

# CHAPITRE I

## LES FONDATIONS

### I.1/ Généralités

On appelle fondation la base de l'ouvrage qui se trouve en contact direct avec le terrain d'assise et qui a pour rôle de transmettre à celui-ci toutes les charges de la construction.

Les fondations doivent assurer deux fonctions principales :

- reprendre les charges et les surcharges supportées par la structure ;
- transmettre ces charges et surcharges au sol sans compromettre la stabilité de l'ouvrage.

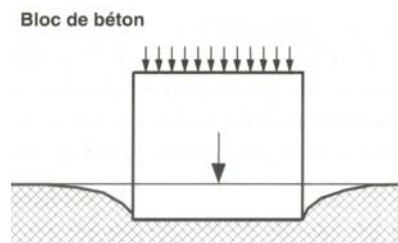
De ce fait, les fondations doivent être en équilibre sous :

- les sollicitations dues à la superstructure ;
- les sollicitations dues au sol.

Les fondations ont pour rôle d'assurer la stabilité de l'ouvrage en fonction des forces transmises par la superstructure et par le terrain.

✘ Les conditions de stabilité doivent conduire à respecter le principe fondamental de l'égalité des actions transmises par la superstructure avec les réactions transmises par le sol.

✘ le terrain d'assise ne doit pas tasser ni rompre sous les massifs de fondation. Les tassements tolérés sont des tassements instantanés (n'évoluent pas dans le temps) et uniformes (figure I.1), ils sont de l'ordre de 5 à 25 mm.

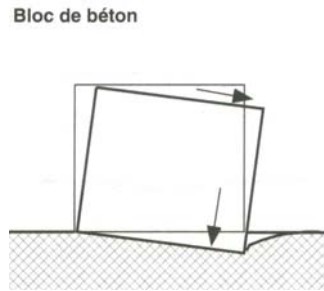


**Figure I.1 : Tassement uniforme**

Lorsque les tassements ne sont pas uniformément répartis sous l'ouvrage, ils sont dits "différentiels" (figure I.2). Ils peuvent faire apparaître des fissures dans les murs et les dalles. Ces tassements différentiels apparaissent dans les cas suivants :

- lorsque les fondations sont de natures différentes sous un même ouvrage ;
- lorsque les fondations s'appuient sur des couches de terrain de natures différentes ;
- lorsque l'ouvrage est chargé dissymétriquement, soit par sa superstructure, soit par des stocks.

- Lorsque deux bâtiments mitoyens sont construits à des époques différentes ;

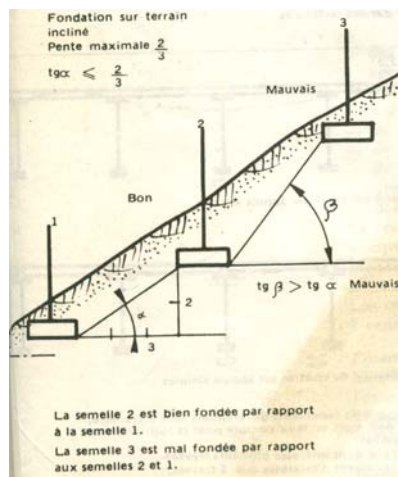


**Figure I.2 :** Tassement différentiel

Pour éviter ces phénomènes, on doit toujours adapter les massifs de fondation à la nature du terrain et au type de l'ouvrage à supporter. Il est nécessaire de prévoir des joints de rupture qui désolidarisent les différentes parties d'un bâtiment.

Les massifs de fondation doivent être conçus de façon à éviter toute translation et tout risque de renversement.

Pour les constructions réalisées sur des terrains inclinés, les actions exercées par les fondations sur le terrain ne doivent pas provoquer des glissements de l'ouvrage suivant la pente. La pente maximale entre les fondations doit être supérieure à  $2/3$  (figure I.3)



**Figure I.3 :** fondation sur terrain incliné

La résistance du sol de fondation peut être caractérisée par la **contrainte de compression admissible** ( $\bar{\sigma}_{sol}$ ) qu'il peut supporter. Cette contrainte est généralement comprise entre  $1/2$  et  $1/5$  de la capacité portante de ce sol.

