



Habitat et ouvrages

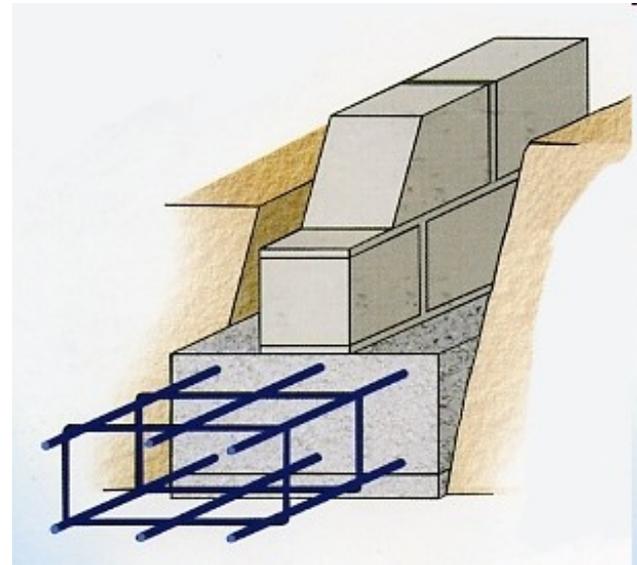
Sols et structures

5^e

Comment a-t-on construit ici ?

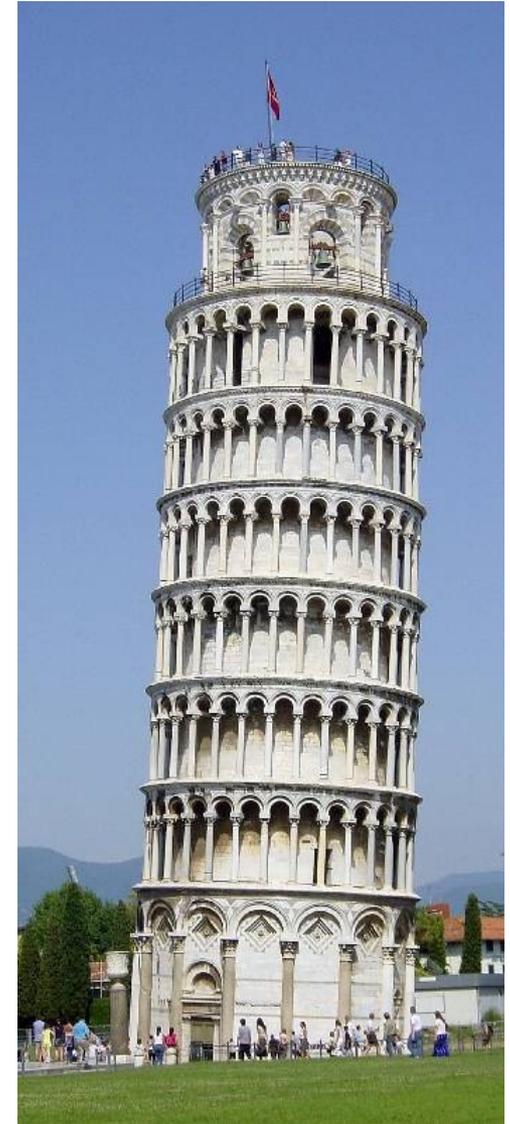
novembre
2010

DOCUMENT PROFESSEUR



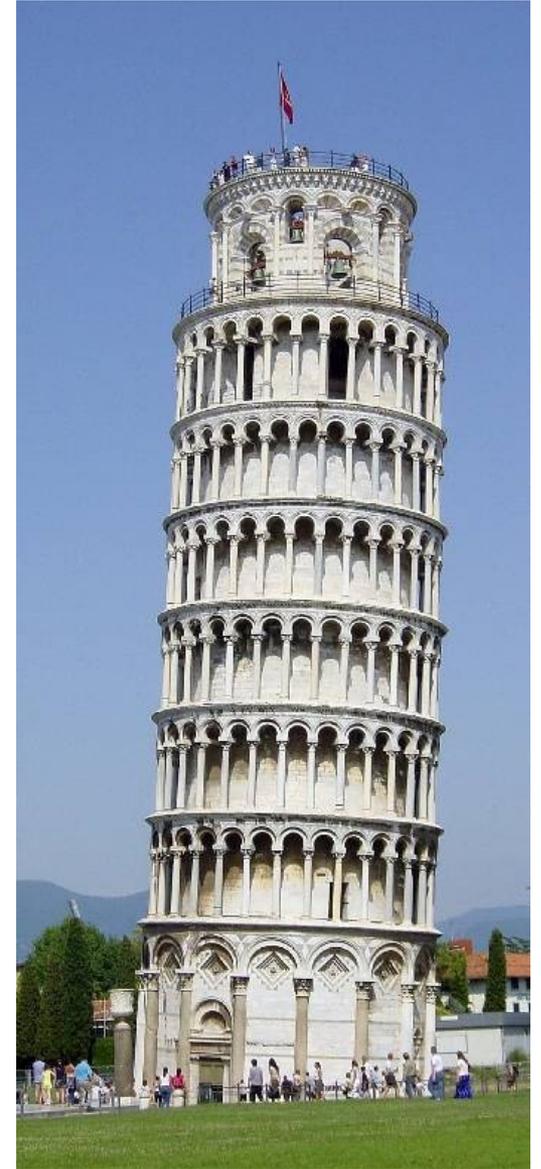
Mise en situation :

- Quelle remarque faites-vous en regardant la photo de la tour de Pise en Italie ?
- **R. Elle penche**
- A votre avis, pourquoi ?



