

# Retrait, gonflement et tassement des sols fins

**Gérard BIGOT**

Secrétaire de la Commission de Normalisation sols : reconnaissance et essais (CNSRE)  
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de l'Est Parisien

**Moulay Idriss ZERHOUNI**

Responsable Qualité Groupe  
Solen Géotechnique

Note

technique

## Introduction

Tous les travaux de construction entraînent une modification de l'équilibre existant dans le sol avant ces travaux. Par exemple, si une excavation est réalisée, le déchargement du sol associé à l'enlèvement du poids des terres conduira généralement à un soulèvement du fond de fouille. Inversement, le poids de la construction proprement dite entraînera un tassement du sol.

Les concepteurs et constructeurs tiennent compte de ces modifications d'équilibre dans le dimensionnement de leur ouvrage, ou du moins vérifient que ces modifications ne provoqueront pas de déformations incompatibles avec la construction et sa destination.

Toutefois, ces prévisions peuvent s'avérer insuffisantes, en raison de phénomènes ou d'activités non pris en compte ou non connus au moment de la construction. Il peut s'agir, par exemple, de phénomènes climatiques naturels (sécheresse prolongée), d'une modification de l'équilibre naturel local (pousse d'arbres), ou de la conséquence de l'activité humaine (modification du niveau de la nappe phréatique du fait de pompes ou de la configuration de la construction dans son environnement).

Ainsi, depuis une vingtaine d'années, des cycles de sécheresse prolongée se sont produits à plusieurs reprises, agissant sur les paramètres régissant le comportement du sol et entraînant de nombreux sinistres sur des constructions aussi bien récentes que très anciennes.

Les sols fins sont fréquemment mis en cause dans ce type de sinistre. L'une des principales raisons réside dans leur aptitude à une forte variation de volume dès que les conditions d'équilibre sont modifiées.

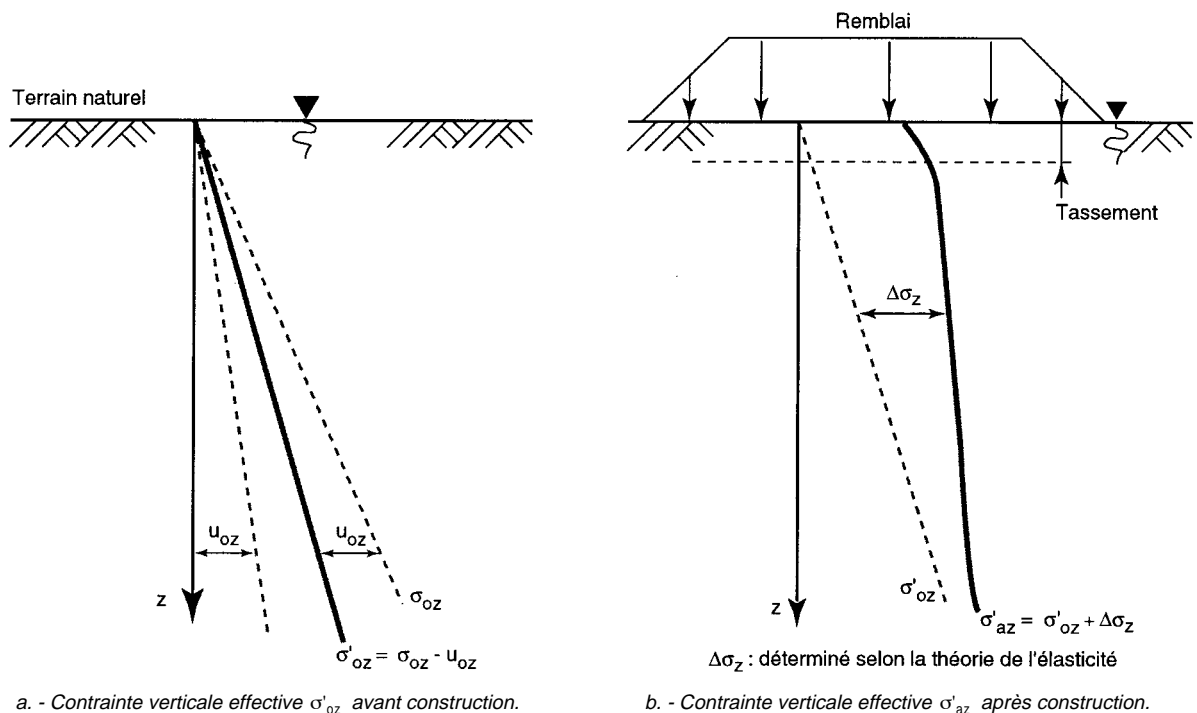
Pour limiter ce nombre de sinistres, il est nécessaire de mieux décrire le comportement des sols fins vis-à-vis des phénomènes de sécheresse et de réhumidification. Dans ce but, des normes françaises d'essais ont été élaborées. Elles ont pour objectif de préciser comment peuvent être caractérisés les terrains et être déterminés les paramètres qui jouent un rôle dans la variation de volume des sols fins.