### *Facteurs influant le choix des fondations*

- Le type d'ouvrage à fonder (immeuble, mur de soutènement, pont, etc.) ;
- la nature du terrain (sa résistance);
- le site ;
- Mise en œuvre des fondations ;
- Le coût des fondations.

Cependant le dimensionnement du massif de fondation est fonction :

- des charges supportées par la structure ;
- de la nature du terrain (résistance) ;
- du choix du type de fondation ;
- de la nature des matériaux employés.

### *Différents types de fondations*

Par définition ; la profondeur de la fondations est la distance verticale séparant la base inférieure du massif de fondation (semelle, pieu, pile, etc.) de la surface du sol, ou du plancher du sous-sol le plus bas.

Cependant, il existe une profondeur minimale des fondations, elle est fixée en fonction :

- du niveau porteur du sol d'assise relativement au poids de la construction à supporter ;
- de la protection contre le gel ;
- de la protection contre la sécheresse qui modifie la résistance du squelette porteur.

La profondeur minimale des fondations varie entre 50 cm en climat doux et 100 cm en pays montagneux où le gel est sévère.

## **I.2. CLASSIFICATION DES FONDATIONS**

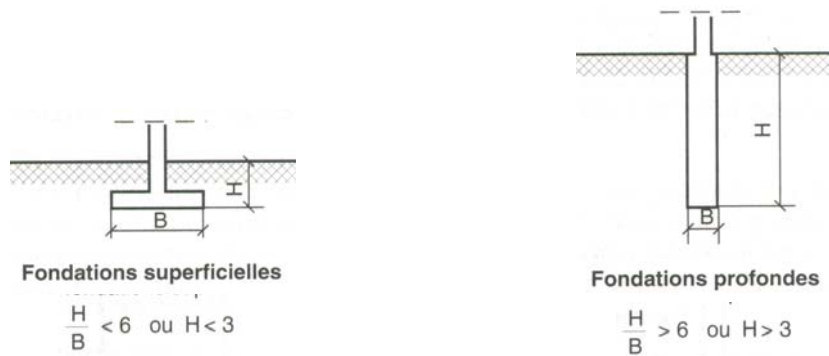
Fonder un ouvrage consiste essentiellement à répartir les charges qu'il supporte dans le sol, suivant l'importance des charges et la résistance du terrain.

- Lorsque les couches de terrain capables de supporter l'ouvrage sont à une faible profondeur, on réalise **des fondations superficielles** ;
- Lorsque les couches de terrain capables de supporter l'ouvrage sont à une grande profondeur, on réalise **des fondations profondes**.

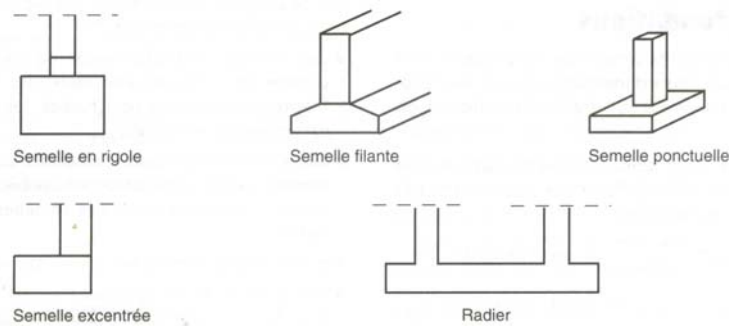
### **I.2. Fondations superficielles**

Par fondations superficielles, on désigne en général des fondations dont la profondeur n'excède pas 6 fois la largeur  $B$  de la fondation (figure I.4). On distingue essentiellement (figure I.5) :

- les fondations ponctuelles : constituées par des semelles isolées sous poteaux ;
- les fondations linéaires (ou filantes) : constituées par des semelles continues sous poteaux ou sous murs ;
- les fondations surfaciques : constituées par des radiers et cuvelage sous poteaux ou sous murs.



**Figure 1.4 :** Fondation superficielle, fondation profonde



**Figure 1.5 :** Différents types de semelles superficielles

### A/ Fondations ponctuelles

Il s'agit de semelles isolées sous poteaux destinées à transmettre au sol des charges concentrées plus ou moins importantes, la forme et les dimensions de ces semelles dépendent essentiellement de :

- les charges à transmettre ;
- la contrainte admissible du terrain d'assise ;
- la section droite du poteau reposant sur ces semelles. On leur donne une section **homothétique** à celle du poteau (carré, rectangulaire, circulaire, polygonale, etc.) de sorte à assurer une répartition uniforme des efforts suivant toutes les directions.