Hypothèses possibles :

- Elle est trop lourde...
- Sa base est trop petite
- Sol mou...
- Trou dans le sol...
- ...



Recherches

- Depuis quand la tour penche-t-elle ?
- Pourquoi ?

http://fr.wikipedia.org/wiki/Tour_de_Pise

<http://www.linternaute.com/science/science-et-nous/pourquoi/07/tour-pise/tour-pise.shtml>

Réponses :

Au fur et à mesure que la construction s'élevait (1174), les travaux occasionnèrent l'affaissement des fondations de la tour. Il faut dire que le sol (alluvions) sur lequel elle s'appuie supporte une charge d'un kilogramme par centimètre carré, mais l'importance de la réalisation en marbre l'oblige à supporter un poids de dix fois supérieur...

La tour de Pise s'élève à 58,36 m au-dessus du sol avec un diamètre de base de 15,54 m. Son poids est estimé à 14.200 tonnes. La profondeur moyenne de la base est de 2,25 m.

On demande aux élèves d'imaginer des solutions qu'il aurait fallu mettre en œuvre à l'époque pour éviter ce problème :

Comment éviter l'enfoncement de la construction dans le sol ?

Hypothèses des élèves :

- la tour aurait dû avoir une base plus large,
- il aurait fallu enterrer plus la tour,
- il fallait construire une tour moins haute,
- ...

Pour valider leurs hypothèses, on a construit une « boîte à terrain » qui simule le comportement du sol en fonction de la masse de la construction.

Matériel mis à disposition des élèves : une boîte à terrain

Plaque recevant
Les poids
Dimensions :
80 x 80 mm
Ép. 10 mm

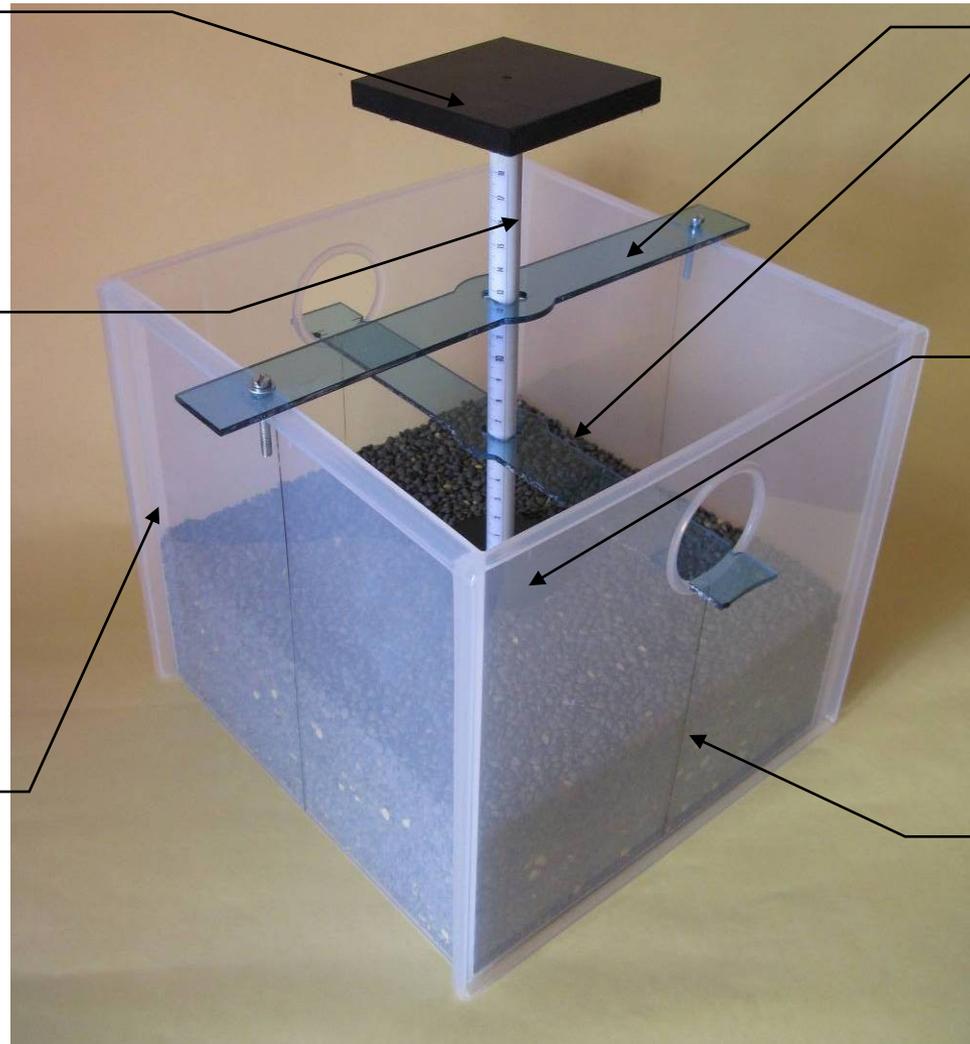
Tube PVC gradué
Ø 11 mm L : 230 mm
destiné à transmettre les
charges