## Causes des variations de volume du sol

### La modification des contraintes externes

Les déformations volumiques des sols fins sont généralement attribuées à trois phénomènes.

La modification de l'état de contraintes totales dans le sol, du fait par exemple (fig. 1) de l'adjonction ou de l'enlèvement de charges ou de surcharges, conduit à terme, c'est-à-dire lorsqu'un nouvel équilibre s'est établi, à une déformation du sol, qui se traduit en général par un déplacement en surface (tassement, soulèvement). Ce déplacement est le résultat de la somme des déformations élémentaires créées en tout point du massif de sol par la modification de l'état des contraintes.



a. - Contrainte verticale effective  $\sigma'_{oz}$  avant construction.

b. - Contrainte verticale effective  $\sigma'_{az}$  après construction.

Fig. 1 - Modification de l'état de contrainte dans le terrain – Exemple : construction d'un remblai.

## La modification des pressions interstitielles

Un changement dans l'environnement hydrique du sol conduit à une modification des pressions interstitielles régnant en son sein. La variation du niveau de la nappe phréatique modifie le champ de pression interstitielle aussi bien au-dessous qu'au-dessus du niveau de la nappe. Le niveau de la nappe et l'évolution du champ de pression interstitielle peuvent être déterminés à partir des mesures piézométriques (cf. normes NF P 94-157-1 et NF P 94-157-2).

Dans un sol non saturé, la contrainte effective  $\sigma'$  est liée à la contrainte totale  $\sigma$ , à la pression de gaz (en général de l'air)  $u_a$  et à la pression de l'eau  $u_w$  qui règnent dans les interstices entre les particules par la relation :

$$\sigma' = F(\sigma - u_a) + G(u_a - u_w), \quad (1)$$

qui devient  $\sigma' = \sigma - u_w$  lorsque le sol est saturé (2)

Les différentes pressions de l'eau ou de l'air sont comptées par rapport à la pression atmosphérique ambiante.

La relation (1) montre que, si la contrainte totale  $\sigma$  et la pression de l'air  $u_a$  restent constantes et que la pression interstitielle  $u_w$  diminue à la suite d'un abaissement du niveau de la nappe phréatique, le terme de succion  $G(u_a - u_w)$  croît, entraînant une augmentation de la contrainte effective, ce qui aura pour effet de comprimer le sol et provoquera un tassement en surface (fig. 2), qui évoluera jusqu'à ce que l'équilibre s'établisse.

Par des effets capillaires, les sols situés au dessus du niveau phréatique – niveau défini tel que  $(u_a - u_w) = 0$  – restent saturés sur une hauteur importante pouvant atteindre plusieurs dizaines, voire centaines de mètres dans les sols argileux et avec une pression interstitielle de l'eau  $u_w$  négative.

Dans ces sols, tout départ partiel d'eau conduisant à une diminution de la teneur en eau se traduit par une augmentation de la succion. Si l'on se réfère à la pression atmosphérique, cette augmentation de succion est équivalente à une diminution de la pression interstitielle  $u_w$  et, par conséquent, à une augmentation de la contrainte effective et les effets sur les variations de volume seront les mêmes que précédemment et se manifesteront par une diminution de volume du sol ou retrait et donc par un tassement en surface également. Tant que le sol reste saturé, cette diminution de volume équivaut sensiblement au volume d'eau extrait.

Une augmentation de succion du sol peut être provoquée par tous les phénomènes conduisant à une diminution de la teneur en eau du sol, telle une dessiccation due à la sécheresse (évaporation de surface, baisse du niveau de la nappe phréatique, succion de l'eau du sol par les végétaux, etc.).

