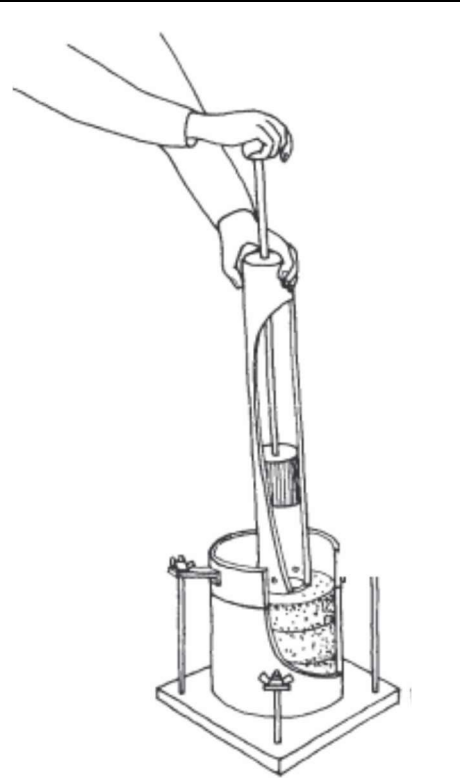


Fig.3.5 : Essai Proctor

Le tableau ci-dessous précise les conditions de chaque essai.

Tab.3.1 : Conditions des essais Proctor normal et Modifié

Essai Proctor	Masse de la dame (Kg)	Hauteur de chute (cm)	Nombre de coups par couche	Nombre de couches	Energie de compactage kJ/dm ³
Normal	2.490	30.50	25 (moule Proctor)	3	0.59
			55 (moule CBR)	3	0.53

Modifié	4.540	45.70	25 (moule Proctor)	5	2.71
			55 (moule CBR)	5	2.41

3.3 Matériel et procédés spéciaux de compactage in-situ

3.3.1 Procédés courants de compactage

Dans les procédés courants de compactage, on utilise :

a- Vibration : Pour les sols pulvérulents et granulaires, le compactage efficace se fait par vibration en utilisant : plaque vibrante manuelle, rouleau vibrant autopropulsé, rouleau à pneus et grosse masse en chute libre.

b- Pylons à air comprimé : Pour le compactage des couches de faibles épaisseurs :

- ☐ Dames à explosion (grenouille) pour les terrains cohérents ou non de faible surface.
- ☐ Pylons de 2 à 3 tonnes montés sur grue roulante, est utilisé pour tous les terrains mais ne sont intéressants que pour les faibles surfaces.

c- Rouleaux lisses : sont utilisés pour les terrains cohérents non argileux.

d- Rouleaux à pneus : pour le compactage des terrains non cohérents.

e- Rouleaux à pieds de mouton : pour les terrains cohérents. En particulier il est indispensable pour les terrains argileux.

f- Engins vibrant (rouleaux, sabots,...) : pour les sols à gros grains (sables et graviers).

3.3.2 Procédés spéciaux de compactage

Dans le cas de couches à grandes épaisseurs, on utilise des procédés de compactage dynamique tels que :

a- Compactage par explosifs

- ☐ **Explosifs ponctuels** : pour les sols pulvérulents le compactage se fait par création d'une onde de choc de compression.

□ **Explosifs linéaires** : pour les sols cohérents le compactage se fait par mise en place de pieux sableux.

b- Compactage par vibroflotation

Le procédé consiste à la génération de contraintes et déformations alternées d’où réarrangement des grains.

□ **Tubes en vibration** : se pratique pour les matériaux très perméables.

□ **Colonnes ballastées** : les colonnes sont formées de matériaux pulvérulents compactés. Elles sont pratiquées dans les sols cohérents.

c- Consolidation dynamique

Elle est valable pour tout type de sol. Il s’agit de transmettre des chocs de forte énergie à la surface du sol à traiter (chute libre d’une masse de 10 à 30 tonnes exceptionnellement 140 tonnes d’une hauteur de 15 à 30 m). La profondeur d’influence est définie par Léonard et coll. (1980) grâce à l’expression : $D = \frac{1}{2} \sqrt{w \cdot h}$ (m). Où w est la masse tombante exprimée en tonne, h est la hauteur de chute en mètre.