La forme de la semelle peut être très variée : carrée, rectangulaire, circulaire, polygonale, etc, mais pour des raisons de commodité de coffrage, elles sont carrées ou rectangulaires.

La section droite est déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$S \text{ (cm}^2\text{)} \geq \frac{Q \text{ (kg)}}{\bar{\sigma}_{\text{sol}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}}$$

S : surface de la semelle de fondation

Q : charge totale transmise à la fondation

$\bar{\sigma}_{sol}$  : contrainte admissible du sol de fondation (sol d'assise)

La hauteur utile de la semelle sera égale au plus grand nombre trouvé par l'une ou l'autre des relations (cas de semelles rectangulaires):

$$h_{u1} \geq \frac{A-a}{4} \quad , \quad h_{u2} \geq \frac{B-b}{4}$$

$h_u$  : hauteur utile de la semelle

A, B : dimensions de la semelle ;

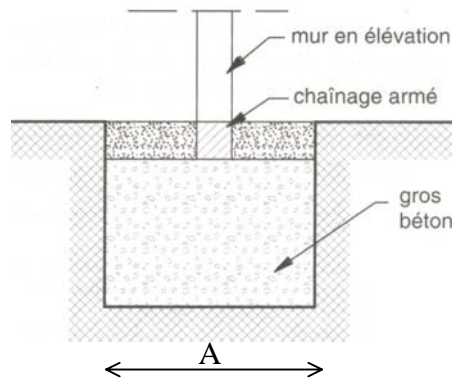
A, b : dimensions du poteau,

### B/ Fondation linéaire

Ce sont des fondations constituées par des semelles continues sous murs ou sous poteaux et dont le rapport (longueur /largeur ) dépasse 4.

**B.1/ Fondations en rigoles** : ce sont des semelles sous murs en maçonnerie et qui constituent des fondations superficielles de surface. Leur implantation se situe entre 60cm et 1m de profondeur de façon à être à l'abri du gel.

Elles sont constituées de gros béton, dosé à 250 kg/m<sup>3</sup> environ, coulées en pleine fouille. Les charges supportées par ces semelles sont relativement faibles (de 5 t/m à 40 t/m) (figure I.6).



**Figure I.6 : Fondation en rigole**

La largeur (A) de la semelle s'obtient de la façon suivante :

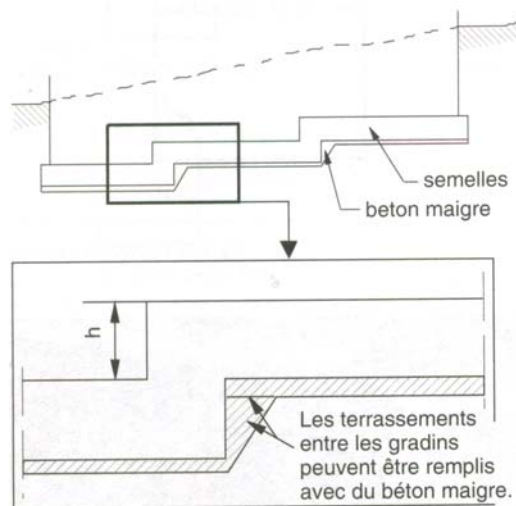
$$A \text{ (cm)} \geq \frac{Q \text{ (charge totale /m de mur, en kg)}}{100 \sigma_a \text{ (containte admissible du sol, en kg/cm}^2\text{)}}$$

C'est la largeur minimale à donner à la semelle, qu'elle soit armée ou non.

Cependant, les dimensions minimales admises sont :

- $A = 40$  cm, soit la largeur d'une pelle ;
- La profondeur  $H = 30$  à  $40$  cm, sous réserve d'un ancrage suffisant et d'être hors gel ;
- La hauteur de la semelle est, en général, au moins égale à la moitié de sa largeur.

L'assise doit être rigoureusement horizontale. Lorsqu'une pente ou des dénivellations existent, le rattrapage des niveaux se fait par des redans de hauteur appropriée (figure I.7).

