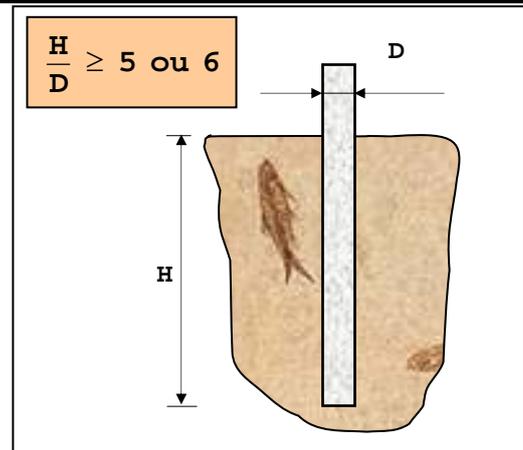




LES FONDATIONS PROFONDES

1 - DÉFINITION

Il s'agit d'éléments d'élanement généralement supérieur à 5 ou 6 (rapport de la longueur utile à la largeur de l'élément) voir figure ci-contre et DTU 13.2.



2 - VOCABULAIRE

- **Ancrage** : longueur de pénétration dans la couche résistante.

- **Arase** : niveau de la partie supérieure du **pieu** après mise en oeuvre et avant **recépage**.

- **Armature** : lorsqu'il est armé, un **pieu** comporte une cage d'armature qui peut occuper la hauteur totale du **pieu** (en 1 ou plusieurs tronçons suivant sa hauteur, dans ce dernier cas les divers tronçons sont mis en oeuvre les uns après les autres en respectant la longueur de recouvrement entre chacun d'eux) ou seulement la partie supérieure du **pieu** afin d'assurer la continuité mécanique avec la superstructure.

- **Barres d'attente** : barres d'acier piquées dans le béton frais en **tête** de **pieu** dans le cas de **pieux** non armés.

- **Barrette** : **pieu** foré de section allongée ou composite, réalisé à l'aide d'une benne de forage du type de celles utilisées en **paroi moulée**.

- **Chemise (ou gaine)** : **tube** en général en acier mince faisant partie du **fût** du **pieu**.

- **Colonne** : tube d'acier destiné à la mise en place du béton dans un **pieu**, également nommé **colonne de bétonnage** ou **tube plongeur** si elle plonge effectivement dans le béton.

- **Fiche** : longueur utilisée pour les calculs de portance du **pieu**, généralement comptée à partir de la **pointe**.

- **Frottement négatif** : effort vertical de haut en bas exercé sur le **fût** par le sol en cours de tassement.

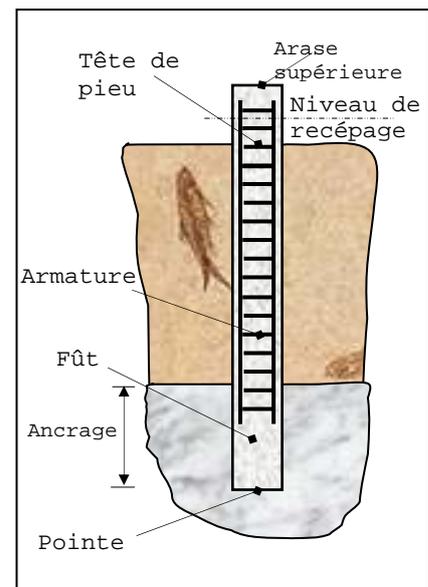
- **Mouton** : engin servant au battage des **pieux** ou des palplanches.

- **Pieu** : fondation profonde réalisée mécaniquement.

- **Pointe** : partie inférieure du **pieu** (pour un **puits** ou certains **pieux** on parle de **base**).

- **Puits** : fondation profonde creusée à la main sous la protection d'un blindage (diamètre > 1,20 m).

- **Recépage** : opération consistant à enlever la partie supérieure du **pieu** qui ne peut pas convenir soit d'un point de vue mécanique soit topographiquement pour la construction.

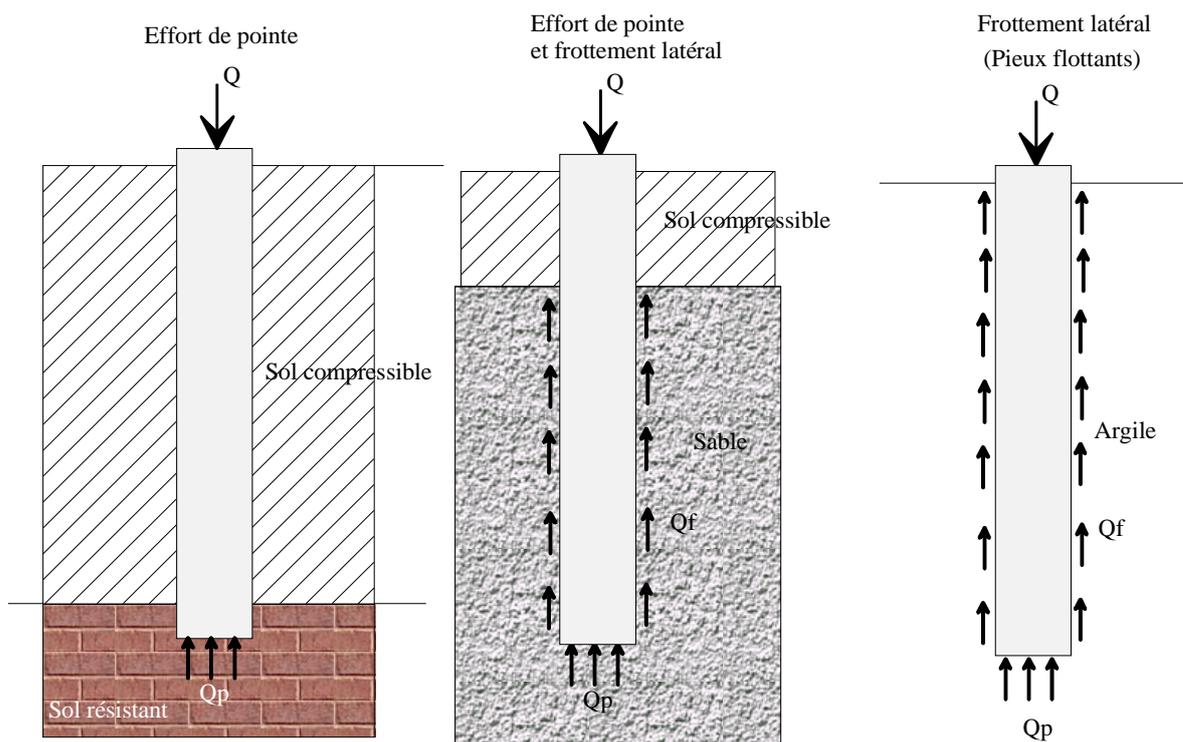


- **Refus** : enfoncement permanent moyen d'un pieu sous un coup de mouton mesuré sous une volée de 10 coups.
- **Tête** : partie supérieure du pieu.
- **Tubage** : **tube** en acier très épais pour le soutènement provisoire des parois de forage dans le cas de pieux forés-tubés.
- **Tube** : tube d'acier très épais utilisé pour la mise en oeuvre des pieux à tube battu.
- **Virole** : tube d'acier d'épaisseur moyenne pour le soutènement provisoire des parois de la tête du forage dans le cas de pieux forés simples ou forés à la boue.

3 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES PIEUX

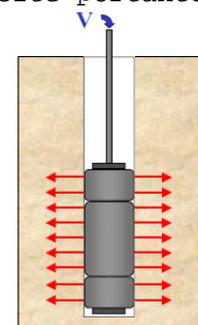
Les pieux agissent sur le sol soit :

- par **frottement latéral** : Q_f (pieux flottants)
- par **effet de pointe** : Q_p (pieux colonnes)
- par **frottement latéral + effet de pointe**.



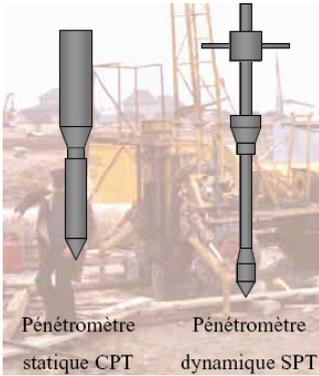
Les 2 principales méthodes qui permettent de calculer la capacité portante d'un pieu sont appelées des essais in situ :

Essai **pressiométrique** qui consiste à dilater une sonde cylindrique dans le sol par injection d'eau sous pression et mesurer la **pression limite P_l** qui correspond à la rupture du sol et d'en déduire le **module pressiométrique E** .



Thème n°1 : Les Fondations Profondes

Mauvais sol	Sol moyen	Bon sol
$P_l < 0,3 \text{ MPa}$ $E < 1,8 \text{ MPa}$	$0,3 \text{ MPa} < P_l < 2,5 \text{ MPa}$ $1,8 \text{ MPa} < E < 24 \text{ MPa}$	$P_l > 2,5 \text{ MPa}$ $E > 24 \text{ MPa}$

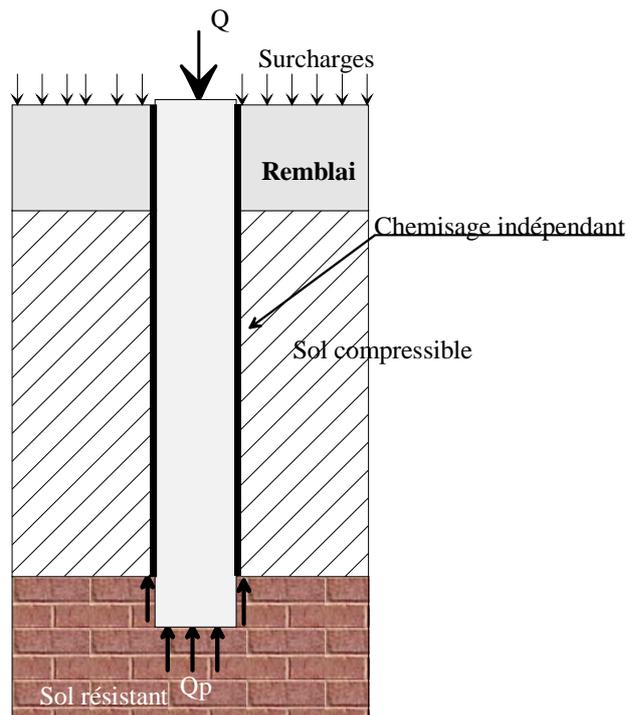
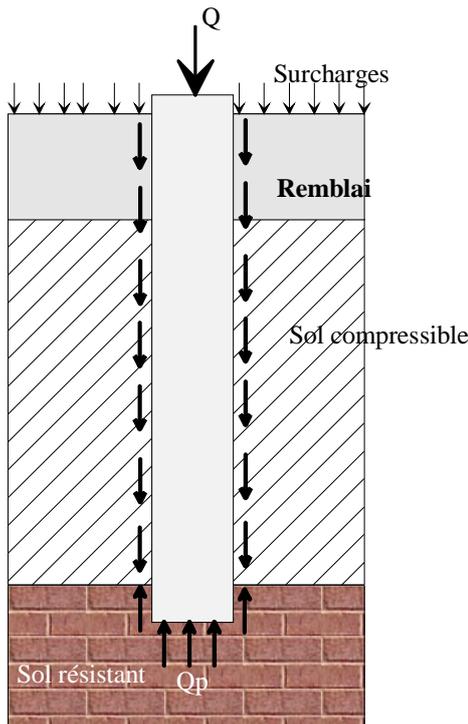
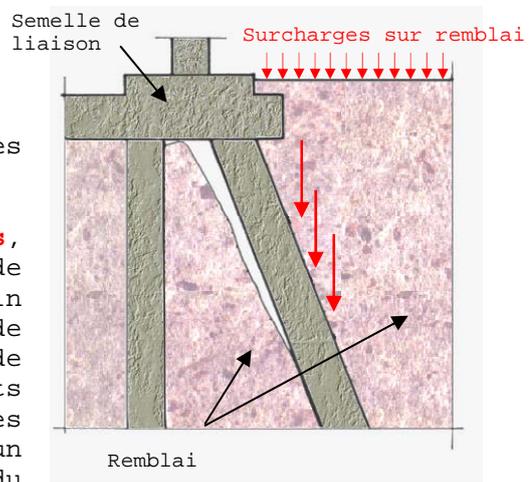


Essai au **pénétromètre** qui consiste à enfoncer dans le sol une pointe conique portée par un train de tiges et mesurer la **résistance de pointe Q_p** et le **frottement latéral Q_s** , ce qui permet de calculer la force portante d'un pieu.