Boîte en plastique
Base : 24 x 24 cm
Hauteur : 23 cm

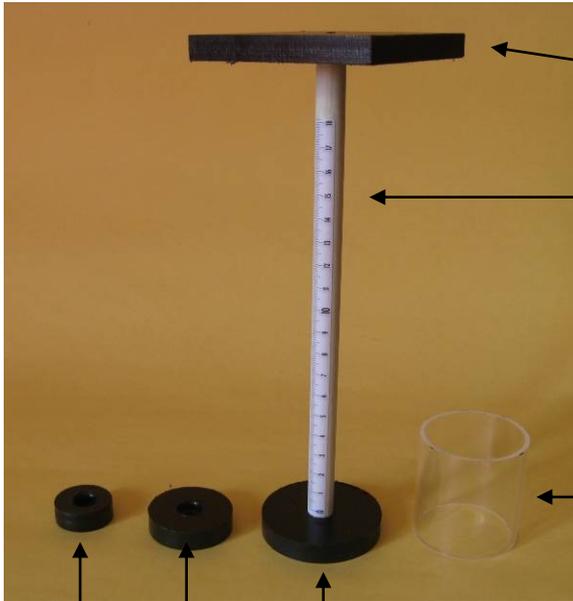
Guides de
verticalité :
Plexi ép. 3 mm

Surface
interchangeable
symbolisant la
fondation
(dimensions
variables)

lentilles

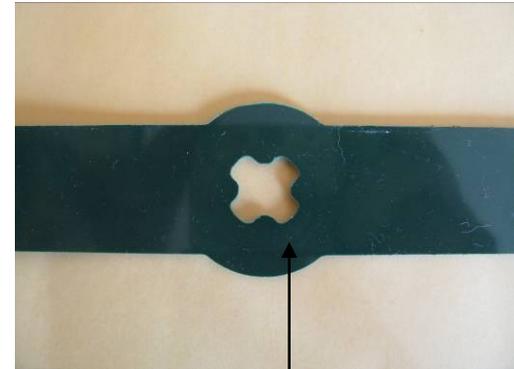


Matériel mis à disposition des élèves : données complémentaires



Plaque recevant les poids solidaires du tube gradué en mm

Tube PVC Ø Int. 45 mm
H = 52 mm
rôle : isoler S2



Détail du guide de verticalité : jeu entre tube et guide : 2/10ème

Surfaces interchangeables symbolisant la fondation, percées partiellement au diamètre du tube.

Ép. 10 mm

S1 : Ø 28,3 mm - Surface : 628 mm²

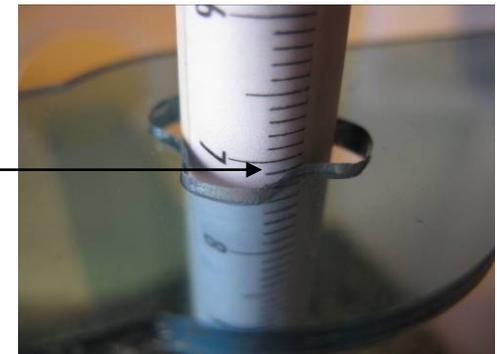
S2 : Ø 40 mm - Surface : 1256 mm²

S3 : Ø 56,5 mm - Surface : 2513 mm²

Environ 4 kg de lentilles

Exemple de lecture sur guide : 71 mm

Chaque surface est le double de la précédente



Matériel mis à disposition des élèves : données complémentaires

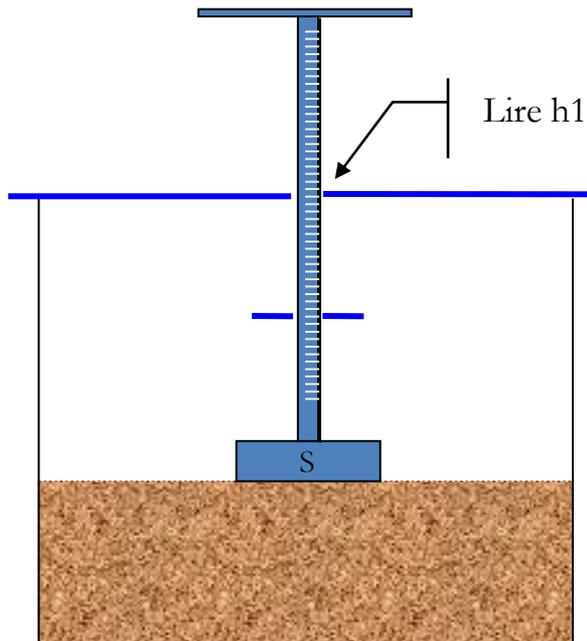
- La taille du récipient est importante : trop petit, il atténue le glissement entre les grains et fausse par conséquent les mesures. Il en est de même pour l'épaisseur de lentilles. Retenir comme règle minimum : pour une fondation de diamètre L , le côté de la boîte doit être de $5L$ et l'épaisseur de lentilles : $2L$.
- Les pièces en PVC et plexi sont taillées dans des chutes (toujours présentes dans le labo de technologie) à l'aide d'une fraiseuse à commande numérique.
- Coût estimatif :
 - Boîte : 8,00 €
 - 4 kg de lentilles : 10,00 €
 - PVC et plexi : 5 € (ou moins)
 - Un peu de temps et l'aide de la fraiseuse à CN.