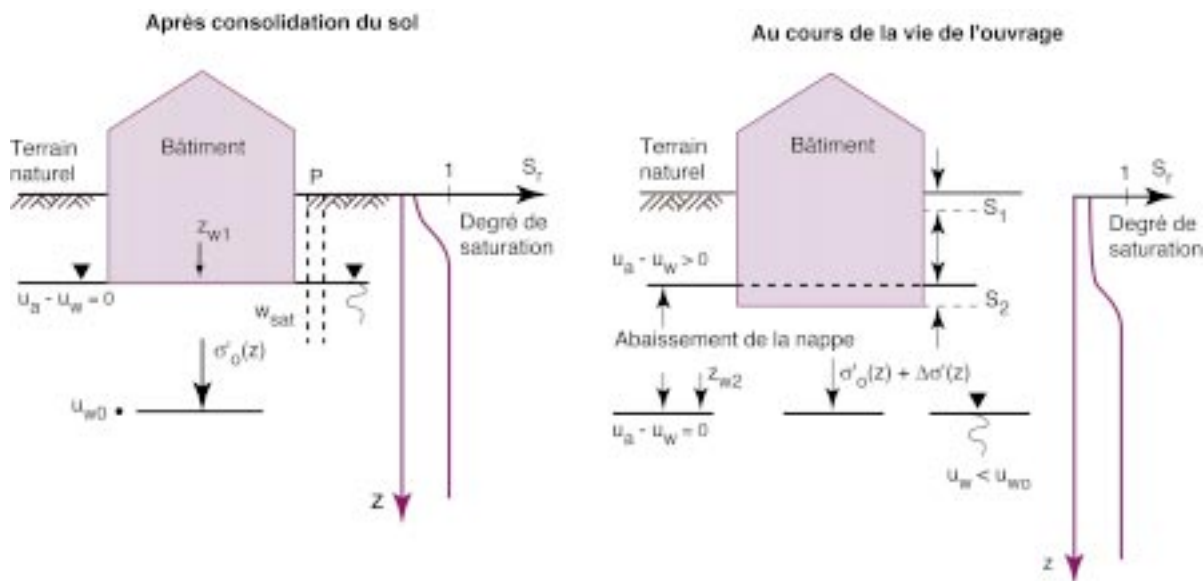


Fig. 2 - Effet de l'abaissement du niveau de la nappe – Exemple.

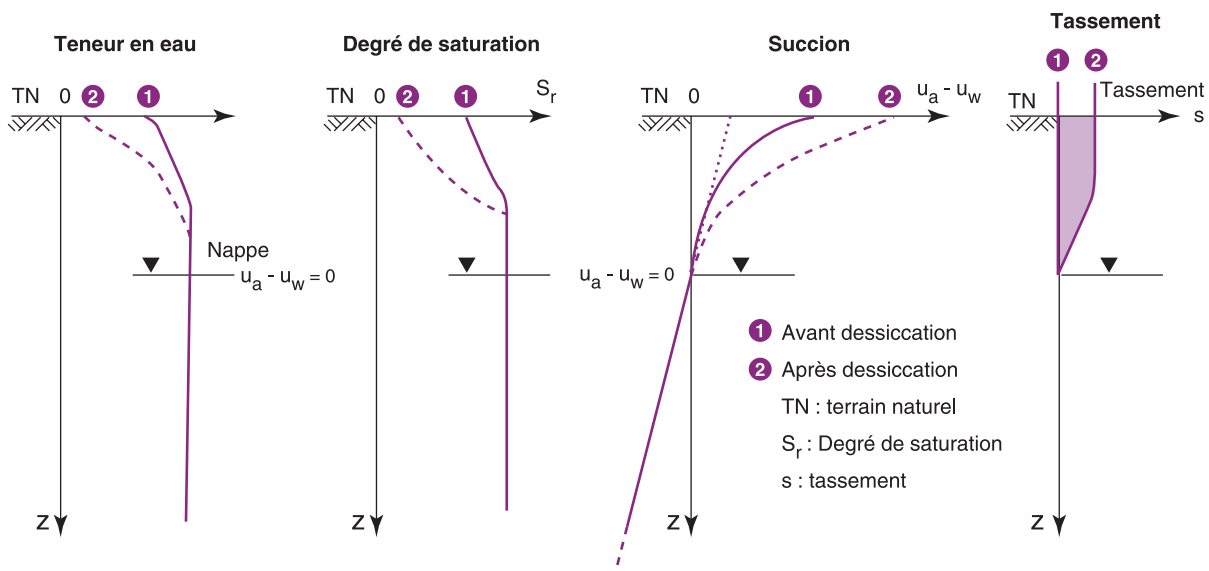


Fig. 3 - Effet hydrique : dessiccation de surface – Exemple.

Dans le cas de la dessiccation (fig. 3), l'augmentation de succion est généralement concentrée dans la partie superficielle du sol et conduit à un retrait qui peut même provoquer des fissures.

### L'effet physico-chimique

L'apport d'eau dans le sol et sa fixation au niveau de certaines particules élémentaires ou plaquettes agglomérées en feuillets (dimension  $1.10^{-8}$  à  $1.10^{-10}$  m) constituant l'argile conduisent à des phénomènes d'hydratation de ces particules entraînant une augmentation de volume.

Ce mécanisme d'hydratation est largement conditionné par :

- le type et la nature des minéraux argileux présents et leur propriétés physico-chimiques,
- la structure du matériau et de ses particules,
- la pression interstitielle ou la succion régnant dans le sol,
- la concentration ionique du fluide interstitiel, y compris l'eau adsorbée,
- l'histoire du matériau et en particulier les phénomènes de cimentation.

L'étude de ces phénomènes d'hydratation au niveau des particules est complexe et l'on se contente habituellement de quantifier cette hydratation et ses conséquences, notamment volumétriques, au niveau macroscopique seulement.