Mauvais sol	Sol moyen	Bon sol
$Q_p < 3,3 \text{ MPa}$ $Q_s < 0,1 \text{ MPa}$	$3,3 \text{ MPa} < Q_p < 15 \text{ MPa}$ $0,1 \text{ MPa} < Q_s < 1 \text{ MPa}$	$Q_p > 15 \text{ MPa}$ $Q_s > 1 \text{ MPa}$

Ils doivent généralement résister à :

- des charges verticales : Q
- des poussées horizontales ou obliques (dans le cas de pieux inclinés).
- quelquefois à des **frottement négatifs**, auquel cas il est nécessaire de désolidariser le fût du pieu du terrain exerçant ce frottement négatif à l'aide d'une chemise enduite de bitume, de prendre en compte ces frottements négatifs dans le calcul de portance des pieux ou d'enduire le pieu à l'aide d'un produit anti-adhérent sur la hauteur du frottement négatif.



□ 4 - DESCRIPTIF DES PIEUX

Le document doit indiquer (voir l'extrait du dossier technique) :

- les types de pieux
- les diamètres des pieux
- les implantations des axes des pieux dans les 2 directions (en cotation cumulée)
- les cotes N.G.F. des pointes de pieux
- les cotes N.G.F. d'arase et de recépage des pieux
- la cote N.G.F. du niveau supérieur du bon sol
- les types d'armatures prévus.

□ 5 - DIFFÉRENTS TYPES DE PIEUX

5.1 - Les PIEUX à TUBE BATTU

Le principe consiste à enfoncer dans le sol (par refoulement de ce dernier) un tube métallique creux et fermé à sa base. Lorsque celui-ci est à la fiche requise, on introduit le béton en remontant le tube au fur et à mesure.

Leur hauteur est inférieure à 20 m.

C'est un procédé très courant du fait de son coût au mètre de pieu qui est l'un des plus bas.

Pieux Franki

Pieu exécuté sans nuisance sonore notable et avec une plate-forme de travail propre. Adaptation de l'énergie de battage à l'environnement

1 - Mise en fiche, réglage, confection d'un bouchon en béton sec.

2 - Pilonnage en fond de tube du bouchon, refoulement du sol.

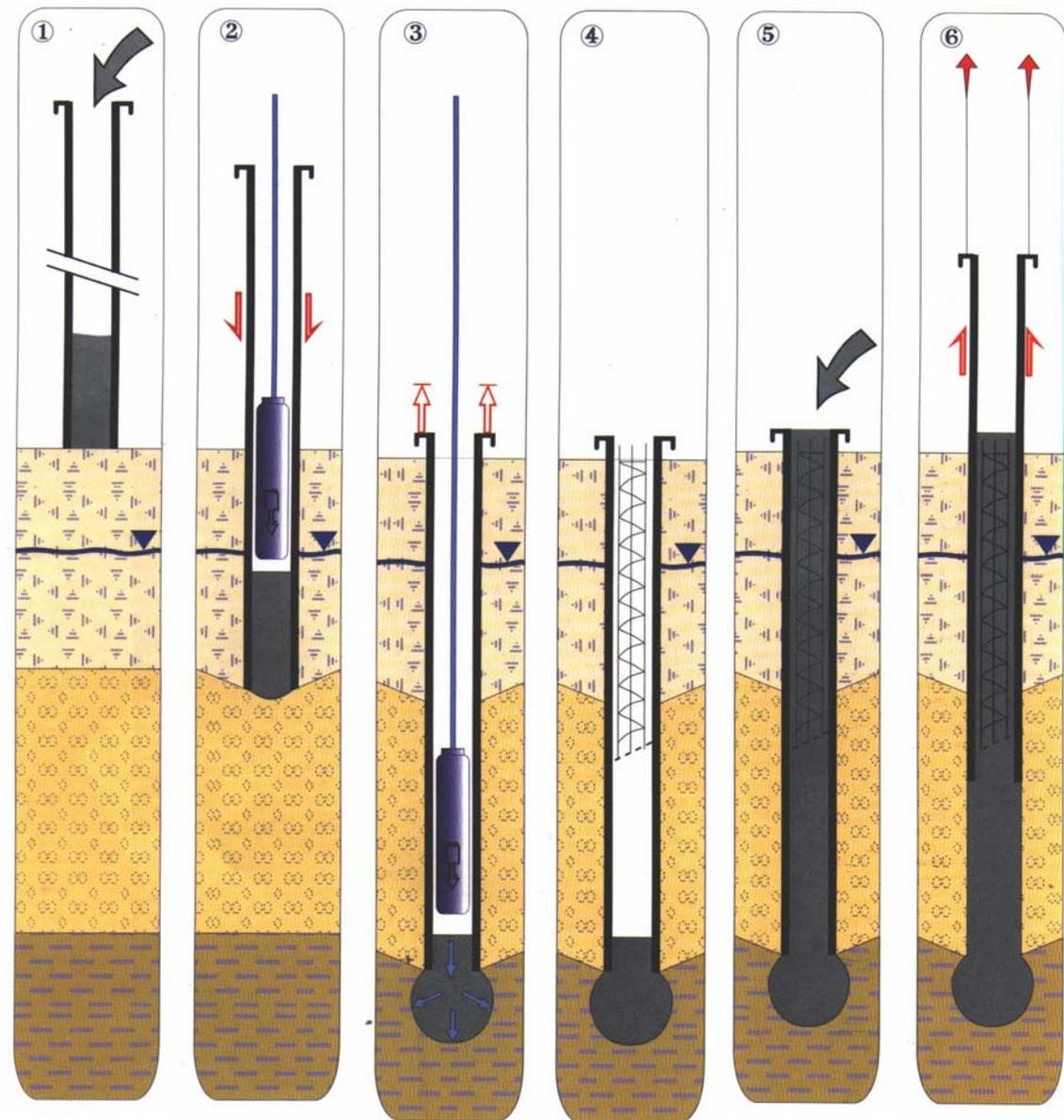
3 - Réalisation de la base élargie dans la couche d'ancrage.

4 - Mise en place d'armatures partielles ou totales.

5 - Bétonnage à sec.

6 - Extraction du tube.

ϕ minimum 400 à 650 mm



Pieux pilonnés de petit diamètre

Travail sous hauteur réduite, espace exigü.

Travail propre, sans nuisance sonore, adaptation de l'énergie de battage à l'environnement.

Rapide d'exécution.

1 - Mise en fiche, réglage, confection du bouchon en béton sec entraînant le tube par pilonnage.

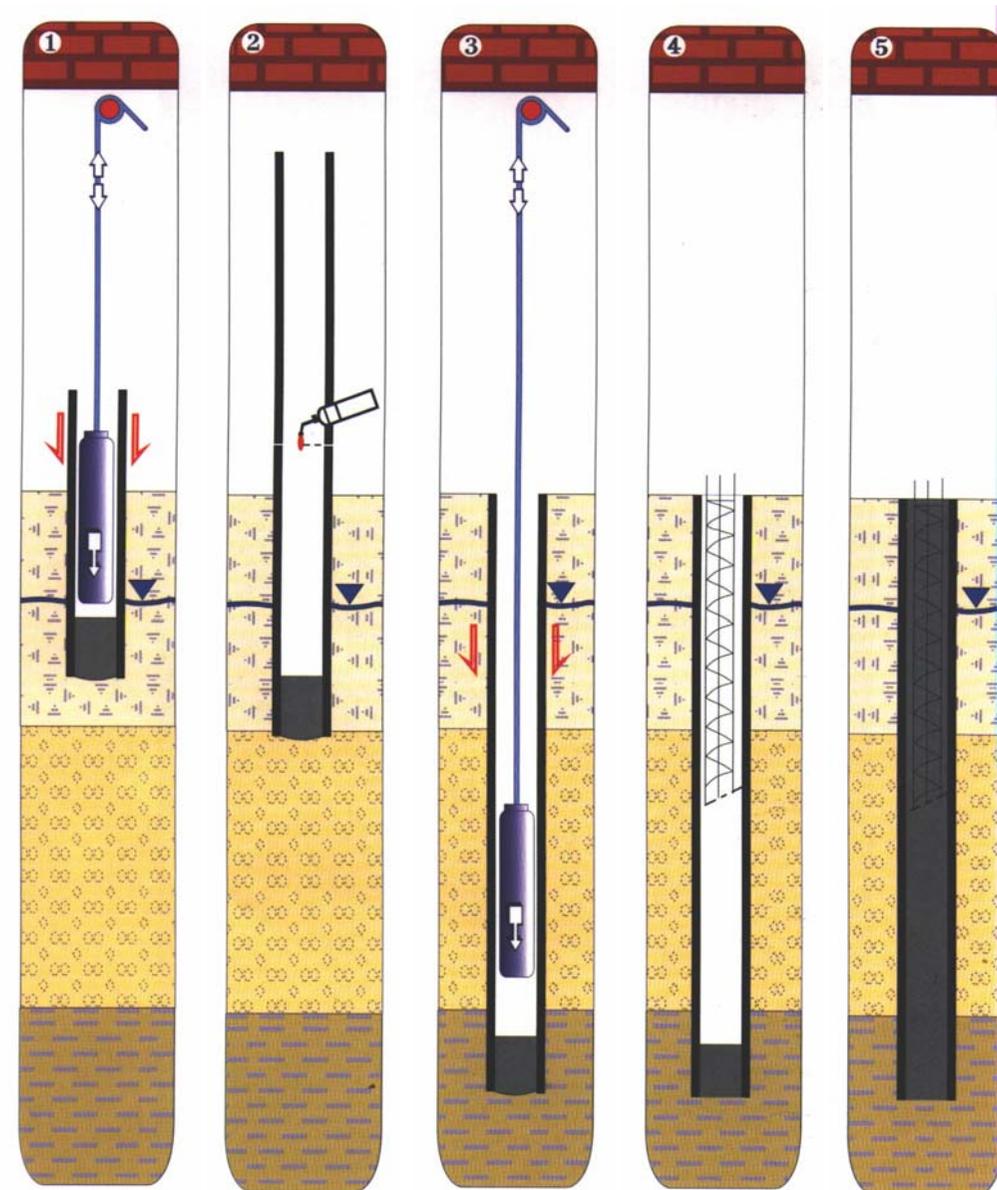
2 - Soudure d'éléments de tube de longueur variable (suivant hauteur disponible).

3 - Ancrage contrôlé.

4 - Mise en place d'armatures partielles ou totales.

5 - Bétonnage à sec.

Tube définitif ϕ maximum 406 mm



Pieux à tube battu moulés dans le sol

Mini-pieux ϕ 244 à 339 mm

Pieux ϕ 400 à 650 mm

Refoulement du sol (pas de déblais),
Plate forme de travail propre,
grandes profondeurs.

Exécution rapide (100 m/j).

Bon effet de pointe et bon frottement latéral.

Problèmes liés au battage
(bruit, vibrations, matériel
lourd et encombrant).