Principe de fonctionnement de la boîte à terrain

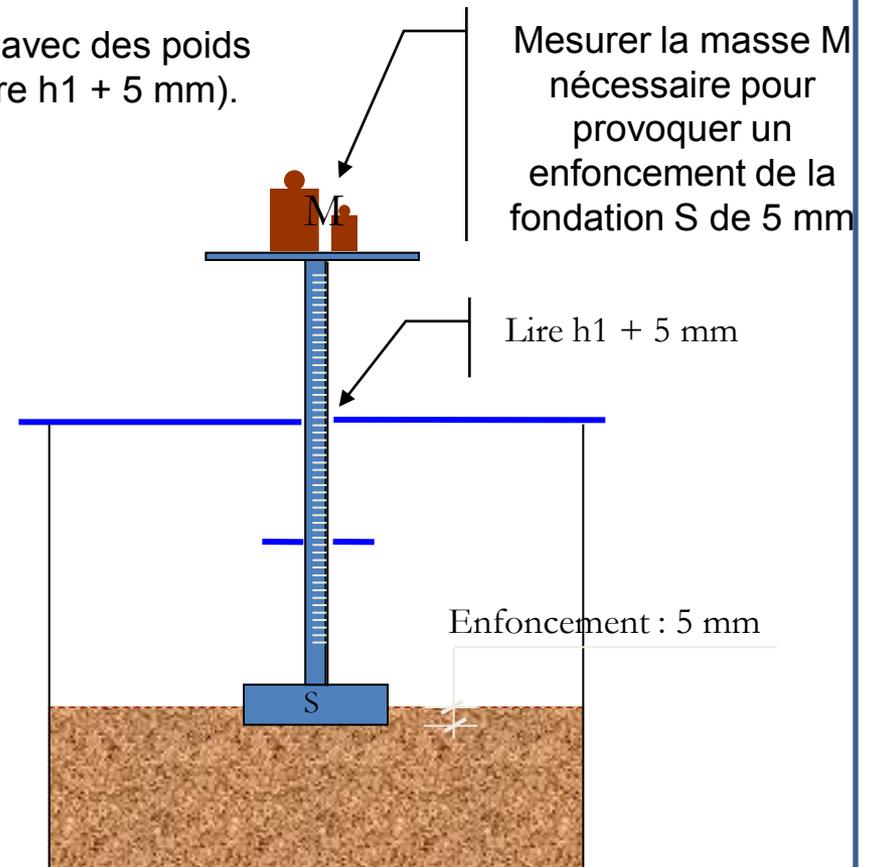
- Remarque préalable :
 - logiquement il aurait fallu mesurer la charge maximale admissible avant enfoncement de la fondation ; mais cette mesure est très délicate notamment pour les surfaces les plus petites (enfoncement sous faible charge suite à l'arrangement des grains en surface). Nous avons préféré mesurer la masse nécessaire pour enfoncer chaque fondation de 5 mm.

Principe de fonctionnement de la boîte à terrain

- 1) Après avoir nivelé la surface des lentilles en secouant la boîte, posez délicatement l'ensemble tige + fondation au contact des lentilles et lisez h_1 .
- 2) Chargez progressivement la plaque supérieure avec des poids jusqu'à obtention d'un affaissement de 5 mm (lire $h_1 + 5$ mm).
- 3) Mesurez M



PHASE 1



PHASE 2

Proposition de chronologie d'investigation

- Première manipulation :

Mesure de la masse M nécessaire pour obtenir un affaissement de 5 mm des fondations $S1$, $S2$ et $S3$ posées sur le sol symbolisé par les lentilles.

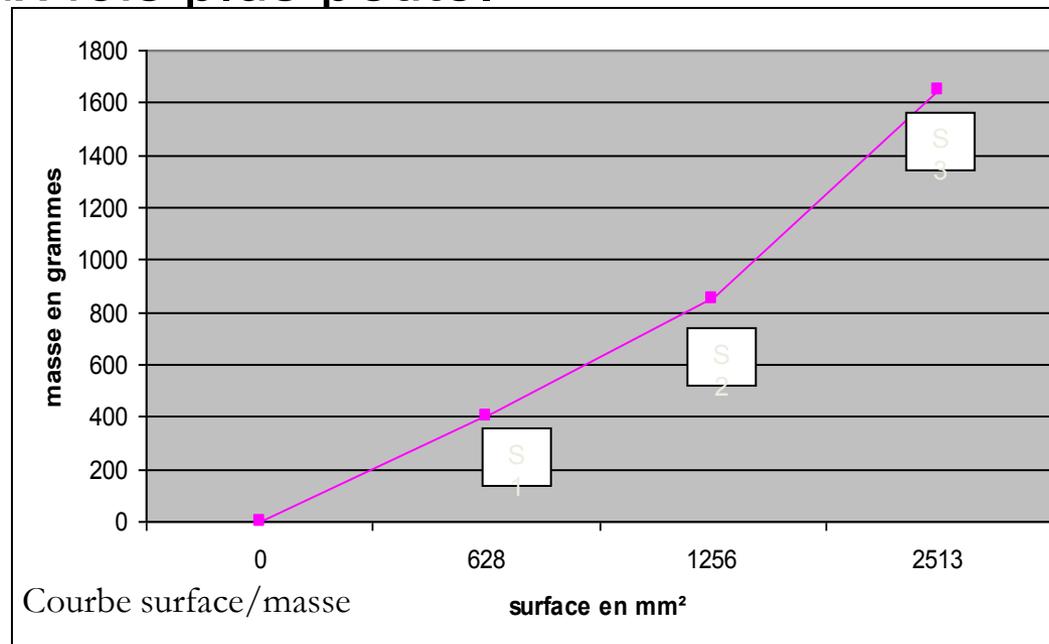
Résultats de l'expérimentation :