**Note :** la surface spécifique des plaquettes est un indicateur de leur comportement en présence d'eau. Le changement de dimension des plaquettes en présence d'eau augmente avec la surface spécifique : il est quasi nul dans le cas de la kaolinite, très important pour la montmorillonite et intermédiaire pour l'illite. Les valeurs de bleu du sol  $V_{BS}$  (cf. norme NF P 94-068) ou les limites d'Atterberg  $w_L$ ,  $w_p$ ,  $I_p$  (cf. norme NF P 94-051 et NF P 94-052-1) permettent de caractériser ce comportement.

## Essais destinés à connaître le comportement du sol

Dans la réalité, les trois effets précédents sont rarement dissociés. Il est, pour cette raison, souvent difficile d'effectuer une séparation précise et quantifiée de chacun des effets.

Ainsi, l'abaissement du niveau de la nappe provoque, comme on l'a vu, une modification de l'état de contrainte effective, mais également et dans des proportions plus ou moins importantes selon la nature du sol, une modification des conditions physico-chimiques et donc des phénomènes d'interaction entre l'eau et les particules de sol.

Afin d'évaluer leur incidence ou leur combinaison sur les variations de volume des sols argileux, il est nécessaire de procéder à la détermination de divers paramètres caractéristiques (tableau I) intervenant dans ces effets, puis de les prendre en compte dans des modèles de comportement.

TABLEAU I  
Valeurs indicatives des paramètres d'identification des sols susceptibles de variation de volume

Paramètres d'identification			Susceptibilité de variation de volume du sol
Indice de plasticité (%)	Pourcentage de passant au tamis de 80 $\mu\text{m}$	Valeur de bleu $V_{BS}$ (NF P 94-068)	
> 30	> 90 %	> 6	Forte
$15 < I_p < 30$	> 50 %	$2 < V_{BS} < 6$	Moyenne
< 15	< 50 %	< 2	Faible

Compte tenu du nombre élevé des paramètres qui caractérisent le comportement réel d'un sol, de la difficulté à les mesurer et de leur influence relative, des schématisations se sont imposées dans la pratique, permettant de n'utiliser que quelques paramètres facilement mesurables.

## Essais de dessiccation

La connaissance de la teneur en eau (NF P 94-050) et de sa variation constitue déjà un indicateur permettant de donner de manière simple la tendance d'évolution d'un phénomène et d'orienter les investigations.

En effet, dans un sol saturé, l'indice des vides est proportionnel à la teneur en eau ( $e_{p_w} = w \rho_s$ ). Dans ce cas, l'amplitude des variations de volume peut être déduite directement des variations de teneur en eau.

Lorsque la teneur en eau d'un sol saturé décroît comme dans l'essai de dessiccation (XP P 94-060-1 et XP P 94-060-2, cf. annexes 1 et 2), le sol se déforme en restant saturé jusqu'à un seuil de début de désaturation (entrée d'air). Dans cet intervalle, la variation de volume est proportionnelle à la quantité d'eau extraite du sol (fig. 4).

Si la teneur en eau continue à décroître, la diminution du volume ou retrait se poursuit avec une amplitude qui devient de plus en plus faible et n'est plus proportionnelle à la variation de teneur en eau, jusqu'à devenir quasiment nulle.

Si la teneur en eau augmente à nouveau, la variation de volume correspondante du sol suit sensiblement la même courbe, sans toutefois retrouver de manière systématique le volume initial du sol.

La limite de retrait effective  $w_{Re}$  sépare conventionnellement le comportement avec variation importante de volume, du comportement où la variation de volume est quasiment nulle (fig. 4).