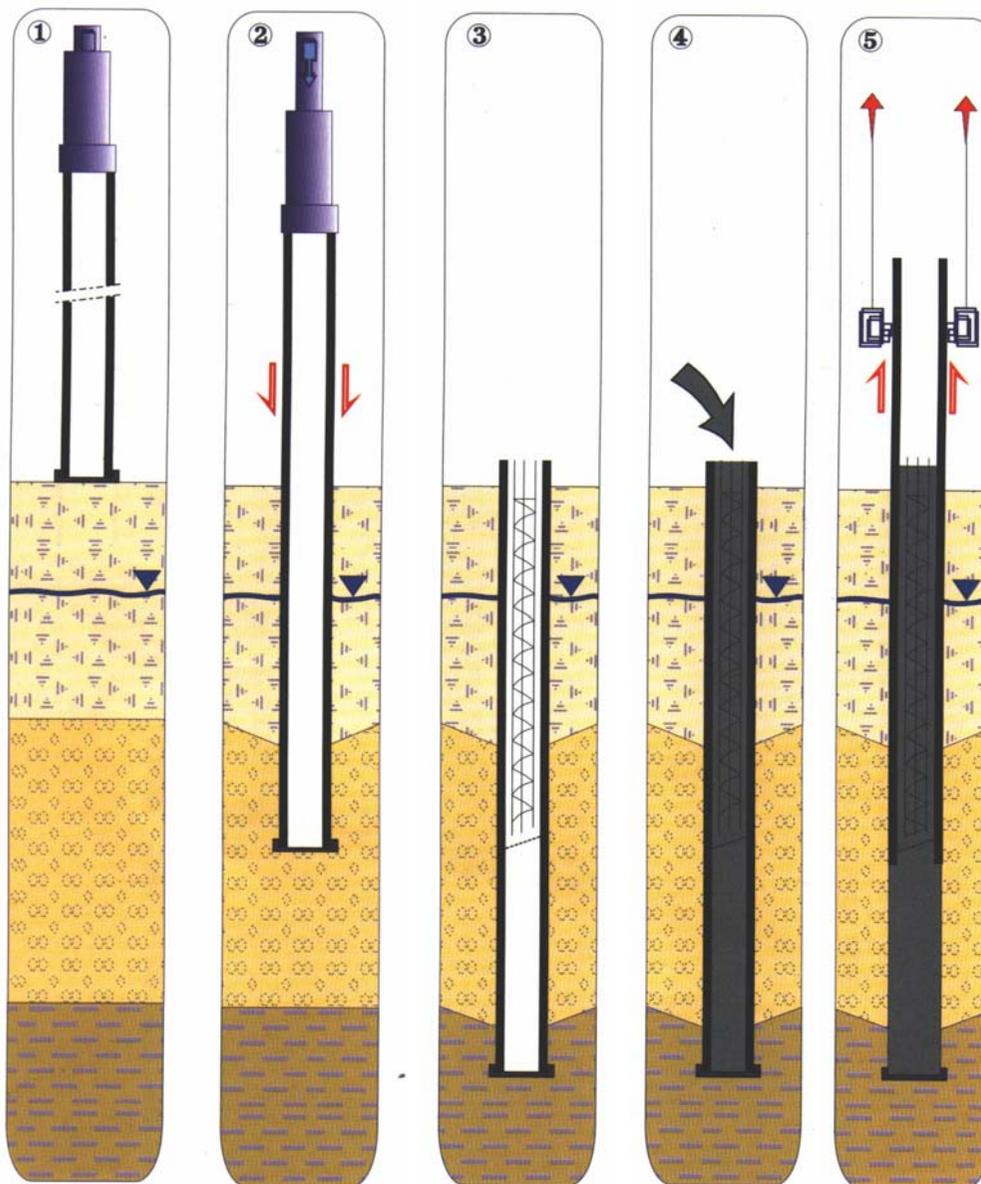
1 - Mise en fiche,
réglage, pose d'une plaque
perdue.

2 - Battage du tube par
mouton hydraulique ou diesel.

3 - Mise en place
d'armatures partielles ou
totales.

4 - Bétonnage à sec.

5 - Extraction du tube
(vibré si nécessaire).



5.2 - Les PIEUX FORES

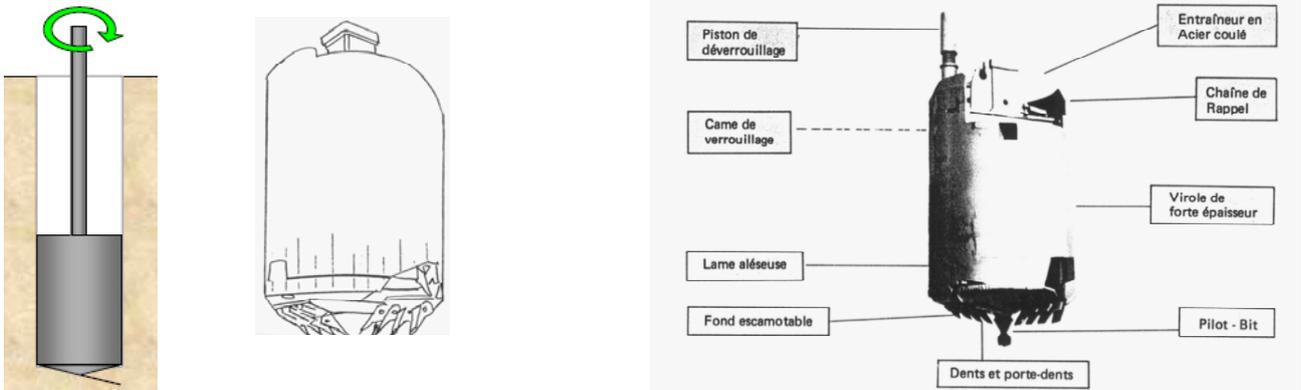
Ces pieux sont réalisés par extraction du sol, puis par mise en place d'une cage d'armatures et bétonnage de l'excavation.

Diverses techniques de forage :

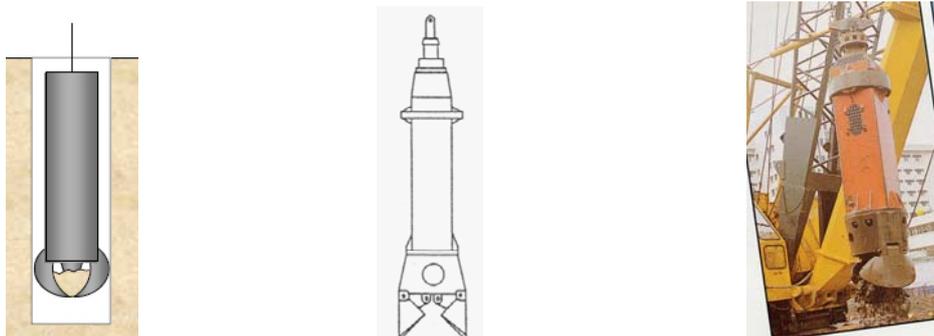
- La **tarière** qui fonctionne comme un tire-bouchon pour s'enfoncer dans le sol par rotation et remonte le sol par cisaillement. Une fois remontée on "vide" la tarière en la frappant sur le sol. Utilisable pour des sols tendres.



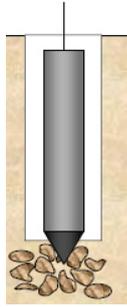
- Le **bucket** ou **benne** qui fonctionne comme un taille-crayon à réservoir en "coupant" le sol par rotation et en le stockant directement dans sa partie supérieure. Le bucket se vide par un système de trappe situé à sa base. Utilisable pour des sols tendres.



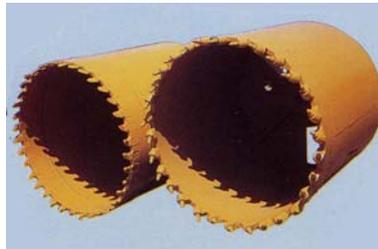
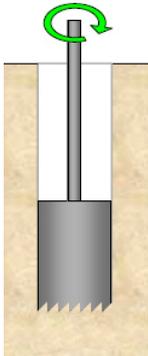
- L'**hammergrab** ou **grappin** c'est une mâchoire métallique qui détruit le sol par son poids. L'hammergrab est laissé tombé en chute libre dans le forage, arrivé au fond du forage le mâchoires se referment sur le sol qui est ensuite remonté. Utilisable pour des terrains durs.



- Le **trépan** fonctionne comme le précédent mais ne peut pas remonter le sol, sert donc en général pour détruire des passages rocheux dans le terrain.



- Le **carottier** fonctionne comme un poinçon en cisillant le sol par rotation et en le remontant par adhérence. Utilisable en terrains tendres et adhérents (argileux).



Tout ce matériel peut être monté sur des engins spéciaux :

- Kelly tige carrée télescopique.
- Machine Benoto, ...

Pieux forés simples

Pieux exécutés sans nuisances sonores, sans vibration, dans les terrains durs, à grande profondeur, pour de grands diamètres. Rendement 15 m/h.

Contrôle délicat de rectitude, verticalité et diamètre. Chantiers malpropres, risque de remaniement du sol autour du pieu, effet de pointe médiocre si mauvais curage.

Utilisable qu'en terrain cohérent hors d'eau.

1 - Mise en fiche, réglage, préforage.

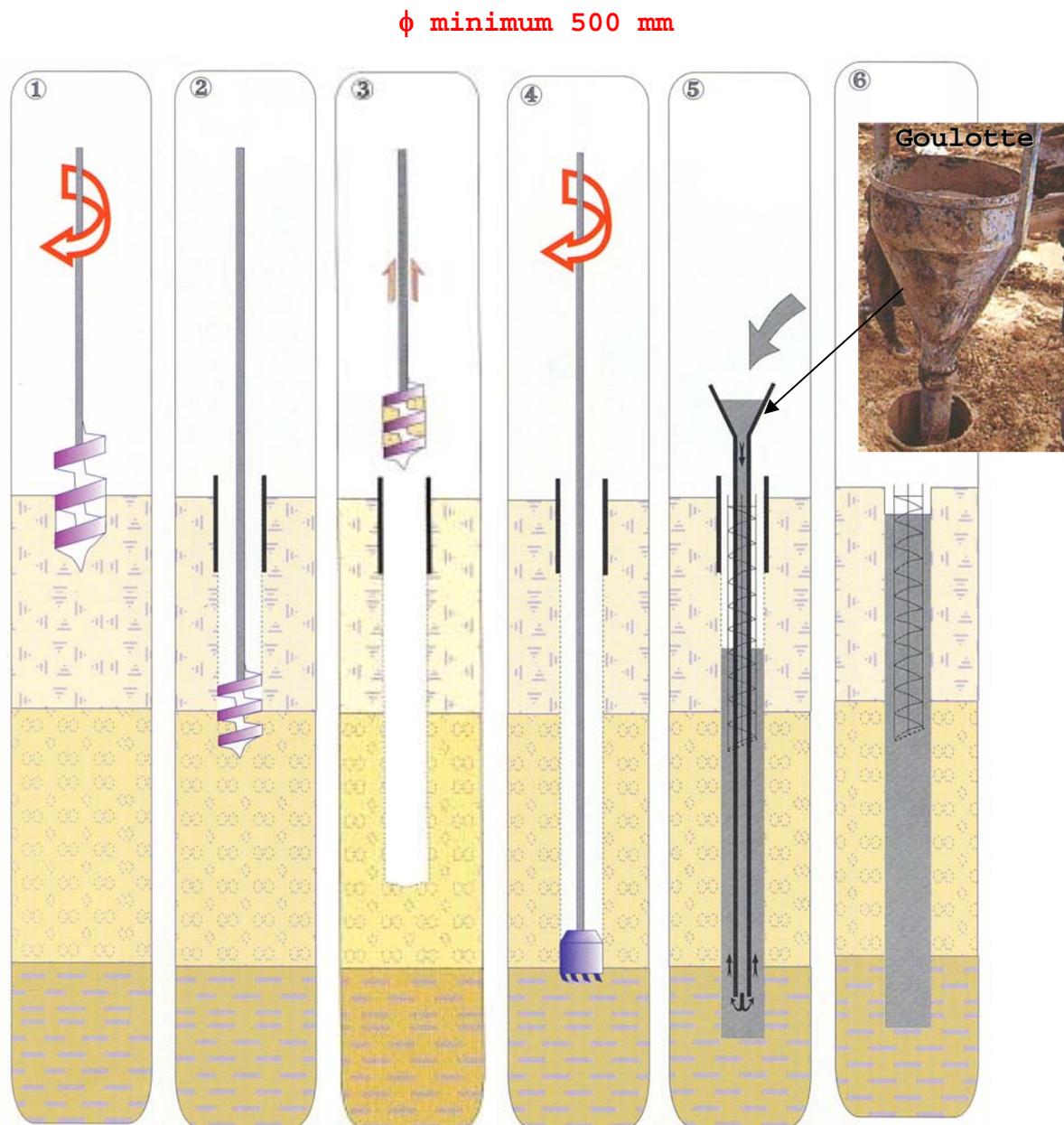
2 - Mise en place de la virole.

3 - Forage à la tarière sans tubage de soutènement des parois.

4 - Ancrage au carottier.