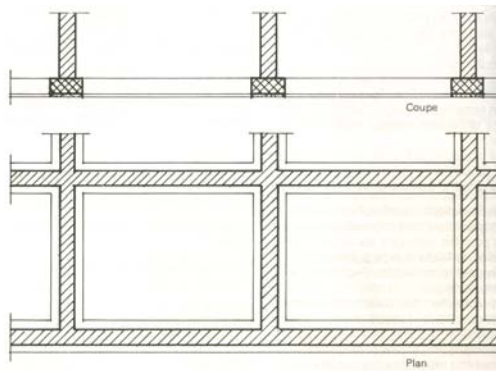


**Figure I.7 :** Fondation en redans

## B.2/ Semelle filante en béton armé

### B.2.1/ semelle filante sous mur

Lorsque la contrainte admissible du sol est faible par rapport aux charges à transmettre ou que la largeur calculée de la semelle impose un débordement important, on choisit la semelle en béton armé (figure I.8) :

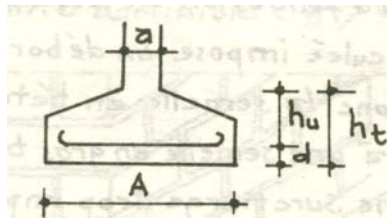


**Figure I.8 :** Semelle filante sous mur

La largeur de la semelle (A) se calcule de la même manière que pour la semelle en gros béton, mais la hauteur peut être réduite grâce à l'aide d'armatures qui viennent palier la faible résistance du béton à la traction (figure I.9).

$$A \text{ (cm)} \geq \frac{Q \text{ (charge totale /m de mur, en kg)}}{100 \sigma_a \text{ (containte admissible du sol, en kg/cm}^2\text{)}}$$

$$h_u \geq \frac{A-a}{4}$$



*Figure I.9 : Dimensions d'une semelle isolée*

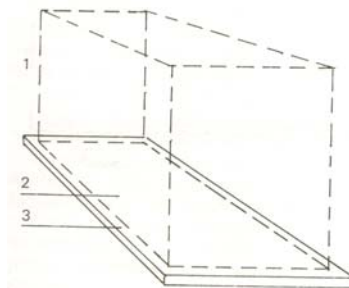
### **B.2.2/ semelle filante sous poteaux**

Lorsque les semelles dans une direction donnée sont proches les unes des autres, on réalise une semelle continue sous la file de poteaux qu'elles supportent.

La largeur est déterminée de la même manière que celle de la semelle filante armée sous mur.

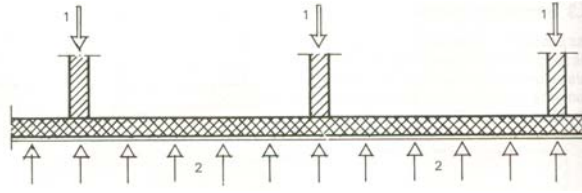
### **C/ Fondation surfacique : le radier**

Lorsque la contrainte admissible du sol est faible et que les charges de l'ouvrage sont importantes, il résulte des semelles aux très larges empattements, se touchant presque ; il devient plus raisonnable de réaliser un radier général, soit une semelle commune pour toute la construction (figure I.10).

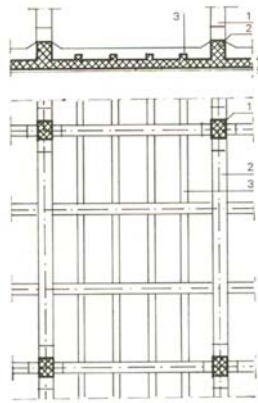


*Figure I.10 : Schéma de principe d'un radier : 1. bâtiment à construire ; 2. Radier général ; 3. Débord du radier*

Le radier peut être constitué par une simple dalle épaisse (figure I.11) ou par des poutres longitudinales et transversales reliant les poteaux et soutenant une dalle plus mince (radier nervuré) (figure I.12).



