

### I-TERRASSEMENTS

#### I-1-Définition

Les terrassements sont des travaux qui se rapportent à la modification du relief du terrain. Ils sont réalisés par l'exécution de déblais et de remblais.

Les déblais consistent à abaisser le niveau du terrain par enlèvement des terres appelés aussi fouilles ou extraction.

Les remblais consistent à rapporter des terres afin de relever le niveau appelés aussi remblaiement.

On distingue plusieurs types de terrassements, on pourra citer notamment :

- Le décapage
- La fouille en grande masse ou en pleine masse
- La fouille en rigole ou en tranchée
- La fouille en puits
- La fouille en galerie

#### I-2-Décapage des terres

Il est appelé aussi terrassement en découverte, de faible profondeur ou terrassement superficiel. Il est destiné à enlever la terre végétale (10cm à 30cm) sur la surface de l'emprise du terrassement général et l'emplacement des voies d'accès, installation de chantier, baraques,...

La terre végétale sera mise en dépôt à la périphérie du chantier pour être réutilisée pour les aménagements extérieurs (espaces verts,...).

Il faut choisir un emplacement de stockage qui ne gêne aucune évolution des travaux ni être traversé par des futures canalisations. Il faut veiller également à ce que la terre végétale ne soit pas souillée par des gravats ou autre,....

Travaux compter au  $m^2$  en générale mais si la profondeur n'est pas constante ils seront comptés au  $m^3$ .

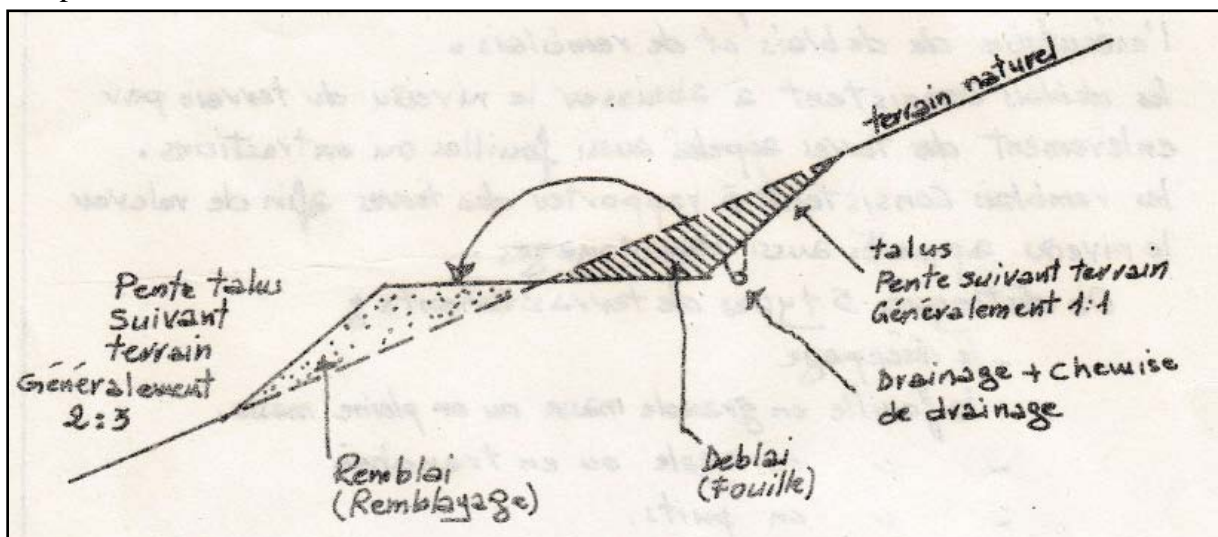


Figure 1: Schéma remblais et déblais en coupe transversale

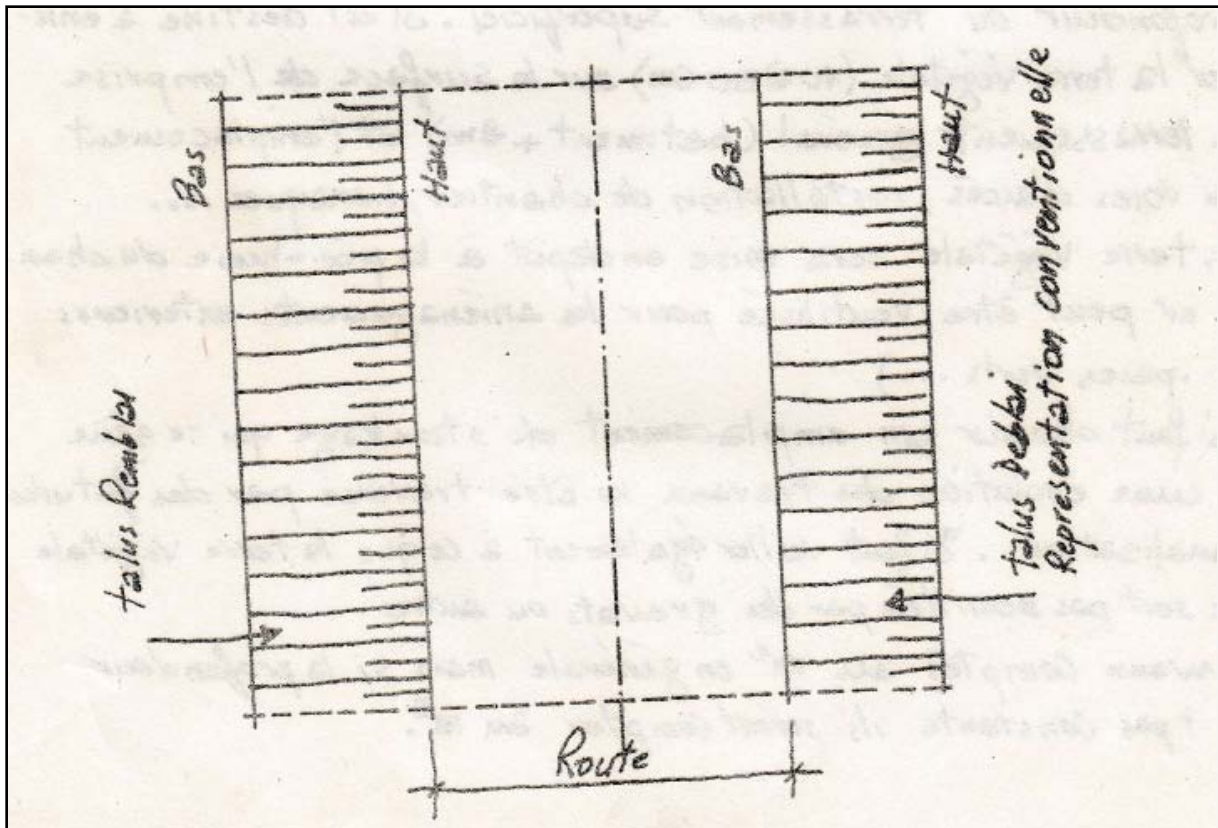


Figure 2 : Schéma remblais et déblais en plan (vue en plan de figure 1)

### I-3-La fouille en pleine masse

C'est le terrassement principal d'une construction. La profondeur est fonction de l'importance de l'ouvrage.

Au niveau du fond de fouille, la distance entre mur et terre sera au minimum de 50cm, pour permettre l'exécution de l'étanchéité, le drainage,....

Les terres excédentaires doivent être immédiatement évacuées et on ne gardera sur le chantier que les terres nécessaires aux différents remblaiements. Les travaux sont comptés au  $m^3$ .



Figure 3 : Fouille en pleine masse

## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

### I-4-La fouille en rigole ou en tranchée

C'est une tranchée destinée à recevoir les fondations (semelles filantes), longrines et différentes canalisations. La largeur de cette fouille est fonction de la nature du terrain et de la profondeur.

On admet en général :

Une largeur de 0.40m pour une profondeur allant jusqu'à 0.60m,

Une largeur de 0.65m pour une profondeur allant jusqu'à 1.00m,

Une largeur de 0.75m pour une profondeur allant jusqu'à 1.30m,

Une largeur de 0.80m pour une profondeur allant jusqu'à 1.50m,

Une largeur de 1.00m pour une profondeur allant jusqu'à 2.00m,

Une largeur de 1.20m pour une profondeur allant jusqu'à 3.00m,

Une largeur de plus de 1.90m pour une profondeur supérieure à 4.00m,

Si la profondeur dépasse 2.50m la fouille est assimilée à la grande masse.

Pour des raisons de sécurité, le boisage (ou étagage) des parois de la fouille est obligatoire dès que l'on dépasse 1.50m, sauf si les travaux sont exécutés dans une roche compacte. Les travaux sont comptés au m<sup>3</sup>.



Figure 4 : Fouille en tranchée

### I-5-La fouille en puits

C'est un terrassement de petite surface et de grande profondeur destiné à recevoir : fondations de poteaux, fosse d'ascenseur,.... Dans ce type de fouille, l'étagage prend le nom de blindage.



Figure 5 : Fouille en puits



## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

### I-6-La fouille en galerie

Elle est exécutée sous terre et nécessite non seulement un étayage des parois, mais encore des plafonds.



Figure 6 : Fouille en galerie

### I-7-La fouille en talutée

Le talutage empêche l'éboulement d'une tranchée en éliminant la poussée des terres.

Le talutage, et spécialement le talutage en gradins, exige une importante emprise au sol.

Les talus sont caractérisés par leur angle d'inclinaison (pentes de talus) qui sont fonction de la nature du sol (caractéristiques physique du sol)

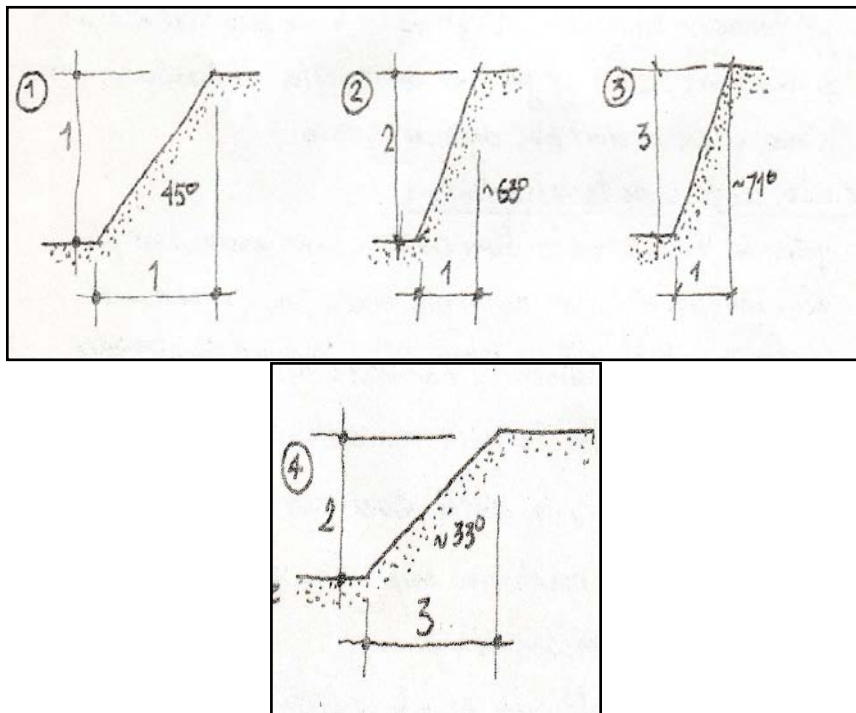


Figure 7 : Quelques exemples de pentes de talus

Pentes maximales de talus

Figure 7 (1) : terrain ébouleux 1 : 1

Figure 7 (2) : terrain tendre résistant 2 : 1

Figure 7 (3) : terrain très compact 3 : 1

## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

Figure 7 (4) : talus autoroute

2 :3



Figure 8 : Talutage en déblais

### I-8-La fouille verticale

Cette possibilité est retenue dans le cas où la surface du terrain est très exiguë, elle limite le volume des déblais mais oblige le blindage des parois afin d'éviter qu'elles ne s'effondrent et d'éviter de porter atteintes à la stabilité des constructions mitoyennes (travaux fréquents en tissu urbain).

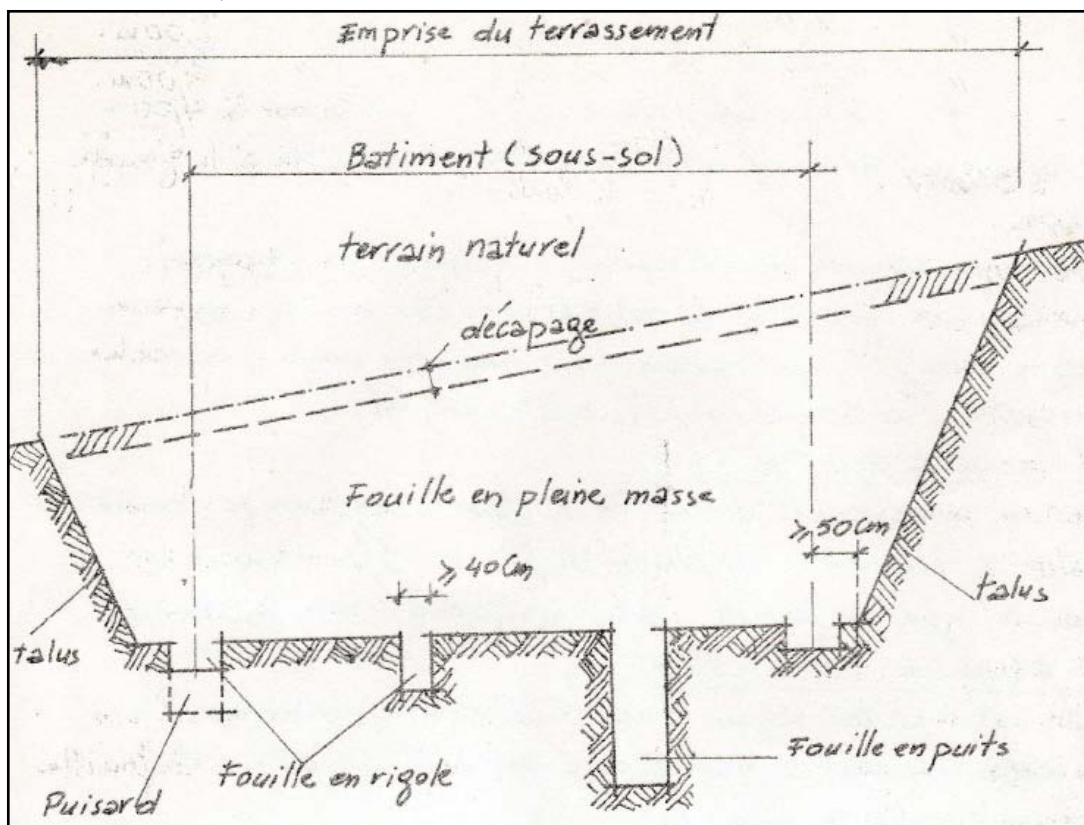


Figure 9 : Schéma de principe des fouilles

### II-BLINDAGE DES PAROIS DE FOUILLES

Dans le cas des fouilles larges ou pleine masse il faut assurer la stabilité soit par l'intérieur à l'aide de batterie d'étais, soit par l'extérieur pour éviter l'encombrement à l'intérieur de la fouille en réalisant des palplanches fichées en tête des parois moulées ancrées.