5 - Mise en place d'armatures partielles ou totales et bétonnage à la goulotte et à la colonne avec une garde minimum de 1 mètre.

6 - Contrôle de l'arase de béton.



Pieux forés tubés vibro-foncés

Pieux exécutés dans les terrains durs et à grande profondeur, dans le cas de sols pulvérulents avec présence d'eau.

Cadence faible (20 à 30 m/j) et coût important.



Vibro-fonçeur

1 - Mise en fiche, réglage, préforage.

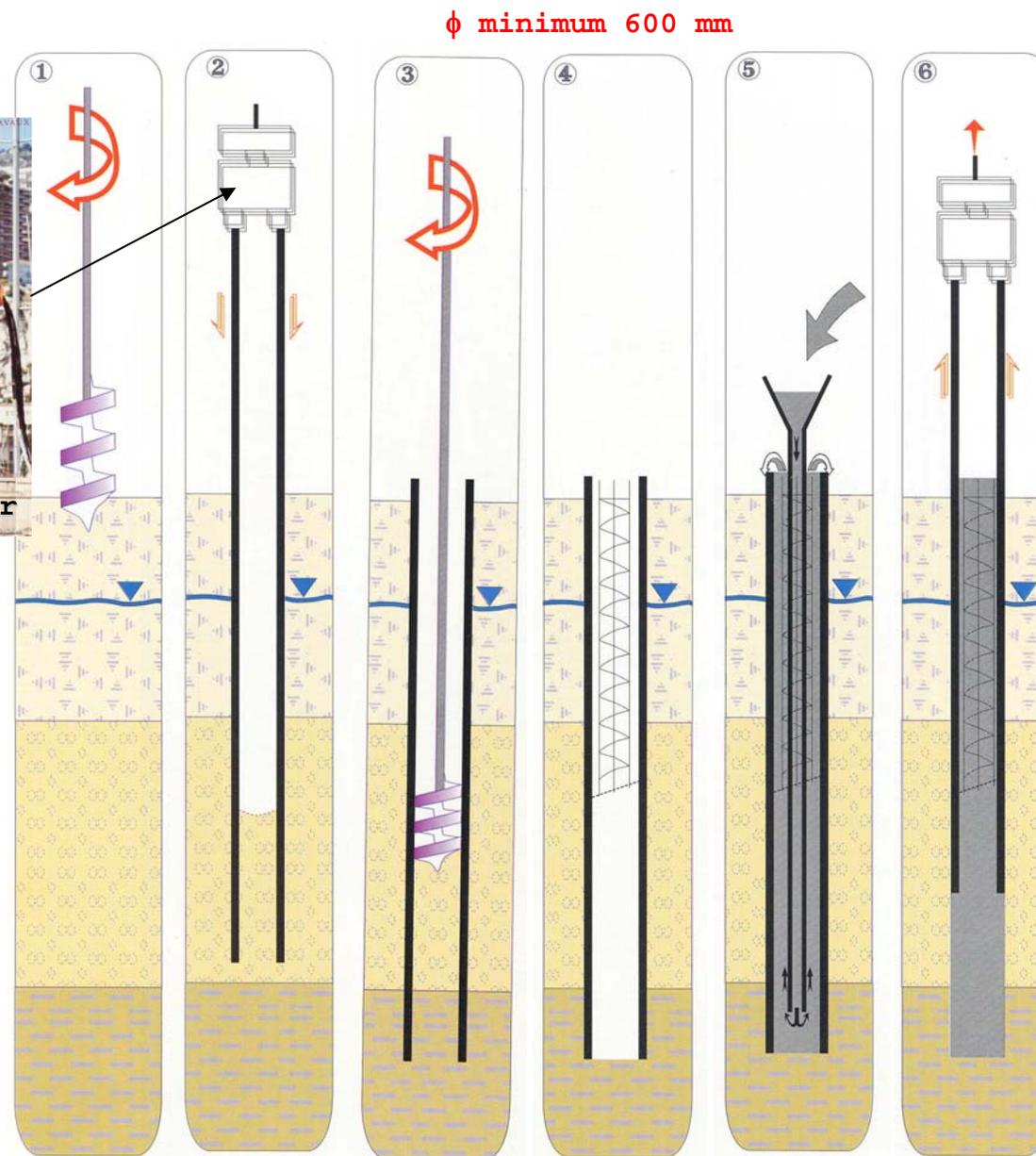
2 - Vibro-fonçage du tubage de travail.

3 - Forage et extraction des terres.

4 - Mise en place d'armatures partielles ou totales.

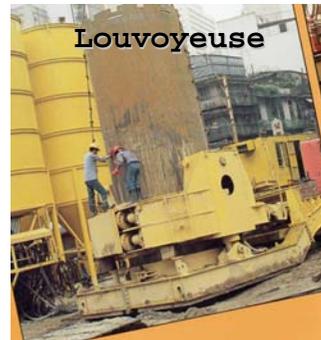
5 - Bétonnage au tube plongeur avec une garde minimum de 2 mètres.

6 - Extraction du tubage de travail.



Pieux forés tubés louvoyés

Pieux exécutés
sans nuisances
sonores, sans
vibration, dans les
terrains durs.



1 - Mise en fiche, réglage, préforage à l'abri du premier élément de tubage.

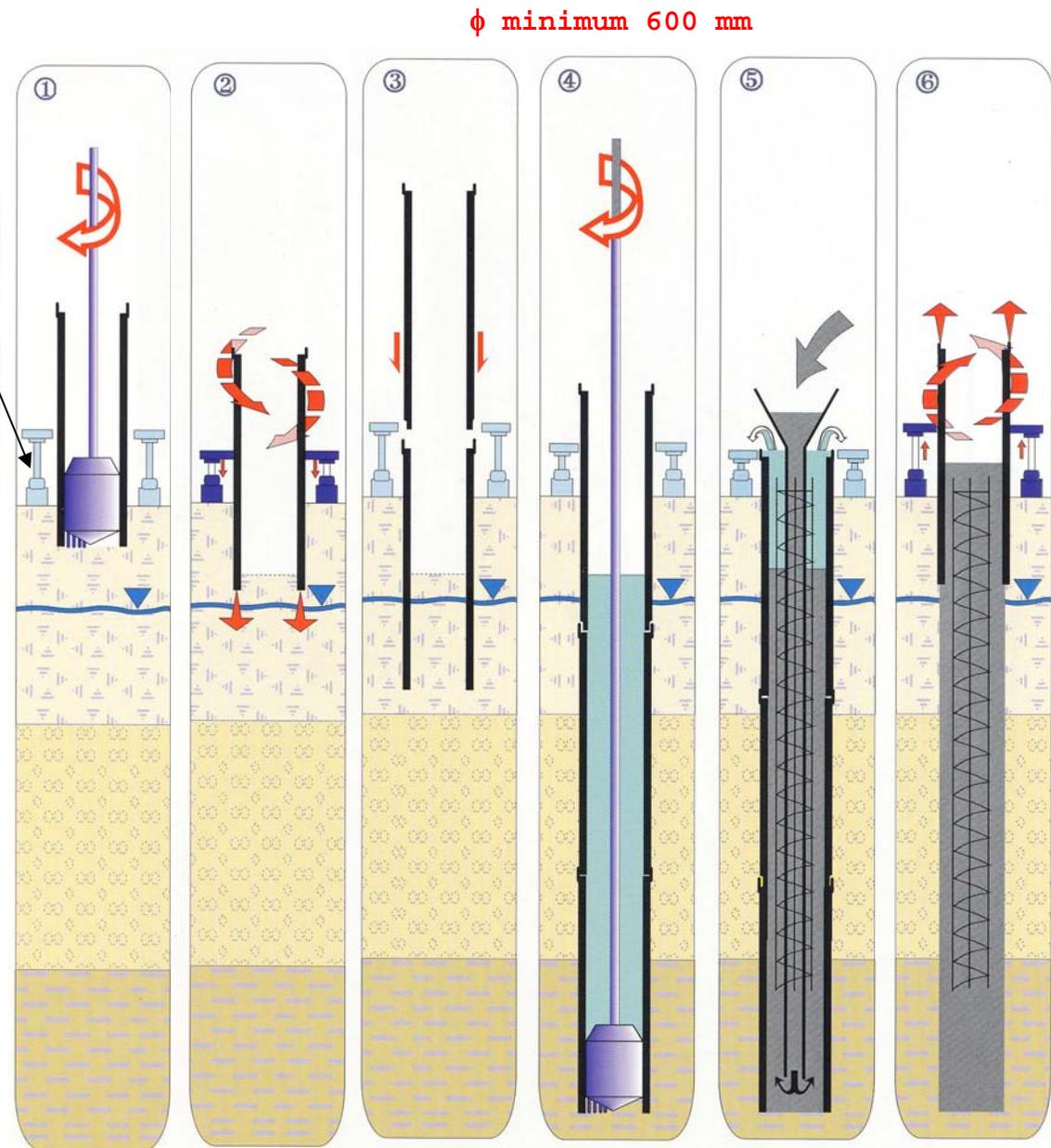
2 - Fonçage du tubage par la louvoyeuse.

3 - clavetage des éléments de tubage à l'avancement.

4 - Ancrage.

5 - Mise en place d'armatures partielles ou totales, bétonnage au tube plongeur.

6 - Extraction des tubages par la louvoyeuse.



Pieux forés moulés de petit diamètre

Travail sous hauteur réduite, espace exigü, environnement sensible.



1 - Mise en fiche, réglage, préforage.

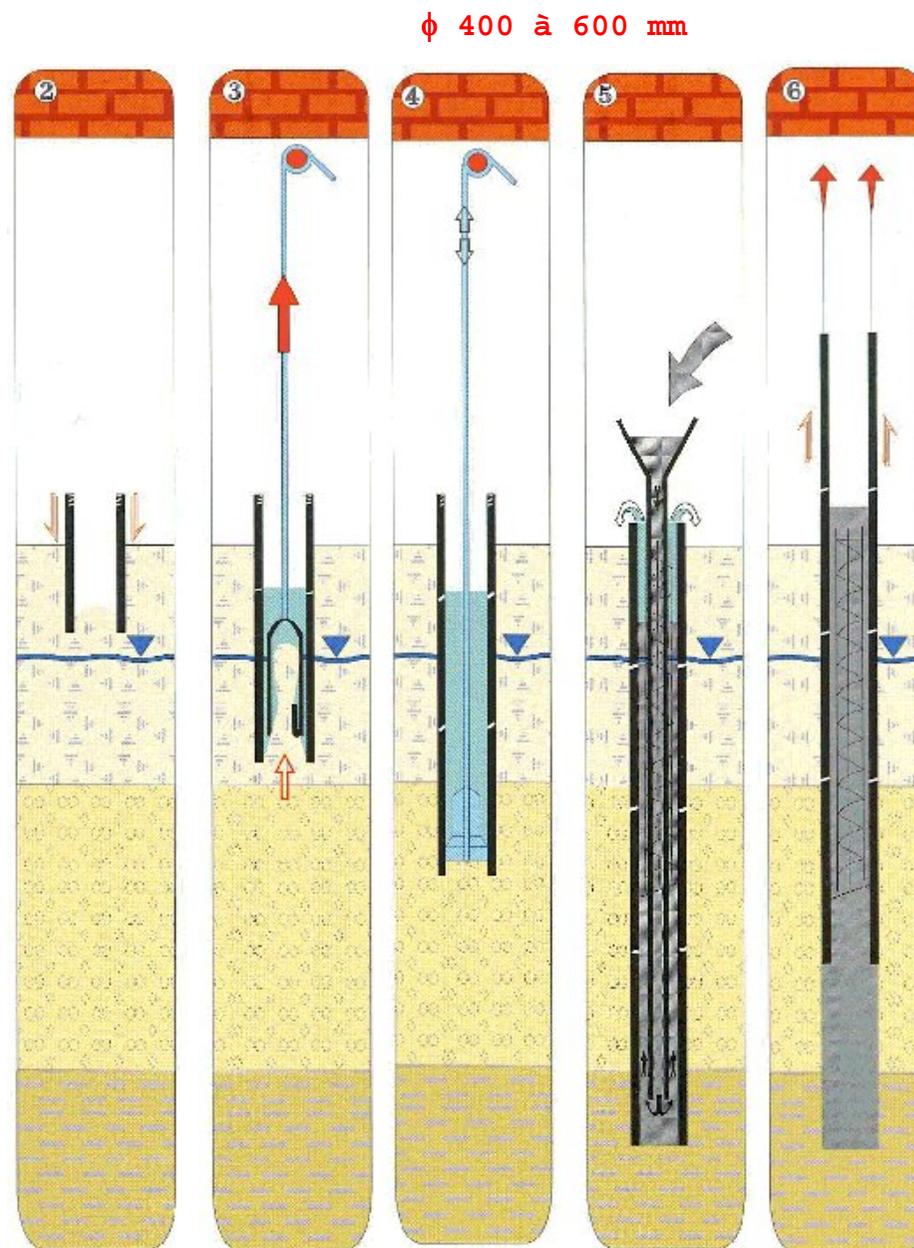
2 - Mise en place du premier élément de tubage.