Surfaces des fondations	Masses nécessaires pour un enfoncement de 5 mm
$S1 = 628 \text{ mm}^2$	400 g
$S2 = 2S1 = 1256 \text{ mm}^2$	850 g
$S3 = 2S2 = 2513 \text{ mm}^2$	1650 g

Première manipulation :

- Constat :

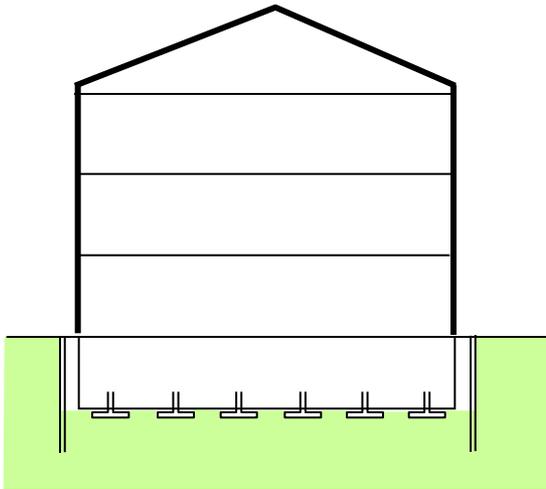
On remarque que la masse nécessaire pour provoquer l'enfoncement de 5 mm est proportionnelle à la surface. Par exemple la semelle S2 est capable de supporter environ deux fois plus de masse que la semelle S1 qui elle est deux fois plus petite.



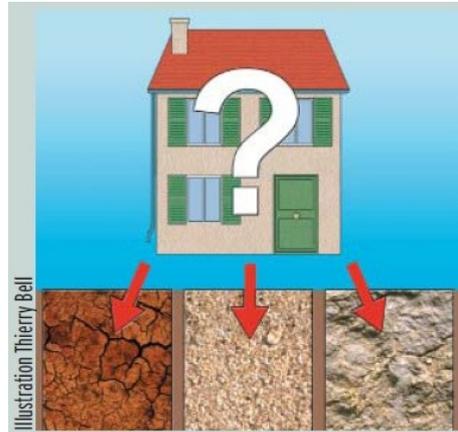
Ce qu'il faut en conclure :

- Pour qu'un bâtiment reste stable et ne s'enfonce pas dans le sol en provoquant des désordres (fissures...), il faut que ses fondations aient une surface suffisante.
- Plus le sol est de mauvaise qualité, plus la surface des fondations est importante.
- Sur un sol résistant, la surface des fondations est réduite.

Exemples de réalisations

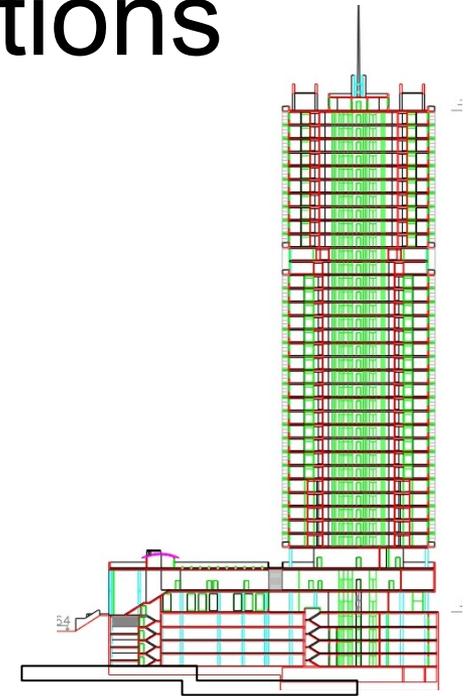


Bon Sol : semelles superficielles



Mauvais Sol :
radier général

(sur toute la surface
du bâtiment)