Les voiles pour éviter les éboulements des parois sont réalisés à partir de la surface du sol avant même l'ouverture de la fouille pour assurer une grande sécurité.

On peut aussi procéder à l'ouverture et blinder au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

#### II-1-EXCAVATION PAR BLINDAGE EN COURS DE TERRASSEMENT

La réalisation d'une fouille blindée peut être mise en œuvre en cours d'exécution. Le blindage doit avoir les qualités suivantes :

- pouvoir être mis en place et déposé sans exposer les exécutants au risque d'éboulement. Le sol doit assurer une cohésion pendant la durée du terrassement sous le blindage et pendant la phase de pose du blindage. Dès lors, la pose en milieu saturé n'est pas recommandée ;
- être suffisamment résistant à la poussée des terres et aux efforts obliques.

Plusieurs types de blindages peuvent être mis en place en cours de terrassement et sont présentés ci après.

##### II-1-1 Blindage par panneaux ou caissons

Le blindage par panneaux en bois/béton ou par caissons en bois ou métalliques est réalisé au fur à mesure du terrassement. Les blindages mettant en œuvre des panneaux en bois ou béton sont souvent utilisés lors de terrassements manuels étant donné la gêne qu'occasionnent les étançons (vérins à vis). Dans certains cas, le blindage est de type « perdu ». Lorsque la technique fait appel à des caissons métalliques, le terrassement à l'aide d'excavatrice est possible. Les largeurs de fouilles peuvent alors être plus importantes. Pour le dé-blindage, les éléments inférieurs sont démontés ou remontés au fur et à mesure du remblayage.

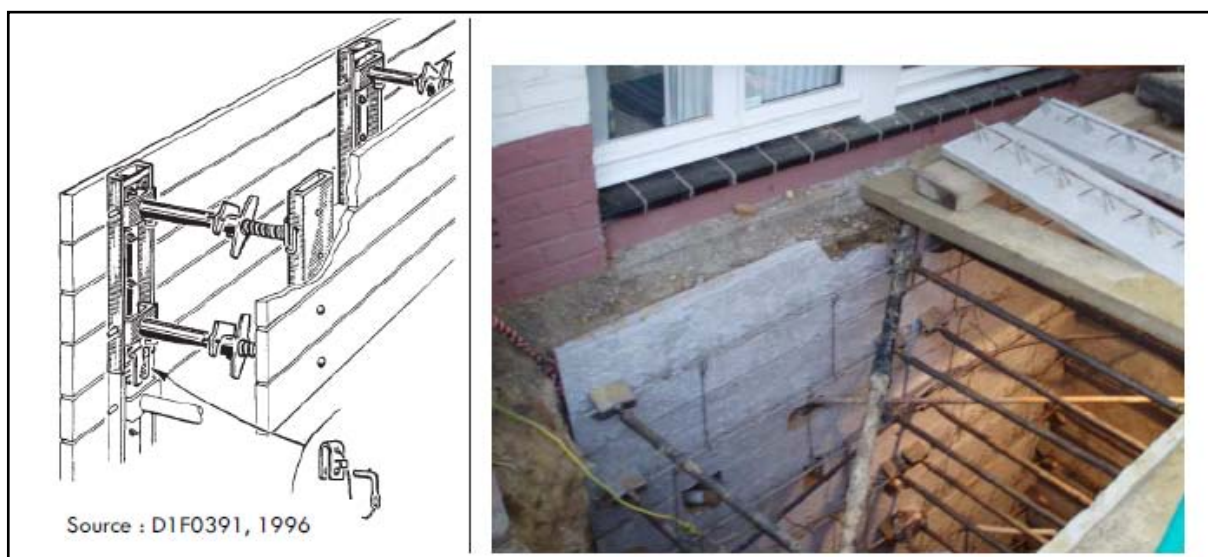


Figure 10 : Excavation en fouille blindée





Figure 11 : Caisson métallique

### II-1-2 Paroi cloutée

Le blindage à l'aide d'une paroi cloutée consiste à projeter du béton de  $\pm 30$  cm d'épaisseur sur la passe terrassée. La paroi est armée de treillis et est ancrée dans le terrain par des clous (barres d'acier scellées dans le sol par un coulis de ciment).

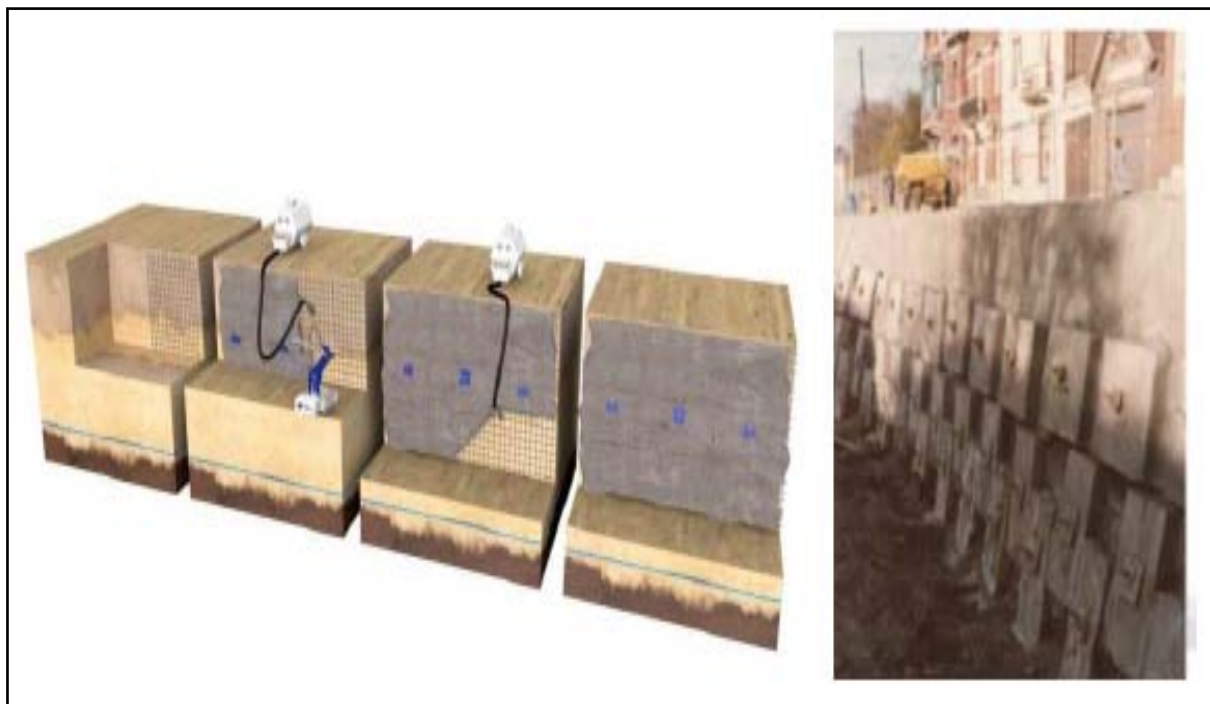


Figure 12 : Illustrations de parois cloutées

### II-1-3 Paroi berlinoise

La technique de blindage à l'aide d'une paroi berlinoise consiste à poser le blindage des parois en cours de terrassement, mais elle nécessite l'implantation au préalable de profilés métalliques en H dans des trous de forages distants d'environ 2,5 m et scellés en pied.

## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

Au fur et à mesure du terrassement, des madriers horizontaux entre les ailes des H et des planches verticales contre la terre à soutenir sont placés. Les H peuvent également être tirantés ou butonnés en fonction des caractéristiques de la fouille. Des variantes à la paroi berlinoise sont, par exemple :

- la paroi Lutécienne où les madriers en bois sont remplacés par du béton projeté dans une armature métallique ;
- la paroi Parisienne où les poteaux sont en béton armé. Après terrassement de la passe, un béton est coulé entre les poteaux.

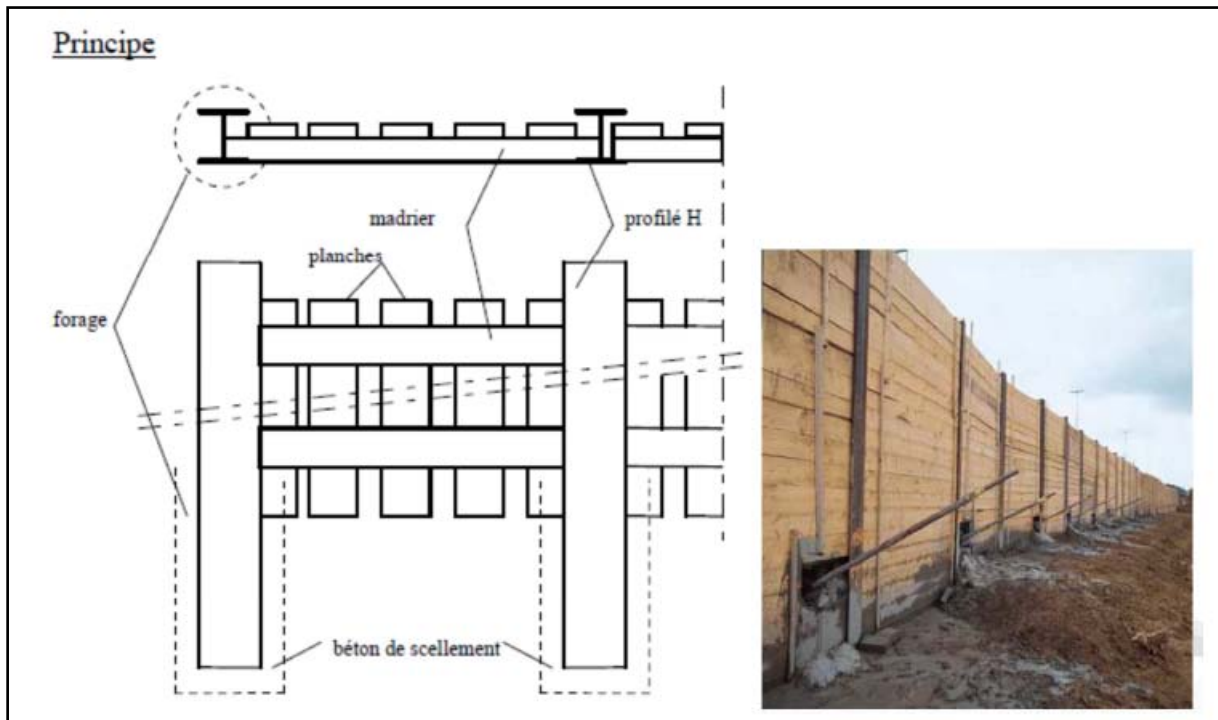


Figure 13 : Schéma de principe de la paroi berlinoise traditionnelle

### II-2-EXCAVATION PAR BLINDAGE AVANT TERRASSEMENT

Dans le cas de fouilles de grande taille, profondes ou dans des sols de faibles cohésions, le système de blindage sera mis en œuvre avant la réalisation du terrassement. Plusieurs types de blindages pouvant être mis en œuvre avant de procéder au terrassement sont présentés ci-après.

L'étude d'une paroi de soutènement nécessite un dimensionnement de plusieurs paramètres en fonction de la profondeur du terrassement, de la nature du sol, de la présence d'une nappe, d'infrastructures environnantes... Les paramètres clés sont :

- calcul de la fiche (partie du blindage qui sera sous le niveau du terrassement);
- détermination des ancrages et dimensionnement des tirants ;
- détermination de la flexibilité maximale du blindage.

#### II-2-1 Rideau de palplanches

Une palplanche est un pieu profilé destiné à être battu ou vibrofoncé dans le sol meuble. Elle est solidaire des pieux voisins par l'intermédiaire de nervures latérales appelées « serrures ». Un rideau de palplanches permet la réalisation d'un mur imperméable lorsqu'un produit d'étanchéité est appliqué dans la serrure. En milieu urbain, on peut également enfoncer les palplanches en force avec un vérin hydraulique. Cette méthode, silencieuse et



## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

n'exerçant aucune vibration sur les ouvrages adjacents, entraîne cependant un remaniement du sol susceptible de tassements différentiels à long terme.

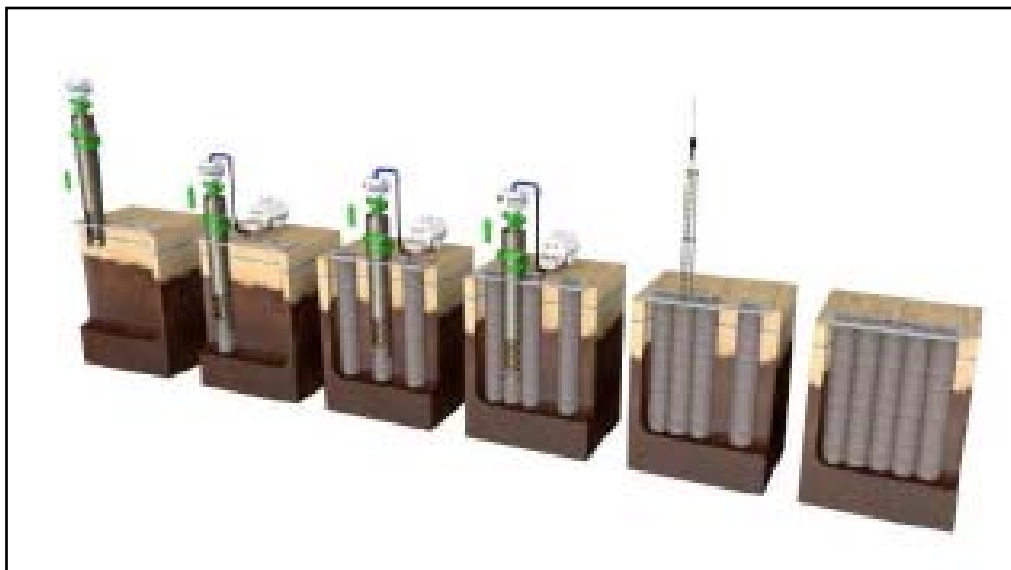


Figure 14 : Illustration de la serrure et d'un rideau de palplanches

### II-2-2 Rideau de pieux

La paroi de pieux est constituée d'une série de pieux en béton tangents (ou jointifs) ou sécants (ou coupants). C'est une mesure de soutènement des terres en sol meuble ou induré en fonction de la technique de forages (tarière ou pieu foré). Cette technique est souple, flexible (par exemple, en forme arrondie) et permet de traverser des horizons de béton ou de roche.