3.4 Prescriptions et contrôle du compactage

Malgré l’extrême diversité des engins de compactage, il est possible de dégager un certain nombre de facteurs intervenant principalement sur l’efficacité d’un engin sur un sol donné.

Nous trouverons bien sûr des facteurs propres au terrain compacté (nature, teneur en eau,...) mais aussi des facteurs caractérisant l’engin et la séquence de compactage (nombre de passes, vitesse, pression de contact, fréquence et intensité de vibration...)

Quels que soient les engins utilisés le compactage sur chantier devra s’effectuer par couche de faible épaisseur 20 à 30cm (Travaux de route) ou encore 10 à 15 cm (Travaux de bâtiment).

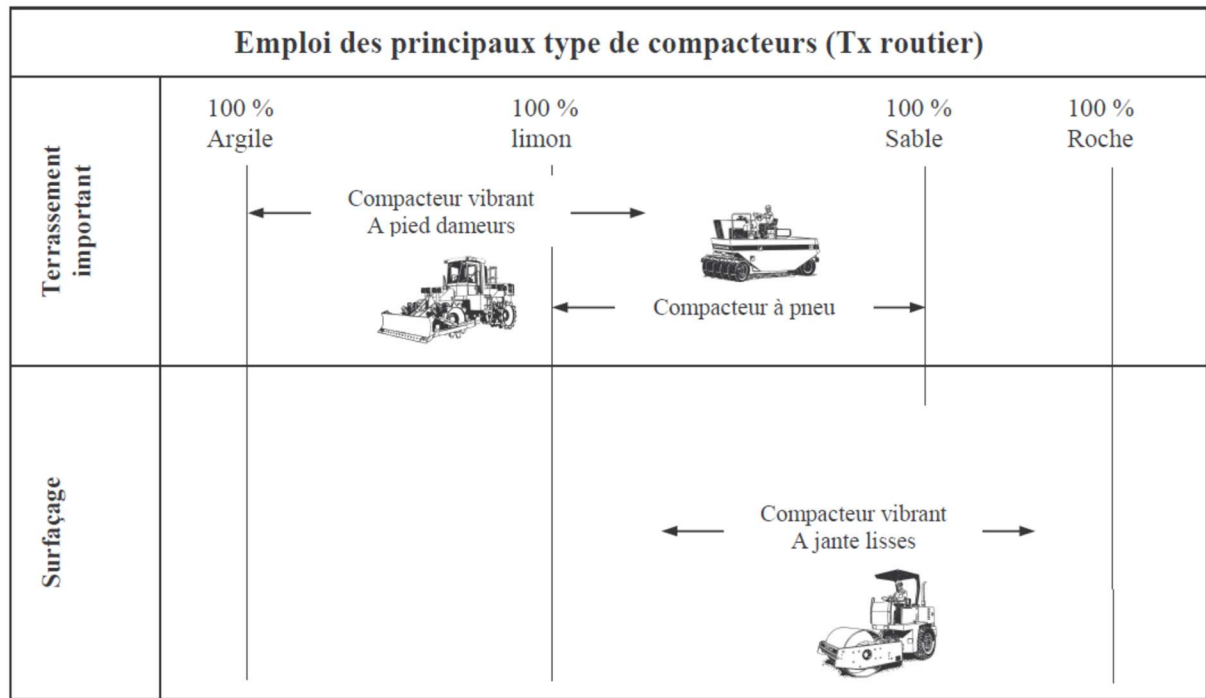


Fig. 3.6 : Domaine d'emploi des principaux engins de compactage (Tx routier)

3.4.1. Notion de planche d'essai : Une grande partie des difficultés des projets de terrassement vient du fait que la mise en place d'un sol (remblai par exemple) dépend souvent des conditions atmosphériques au moment des travaux.

La planche d'essai permet avant l'ouverture d'un chantier de terrassement, de fixer les paramètres de compactage lié à l'engin utilisé, au sol considéré au moment des travaux (teneur en eau, vitesse des engins, nombre de passe, ...), et ce, en vue d'obtenir la compacité à atteindre (compacité prescrite).