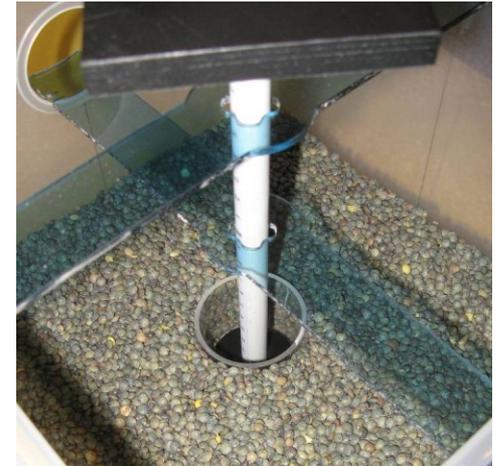
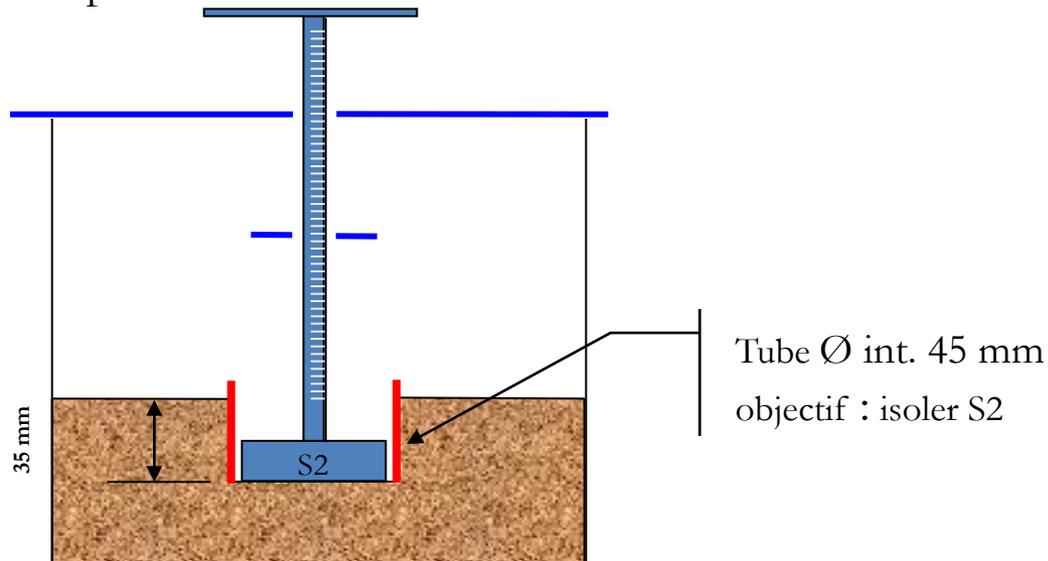


■ Deuxième manipulation :

Est-ce que le fait d'enterrer une fondation dans le sol change quelque chose ?

Reprendre le résultat précédent de la fondation S2 (850g pour 1256 mm²) et le comparer avec l'expérimentation suivante :

M = ? pour un enfoncement de 5 mm

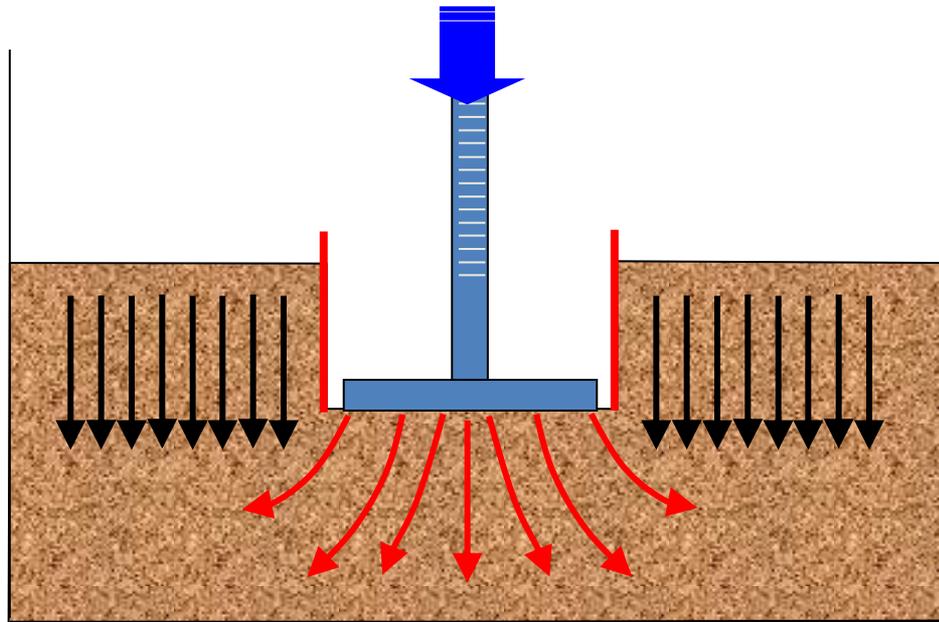


On trouve environ 1200 g soit presque une fois et demie la valeur précédente alors que la surface d'appui est la même !

Deuxième manipulation :

Explication :

- Que s'est-il passé ? Pourquoi, dans ce cas, la semelle est-elle capable de supporter une charge plus importante ?



La pression de la fondation sur le sol entraîne un déplacement (refoulement) de ses éléments constitutifs vers le bas et sur les cotés (flèches rouges).

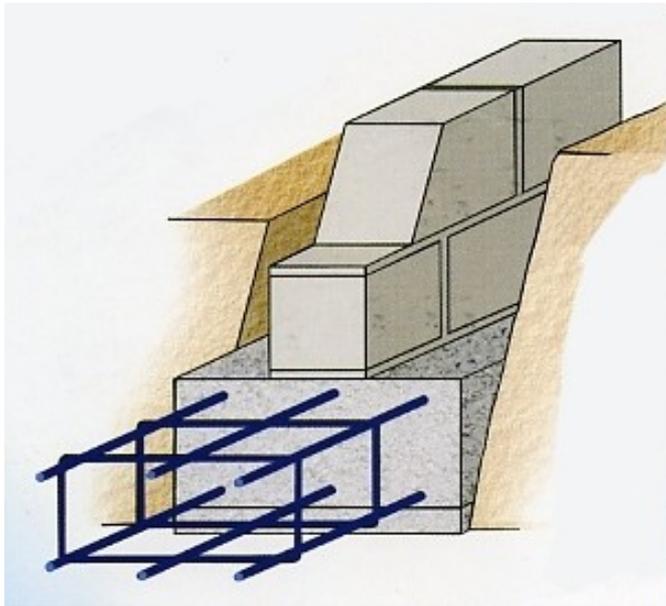
Mais, dans ce cas, ce déplacement est contré par le poids du sol situé de part et d'autre (flèches blanches).