Lorsque les pieux sont sécants, le rideau est étanche. En cas de pose en milieu saturé, la quantité en béton doit être supérieure à  $375 \text{ kg/m}^3$ .



(A)



(B)

Figure 15 : Illustration de pose de pieux sécants  
((A) procédé de réalisation, (B) ouvrage après réalisation)

En fonction des conditions de terrain, les pieux peuvent être :

- des pieux vissés ou battus avec un refoulement de terres ;
- des pieux vissés à la tarière ou forés avec extraction des terres. Dans ce cas, les terres en surface doivent être gérées.

Contrairement aux pieux battus, les pieux vissés ou forés n'occasionnent pas de vibrations. Ils seront donc privilégiés en milieu urbain.

### II-2-3 Paroi moulée

Une paroi moulée (mur emboué de 0,5 à 1,5 m d'épaisseur) est un écran de soutènement formé dans le sol meuble, réalisé par la mise en place de béton et d'une armature en acier dans une tranchée creusée à l'aide d'une benne d'excavation sous fluide de support (par exemple de la bentonite). Cette technique n'occasionne pas de vibration mais nécessite beaucoup de place pour la centrale de préparation de la bentonite et la zone de stockage (minimum 300 m<sup>2</sup>). De plus, l'emprise de travail doit avoir une vingtaine de mètres de large. Les terres et la bentonite devront faire l'objet d'une évacuation.

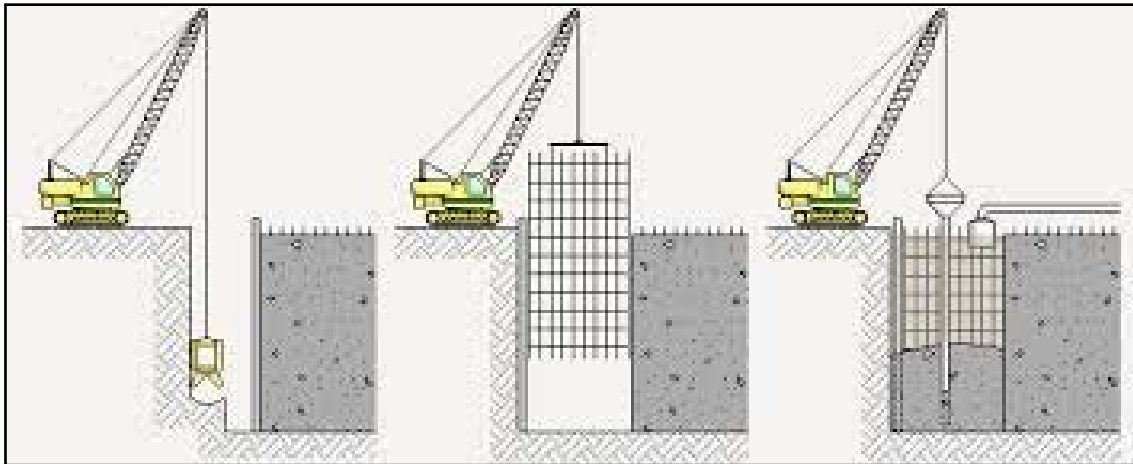
Cette technique ne peut être mise en œuvre que si la nappe se trouve à minimum 2 m de profondeur. Si la nappe est artésienne, une profondeur supérieure sera nécessaire en fonction de la pression de celle-ci.

La paroi moulée peut également être rendue étanche.

## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER



(A)



(B)



(C)

Figure 16 : Illustration des travaux de réalisation d'une paroi moulée  
((A) benne d'excavation et paroi moulée finie, (B) étapes de réalisation d'une paroi moulée,  
(C) photo de travaux de réalisation d'une paroi moulée)



## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

### III-LES TERRASSEMENT DANS LES TERRAINS ROCHEUX

On peut classer les terrains rocheux en deux catégories :

- Les sols rippables,
- Les sols nécessitant l'utilisation d'explosifs.

#### III-1 Extraction sans explosifs

Dans les petits chantiers on utilisera le marteau piqueur, il peut être pneumatique, thermique ou électrique.

Dans les chantiers de travaux publics on utilisera pour les roches fragmentées le bouteur, le brise roche et l'engin à pince.



(A)



(B)



(C)

Figure 17 : Illustration des terrassements en terrain rocheux  
((A)buteur ou bulldozer, (B) engin à pince (C) brise roche)

### III-2 Extraction a l'aide d'explosifs

Dans le cas des roches compacts et dures on a recours à l'explosif.

L'explosif produit la dislocation des roches par l'énorme pression résultant de la formation subite et instantanée de gaz au moment de la détonation. On réalise des perforations, que l'on bourre et qu'on fait exploser.



Figure 18 : Dislocation par explosif

## IV- GESTION ET VALORISATION DES DECHETS ISSUS DU BTPH

L'Algérie produit chaque année plusieurs millions de tonnes de déchets de chantiers. Souvent enfouis, ces déchets ne sont que peu valorisés, alors que ce secteur peut générer énormément d'emplois, et aura surtout un impact positif sur l'environnement en diminuant l'extraction des ressources naturelles (fossiles) d'une part et solutionnera le problème de leur mise en décharge.

## CHAPITRE II: TECHNIQUES DE PREPARATION DU CHANTIER

Ces déchets de construction, de démolition ou de rénovation ne sont ni inertes, ni dangereux, et demeurent tout à fait valorisables lorsqu'ils ne sont pas mélangés à des matières nocives. Parmi les grandes familles qui composent cette catégorie de déchets du BTP, on trouve :

- Du plâtre, une matière qui, lorsqu'elle est correctement traitée par les entreprises de valorisation des déchets de chantier- et donc débarrassée de ses éventuels polluants- possède l'immense qualité d'être recyclable à l'environnement. Traitée et asséchée après usage, elle retrouve les qualités naturelles de sa base minérale (le gypse) et peut alors entrer dans la composition d'un produit neuf. On la retrouve donc sur de nouveaux chantiers.
- Des métaux ferreux ou non-ferreux, ces déchets du BTP qui, une fois expédiés chez des métallurgistes ou des sidérurgistes industriels, peuvent être refondus et réutilisés pour fabriquer de nouveaux produits.
- Des plastiques, qui, là encore, peuvent être lavés, broyés ou régénérés sur des sites spécialisés, et vendus à des plasturgistes qui se chargeront d'utiliser ces ex-déchets de construction – devenus de nouvelles matières premières - pour fabriquer des emballages, des tuyaux en PVC, divers profilés, des fibres textiles, des flacons etc.



(A)



(B)





(C)



(D)

Figure 19 : Opérations de tri et de remise en valeur des matériaux issus du BTPH  
((A) Aire de stockage des matériaux, (B) opérations de tris, (C) broyage et concassage, (D) granulat recyclé).

### V-LES ENGINS DE TERRASSEMENT

Pour les terrassements d'une certaine importance, il est plus économique d'utiliser des engins mécaniques. Le rendement de ces machines est variable, car il dépend de plusieurs facteurs : puissance et capacité de la machine, type de fouille, terrain rencontré,... Ainsi le débit varie entre 20 et 400 m<sup>3</sup> à l'heure d'excavation.

Les principales machines employées pour ces travaux sont :

#### V-1-La pelle mécanique ou hydraulique

Cette machine offre une grande variété d'emploi et peut être équipée de 4 manières différentes, chacune correspondant à un type de travail particulier.

##### V-1-1 En rétrocaveuse

Pour sols tendres à durs, utilisé pour les travaux où le niveau de la fouille se trouve en contre-bas de l'assise de la machine, particulièrement intéressant pour la réalisation de fouilles en rigoles destinées à la pose de canalisations, utilisé également pour le remblaiement de ces fouilles et pour la manutention et pose des conduites de gros diamètre.



Figure 20 : Pelle hydraulique en rétrocaveuse

### V-1-2 En butée

Pour sols tendres à semi-compacts, utilisé pour les travaux où le front d'attaque est situé au dessus de l'assise de la machine.

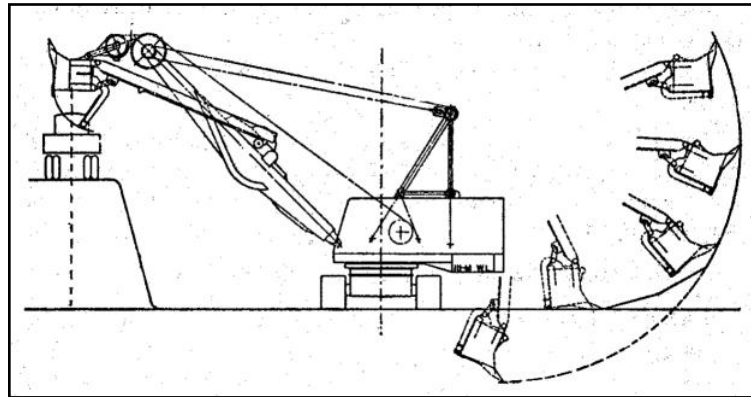


Figure21 : Pelle mécanique en butée

### V-1-3 En dragueline

Pour sols tendres à semi-compacts, utilisé pour les travaux où le niveau de la fouille se trouve en contre-bas de l'assise de la machine et que les terres sont déposées sur les berges de l'excavation.

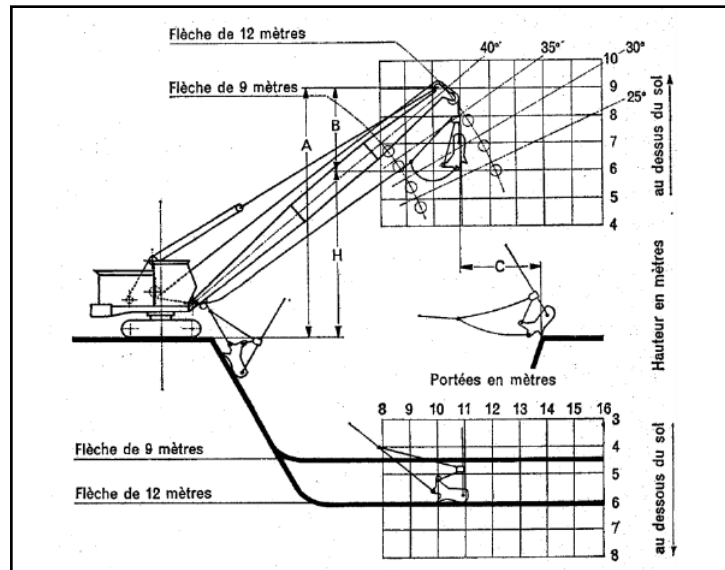


Figure 22 : Pelle mécanique en dragueline

### V-1-4 En benne preneuse

Pour sols tendres ou défoncés.

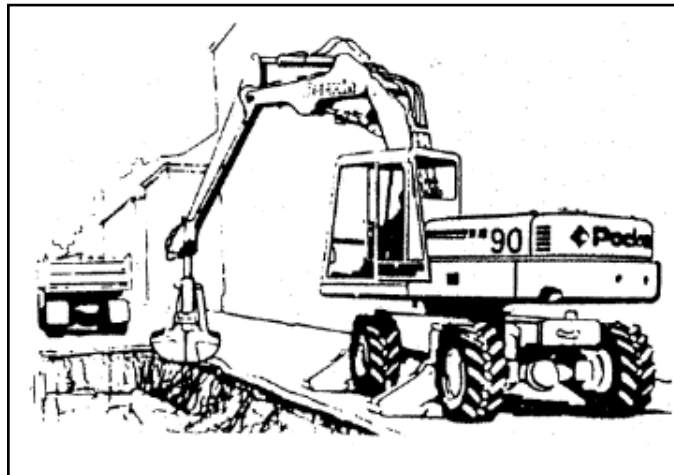


Figure 23 : Pelle hydraulique en benne preneuse

### V-2-La pelleteuse-chargeuse

Machine utilisée dans les terrains tendres à semi-compacts ou défoncés, pour les fouilles en pleine masse et les remblaiements, effectue le terrassement et le chargement, peu transporter les terres dans un rayon de 60m.

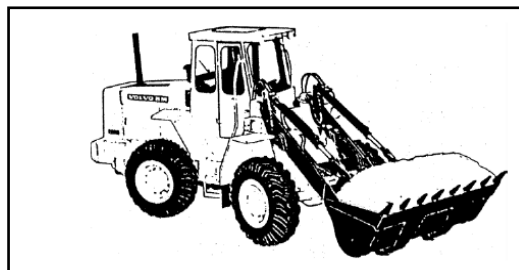


Figure 24 : Pelleteuse sur Pneumatique



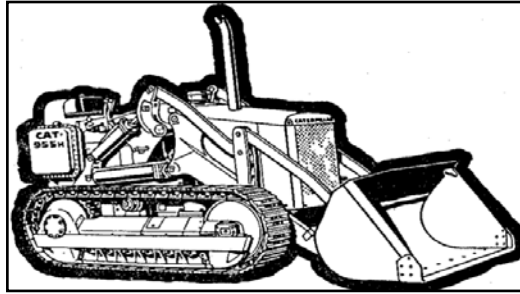


Figure 25 : Pelleteuse sur chenille

### V-3-Le bulldozer

Machine conçue pour pousser les terres, sert aussi bien à déplacer par refoulement la terre, la roche désagrégée, les troncs d'arbres, les buissons qu'à la mise en tas des matériaux excavés et l'établissement des remblais. Elle n'a pas de fonction de chargement.

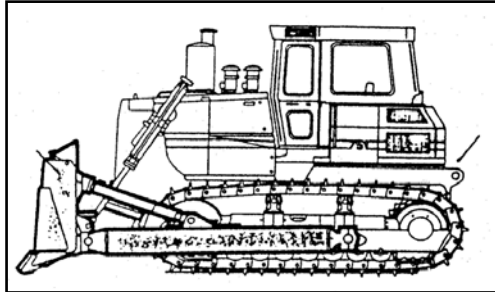


Figure 26 : Bulldozer

### V-4-Les rippers ou les scarificateurs

Machine utilisée pour défoncer les terres dures par couches successives grâce aux « dents » de fortes dimensions (interchangeable) dont elle est munie. Cet équipement est souvent monté en complément sur les pelleteuses ou les bulldozers.