3.4.2. Influence de la vitesse de l'engin : Pour un engin donné et des exigences de qualité fixées, il existe une vitesse optimale, fonction de l'épaisseur de la couche et de la nature du matériau permettant d'obtenir une compacité maximale. Plus les exigences de qualité sont sévères, plus la vitesse de translation optimale a une valeur réduite. En général, elle ne doit pas dépasser 8 km/h, et pour les compacteurs vibrants, elle est autour de 5 km/h.

Influence du nombre de passes : Le nombre optimal de passes dépend de la vitesse, de l'épaisseur de la couche et de la nature du sol. Il varie généralement de 3 à 8, mais peut aller jusqu'à 12. Si la compacité n'est pas atteinte après 12 passes, le compacteur est jugé inadapté.

Degré de compacité (Dc) : Il se calcule par le rapport entre le poids volumique sec du chantier ($\gamma_{d\text{chantier}}$) et celui du Proctor optimal ($\gamma_{d\text{opt}}$) : **Dc = $\gamma_{d\text{chantier}}$ / $\gamma_{d\text{opt}}$** Il s'exprime en

pourcentage et doit être $\geq 95 \%$ (souvent 98%) pour être acceptable. Plus D_c est élevé, plus le compactage est efficace.

3.4.5. Densitomètre à membrane

Mesurer les masses ou poids volumiques apparents des sols (humide γ , ou sec γ_d) en place avant foisonnement, ou encore après tassement ou compactage.

L'essai consiste à creuser une cavité, à recueillir et peser la totalité du matériau extrait, puis à mesurer le volume de la cavité à l'aide d'un densitomètre à membrane. L'appareil est doté d'un piston qui, sous l'action de l'opérateur, refoule un volume d'eau dans une membrane souple étanche qui épouse la forme de la cavité. Une tige graduée permet de lire directement le volume (fig. 3.).