**Figure I.11** : Schéma d'un radier plat (dalle) en B.A



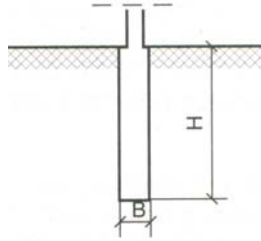
**Figure I.12** : Schéma d'un radier nervuré : 1. Pilier ; 2. Poutre principale ; 3. Nervures transversales ; 4. radier, épaisseur 12 à 14 cm ; 5. Béton de propreté

### D/ Béton de propreté

Une fondation superficielle est toujours coulée sur un béton de propreté. Il est constitué par une épaisseur de béton de 5 cm environ et dosé à 150 à 200 kg/m<sup>3</sup> de béton. il sert à niveler le fond de fouille et empêcher les remontées de boue, nuisibles à l'enrobage lors du coulage de la semelle en BA.

### I.3. Fondations profondes

On appelle fondation profonde toute fondation dont l'encastrement dans le sol (H) excède 6 fois la largeur de la semelle (B) (figure I.13).



**Figure I.13:** Fondation profonde

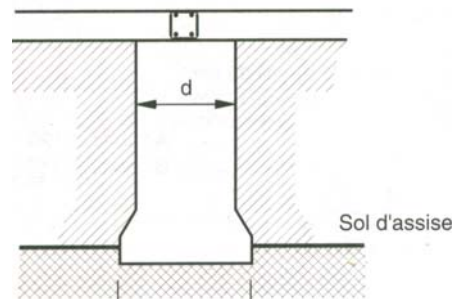
Ce mode de fondation est utilisé lorsque les charges à transmettre au sol sont très importantes et lorsque le terrain en surface ne peut pas les supporter.

Les fondations profondes sont surtout utilisées pour les ouvrages importants supportant de fortes charges (bâtiments industriels, ouvrages d'art, etc.)

On distingue deux types de fondations profondes :

#### **A/ Fondations sur puits**

Ce mode de fondation consiste à remplir de béton la fouille dénommée puits. On établit ainsi de gros piliers dans le but de reporter les charges sur un bon sol situé à une assez grande profondeur. Il s'agit de fortes colonnes de béton de cailloux et gravillons, souvent élargies en patte d'éléphant à leur base et sollicitées en tête par des semelles isolées armées destinées à répartir les charges que le puits devra transmettre au terrain d'assise.



**Figure I.14 :** Fondations sur puits

Ces puits ont le plus souvent une section circulaire, mais peuvent aussi avoir des sections rectangulaires ou carrées. Chaque puits est relié à l'autre par une longrine en béton armé (figure I.15). L'écartement économique entre deux puits doit être supérieur à 2,5 fois le diamètre du puits.

Les constructions civiles ne sont en général guère fondées sur des puits allant au dessous de 6 à 8m. Exception faite des travaux de fondations de grands ouvrages publics (ponts, quais, etc.).

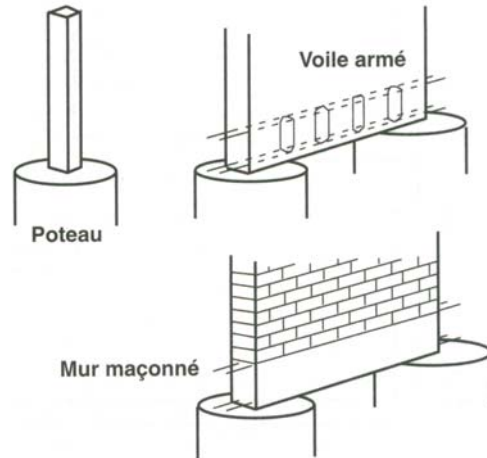


Figure I.15 : disposition des éléments sur le puits

La section du puits est calculée en fonction de la charge à transmettre par ce puits et de la contrainte admissible du sol sur lequel repose ce puits, soit :

$$S \text{ (surface à la base du puits, en m}^2\text{)} = \frac{Q \text{ (charges totales, en t)}}{\sigma_{adm} \text{ (contrainte admissible du sol de fondation, en t/m}^2\text{)}}$$

La section d'un puits ne doit pas être inférieure à 1 m<sup>2</sup>, et le diamètre est généralement supérieur à 0,8 m.

Le puits est, en général, élargi à sa base en "patte d'éléphant" et ce lorsque la contrainte admissible du terrain est insuffisante.