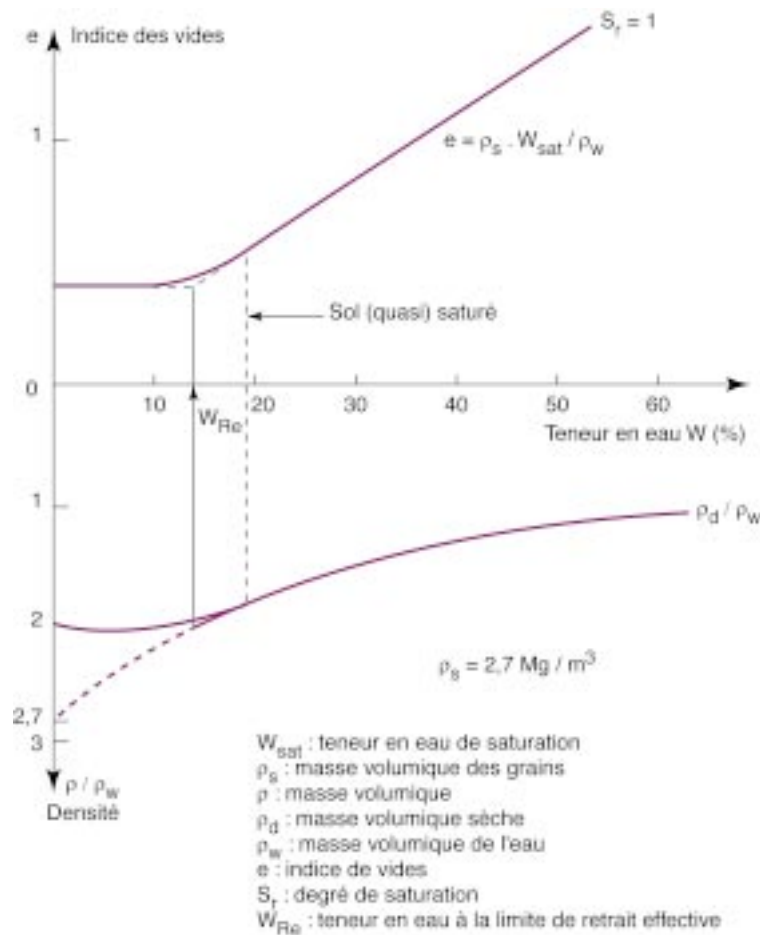


Fig. 4 - Variation de l'indice des vides et de la densité du sol en fonction de la teneur en eau - Exemple.

## Essais œdométriques

Lorsque l'analyse est faite en termes de contraintes effectives, la courbe œdométrique et les paramètres déduits de l'essai œdométrique (XP P 94-090-1, cf. annexe 3) permettent d'estimer correctement l'amplitude des déplacements tant que le sol reste saturé, que les contraintes soient d'origine mécanique et/ou d'origine hydrique.

Dans l'étude de l'amplitude de gonflement à la suite d'un apport d'eau, l'état initial du sol va conditionner largement son comportement ultérieur.

En effet, pour un même sol, le gonflement relatif sera d'autant plus grand que le sol était initialement plus sec. Ce gonflement sera accentué par la présence de minéraux argileux actifs (phénomènes physico-chimiques). En outre, il sera plus ou moins important selon la valeur de la contrainte mécanique appliquée sur le sol au départ.

Compte tenu du nombre de paramètres pouvant conditionner le potentiel de gonflement d'un sol, ce caractère doit être étudié au cas par cas en fonction, d'une part, des conditions initiales en utilisant des échantillons non remaniés et, d'autre part, des conditions prévisionnelles finales et notamment des contraintes mécaniques extérieures qui seront transmises au sol. L'essai de gonflement à l'œdomètre (XP P 94-091) permet de reproduire ces conditions particulières mais également de déterminer le potentiel de gonflement en le caractérisant à l'aide de la contrainte  $\sigma_g$  de gonflement et du coefficient de gonflement  $R_g$  (cf. annexe 4).

**Remarque :** l'utilisation des lois de comportement et des paramètres correspondants mesurés en laboratoire doit toutefois toujours se faire avec prudence, c'est-à-dire en ayant connaissance des conditions dans lesquelles ces données ont été déterminées et de celles permettant ou non de les généraliser à l'ensemble d'un site ou d'un horizon géologique.

En effet, pour des raisons pratiques évidentes, les essais sont réalisés dans des conditions particulières ne représentant pas forcément les conditions réelles du site ou qui ne sont pas toujours satisfaites en place. Comme par exemple :

- la déformation latérale nulle ( $\epsilon_{lat} = 0$ ) des échantillons lors des essais à l'œdomètre,
- l'absence d'alimentation latérale en eau, dans un essai de gonflement,
- les faibles dimensions des éprouvettes d'essai (en général toutes inférieures à 0,1 m),
- la durée des essais vis-à-vis de la durée nécessaire à l'obtention d'un état d'équilibre en place.

## Prévision du mouvement d'un terrain consécutif à une modification hydrique du site

**Dessiccation –  
la teneur en eau du terrain  
décroit jusqu'à atteindre  
une valeur finale  $w_f$**

Pour un terrain dont la teneur en eau naturelle ( $w_{nat}$ ) et la contrainte effective verticale ( $\sigma'_v$ ) sont connues, la détermination de la limite de retrait ( $w_{Re}$ ), du facteur de retrait effectif ( $R_i$ ), de la pression ( $\sigma_g$ ) et du coefficient de gonflement ( $R_g$ ) permet de savoir quelle sera la conséquence prévisionnelle d'une dessiccation ou d'un apport d'eau à la suite d'une modification du régime hydrique sur un site où est construit un ouvrage.

Le tableau II schématise les cas courants.

■ **Si la teneur en eau naturelle  $w_{nat}$  avant dessiccation était supérieure à la limite de retrait effective**, un tassement est à prévoir. Dans le cas où cette dessiccation est répartie de manière homogène et que la fissuration du sol n'est pas observée ou reste très limitée, un ordre de grandeur de l'amplitude du tassement de chaque couche de sol d'épaisseur  $H_i$  est donné par les formules :

$$\Delta H = H_i \cdot R_{li}(w_{nat} - w_f) \quad \text{lorsque } w_f > w_{Re}$$

$$\Delta H = H_i \cdot R_{li}(w_{nat} - w_{Re}) \quad \text{lorsque } w_f \leq w_{Re}$$

■ **Si la teneur en eau naturelle au moment où commence la dessiccation est déjà inférieure à la limite de retrait effective**, il n'y a pratiquement pas de tassement à craindre.