3 - Extraction des terres à la soupape.

4 - Tubage à l'avancement par éléments vissés mis en place par havage.

5 - Mise en place d'armatures partielles ou totales et bétonnage au tube plongeur.

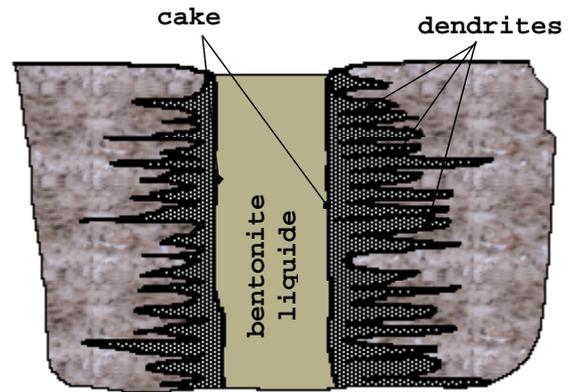
6 - Extraction du tubage par éléments.



Les pieux forés à la boue

Les parois sont maintenues par une boue qui remplit le forage. Cette boue a pour fonctions :

- de refroidir les outils de perforation,
- de remonter les sédiments,
- de maintenir les parois du forage,
- d'éviter les infiltrations d'eau dans le forage.



C'est de la **bentonite** qui possède la propriété de **thixotropie** soit d'être à l'état liquide lorsqu'elle est agitée et à l'état solide au repos.

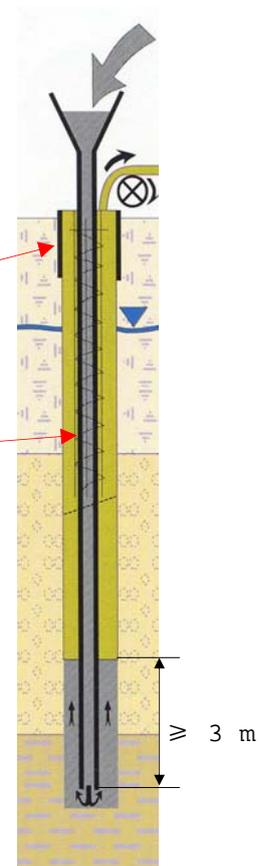
Elle agit d'une part grâce à sa densité supérieure à 1 (1,01 neuve, <1,20 régénérée) qui permet de retenir les parois du forage et d'éviter les infiltrations d'eau, et d'autre part en créant une fine pellicule (3 à 5 mm), appelée cake, contre les parois et en pénétrant dans les interstices du sol ce qui a pour résultat de lier les particules du terrain entre elles et donc de le consolider, ces pénétrations s'appellent des dendrites et ont de quelques centimètres à plusieurs mètres de longueur (voir la figure).

Le diamètre du pieu est celui de l'outil de forage.

L'utilisation d'une **virole** en tête est obligatoire (maintien des terres et guidage de l'outil).

Le béton est mis en place à la **colonne** dont le pied doit toujours se situer à plus de 3 m sous le niveau du béton frais.

Au début le premier béton nettoie le fond de forage et se mélange à la boue et aux impuretés s'y trouvant, par la suite ce mélange, plus léger que le béton frais, restera toujours au dessus poussé par la colonne de béton. C'est ce béton impur qui apparaîtra en premier en haut du forage, le bétonnage prendra fin avec l'arrivée en surface d'un béton de bonne qualité.



Pieux forés à la boue

Pieux exécutés sans nuisances sonores, sans vibration, dans toutes natures de terrains en présence d'eau, grandes profondeurs.

Sections importantes donc capacité portante élevée.

1 - Implantation, préforage, mise en place de la virole.

2 - Mise en œuvre de la boue bentonitique.

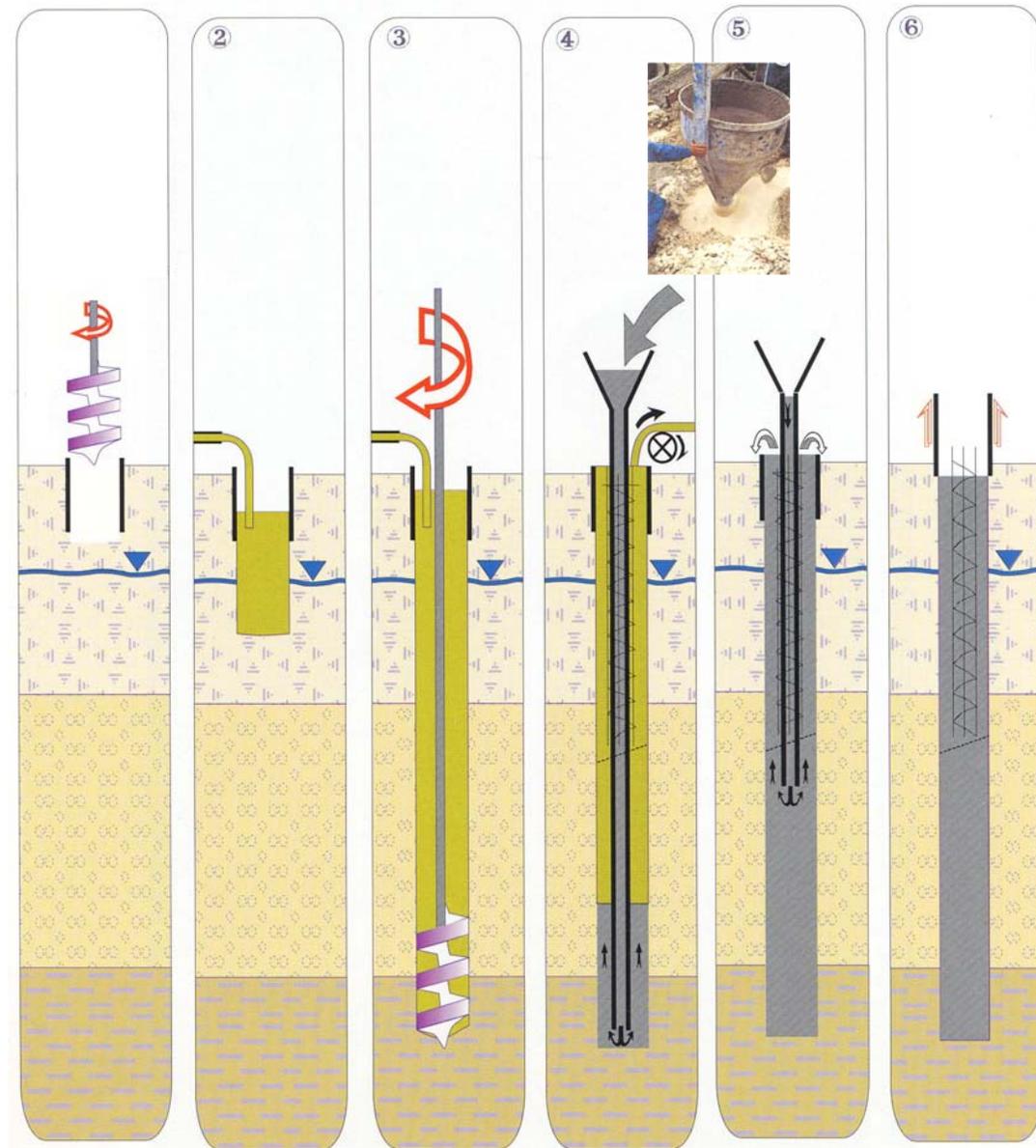
3 - Forage sous charge de boue.

4 - Recyclage de la boue, mise en place d'armatures partielles ou totales, bétonnage au tube plongeur.

5 - Tube plongeur relevé par élément, fin du bétonnage.

6 - Extraction de la virole, contrôle de l'arase béton.

ϕ minimum 800 mm



Pieux forés à la tarière creuse

**Exécution rapide,
environnement sensible,
sans vibration.**

**Impossible en cas
d'obstacles enterrés
(bancs rocheux, béton,..)
Le ferrailage en
peut être que des
armatures en attente.**



1 - Mise en fiche, réglage des guides de forage.

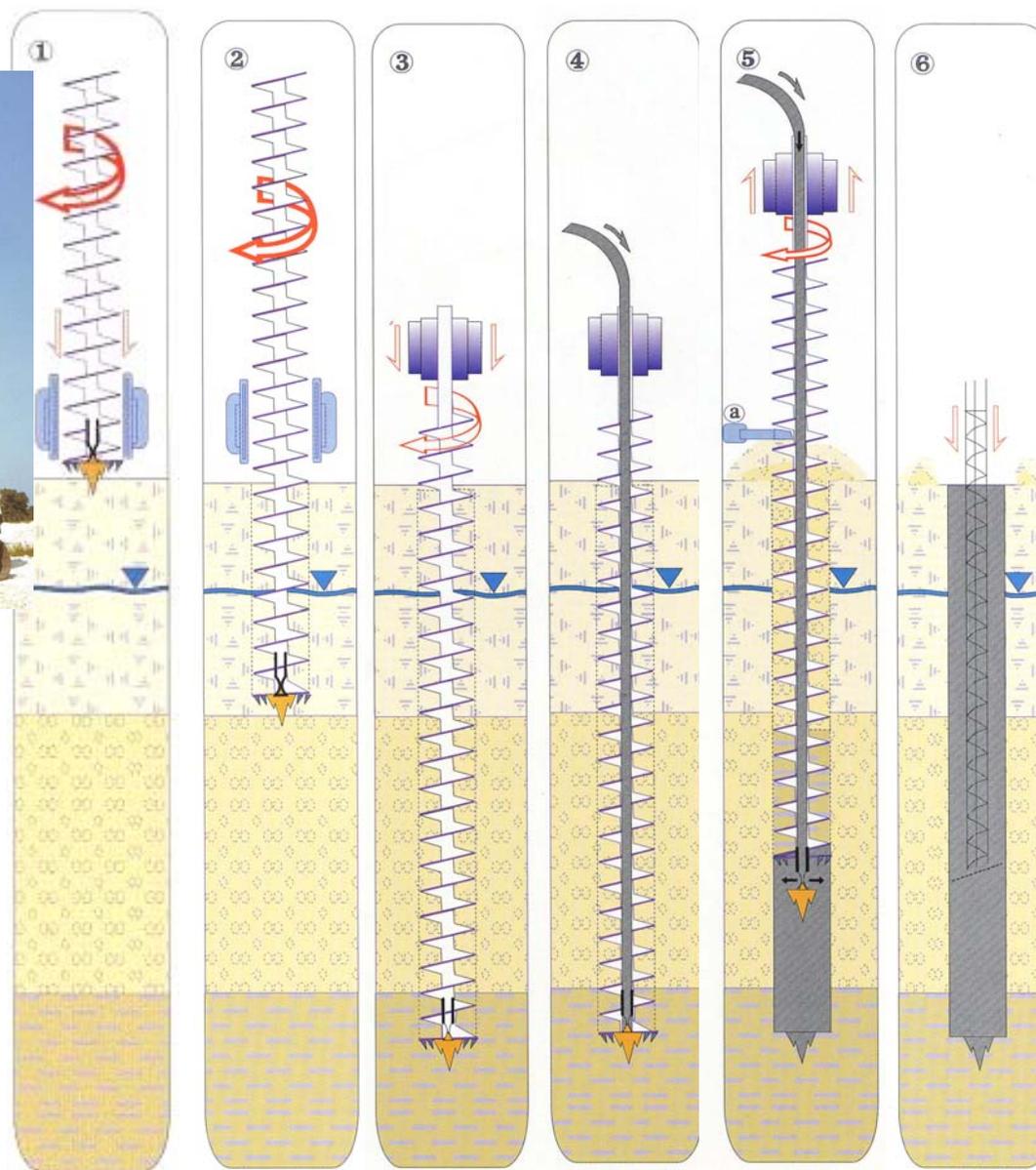
2 - Forage.