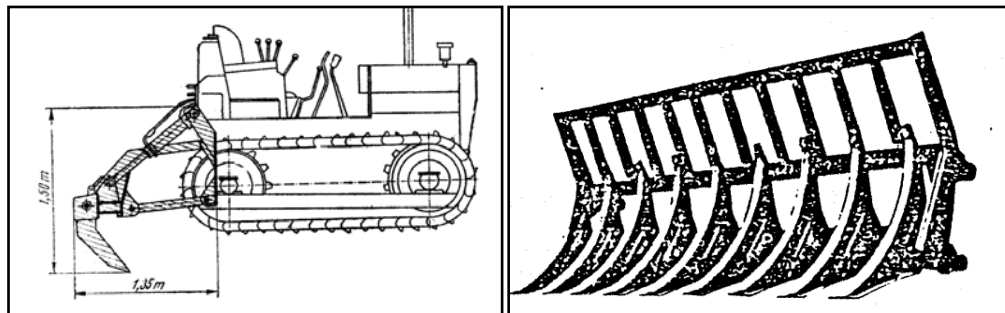


Figure 27 : Rippers

### V-5-Les scrapers

Les scrapers sont les seuls engins qui peuvent à la fois : fouiller, charger, transporter et répartir la terre sur des distances de 300 à 1.000 m.

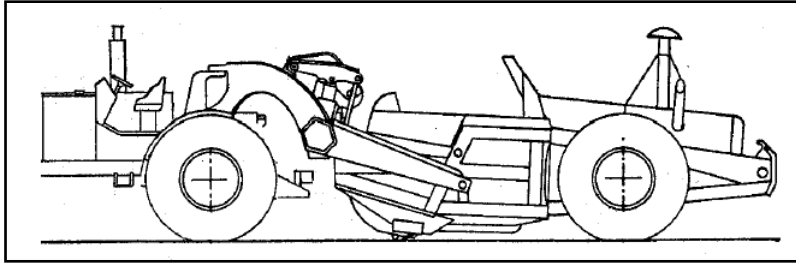


Figure 28 : Scrapers

### V-6-Les niveleuses

La niveleuse est un engin qui comporte un châssis sur quatre ou six roues à pneus, au centre duquel une lame peut :

- être descendue et relevée, être déplacée latéralement,
- pivoter de  $180^\circ$  dans le plan horizontal de chaque côté de l'axe longitudinal du châssis (orientation),
- pivoter de  $0$  à  $90^\circ$  dans le plan vertical de chaque côté de l'axe longitudinal du châssis (pente),

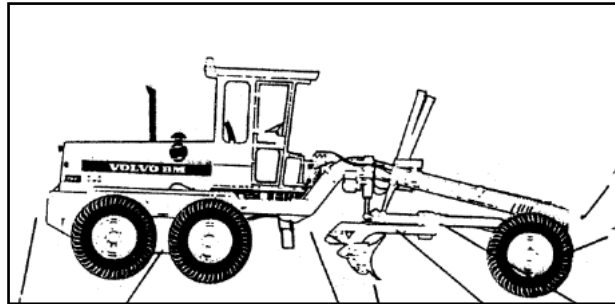


Figure 29 : Niveleuse

### V-7-Les tractopelles (ou chargeuses pelleteuses)

Un tractopelle est un engin équipé d'un godet à l'avant et d'une pelle en retro à l'arrière.

Les tractopelles sont très utiles pour les petites entreprises, sur les chantiers de petites tailles, remplacent à la fois un chargeur et un excavateur.

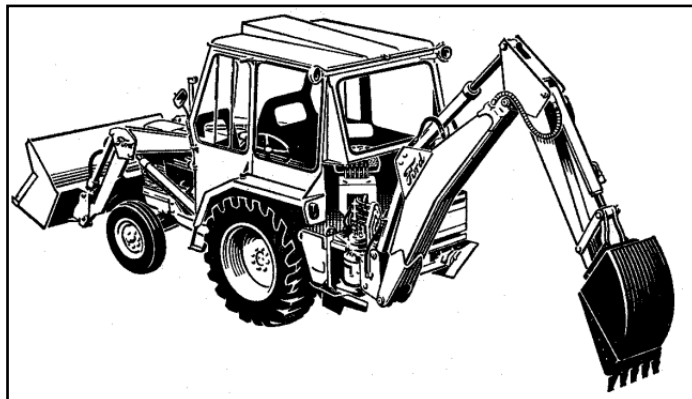


Figure 30 : Tractopelle

### I-FONDATIONS ET LEURS TECHNIQUES D'EXECUTIONS

#### I-1 Rôles des fondations

##### I-1-1 Définition

Un ouvrage quelle que soient sa forme et sa destination, prend toujours appui sur un sol d'assise. Les éléments qui jouent le rôle d'interface entre l'ouvrage et le sol s'appellent fondations. Ainsi, quelque soit le matériau utilisé, sous chaque porteur vertical, mur, voile ou poteau, il existe une fondation.

##### I-1-2 Rôle principal

La structure porteuse d'un ouvrage supporte différentes charges telles que :

- des charges verticales :
  - comme les charges permanentes telles que le poids des éléments porteurs, le poids des éléments non porteurs,
  - comme les charges variables telles que le poids des meubles, le poids des personnes..., le poids de la neige,
- des charges horizontales (ou obliques) :
  - comme des charges permanentes telles que la poussée des terres,
  - comme les charges variables telles que la poussée de l'eau ou du vent.

Il ne s'agit pas de calculer la charge globale que reprend l'ouvrage mais la charge reprise par chaque fondation. En effet chaque fondation ne reçoit pas la même charge. Cela dépend des éléments porteurs repris. La charge reprise par une fondation se calcule au moyen d'une descente de charges.

Le rôle principal d'une fondation est donc d'assurer la transmission des charges appliquées sur l'ouvrage au sol.

Les critères influant le choix d'une fondation sont donc :

- La qualité du sol.
- Les charges amenées par la construction.
- Le coût d'exécution.

##### I-1-3 Rôle secondaire

- La fondation doit résister elle-même aux charges et doit être calculée en conséquence.
- L'ensemble ouvrage – fondation - sol doit être en équilibre stable. Il ne doit pas y avoir possibilité de mouvement.
  - pas de glissement horizontal : L'adhérence sol – fondation doit empêcher les forces horizontales (poussées du vent, des terres...) de pousser l'ouvrage horizontalement.
  - pas de basculement : Les charges horizontales ont tendance à faire basculer l'ouvrage car elles créent un moment. Les forces verticales (poids) doivent les contrebalancer.
  - pas de déplacement vertical : Le sol doit être suffisamment résistant pour éviter l'enfoncement du bâtiment de manière uniforme ou dissymétrique (tassements)



différentiels entre deux parties solidaires de l'ouvrage) et le bâtiment doit être suffisamment lourd pour éviter les soulèvements dus à l'action de l'eau contenue dans le sol (poussée d'Archimède).

- Une fondation doit être durable. Toutes les précautions devront être prises dans les dispositions constructives, le choix et l'emplacement des matériaux, ainsi que dans la mise en œuvre.
- Une fondation doit être économique. Le type de fondation, les matériaux employés et la mise en œuvre doivent être le moins coûteux possible.

### I-2 Fonctionnement des fondations

Un mur ou un poteau supporte une partie des charges de l'ouvrage et compte-tenu de ses faibles dimensions, risquent de poinçonner le sol. C'est pour cela que sous un mur et un poteau, on place une fondation qui permet de répartir la même charge mais sur une surface horizontale plus importante et donc de diminuer la pression exercée sur le sol, c'est à dire de diminuer la force exercée sur le sol par unité de surface.

Il faudra toujours s'assurer que la pression exercée par la fondation sur le sol est inférieure à la pression que peut supporter le sol. La pression que peut supporter le sol a été déterminée grâce aux essais de reconnaissance de sol.

La **fonction** d'une **fondation** est de **transmettre** au **sol** les **charges** qui résultent des **actions** appliquées sur la **structure** qu'elle supporte.

Cela suppose donc que le concepteur connaisse:

- la capacité portante de la semelle de fondation. Le sol ne doit pas rompre, ni tasser de façon inconsidérée sous la semelle.
- les actions amenées par la structure au niveau du sol de fondation. La semelle doit résister aux actions auxquelles elle est soumise.

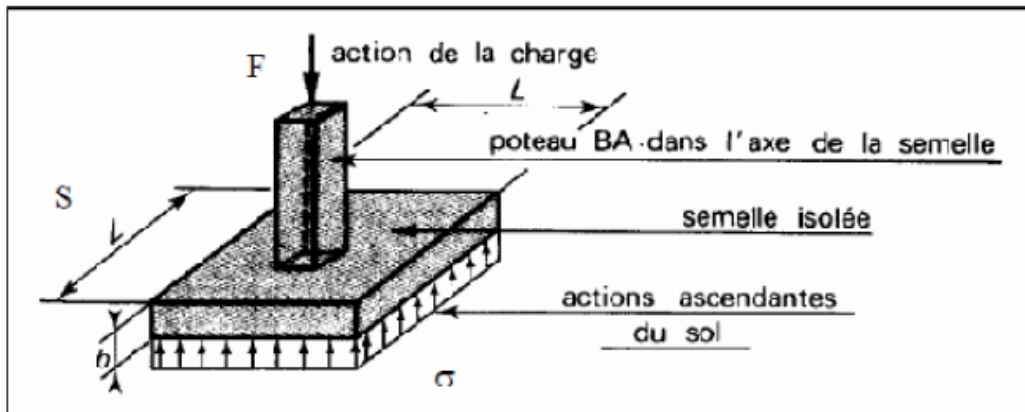


Figure 1 : Efforts exercés sur une semelle isolée

Cette pression s'appelle contrainte et est notée  $\sigma$ .

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

La pression exercée à la surface du sol entraîne des pressions dans les couches de sol situées en dessous jusqu'à une certaine profondeur qui varie suivant le type de fondations et la charge appliquée.

### I-3 Types de fondations

Les deux types de fondations sont :

- les fondations superficielles,
- les fondations profondes et spéciales.

Les fondations sont dites superficielles si une des deux conditions suivantes est respectée :

$$H/B < 6 \text{ ou } H < 3 \text{ m}$$

Avec H : profondeur de la fondation et B : largeur de la fondation.

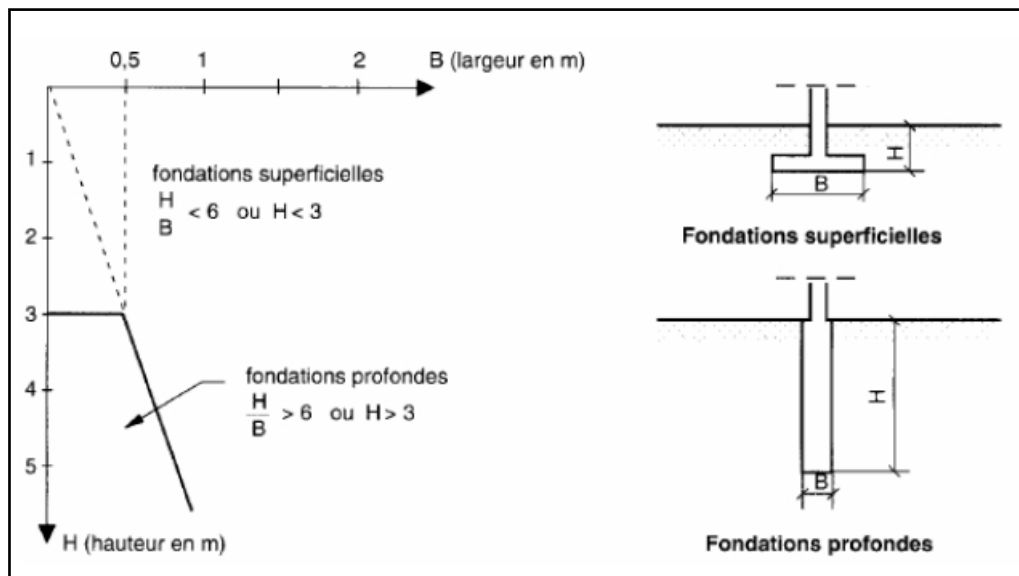


Figure 2 : Caractéristiques géométriques des différents types de fondations

### I-4 Les fondations superficielles

Les fondations superficielles sont mises en œuvre lorsque la construction peut prendre appui sur une couche de résistance acceptable à faible profondeur par rapport au niveau le plus bas de la construction et non du terrain naturel.

Les fondations *superficielles* sont de trois types :

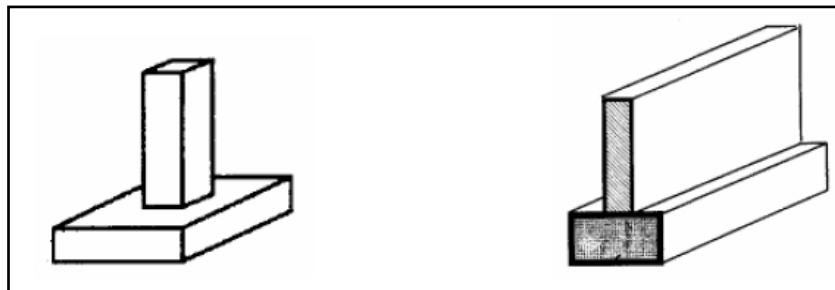


Figure 3 : Semelle isolée, et semelle filante sous mur

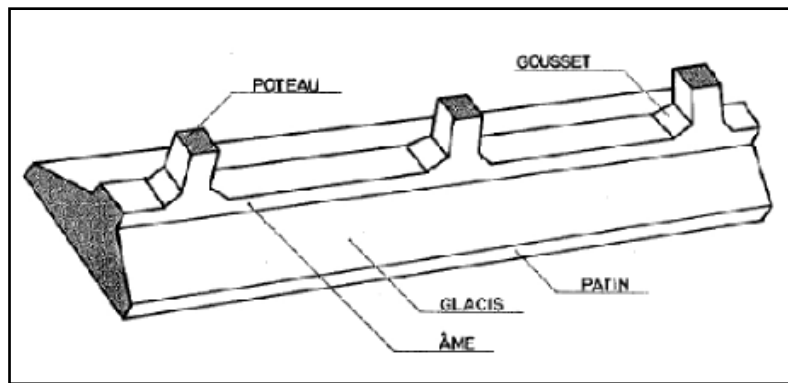


Figure 4 : Semelle filante sous poteaux

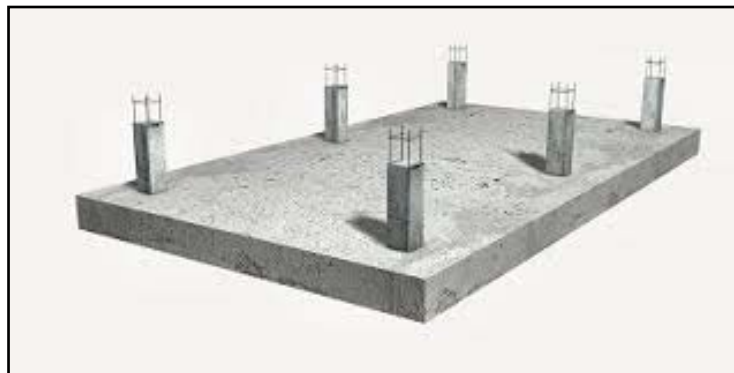


Figure 5 : Radier général

### I-4-1 Les semelles isolées

#### I-4-1-1 Définitions - terminologie

Une fondation superficielle est définie par des caractéristiques géométriques.