## Apport d'eau

■ **Si la contrainte effective du sol est inférieure à la pression de gonflement**, c'est-à-dire si  $\sigma'_v < \sigma_g$  :

- soit un gonflement se produit lorsque le terrain peut se dilater librement et ce jusqu'à épuisement du potentiel de gonflement,
- soit une pression de soulèvement se manifeste lorsque toute déformation est empêchée.

Un ordre de grandeur de l'amplitude du gonflement de chaque couche de sol d'épaisseur

$H_0$  soumis à une contrainte verticale  $\sigma'_v$  est estimé par  $\Delta H = H_0 \cdot R_g \lg \frac{\sigma'_v}{\sigma_g}$  :

■ **Si la contrainte effective du sol est supérieure à la pression de gonflement**, c'est-à-dire  $\sigma'_v > \sigma_g$ , il n'y a pas de gonflement à craindre. En revanche, un tassement

TABLEAU II  
Conditions d'apparition des mouvements du sol et estimation de leur amplitude

Dessiccation des sols		Hydratation des sols		Variation de la contrainte effective	
$w_{Re} < w_{nat}$ $w_{nat}$ décroît $\rightarrow w_f$	$w_{nat} \leq w_{Re}$ $w_{nat}$ décroît	$\sigma'_v < \sigma_g$	$\sigma'_v \geq \sigma_g$	$S_r = 1$ $\sigma'_v$ croît	$S_r = 1$ $\sigma'_v$ décroît
<i>Tassement</i> - si $w_f > w_{Re}$ $\Delta H = H_i \cdot R_{li}(w_{nat} - w_f)$ - si $w_f \leq w_{Re}$ $\Delta H = H_i \cdot R_{li}(w_{nat} - w_{Re})$	$\Delta H \approx 0$	<i>Gonflement</i> $\frac{\Delta H}{H_0} = R_g \lg \frac{\sigma'_v}{\sigma_g}$	Tassement possible	<i>Tassement</i> $\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{C_c}{1 + e_0} \lg \frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_p}$ $+ \frac{C_s}{1 + e_0} \lg \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}}$	<i>Gonflement</i> $\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{C_s}{1 + e_0} \lg \frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_{v0}}$

peut se produire (par exemple en présence d'un sol non saturé affaissable ou lorsque  $\sigma'_v > \sigma'_p$ ).

**Modification de la contrainte effective dans un sol saturé ( $S_r = 1$ ) déjà consolidé, sous la contrainte  $\sigma'_p$**

Les mouvements peuvent être prévus par l'exploitation de la courbe œdométrique avec les notations données dans l'annexe 3 entre les contraintes effectives initiale  $\sigma'_{v0}$  et finale  $\sigma'_{vf}$  :

- > si  $\sigma'_{vf} < \sigma'_{v0}$  : un déplacement vertical ascendant est prévisible,
- > si  $\sigma'_{vf} > \sigma'_{v0}$  : un tassement est prévisible.

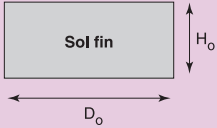
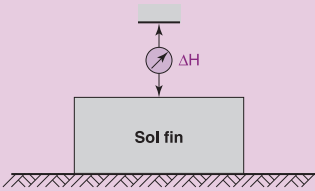
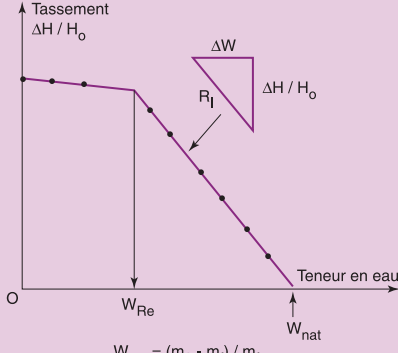
**Références bibliographiques**

- **NF P 94-050**, Sols : Reconnaissance et Essais, Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux, Méthode par étuvage.
- **NF P 94-051**, 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**, Sols : Reconnaissance et Essais, Détermination des limites d'Atterberg, Partie 1 : Limite de liquidité, Méthode du cône de pénétration.

## ANNEXE 1 XP P 94-060-1 Sols : reconnaissance et essais – Essai de dessiccation – Partie 1 : Détermination conventionnelle de la limite de retrait sur le passant à 400 µm d'un matériau