3 - Ancrage par rotation et avec poussée sur l'outil.

4 - Injection du béton dans l'axe creux de la tarière.

5 - Descente du tube plongeur, remontée de la tarière, nettoyage de la tarière, bétonnage contrôlé en continu.

6 - Mise en place d'armatures.



Pieux Atlas

Exécution propre, pieu exécuté sans extraction de terre et sans vibration, amélioration des caractéristiques des sols par compression.

Impossible en cas d'obstacles enterrés (bancs rocheux, béton, ...).

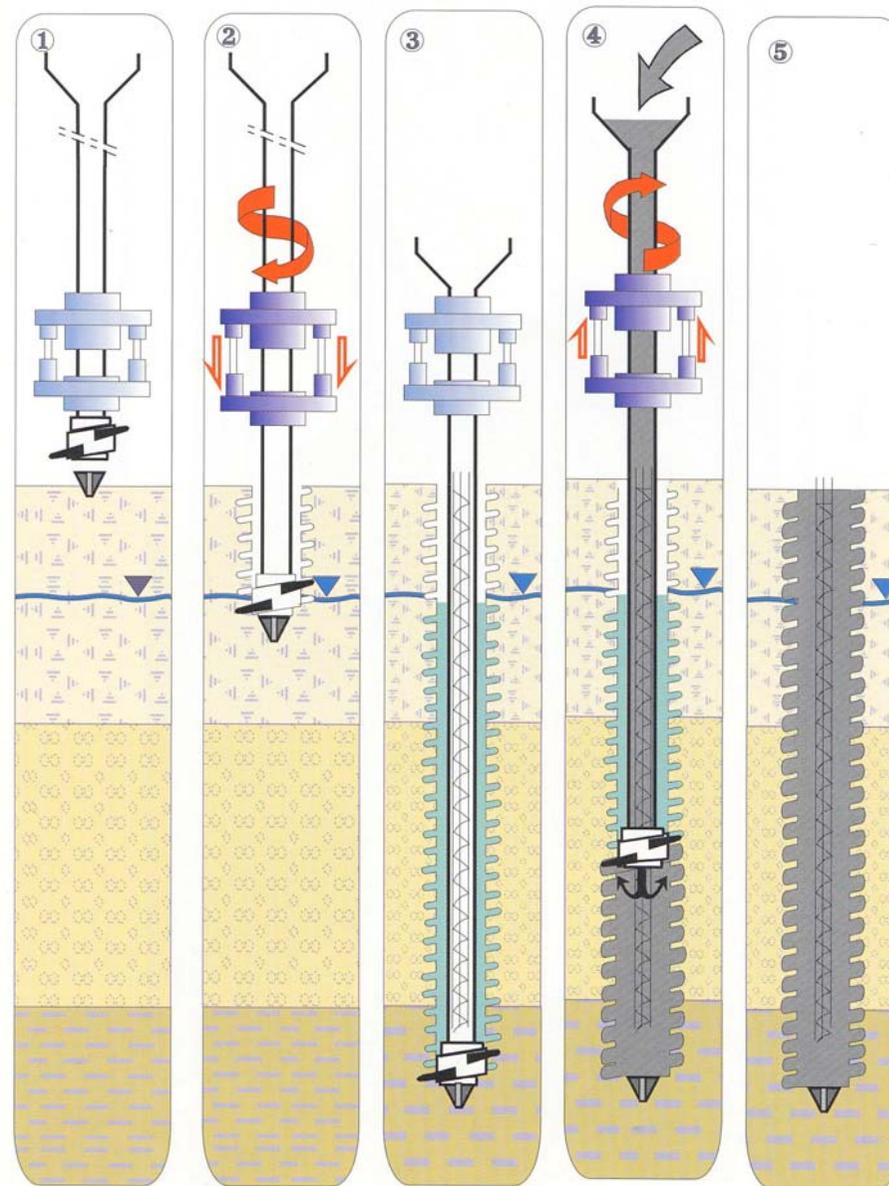
1 - Mise en fiche, réglage et pose d'une pointe perdue.

2 - L'outil est foncé par combinaison du vissage et du vérinage dans le sol refoulé.

3 - Mise en place d'armatures.

4 - En dévissant, le vérinage augmente par refoulement du sol l'épaisseur de l'empreinte laissée par l'outil, la charge du béton garantissant un parfait moulage de celle-ci.

5 - Pieu Atlas exécuté.

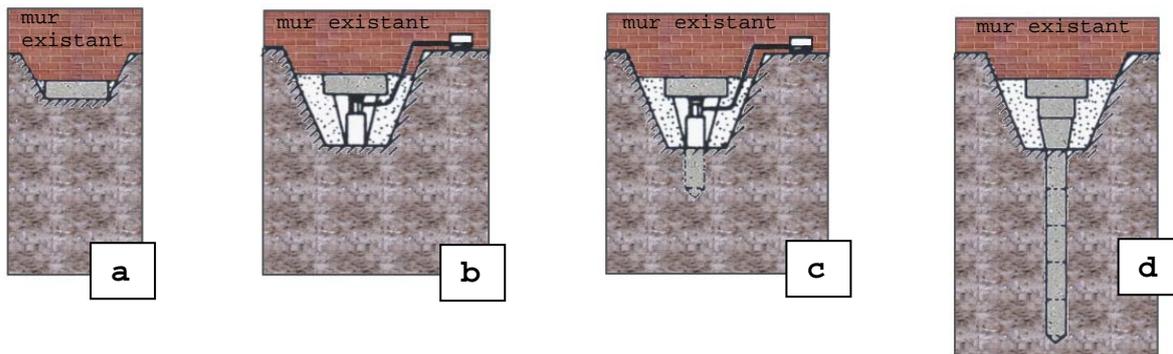


5.3 - Les PIEUX FONCÉS

Ces pieux ont été conçus à l'origine pour la reprise en sous-œuvre de constructions existantes. Ils s'exécutent sans bruit ni vibrations, sans terrassement et même en présence d'eau.

5.3.1 - Les pieux foncés en béton

Des éléments cylindriques en béton armé préfabriqués ou coffrés à l'avancement de 0,5 à 2,5 m de longueur et de 0,3 à 0,6 m de diamètre sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction.



a - réalisation d'une poutre en béton armé au dessous d'un tronçon de la construction existante, préalablement mise à nu.

b - descente du premier élément grâce à l'action du vérin. La réaction vers le haut du vérin est transmise à la construction existante par l'intermédiaire de la poutre de répartition.

c - on procède de même pour les éléments suivants reliés entre eux.

d - lorsque le fonçage de l'ensemble des éléments est terminé il est mis en oeuvre sur chaque pieu une tête de pieu afin de relier le pieu à la construction existante.

5.3.2 - Les pieux foncés en métal

Des éléments en acier de 0,5 à 2,5 m de longueur sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction.

Ces éléments peuvent avoir des formes diverses: tubes, palplanches, H, ...

Ils sont assemblés entre-eux par soudure bout à bout.

La technique générale est identique à celle des pieux foncés en béton.

5.4 - Les PIEUX FACONNÉS à l'AVANCE

5.4.1 - Les pieux préfabriqués battus

Ils sont soit en béton armé soit en béton précontraint.

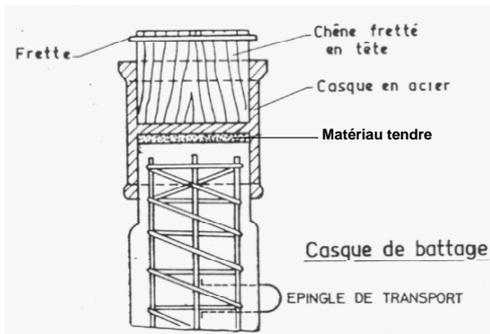
Leur longueur maximum est de 40 m.

Leur diamètre maximum est de 40 à 50 cm.

Ils sont armés longitudinalement et transversalement, la tête et la pointe du pieu sont frettés.

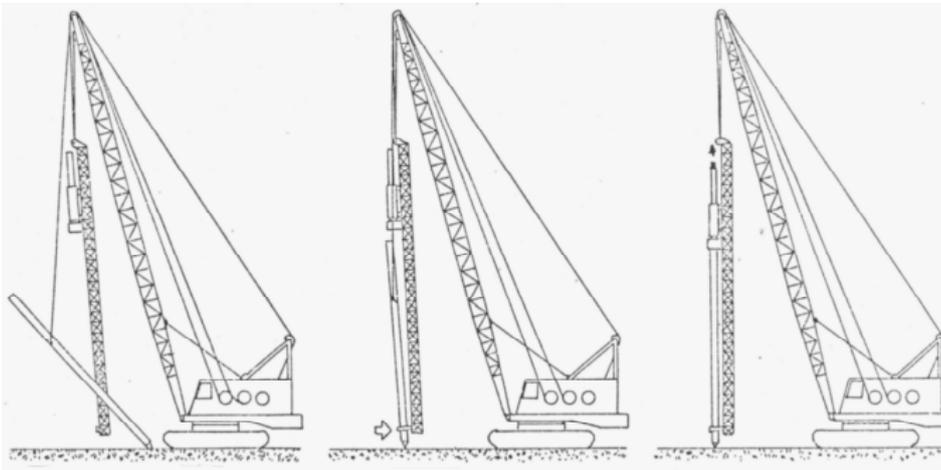
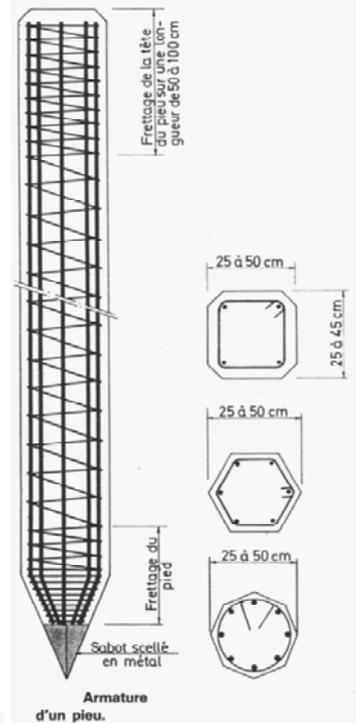
Un sabot de pied est recommandé.

Le battage se fait par l'intermédiaire d'un mât oscillant le long duquel vient glisser le pieu, un casque de battage est amené en tête de pieu surmonté par un **mouton** diesel ou à air comprimé ou par un trépideur (mouton à double effet dont la cadence de frappe est plus rapide mais moins puissants).



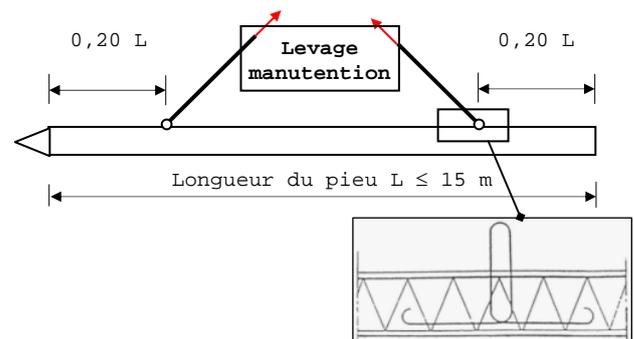
Le pieu est battu jusqu'à ce que sa pointe atteigne une cote déterminée à l'avance, en

vérifiant que le refus obtenu correspond bien aux prévisions.



Le pieu est prévu pour faire face successivement aux conditions de sollicitations :

- au cours des manutentions
- au cours du stockage
- au cours du battage
- au stade final en service.



5.4.2 - Les pieux en métal battu

On met en place par battage ou vibration un profilé métallique (H, tube, palplanche, reconstitué, ...).

La longueur d'un profilé est comprise entre 8 et 18 m.

Les avantages de ces pieux sont :

- bonne résistance en traction, compression et flexion,
- prix 2 fois moins important qu'un pieu en béton armé,
- possibilité de rallonge par simple soudure,
- mise en oeuvre rapide.