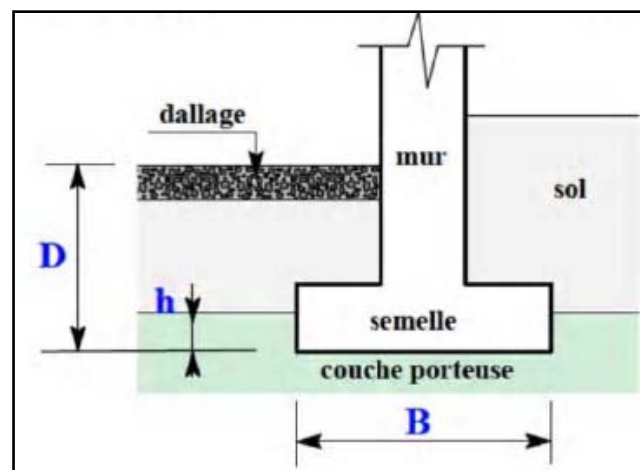


Figure 6 : Coupe verticale sur semelle superficielle

- L: longueur de la semelle ou plus grand côté d'une semelle.
- B : largeur de la semelle ou plus petit côté de la semelle.
- semelle circulaire  $B = 2 R$
- semelle carrée  $B = L$
- semelle rectangulaire  $B < L < 5R$

- semelle continue ou filante :...  $L > 5B$

-  $D$  : hauteur d'encastrement de la semelle. Hauteur minimum au dessus du niveau de la fondation. Si un dallage ou une chaussée surmonte la fondation ceux-ci sont pris en considération dans la hauteur d'encastrement.

-  $h$  : ancrage de la semelle. Il correspond à la hauteur de pénétration de la semelle dans la couche porteuse

Elle est aussi définie par le rapport  $B/D$ . Au delà d'un rapport de  $1/6$ , nous sommes dans le domaine des fondations profondes.

### I-4-1-2 Dimensions des semelles isolées

Les semelles isolées sont les fondations des poteaux. Leurs dimensions de surface sont homothétiques à celles du poteau que la fondation supporte :

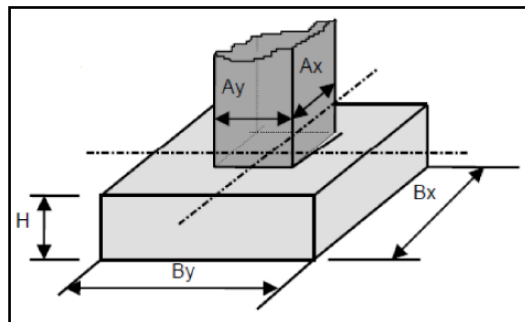


Figure 7 : caractéristiques géométriques d'une semelle isolées

Semelles rectangulaires :

- Homothétie

$$\frac{B_x}{B_y} = \frac{A_x}{A_y}$$

- Hauteur  $H$

$$\frac{B_x - A_x}{4} \leq H$$

### I-4-1-3 Profondeur hors gel des semelles de fondation.

Pour éviter que le sol d'assise des semelles ne soit déstructuré par les cycles de gel et de dégel du sol, le niveau d'assise des fondations doit être descendu à un niveau suffisant : profondeur hors gel. Cette profondeur varie selon la zone climatique et l'altitude :

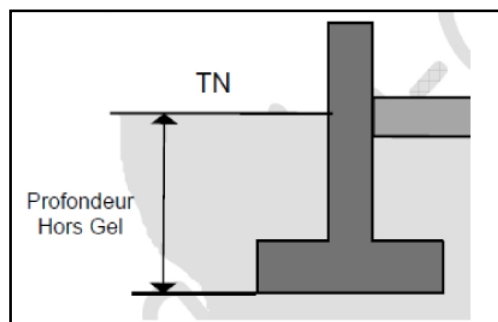


Figure 8 : Profondeur hors gel



## I-4-1-4 Formes de semelles isolées

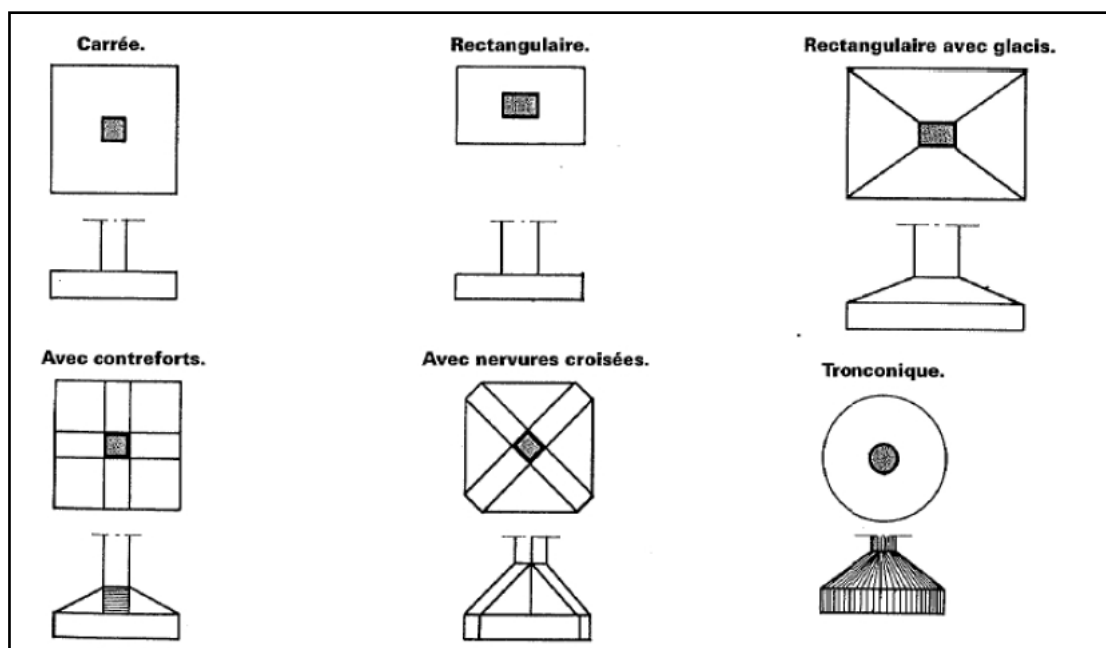
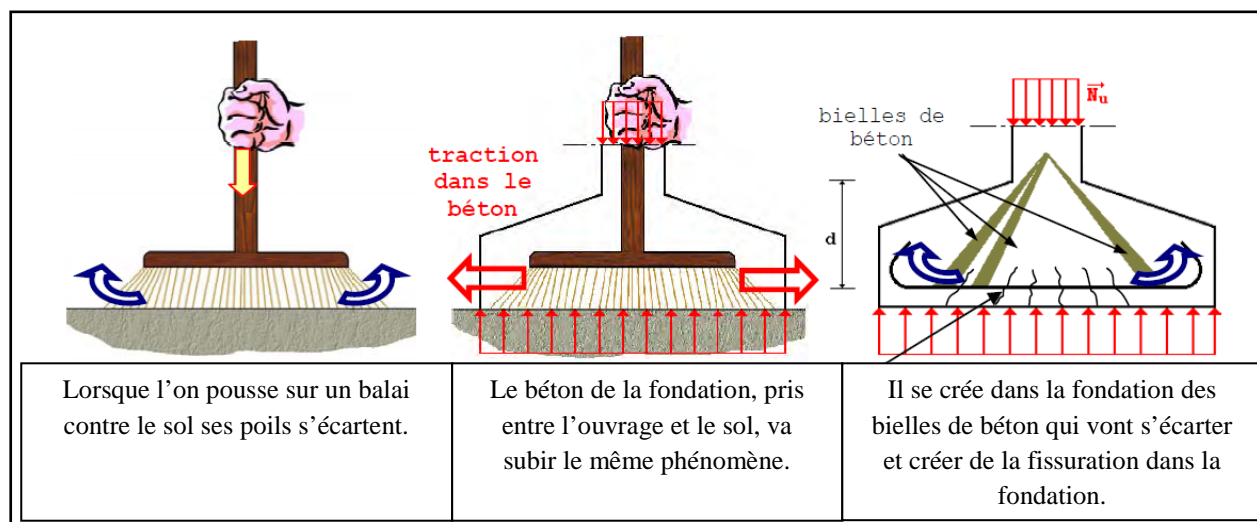


Figure 9 : Différentes configurations géométriques des semelles isolées

## I-4-1-5 Ferrailage des semelles isolées

Figure 10 : Actions sur les semelles isolées



Il est donc nécessaire de placer des aciers afin que les bielles de béton ne s'écartent pas et, ainsi, éviter la fissuration du béton de la fondation.

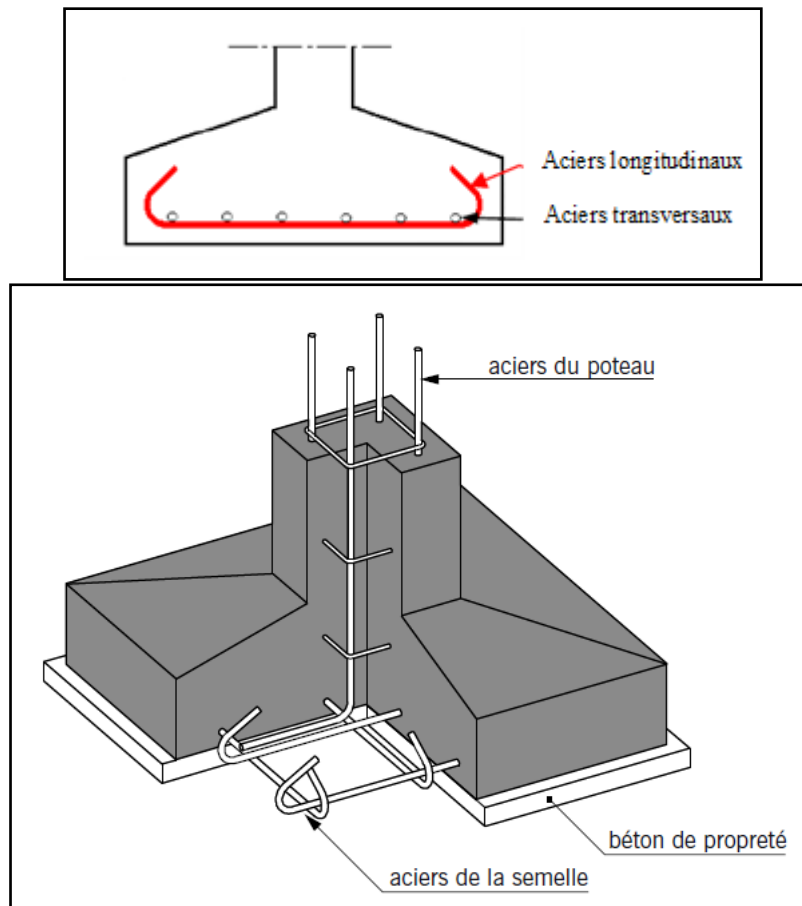


Figure 11 : Disposition des aciers dans une semelle isolée

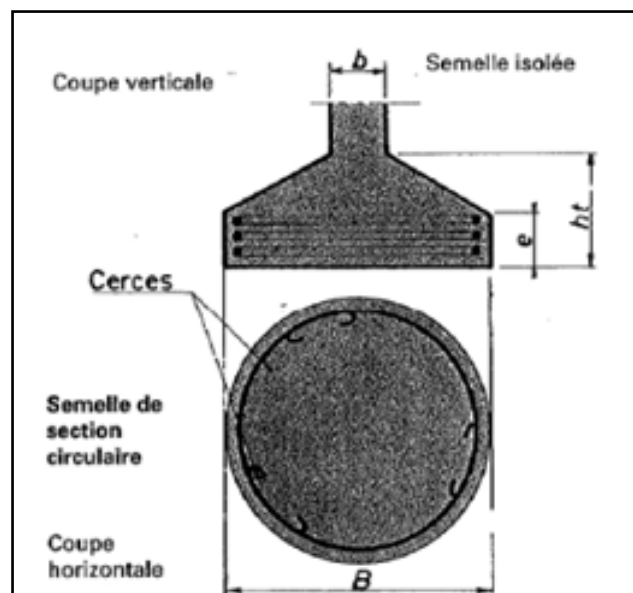


Figure 12 : Disposition des aciers dans une semelle isolée circulaire

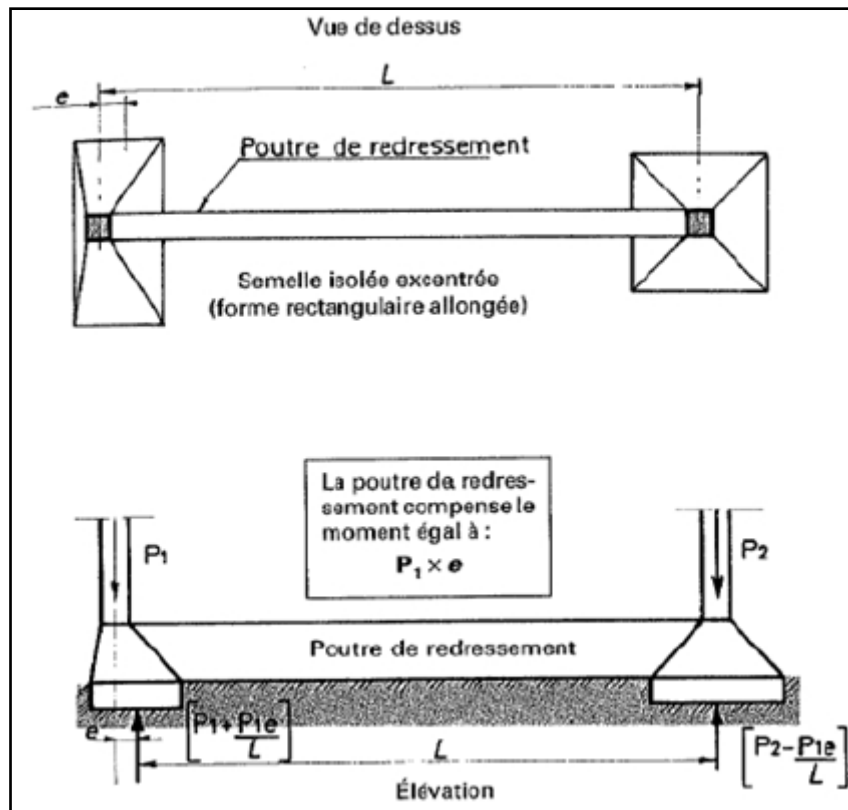
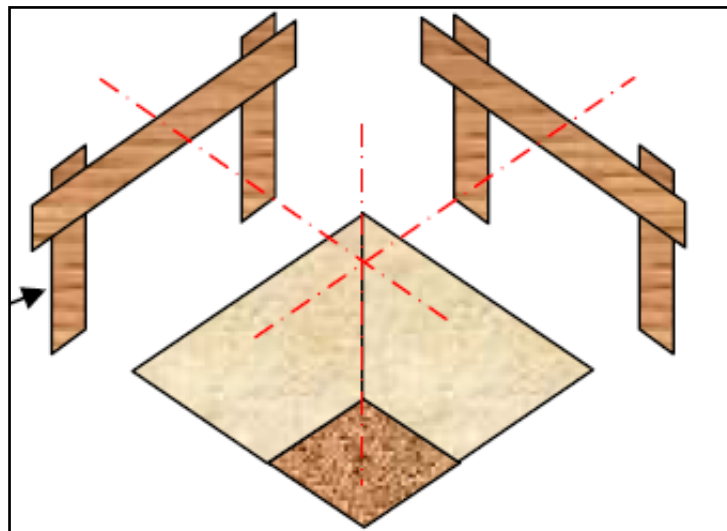