La composition du béton utilisé pour la réalisation de puits est celui d'un béton maigre de cailloux (600 à 700 l) et de gravillon (300 à 350 l), 450 l de sable, avec un dosage à 250 kg pour 1m<sup>3</sup> de béton.

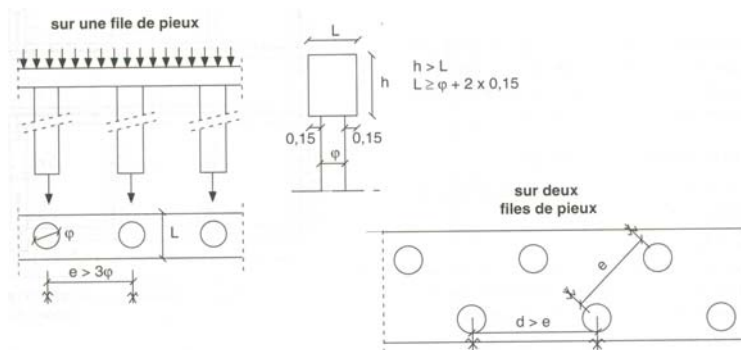
### **B/ Fondations sur pieux**

Lorsque la charge à transmettre est importante (ouvrages d'art, bâtiments industriels, etc.) et que le bon sol (capable de supporter cette charge) se trouve à une profondeur supérieure ou égale à 10 fois la largeur de la fondation, on est amené à réaliser des fondations sur pieux.

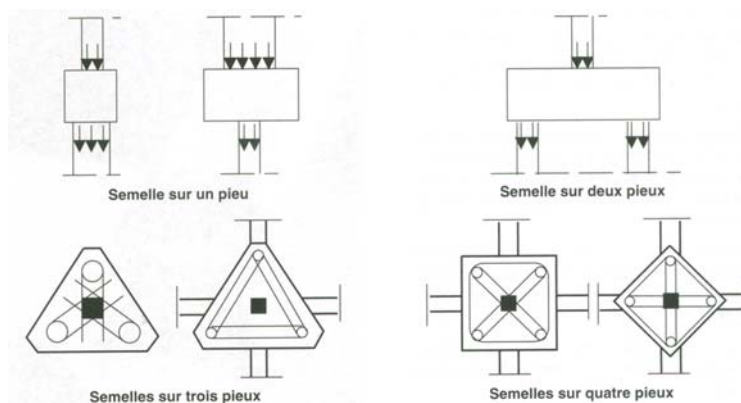
La fondation sur pieux convient à toutes les superstructures quelle que soit leur conception et la manière dont les charges sont descendues (concentrées, uniformes, réparties ou non). Il est nécessaire, cependant, d'adapter la disposition des pieux au mode de liaison nécessaire afin d'assurer la rigidité de l'ouvrage :

- pieux alignés réunis par poutre continue sous mur porteur (figure I.16) ;
- pieux régulièrement dispersés supportant un véritable radier de répartition uniforme des charges (figure I.16).

- pieux groupés coiffés de semelles armées et chaînées sous bâtiments ossaturés (figure I.17) ;



**Figure I.16 :** File de pieux sous mur



**Figure I.17 :** pieux groupés

Le pieu est caractérisé par la résistance à l'enfoncement. Elle dépend de la nature du terrain traversé. D'une façon générale, on distingue :

- les pieux résistant à l'enfoncement uniquement par frottement latéral contre le terrain traversé : il s'agit de pieux flottants. Ce type de pieu est surtout exécuté dans les terrains argileux compacts ; les pieux doivent être longs.
- Les pieux résistant à l'enfoncement par la rencontre d'un terrain résistant : c'est l'effet de pointe. Ce type de pieu est surtout utilisé lorsqu'une couche de terrain résistante est située à une profondeur compatible avec le type d'ouvrage à exécuter. La longueur des pieux dépend de la profondeur du terrain d'assise.
- Les pieux résistant à l'enfoncement par frottement latéral et par effet de pointe : c'est le cas le plus fréquent. Pour qu'un pieu résiste à l'enfoncement, il faut que son poids propre + le poids des charges qu'il doit transmettre soient inférieurs à la somme des forces dues à l'effet de pointe et au frottement latéral.