Les inconvénients :

- la corrosion,
- Les bruits et les vibrations dus au battage,
- manutention difficile.

5.4.3 - Les pieux tubulaires précontraints

Le pieu est constitué d'éléments tubulaires en béton armé assemblés par une précontrainte antérieure au battage.

Les éléments ont généralement 1,5 à 3 m de long, 0,7 à 0,9 m de diamètre intérieur et une épaisseur voisine de 0,15 m.

La liaison entre éléments avant précontrainte est assurée par une colle (epoxy).

Des passages longitudinaux de 20 à 40 mm de diamètre sont prévus pour l'enfilage des câbles.

Les armatures classiques ne servent qu'au cours des manutentions et lors du battage.

La mise en oeuvre se fait par battage. Les têtes de pieux doivent être protégées pendant le battage par l'interposition de pièces de bois en contre-plaqué de 40 à 50 mm d'épaisseur (martyrs).

La liaison à la superstructure se fait par la mise en place d'un bouchon en béton armé en tête de pieu d'une hauteur au moins égale à 3 fois le diamètre intérieur des éléments tubulaires.

5.4.4 - Les pieux battus enrobés (type Trindel)

L'âme des pieux est un tube d'acier (150 à 500 mm de diamètre extérieur), un profilé métallique H ou un caisson formé de profilés ou de palplanches à 2, 3 ou 4 éléments.

La pointe est munie d'un sabot débordant, le diamètre du pieu étant celui du sabot.

Au fur et à mesure du battage on injecte au voisinage du pieu un mortier dosé au moins à 500 kg/m³ de ciment auquel on adjoint du sable et un retardateur de prise.

Ces pieux peuvent être inclinés jusqu'à 60° par rapport à la verticale.

La liaison pieu-semelle peut être métallique ou mixte acier-béton.

5.4.5 - Les pieux battus ou vibrofoncés injectés haute pression

Ce sont des pieux métalliques battus ou vibrofoncés de largeur supérieure ou égale à 250 mm.

L'armature du pieu (tube ou profilé) est équipée d'un système d'injection constitué par un ou plusieurs **Tubes À Manchettes** (TAM).

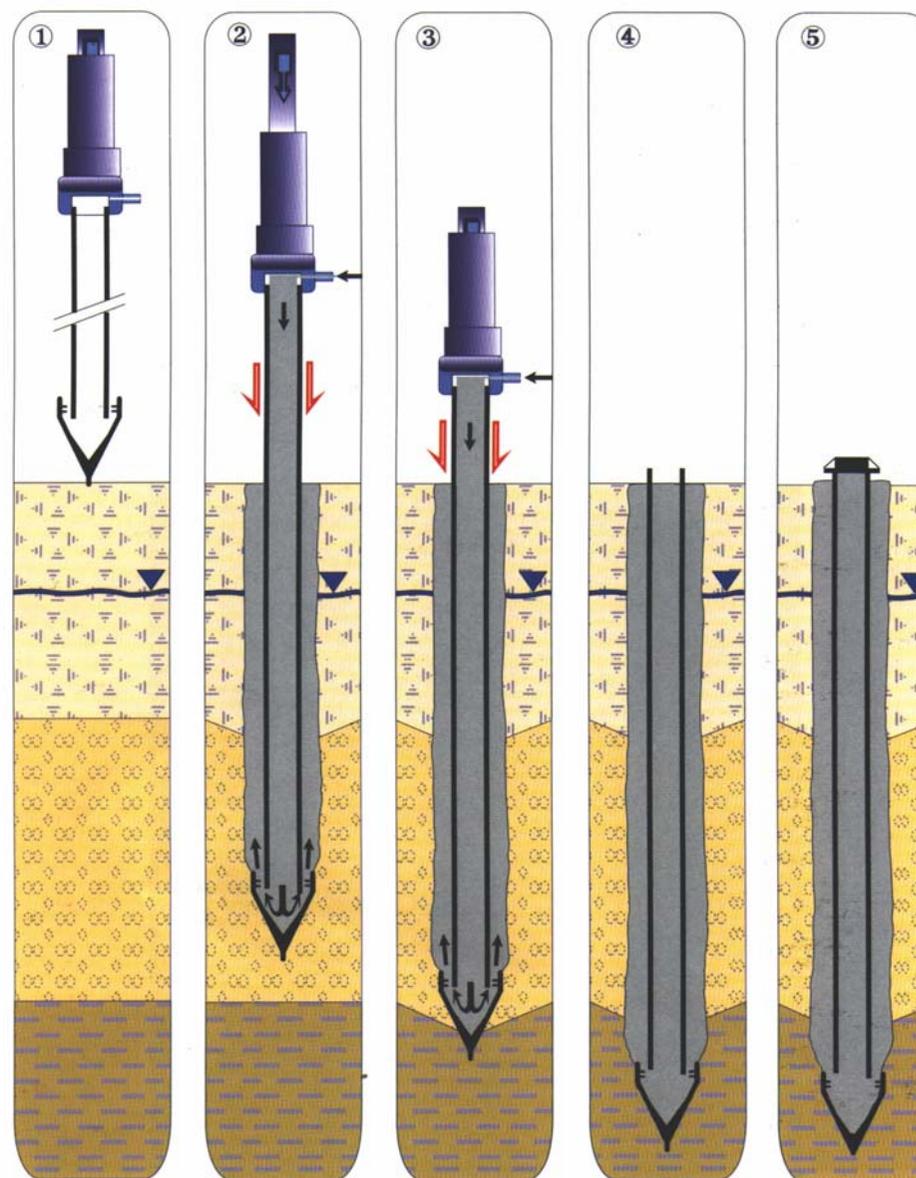
Pieux métalliques battus injectés

Grande profondeur, chantier propre, exécution rapide.

Amélioration du frottement latéral, injection par la pointe.

Reprise d'efforts de traction et de sollicitations horizontales importantes.

- 1 - Mise en fiche, réglage.
- 2 - Battage du tube par mouton hydraulique ou diesel et injection simultanée de mortier.
- 3 - Refoulement (par le sabot) des sols, maintenus et expansés par l'injection de mortier.
- 4 - Pieu terminé.
- 5 - Recépage et soudage d'une plaque.



5.5 - Les MICROPIEUX

Travail sous
hauteur réduite,
espace exigü,
reprise en sous
oeuvre.



1 - Mise en fiche, réglage et forage.

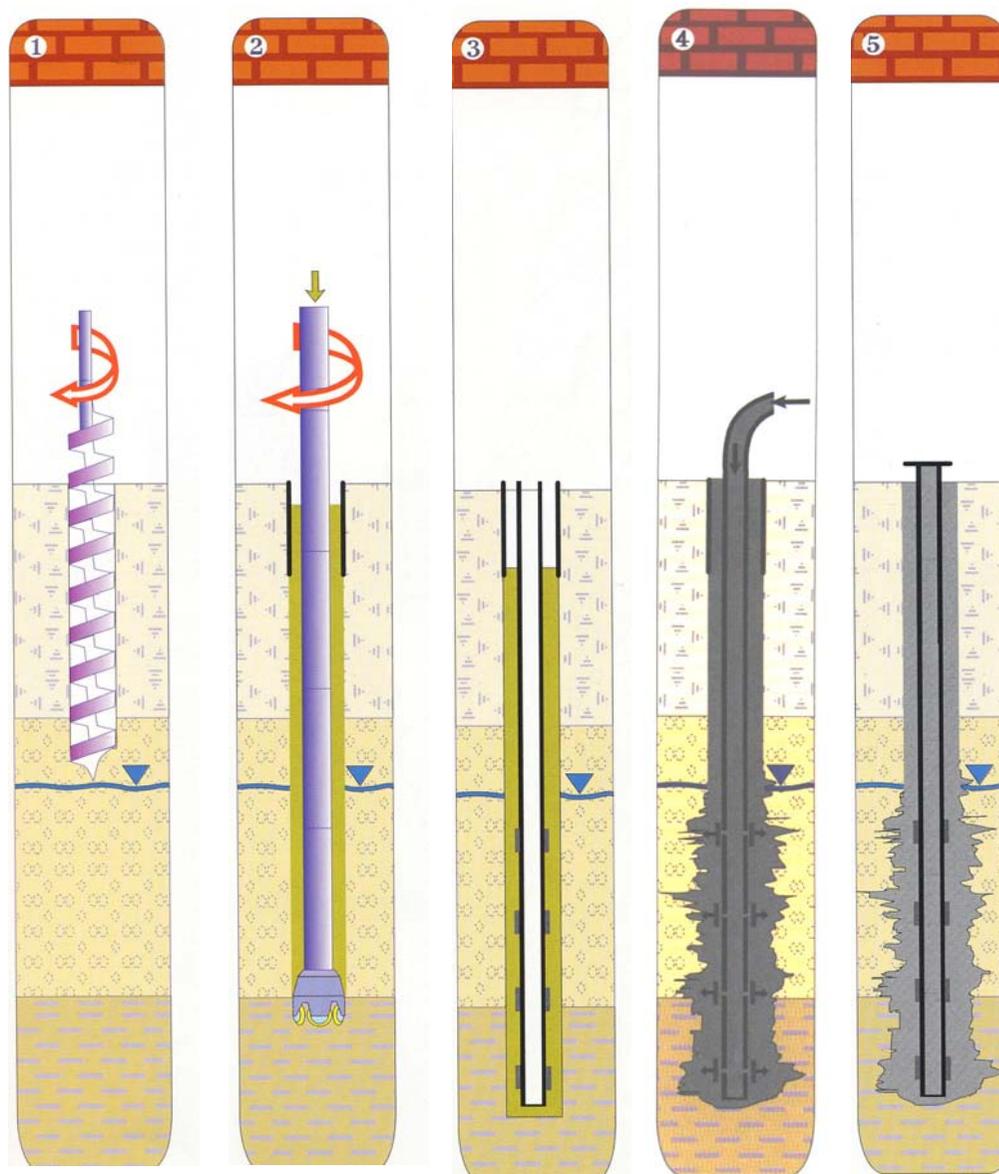
2 - Forage sous tubage, boue, coulis ou mortier.

3 - Mise en place d'une armature pouvant être équipée de manchettes pour l'injection sous pression.

4 - Scellement au coulis, ou au mortier de l'armature.

5 - Recépage et soudage d'une plaque.

ϕ maximum 250 mm



Choix des pieux

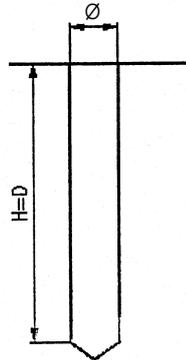
↓ Critères Pieux →	Micropieux	Pieux tubés battus injectés	Pieux Atlas	Pieux forés	Pieux tarière creuse	Pieux moulés pilonnés base élargie FRANKI	Pieux battus moulés dans le sol	Pieux battus moulés pilonnés petit diamètre	
Reprise de charges concentrées importantes	-3	-2	+1	+3	-2	+3	+3	+2	+3 Idéal
Tassement différentiel	+2	+2	+2	+3	-2	+3	+3	+2	+2 à conseiller
Résistance aux efforts latéraux	-3	+2	+1	+3	-2	+2	+2	+2	+1 adapté
Résistance à la traction	+2	+2	+2	+2		+3	+3	+1	
Adaptations à la faible résistance du terrain		-1	+2	+1	-2	+3	+2	+1	
Niveau de vibrations	+3	+1	+3	+3	+3	-1	-1	-2	
Niveau de bruit	+1	+1	+3	+2	+3	+1	+1	+1	
Passage d'obstacles enterrés	+3	-2	-3	+1		-1	-1	-1	-1 moins adapté
Grande profondeur	+1	+1	+1	+3	+1	+1	+1	+1	
Possibilité d'exécution " en incliné "	+3	+1	+2	+1	-3	+3	+3	+3	-2 à déconseiller
Exécution sous eau	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	
Exécution sous hauteur réduite	+3	+3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3 pas applicable
Niveau de recépage > 3 m sous le niveau du		+2	-3	+3	-2	+3	+3	+1	
Distance de l'axe p I r à des bâtiments existants	+3	+3	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
Coûts relatifs	-1	-1	+2	-1	+2	+2	+2	+2	
Délai d'exécution	+1	+1	+2	-1	+2	+2	+2	+3	
Préavis requis	+1	+1	+3	+1	+3	+3	+3	+3	
Importance relative des frais fixes	-2	+2	+2	-2	+2	+1	+1	+2	
Adaptation aux variations pendant l'exécution	+2	+2	+3	+2	+3	+3	+3	+3	
Adaptation aux variations dans le sol	+1	+2	+1	+3	+1	+3	+3	+2	
Déviations pendant l'exécution	+2	-1	+1	+1	+1	+2	+2	+2	
Possibilités de " quality tests "	-2	+3	+1	+3	+2	+2	+2	+3	

6 - DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

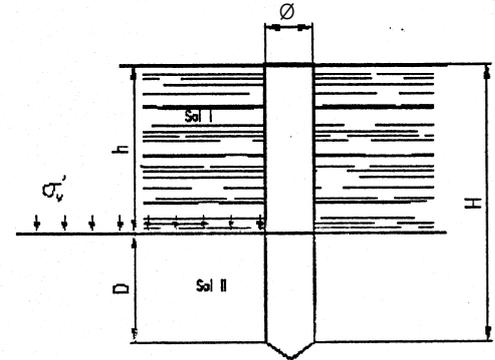
6.1 - Ancrage du pied dans le substratum (DTU 13.2).