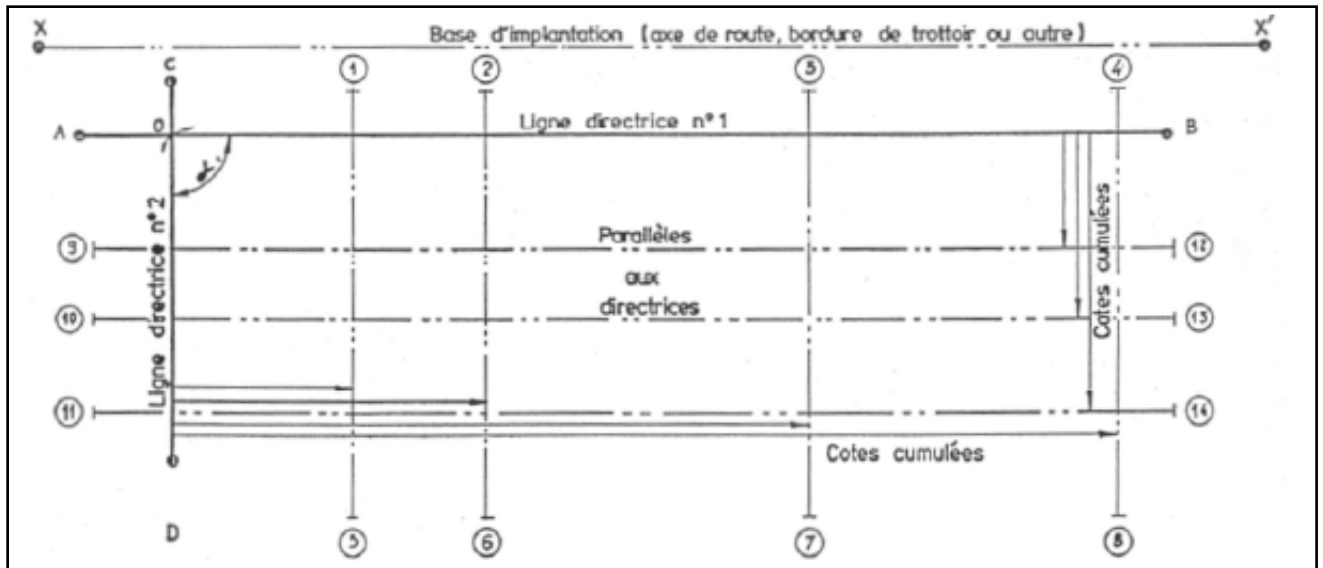
Figure 13 : Disposition pratique pour les semelles isolées excentrées

## I-4-1-6 Mode d'exécution des semelles isolées

### • Implantation



(A)



(B)  
Figure 14 : Implantation et mise en place des chaises de construction  
((A) chaises de construction, (B) axes de l'ouvrage)

L'ouvrage est implanté à l'aide de 2 lignes directrices à partir d'une base xx'. A, B et C, D constituent des repères principaux, leur intersection en O donne l'origine des mesures à reporter aux axes des fondations et des voiles.

La matérialisation de cette implantation se fait à l'aide de « chaises » sur le terrain.

## • Terrassement

Si le terrain ne présente pas de risques d'éboulements la fondation peut être coulée directement dans la fouille, dans ce cas la largeur de l'excavation sera celle du godet de la pelle, soit au minimum 0,40 m.

- Si le sol est éboulé ou si la fondation doit être coffrée, la fouille présentera un talus dont l'angle est égal à l'angle de talus naturel du sol  $\phi$ . Cet angle dépend de la nature du sol, de sa cohésion, de sa granulométrie et de la présence ou non d'eau.

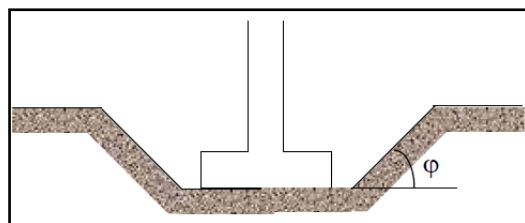


Figure 15 : Fouille en puits talutée

## • Béton de propreté

C'est un béton maigre (dosage minimum de 150 kg/m<sup>3</sup> de ciment. Son épaisseur est > 4 cm et sa largeur supérieure, en général, à celle de la semelle. Il n'est jamais coffré. Il peut être remplacé par un film plastique (polyane) en fond de fouille.

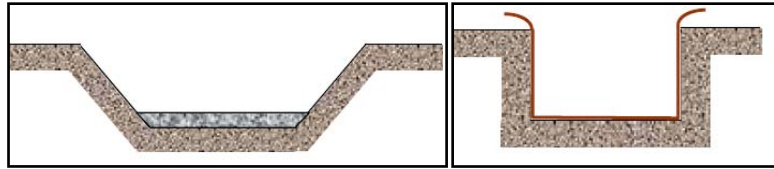


Figure 16 : Béton de propreté (gauche) et film en polyane (droite)

### • Mise en place du ferrailage

Afin de respecter l'enrobage, les armatures sont positionnées sur le béton de propreté par l'intermédiaire de cales pour armatures ou de distanciers ou écarteurs.

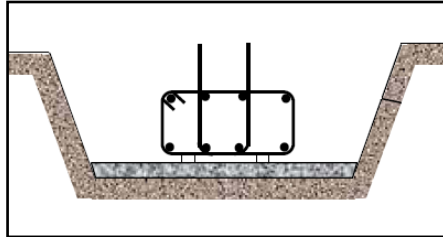


Figure 17 : Pose du ferrailage

### • Coffrage et bétonnage

La semelle peut être coffrée latéralement ou bien coulée directement dans la fouille, selon ses dimensions et la tenue des terres. Le bétonnage est effectué en 1 seule fois sans reprise de bétonnage.

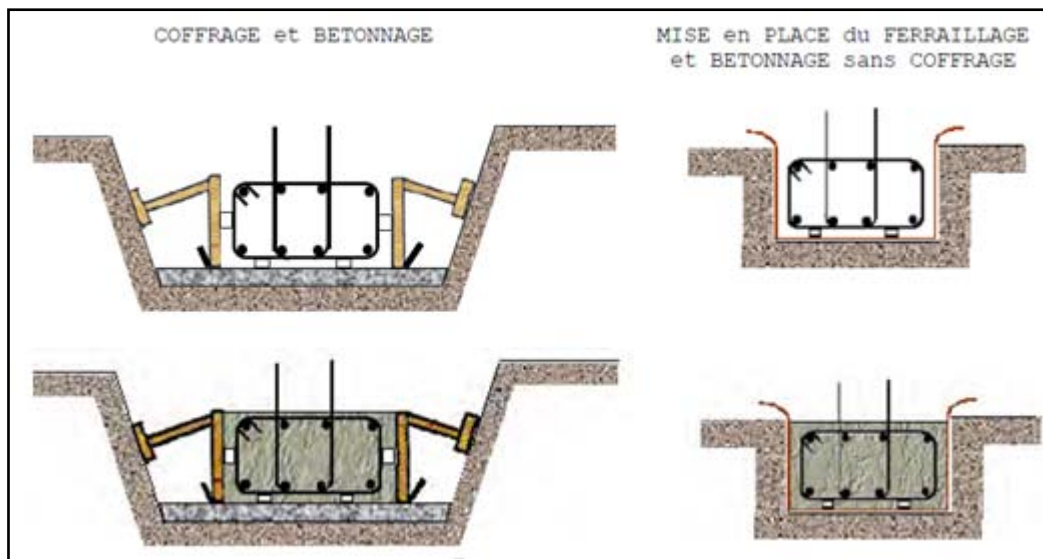


Figure 18 : Bétonnage avec coffrage et bétonnage en pleine fouille

### I-4-2 Semelles filantes

La semelle filante est une semelle continue rectiligne portant un mur ou une rangée de piliers. Son rôle est de répartir les charges qui lui sont appliquées sur une plus grande surface que ne le ferait le mur qu'elle soutient, afin de ne pas s'enfoncer dans le sol.



### I-4-2-1 Paramètres à prendre en compte

Le comportement et le dimensionnement des semelles filantes supportant des colonnes sont difficiles à déterminer car la force portante dépend de plusieurs paramètres :

- La compressibilité du sol et sa composition le long de la semelle
- De la rigidité de la semelle
- Des charges dans les différentes colonnes

Il est prudent de faire une analyse détaillée de l'interaction entre le sol et la semelle, cependant il n'est pas toujours nécessaire de faire cette analyse longue et complexe.

En pratique, on utilisera une méthode simplifiée qui permettra un dimensionnement crédible de la semelle filante selon le type de la semelle et du sol.

### I-4-2-2 Réactions d'appuis de la semelle

#### I-4-2-2-a Uniformité du sol

- **Semelle rigide** → dans ce cas, on peut dire que la force portante en tout point de la semelle est substantiellement la même.

Cependant, cette réaction ne sera uniforme que si le centre de la semelle coïncide avec le centre des charges des colonnes.

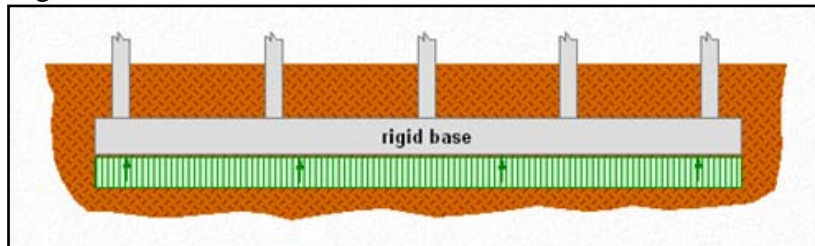


Figure 19 : Semelle à base rigide

- **Semelle souple** → dans ce cas, la force portante sera plus grande en dessous des colonnes qu'entre deux colonnes successives. La pression n'est donc ni uniforme ni linéaire.

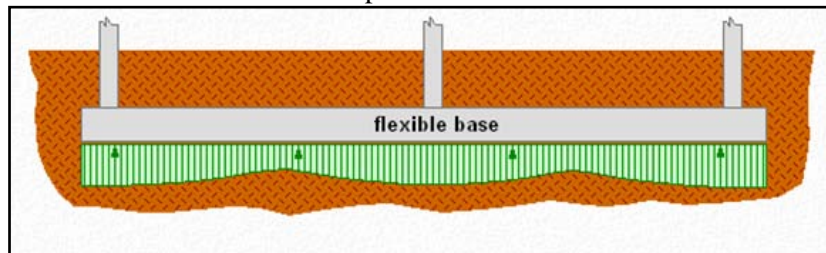


Figure 20 : Semelle à base souple

#### I-4-2-2-b Variabilité du sol

Si le sol est variable sous la semelle filante, la force portante aura alors un comportement différent du précédent.

Deux cas qui se présentent de nouveau à nous :

- **Semelle rigide** → dans ce cas, la semelle tendra à régler uniformément la force portante mais, à l'endroit où le sol est plus souple, la force sera moindre.

Pour garder l'équilibre vertical des forces, la force portante va donc augmenter de chaque côté de la section moins porteuse du sol.

En résumé, la semelle tend à décharger la partie du sol moins rigide et à transférer les charges sur les sections plus rigides.

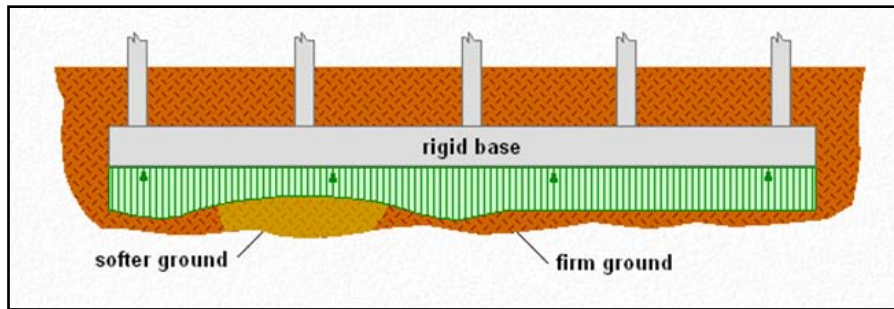


Figure 21 : Base rigide avec sol variable

- **Semelle souple** → dans ce cas, il y a à nouveau deux cas :

Soit la partie plus souple se trouve entre deux colonnes. La semelle subit alors à cet endroit une légère déformation vers le haut, qui réduira la force portante et l'augmentera aux extrémités de cette zone moins porteuse ;

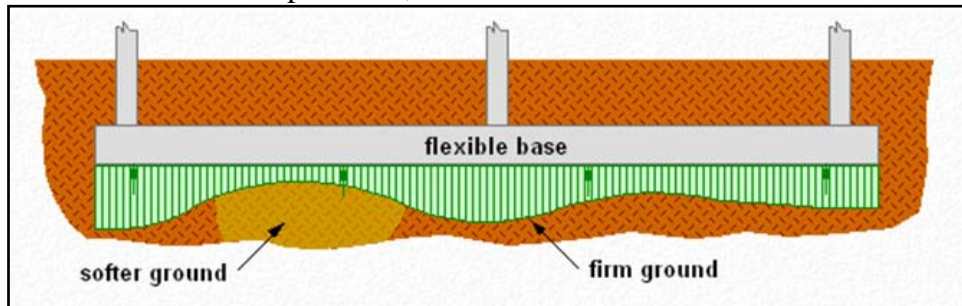


Figure 22 : Base souple avec sol variable entre les colonnes

Soit la section plus souple se trouve sous une colonne. Alors la force portante la plus importante, qui devrait avoir lieu sous cette colonne si le sol avait été uniforme, se voit réduite par le sol mou, ce qui conduit à une meilleure homogénéité des réactions d'appuis de la semelle.