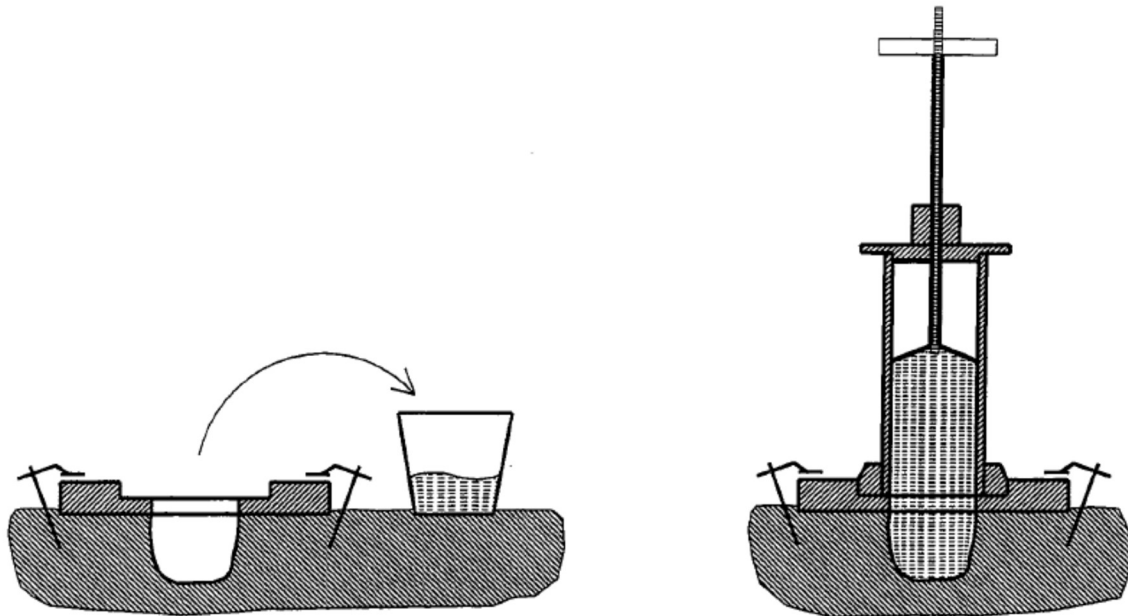
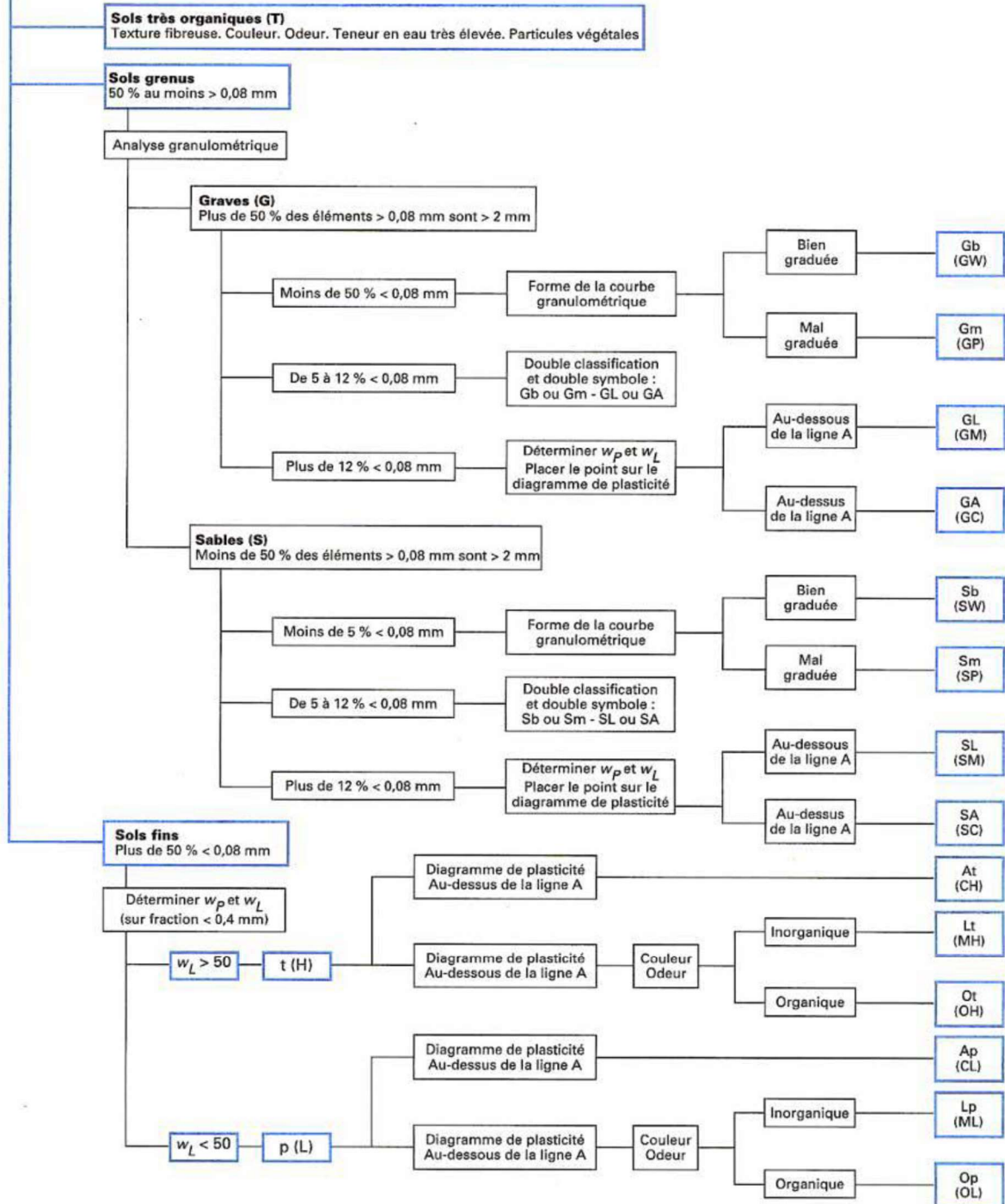


Fig. 3.7 : Densitomètre à membrane.

Annexe1 – Classification LPC/USCS des sols en laboratoire

Appréciation visuelle pour distinguer les sols très organiques, grenus et fins.
Dans les cas limites, déterminer le pourcentage de particules fines (< 0,08 mm)



Annexe 2 – Classification des sols LPC modifiée

Appréciation visuelle pour distinguer les sols très organiques, grenus et fins.
Dans les cas limites, déterminer le pourcentage de particules fines (< 0,08 mm)