Essai de dessiccation	XP P 94-060-1
<p><b>Principe</b></p>	<p>L'essai consiste à déterminer la perte de volume d'une éprouvette de sol remanié, entre l'état initial liquide (teneur en eau <math>w_i</math> supérieure à la limite de liquidité <math>w_L</math>) et l'état sec (<math>w = 0</math>).</p> <p>Ce volume est par convention égal au volume d'eau perdu entre l'état liquide et l'état correspondant à la limite de retrait, avec comme hypothèses que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– l'éprouvette reste saturée lorsque sa teneur en eau est supérieure à la limite de retrait,</li> <li>– le volume de l'éprouvette est le même à l'état sec (<math>w = 0</math>) et à celui correspondant à la limite de retrait.</li> </ul>
<p><b>Préparation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reconstituer une éprouvette de sol saturé <math>w \geq w_L</math> à partir d'éléments passant au tamis de 400 µm.</li> <li>– Mesurer son volume <math>V_h</math> et sa masse <math>m_h</math>.</li> </ul>
<p><b>Dessiccation à l'air ambiant puis à l'étuve</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Peser l'éprouvette <math>m_d</math> (<math>w = 0</math>).</li> </ul>
<p><b>Essai</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Immerger l'éprouvette dans un bac rempli de mercure.</li> <li>– Peser le mercure expulsé <math>m_{Hg}</math>.</li> </ul>
<p><b>Exploitation</b></p> <p><math>\rho_w</math> = masse volumique de l'eau.  <math>\rho_{Hg}</math> = masse volumique du mercure.  <math>w</math> = teneur en eau.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Calculer</li> </ul> $\Delta V = V_h - m_{Hg}/\rho_{Hg}$ $w_R = w_i - \Delta V \cdot \rho_w/m_d$


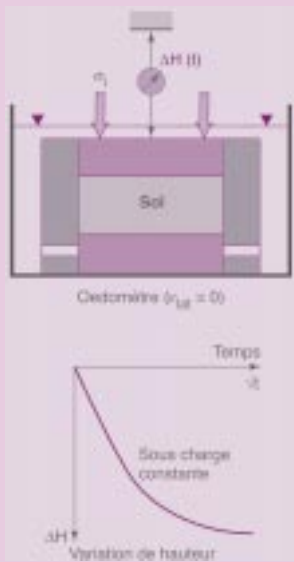
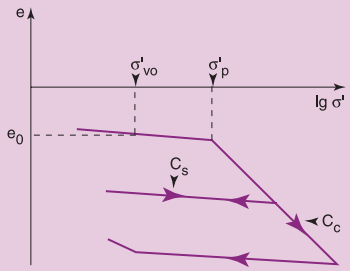
**ANNEXE 2**  
**XP P 94-060-2**  
**Sols : reconnaissance et essais – Essai de dessiccation –**  
**Partie 2 : Détermination effective de la limite de retrait**  
**sur un prélèvement non remanié**

Essai de dessiccation	XP P 94-060-2
<p><b>Principe</b></p>	<p>L'essai consiste à laisser se dessécher librement et progressivement une éprouvette de sol et à mesurer périodiquement sa variation de hauteur et sa masse.</p>
<p><b>Préparation</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Découper <i>une</i> éprouvette sur un prélèvement (de classe <math>\leq 2</math> selon XP P 94-202).</li> <li>– Mesurer sa hauteur <math>H_0</math> – sa masse <math>m_0</math>, son volume <math>V_0</math></li> </ul> <p><math>35 \leq D_0 \leq 50</math> mm ; <math>0,4 D_0 \leq H_0 \leq 0,6 D_0</math> et <math>d_{\max}</math> des particules <math>\leq 5</math> mm.</p>
<p><b>Essai</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Laisser dessécher l'éprouvette sous atmosphère ambiante (<math>\sigma = 0</math>).</li> <li>– Mesurer périodiquement sa masse <math>m_i</math> et sa hauteur <math>H_i</math>.</li> <li>– Sécher totalement à l'étuve (<math>w = 0</math>) et mesurer sa masse <math>m_f</math> et sa hauteur <math>H_f</math>.</li> </ul>
<p><b>Exploitation</b></p> <p><math>\sigma</math> : contrainte extérieure appliquée à l'éprouvette</p> <p><math>w_{Re}</math> : limite de retrait effectif</p> <p><math>R_I</math> : facteur de retrait effectif</p> <p><math>w_{nat}</math> : teneur en eau naturelle</p> <p><math>w</math> : teneur en eau</p>	 <p style="text-align: center;"><math>w_{nat} = (m_0 - m_f) / m_f</math></p>



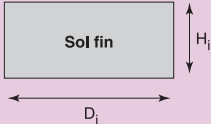
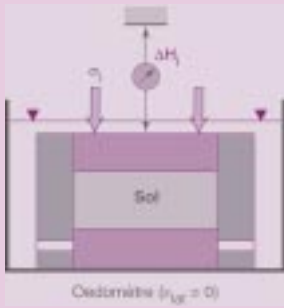
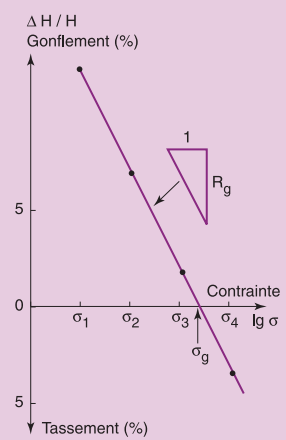
### ANNEXE 3 XP P 94-090-1