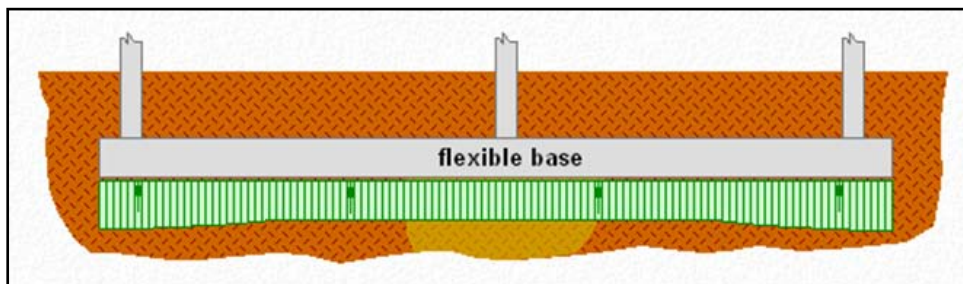


Figure 23 : Base souple avec sol variable sous la colonne

## I-4-2-3 Dispositions des aciers

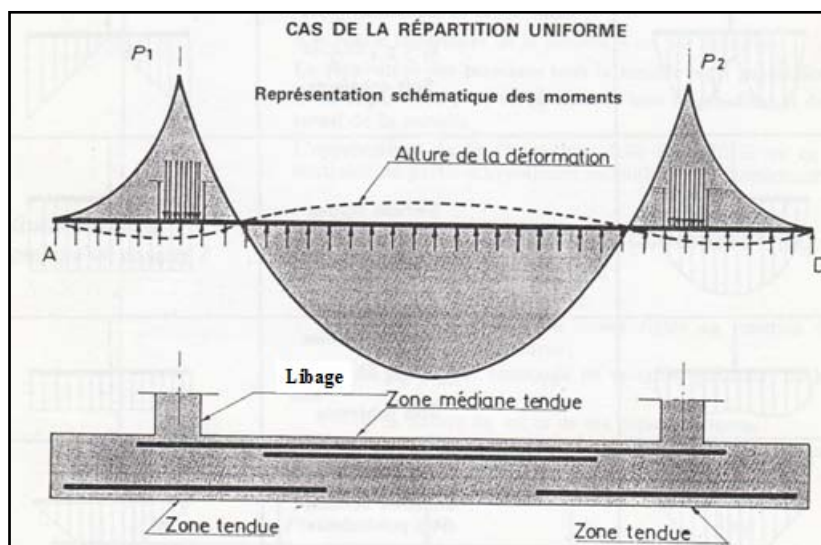


Figure 24 : Schéma de principe du fonctionnement d'une semelle filante et disposition des aciers



Figure 25 : Coffrage et ferrailage d'une semelle filante

## I-4-3 Les radiers

### I-4-3-1 Définition

Un radier est une dalle plane, éventuellement nervurée, constituant l'ensemble des fondations d'un bâtiment. Il s'étend sur toute la surface de l'ouvrage. Elle comporte parfois des débords (consols extérieures).

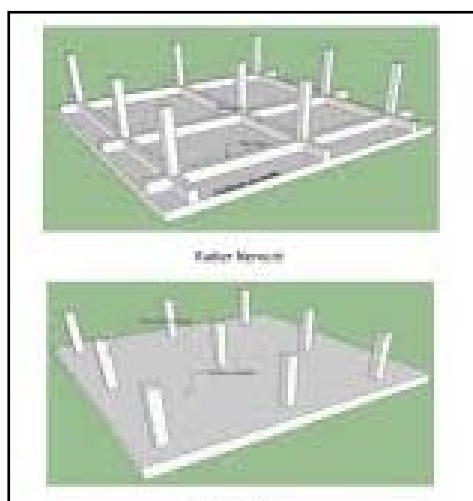


Figure 26 : Radiers souple et rigide



Figure 27 : Ferrailage et bétonnage de Radiers

### I-4-3-2 Avantages de la semelle unique (radier)

- diminution des risques de tassement
- très bonne liaison donc rigidité de la base du bâtiment

Ce mode de fondation est utilisé dans deux cas :

- lorsque la capacité portante du sol est faible : le radier est alors conçu pour jouer un rôle répartisseur de charges. Son étude doit toujours s'accompagner d'une vérification du tassement général de la construction ;
- lorsque le sous-sol d'un bâtiment est inondable : le radier joue alors le rôle d'un cuvelage étanche pouvant résister aux sous-pressions.

Ce type d'ouvrage ne doit pas être soumis à des charges pouvant provoquer des tassements différentiels trop élevés entre les différentes zones du radier.

Dans le cas de couches sous-jacentes très compressibles, le concepteur doit vérifier que le point de passage de la résultante générale coïncide sensiblement avec le centre de gravité du radier.

Lorsque la compressibilité du sol varie de manière importante ou lorsque la structure présente des différences marquées de rigidité, il y a lieu de prévoir des joints de rupture.

### I-4-3-3 Principe de construction des radiers

On ne peut envisager la réalisation du radier qu'à certaines conditions :

- les charges apportées par le bâtiment doivent être régulièrement réparties : pas de bâtiment avec une partie haute et une partie moins haute pour ne pas engendrer des tassements incompatibles.
- La répartition des contraintes sous le radier est uniforme
- Le terrain sous le radier n'est soumis qu'à des contraintes de compression en tout point.
- Le sol d'assise a une résistance régulière (pas de tassements différentiels, pas de points durs).
- La poussée d'Archimède due à une présence d'eau n'est pas trop forte (soulèvement de l'ensemble du bâtiment).



### I-5 Fondations profondes

#### I-5-1 Introduction

Lorsque les charges apportées par un ouvrage sont élevée et que les couches superficielles sont très compressibles (vases, tourbes, argiles moles..) on envisage des fondations profondes (pieux) ou semi profondes (puits) afin d'atteindre des couches résistante en profondeur.

Un pieu est une fondation élancée qui reporte les charges de la structure sur des couches de terrain de caractéristiques mécaniques suffisantes pour éviter la rupture du sol et limiter les déplacements à des valeurs très faibles. Le mot pieu désigne aussi bien les pieux, les puits et les barrettes.

On désigne par pieu, une fondation profonde réalisée mécaniquement et par puits une fondation profonde creusée à la main sous la protection d'un blindage. Une barrette est un pieu foré de section allongée ou composite (en T ou en croix par exemple).

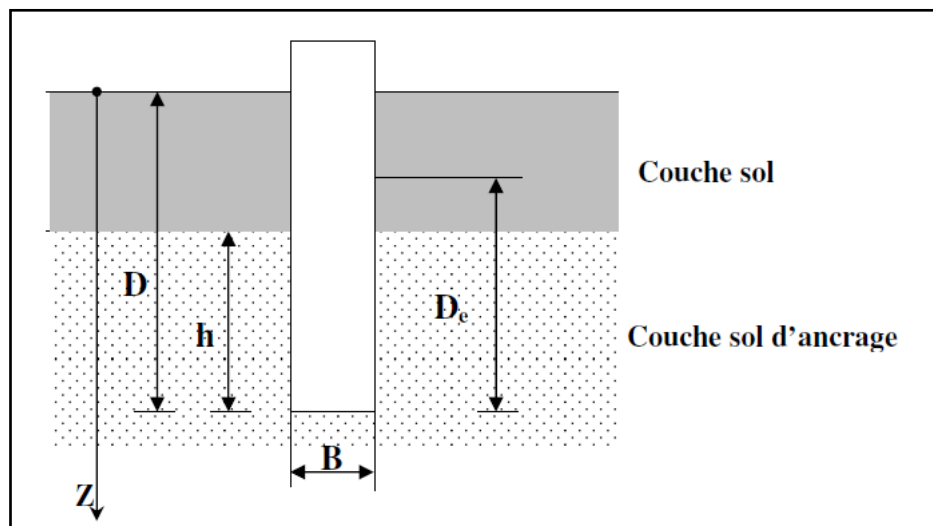


Figure 28 : Caractéristique géométrique d'un pieu

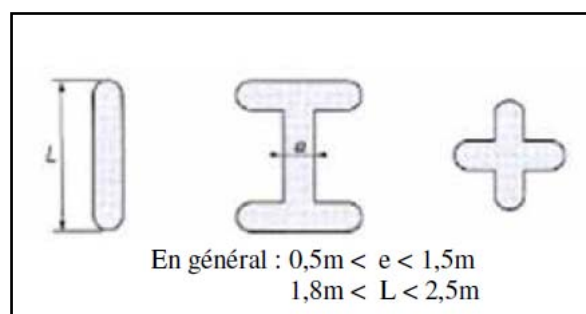


Figure 29 : Différentes barrettes

#### I-5-2 Classification Suivant Le Mode D'exécution

##### I-5-2-1 Pieux refoulant le sol à la mise en place

Une large panoplie de pieux est mise en place par **fonçage**, **battage** et/ou **vibrofonçage** et éventuellement par **lançage** :



### I-5-2-1-a Pieux en bois

Ce sont des pieux préfabriqués mis en place par battage (associé quelquefois au lançage). Ils travaillent généralement par effort de pointe et frottement latéral, moins souvent à l'arrachement, à la flexion ou comme pieux de resserrement. Ils sont à l'heure actuelle très peu utilisés en France, plus au Canada ou aux Etats-Unis d'Amérique, relativement souvent en Hollande. Ils sont très présents dans les monuments historiques.

### I-5-2-1-b Pieux battus préfabriqués

Ces pieux, préfabriqués en béton armé ou précontraint, sont fichés dans le sol par battage ou vibro-fonçage.

### I-5-2-1-c Pieux métalliques battus

Ces pieux, entièrement métalliques, constitués d'acier avec addition éventuelle de cuivre (0,2 à 0,5%), sont fichés dans le sol par battage. Leurs sections sont:

- en forme de H,
- en forme d'anneau (tube),
- en forme quelconque, obtenue par soudage de palplanche par exemple.

Ils ne sont classés dans cette catégorie que si leur base est obturée, sinon ils font partie des pieux particuliers.

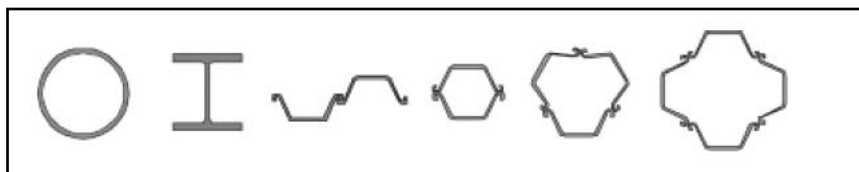


Figure 30 : Différentes géométries de pieux métalliques

### I-5-2-1-d Pieux en béton foncés

Ces pieux sont constitués d'éléments cylindriques en béton armé, préfabriqués ou coffrés à l'avancement, de 0,50 m à 2,50 m de longueur et de 30 à 60 cm de diamètre. Les éléments sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction.

### I-5-2-1-e Pieux métalliques foncés

Ces pieux, entièrement métalliques, sont constitués d'acier E 24.2 ou similaire avec addition éventuelle de cuivre (0,2 à 0,5%). Ils sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction.

### I-5-2-1-f Pieux battus pilonnés

Un tube, muni à sa base d'un bouchon de béton ferme, est enfoncé par battage sur le bouchon.

En phase finale, le béton ferme est introduit dans le tube par petites quantités, successivement pilonnées à l'aide du mouton de battage au fur et mesure de l'extraction du tube. Suivant les cas, les pieux peuvent être armés.

### I-5-2-1-g Pieux battus moulés

Un tube, muni à sa base d'une pointe métallique ou en béton armé, ou d'une plaque métallique raidie ou d'un bouchon de béton, est enfoncé par battage sur un casque placé en tête du tube ou par battage sur le bouchon de béton. Le tube est ensuite rempli totalement de béton d'ouvrabilité moyenne, avant son extraction. Le cas échéant, ces pieux peuvent être armés.

### I-5-2-1-h Pieux battus enrobés

Ce pieu, à âme métallique (acier E 24.2 ou similaire), est constitué :

- de tubes d'acier de 150 à 500 mm de diamètre extérieur - de profilés H - de caissons formés de profilés ou de palplanches à 2, 3 ou 4 éléments. La pointe du pieu comporte un sabot débordant qui assure un enrobage du métal du fût du pieu de 4 cm au minimum, Au fur et à mesure du battage, un mortier est envoyé par un ou plusieurs tubes débouchant au voisinage du sabot, afin de constituer l'enrobage en remplissant le vide annulaire laissé par le débord de celui ci.

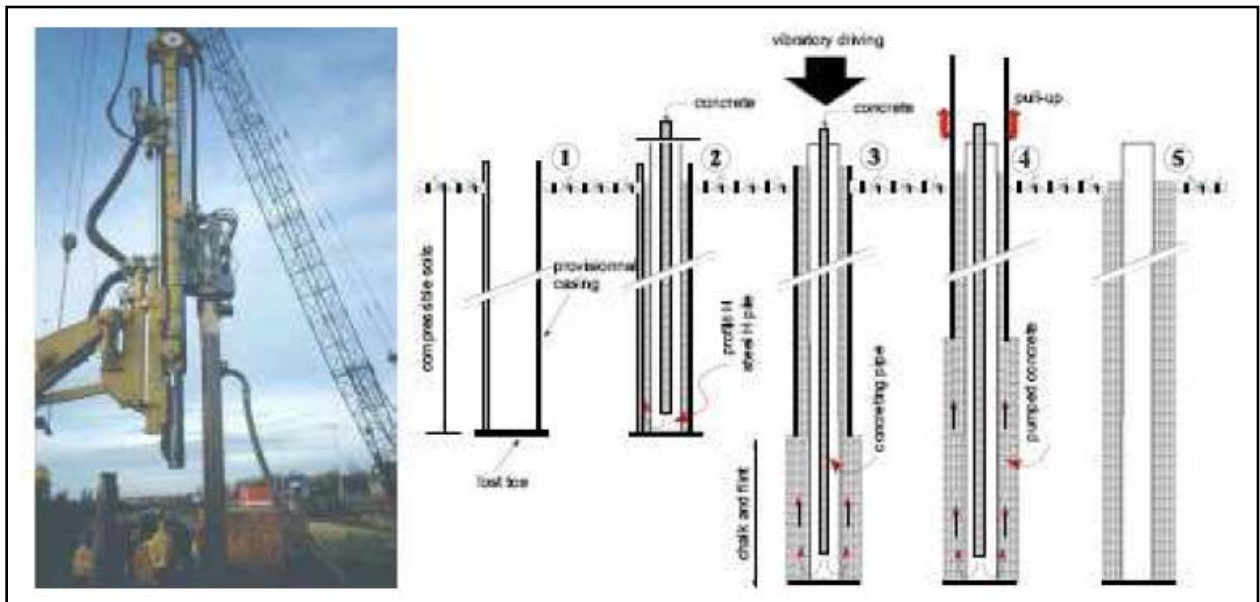


Figure 31 : Mise en place de pieu tubé par vibrofonçage

### I-5-2-1-i Pieux vissés moulés

Ce procédé, qui ne s'applique pas aux sols sableux sans cohésion situés sous la nappe, en raison des éboulements importants qu'il risquerait de provoquer, consiste à faire pénétrer dans le sol, par rotation et fonçage, un outil en forme de double vis surmonté d'une colonne cannelée. Cet outil est percé dans l'axe de la colonne cannelée et muni d'un bouchon. Au sommet de la colonne est disposé un récipient rempli de béton.