Par conséquent la semelle peut encaisser des efforts plus importants.

Deuxième manipulation :

Ce qu'il faut en conclure :

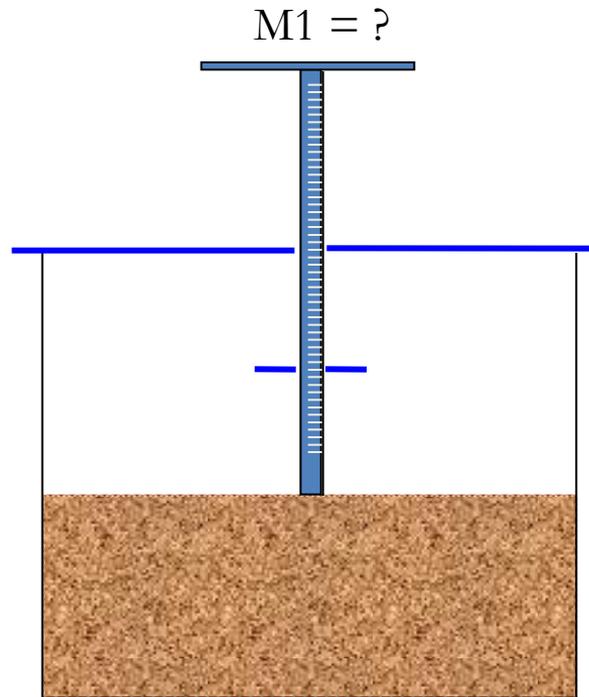
- À surface égale, une fondation est capable d'encaisser plus d'efforts si elle est enterrée dans le sol plutôt que posée sur celui-ci. Ceci lui permet également de reposer sur un sol à l'abri du gel.



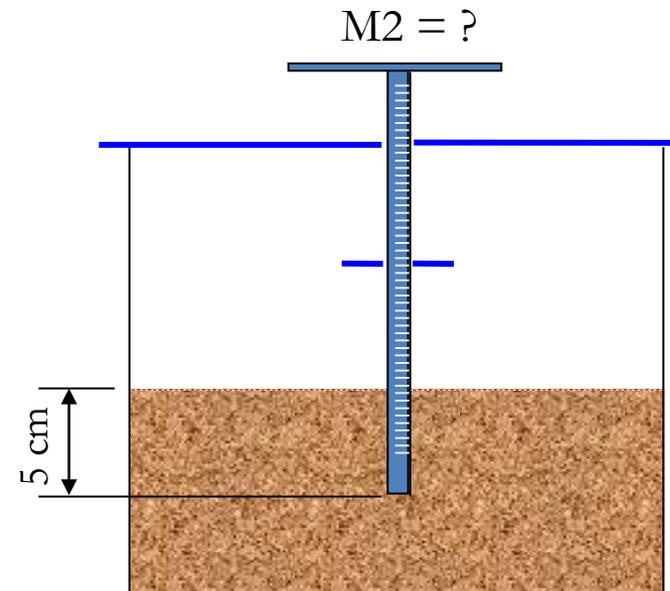
Troisième manipulation :

Le fait d'enfoncer profondément une fondation de petite surface a-t-il une influence ?

- Mesurez la charge nécessaire pour faire descendre de 5 mm la tige seule (sans fondation) dans les deux cas suivants et comparez les résultats.



CAS N° 1



CAS N° 2

Troisième manipulation :

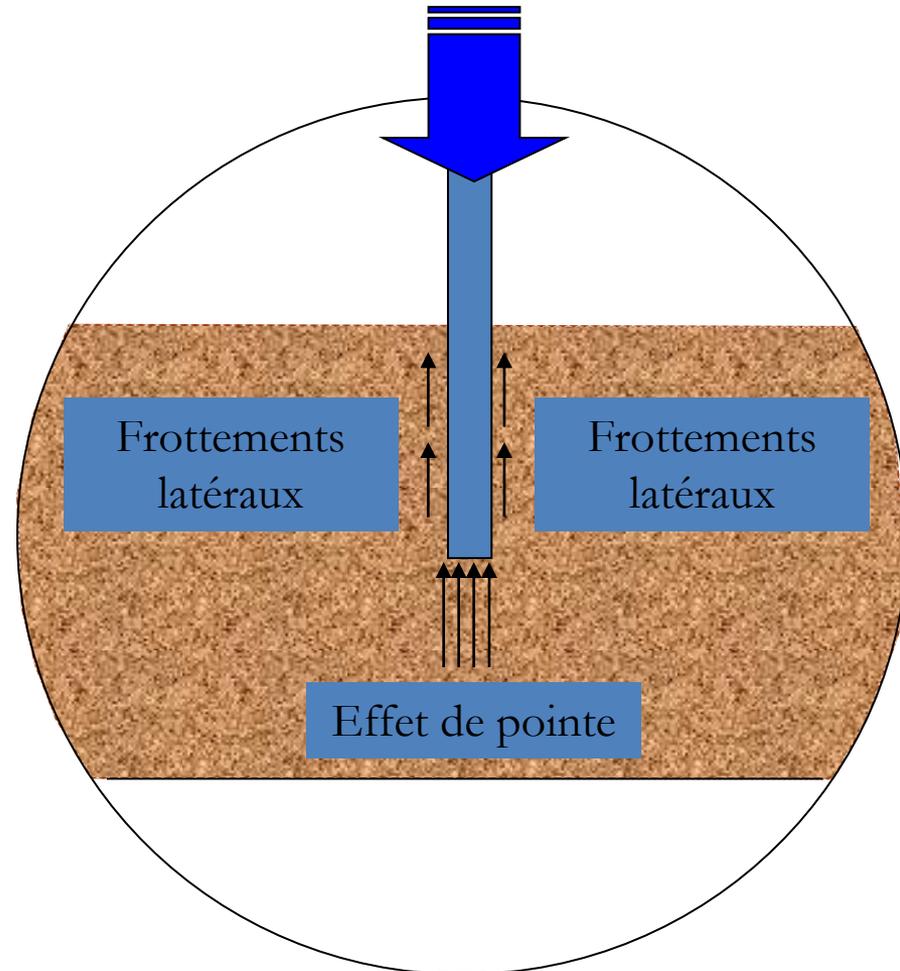
- Les mesures donnent les valeurs suivantes :
 - **M1 = 20 g**
 - **M2 = 600 g**
- Que s'est-il passé ?