## Sols : reconnaissance et essais – Essai œdométrique – Partie 1 : Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers

Essai œdométrique	XP P 94-090-1
<p><b>Principe</b></p>	<p>L'essai consiste à appliquer, par paliers constants, une force sur une éprouvette de sol placée dans une enceinte cylindrique rigide (sans déformation transversale) et à mesurer les variations de hauteur de cette éprouvette maintenue saturée d'eau.</p>
<p><b>Préparation</b></p>  <p style="text-align: center;"><math>D_0 \geq 60 \text{ mm} ; 10 \text{ mm} \leq H_0 \leq 0,4 D_0</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Découper une éprouvette sur un prélèvement de sol fin (classe 1 selon XP P 94-202).</li> <li>– Mesurer son épaisseur <math>H_0</math>, sa masse <math>m_0</math>, son volume <math>V_0</math>.</li> <li>– Placer l'éprouvette dans un œdomètre entre deux disques drainants.</li> <li>– Mettre en eau.</li> </ul>
<p><b>Essai</b></p>  <p style="text-align: center;">Oedomètre (<math>\sigma'_{1H} = 0</math>)</p> <p style="text-align: center;">Temps <math>t</math></p> <p style="text-align: center;">Sous charge constante</p> <p style="text-align: center;"><math>\Delta H</math> ↓ Variation de hauteur</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Appliquer, par paliers, des charges maintenues constantes jusqu'à stabilisation (<math>t &gt; t_{100}</math>).</li> <li>• Chargement successif jusqu'à dépasser la contrainte de préconsolidation du sol (<math>\sigma'_p</math>).</li> <li>• Déchargement par paliers puis rechargement au-delà de <math>\sigma'_p</math>.</li> <li>– Mesurer, sous chaque charge, la variation de hauteur <math>\Delta H</math> de l'éprouvette jusqu'à stabilisation du mouvement.</li> </ul> <p><i>Cas particuliers</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Si l'éprouvette gonfle à la mise en eau : charger progressivement afin qu'aucun mouvement ne se produise.</li> <li>➢ Si les sols sont très fortement surconsolidés : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sans mettre en eau, charger par paliers maintenus constants jusqu'à stabilisation et dépasser très largement <math>\sigma'_p</math>.</li> <li>• Mettre en eau sous la charge maximale et décharger par paliers maintenus constants jusqu'à stabilisation.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Nota Bene :</b> Nécessité de faire des corrections de déformation de l'appareillage après étalonnage <math>D_i \geq 35 \text{ mm}</math>.</p>
<p><b>Exploitation</b></p> <p><math>\sigma'_p</math> : contrainte effective de préconsolidation</p> <p><math>C_c</math> : indice de compression</p> <p><math>C_s</math> : indice de décompression (ou de recompression)</p> <p><math>e_0</math> : indice des vides du sol en place</p> <p><math>\sigma'_{vo}</math> : contrainte effective de l'éprouvette de sol en place</p>	

## ANNEXE 4 XP P 94-091

### Sols : reconnaissance et essais – Essai de gonflement à l'œdomètre – Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes

Essai de gonflement	XP P 94-091
<p><b>Principe</b></p>	<p>L'essai consiste à mesurer les variations de hauteur, après mise en présence d'eau, de plusieurs éprouvettes placées dans un œdomètre, soumises à des contraintes différentes.</p>
<p><b>Préparation</b></p> <p>Nombre d'éprouvettes : <math>i \geq 4</math></p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;"><math>D_i</math></p> <p style="text-align: center;"><math>H_i</math></p> <p style="text-align: center;"><math>D_i \geq 50 \text{ mm} ; 10 \text{ mm} \leq H_i \leq 0,4 D_i</math></p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Découper sur un prélèvement (de classe <math>\leq 2</math> selon XP P.94-202) au moins 4 éprouvettes de même caractéristiques géométriques et sensiblement au même niveau.</li> <li>- Mesurer leur épaisseur <math>H_i</math>, – peser <math>m_i</math>.</li> <li>- Placer chaque éprouvette dans un œdomètre (déformation transversale <math>\epsilon_{lat} = 0</math>) entre deux disques drainants – (sans apport d'eau).</li> </ul>
<p><b>Essai</b></p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">œdomètre (<math>\epsilon_{lat} = 0</math>)</p> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer une contrainte axiale différente sur chaque éprouvette <math>\sigma_i</math> (attendre la stabilisation <math>\Delta H_i = c^{te}</math>).</li> <li>- Mettre en eau et attendre la stabilisation des mouvements <math>\Delta H_{fi}</math>.</li> <li>- Sécher totalement chaque éprouvette et la peser.</li> </ul>
<p><b>Exploitation</b></p> <p><math>\sigma_i</math> : contrainte appliquée à l'éprouvette  <math>\sigma_g</math> : pression de gonflement  <math>R_g</math> : facteur de gonflement</p>	<div style="text-align: center;">  </div>