Les pieux sont des pièces longues de forme générale prismatique (carré, etc.) ou cylindrique **enfoncés** ou **confectionnés** dans le sol. Ce peut être :

- des pieux façonnés à l'avance (ou préfabriqués). Ils peuvent être en bois, métal, en béton armé ou en béton précontraint ;
- des pieux exécutés sur place en béton armé ou non (pieux forés, pieux à tubes).

On distingue alors les types suivants :

**1/ pieux préfabriqués** : ils sont réalisés en béton armé, en béton précontraints, en bois ou en acier. Ils se composent :

- d'une tête permettant le fonçage (a) ;
- d'un corps plein ou évidé, dont la section droite est polygonale ou circulaire (b) ;
- d'une pointe qui favorise la pénétration du pieu dans le sol. Elle est de forme conique.

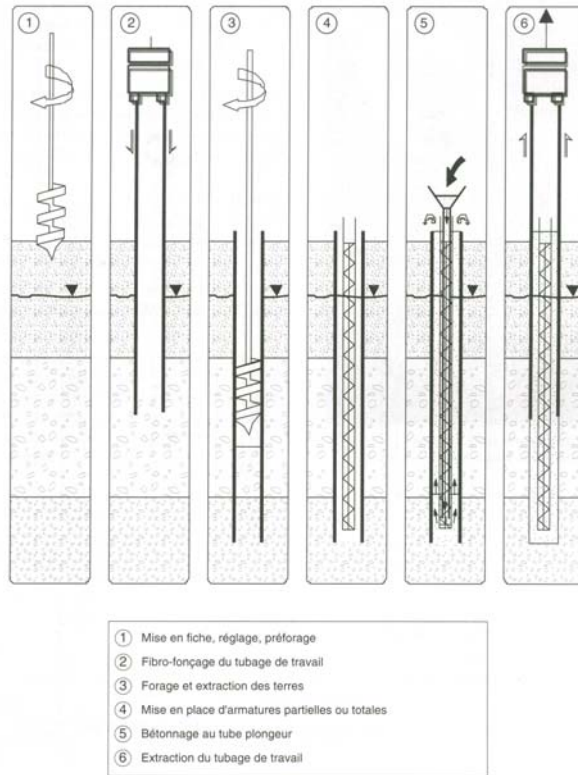
La longueur des pieux pleins e B.A ne peut pas dépasser 25 m et leur section est assez faible (25 à 40 cm de côté ou de diamètre).

Cependant, on peut utiliser des pieux spéciaux pour aller au delà de 25m et jusqu'à 60m. Ce peut être des pieux évidés, des pieux creux, dont la section est portée jusqu'à 1m et la parois mesure de 8 à 10 cm d'épaisseur.

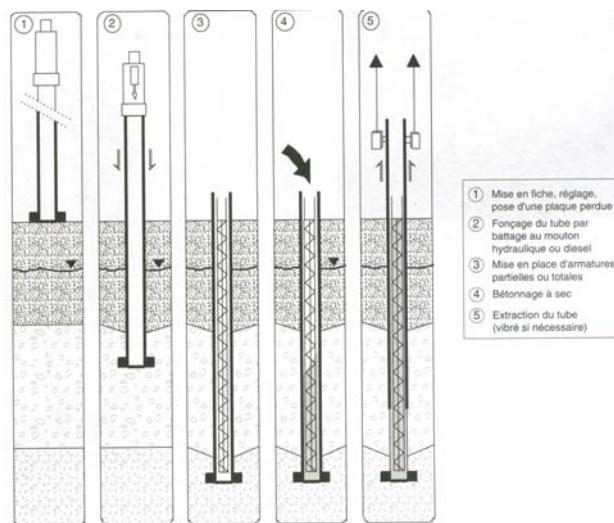
Les pieux en acier sont de formes diverses et sont obtenues à partir de profils du commerce et leurs longueurs peuvent être très importantes.

## **2/ Pieux moulés sur place**

ils sont exécutés en béton ou en béton armé dosé de 350 à 400 kg/m<sup>3</sup>, ils peuvent être forés (figure I.18) ou à tube battu (figure I.19).



**Figure I.18 :** Exécution de pieux forés tubés



**Figure I.19 :** Exécution de pieux moulés dans le sol à tube battu.