L'extraction de l'outil est obtenue en tournant dans le sens inverse de celui de la pénétration.

Le béton prend en continu, sous l'effet de la gravité, la place laissée par l'outil

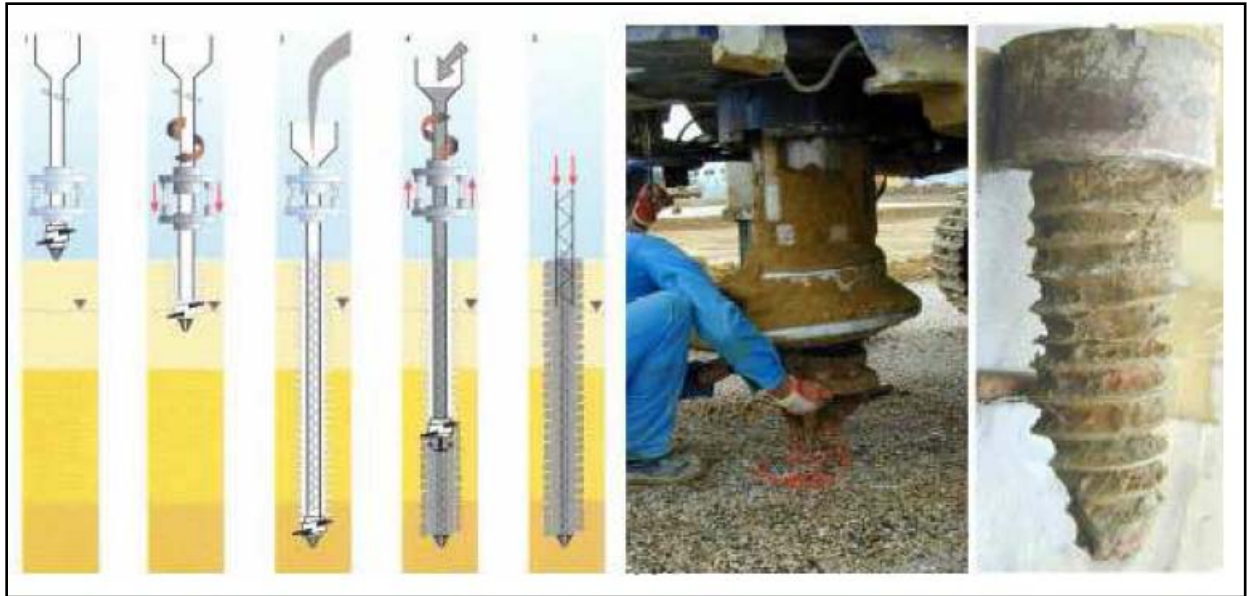


Figure 32 : Mise en place de pieu vissé moulé

### I-5-2-2 Pieux ne refoulant pas le sol à la mise en place

#### I-5-2-2-a Pieux forés simples (barrette exécutée dans les mêmes conditions)

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc. Ce procédé, qui n'utilise pas de soutènement de parois, ne s'applique que dans des sols suffisamment cohérents et situés au-dessus des nappes phréatiques.

#### I-5-2-2-b Pieux forés avec boue

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc., sous protection d'une boue de forage bentonitique ou avec polymères. Le forage est rempli de béton de grande ouvrabilité sous la boue, en utilisant une colonne de bétonnage.

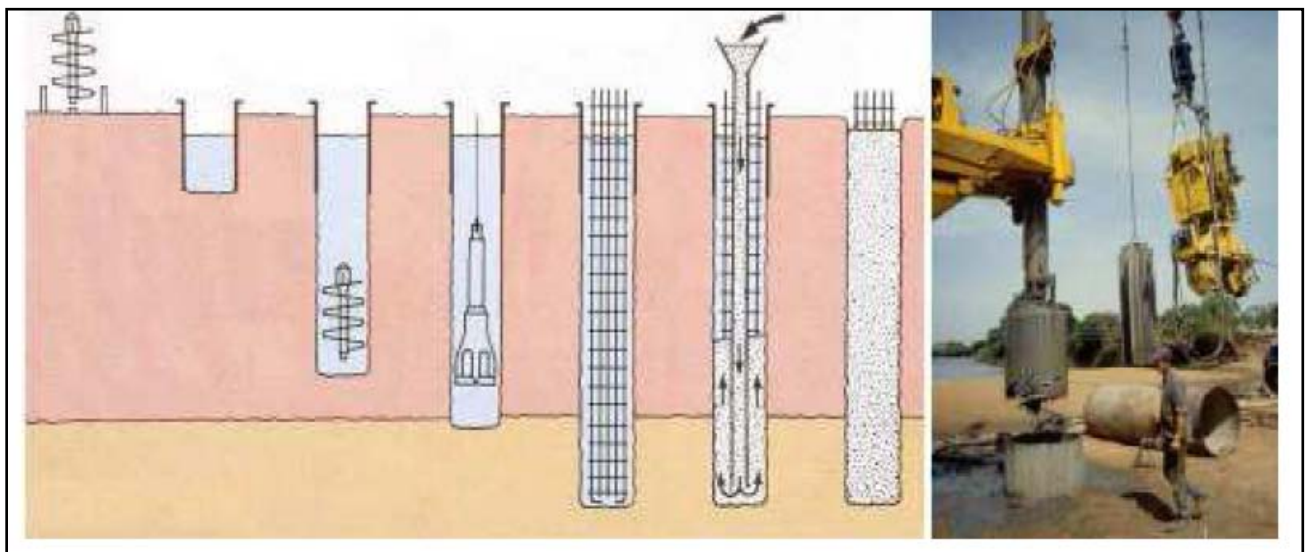


Figure 33 : Méthode de réalisation des pieux forés sous boue, vue d'un trépan et d'une tarière à Godets

### I-5-2-2-c Pieux forés tubés

Mis en œuvre à partir d'un forage exécuté dans le sol par des moyens mécaniques tels que tarière, benne, etc., sous protection d'un tubage dont la base est toujours située au-dessous du fond de forage. Le tubage peut être enfoncé jusqu'à la profondeur finale par vibration ou foncé avec louvoisement au fur et à mesure de l'avancement du forage. Le forage est rempli partiellement ou totalement d'un béton de grande ouvrabilité, puis le tubage est extrait sans que le pied du tubage puisse se trouver à moins de 1 m sous le niveau du béton, sauf au niveau de la cote d'arase.

### I-5-2-2-d Pieux tarières creuses

Mis en œuvre avec une tarière à axe creux, d'une longueur totale au moins égale à la profondeur des pieux à exécuter, vissée dans le sol sans extraction notable de terrain. La tarière est extraite du sol sans tourner pendant que, simultanément, du béton est injecté dans l'axe creux de la tarière, prenant la place du sol extrait

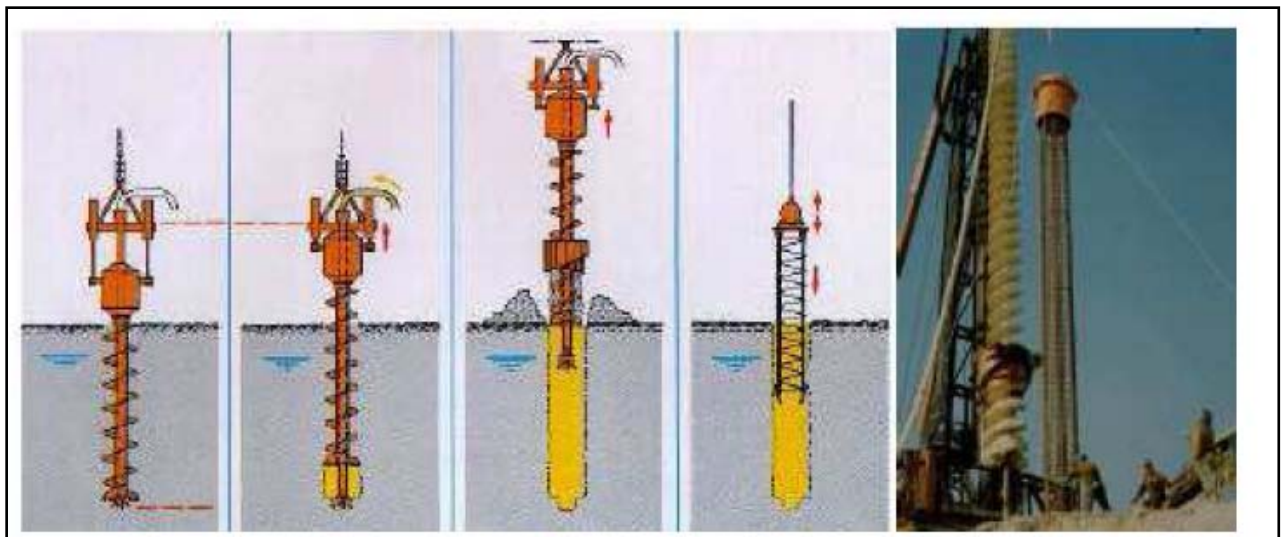


Figure 34 : Pieux formés par forage à la tarière continue

Le ferrailage est alors mis en place. Une combinaison de tarière creuse et du foré tubé, les deux éléments tournant en sens inverse, permet de réaliser un pieu dans les terrains où le sol ne se tient pas (technique appelée pieu à la tarière double).

### I-5-3 Classification suivant le mode de fonctionnement

Les pieux agissent sur le sol soit par :

- **Effet de pointe** : reposant sur une couche très dure.
- **Effet de frottement latéral (Pieux flottants)** : transmettent essentiellement leurs charges par frottement latéral et ne reposent pas sur une couche résistante.
- **Effet de pointe et frottement latéral (Pieux frottant à la base)** : frottement latéral à la partie inférieure du fût qui doit s'ajouter à la résistance de pointe.



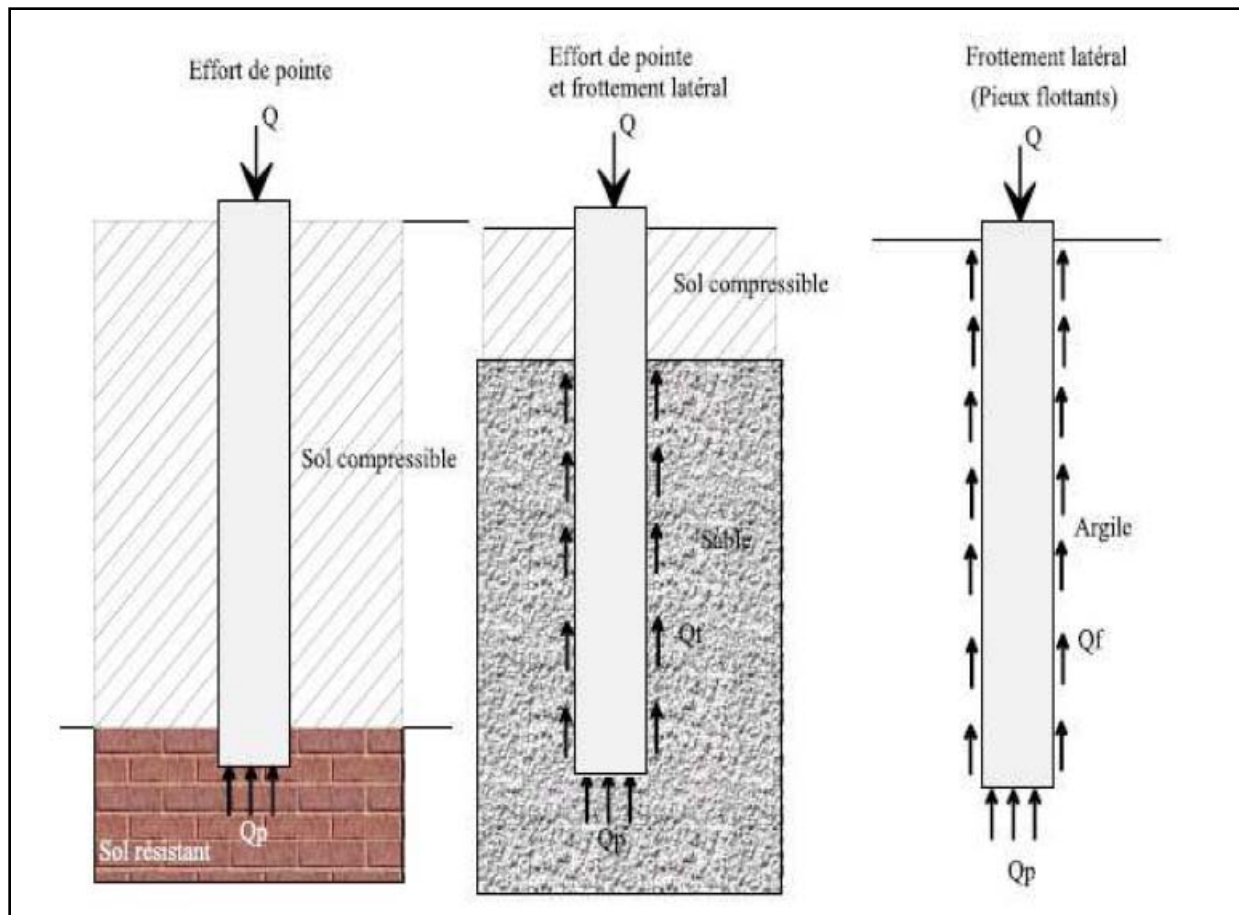


Figure 35 : Classification suivant le mode de fonctionnement