Troisième manipulation :

Explication :

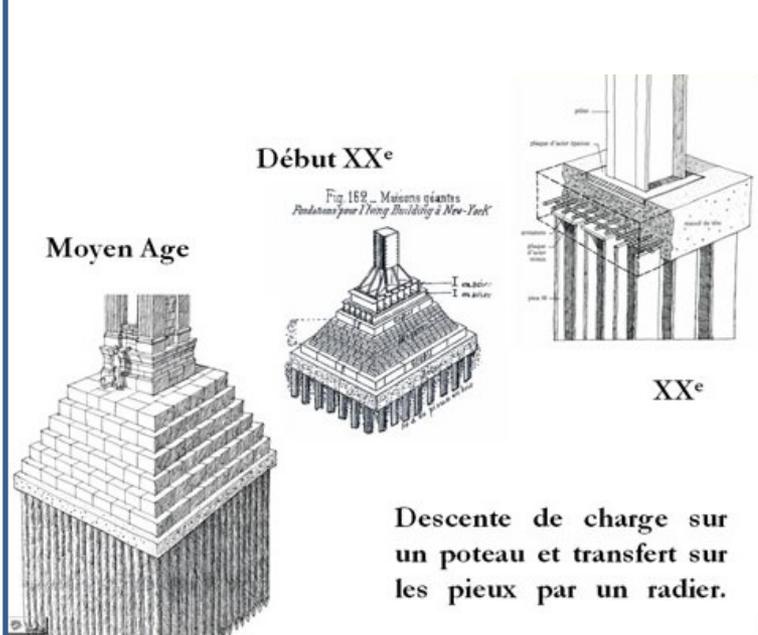
- Dans le premier cas, rien ne s'oppose au refoulement du sol sous la fondation ; une faible charge suffit à l'enfoncement.
- Dans le deuxième cas, deux phénomènes se conjuguent :
 - le volume de sol autour de la pointe s'oppose au refoulement de celui-ci ; on parlera d'effet de pointe.
 - À cela s'ajoutent des frottements latéraux sur la hauteur enterrée de la semelle permettant ainsi un chargement beaucoup plus important.



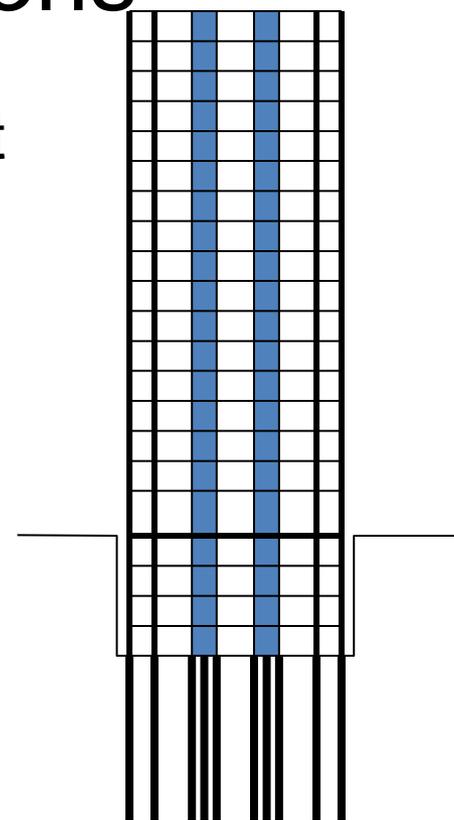
Troisième manipulation :

Exemples de réalisations

- Cette particularité est utilisée dans les fondations profondes de type « pieux » et ce depuis fort longtemps.



Pieux en béton
(seules les têtes
apparaissent)



Fondation sur
pieux

Ce qu'il faut en conclure :

Lorsque le sol est de très mauvaise qualité, une solution consiste à réaliser des fondations profondes de type pieux afin de transférer les charges en profondeur en utilisant notamment le phénomène de frottement entre les pieux et le sol qui s'ajoute à l'effet de pointe.