L'ancrage minimum D d'un pieu dans le substratum est de $6 \varnothing$ avec un minimum de 3 mètres dans le cas d'un sol multicouche.

Dans le cas d'un sol monocouche, l'ancrage minimum d'un pieu dans le substratum est de $3 \varnothing$.



Sol monocouche



Sol multicouche

6.2 - Recépage du pieu.

Le recépage, effectué au marteau pneumatique ou brise roche hydraulique (BRH), consiste à détruire la partie supérieure du pieu afin :

- d'éliminer les premiers bétons mis en œuvre et qui sont remontés au fur et à mesure pendant le coulage avec le tube plongeur. En effet ces bétons ont été pollués au contact du sol par un mélange de béton et de terre ou de boue de faible résistance mécanique.

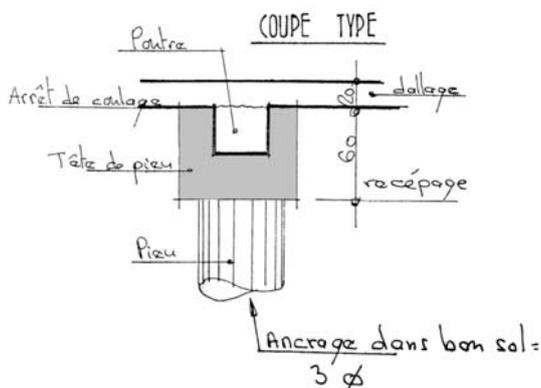
- de régler l'arase du pieu à la bonne cote altimétrique.

- de dégager des aciers en attente qui sont destinés à liasonner les têtes de pieux à la structure.



6.3 - Éléments de liaison entre les pieux et la structure.

Les éléments qui assurent la liaison entre les fondations profondes et la structure béton armé sont :



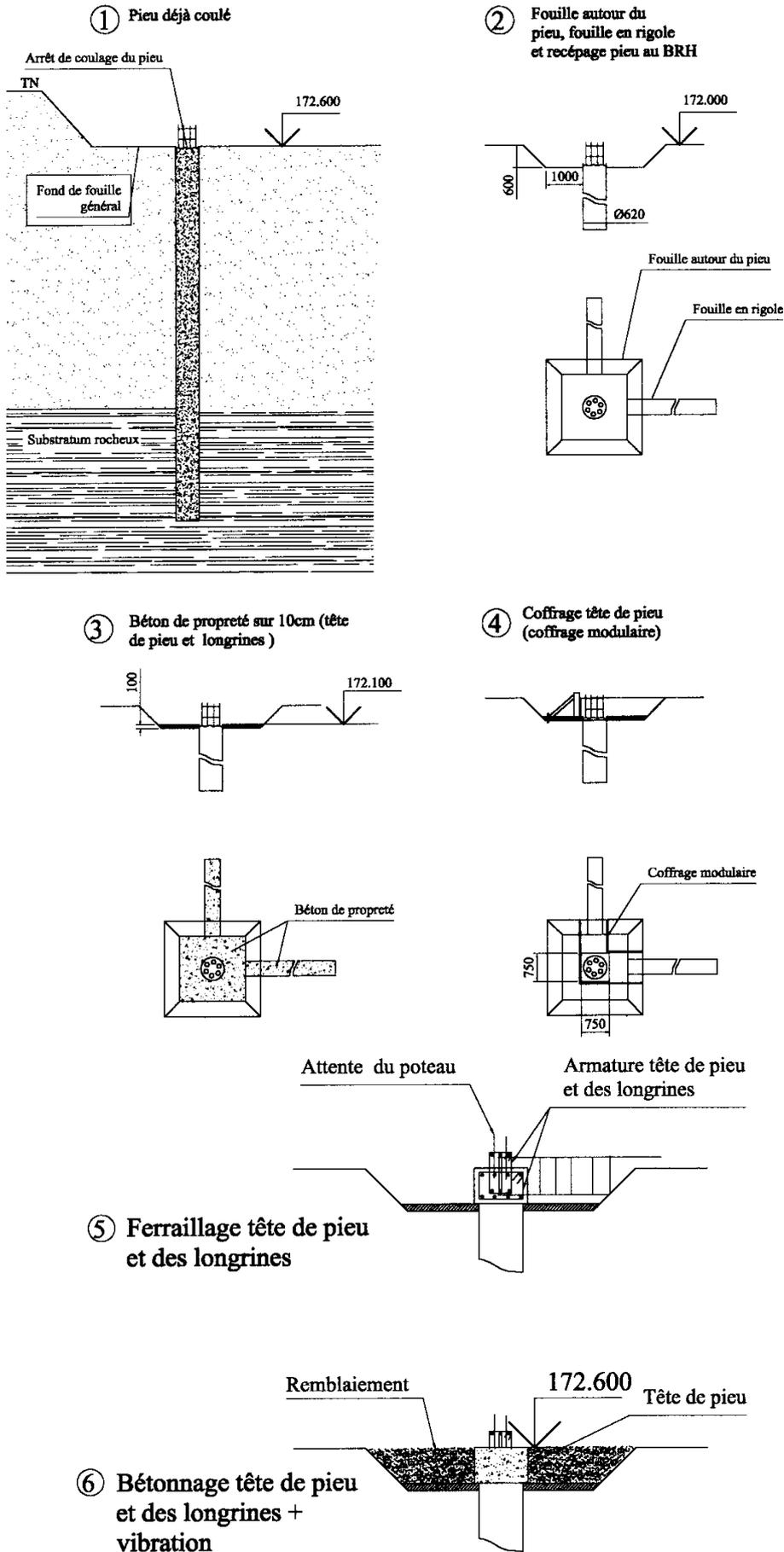
- Les **têtes de pieux** : ce sont des massifs en B.A. qui permettent de respecter la tolérance d'exécution, compte tenu du décalage entre le poteau et le pieu.

- Les **barrettes** : certains poteaux transmettent des charges très importantes, par conséquent deux ou plusieurs pieux sont nécessaires. Un élément en forme de chevêtre appelé barrette assure la liaison entre les deux pieux, et permet la transmission des efforts du poteau à chaque pieu.

- Les **longrines** : ce sont des poutres en béton armé analogues aux semelles filantes. Elles supportent les charges transmises par les voiles, les murs en maçonnerie et les poteaux et les reportent sur les pieux.

Elles constituent un chaînage des têtes de pieux qui permet de reprendre les efforts horizontaux dus au vent et éventuellement aux séismes.

6.4 - phasage de réalisation têtes de pieux



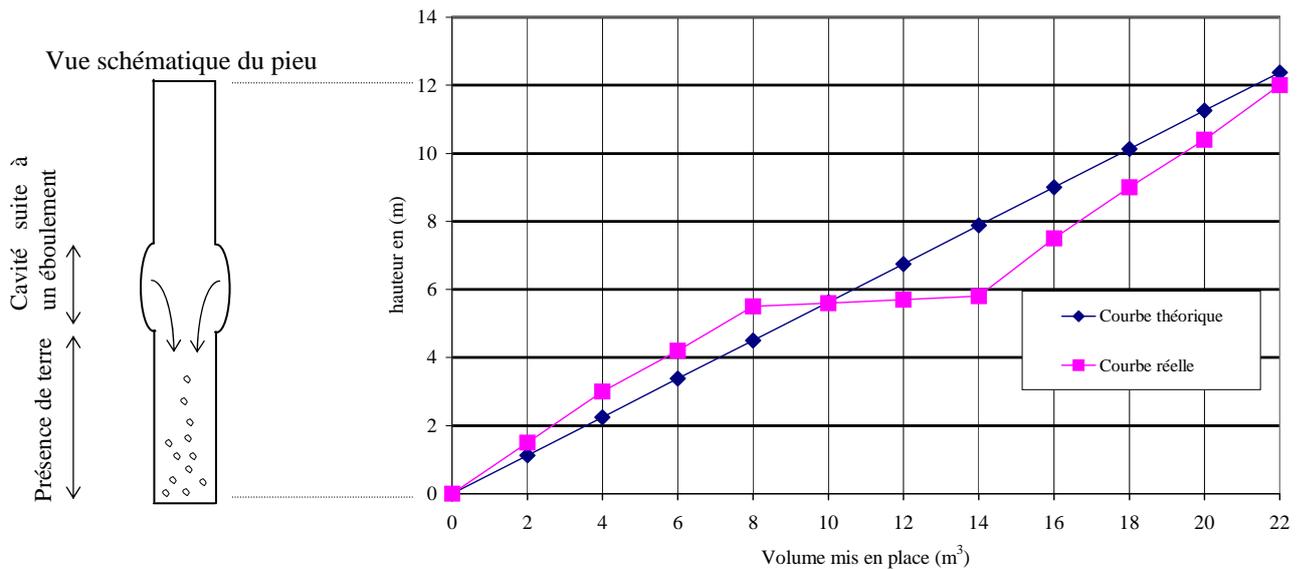
7 - CONTROLE DU BETON DES PIEUX.

7.1 - Contrôle en cours de réalisation – Courbe de bétonnage.

Cette courbe est très importante. On mesure sur chantier pour chaque pieu la hauteur du béton dans le pieu et le volume réel de béton injecté. On trace ensuite dans le même diagramme H en fonction de V et on compare la courbe réelle à la courbe théorique.

☞ Si H réel croît plus vite que Hthéo et Vréel augmente moins vite que Vthéo donc présence de boue ou de terre dans le béton.

☞ Si en revanche H réel varie moins vite que Hthéo alors que Vréel augmente considérablement par rapport à Vthéo, cela signifie une présence d'une cavité due à un éboulement du sol (voir courbe ci-dessous).

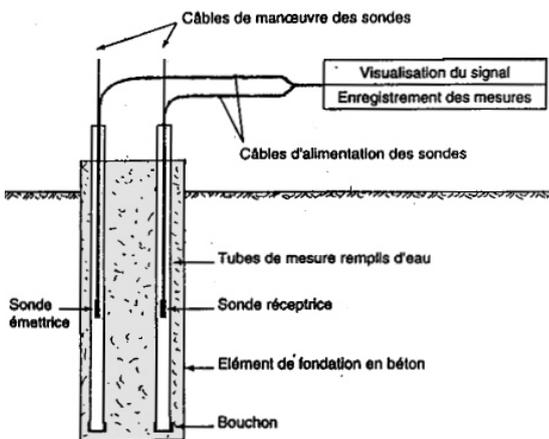
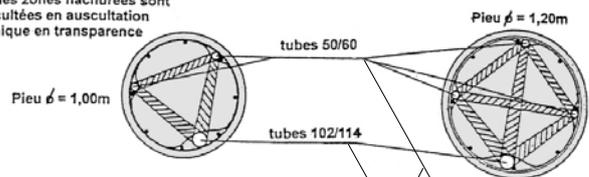


7.2 - Contrôle après réalisation - Méthode par auscultation sonique

- Le but : s'assurer de la qualité (homogénéité) du béton du fût et de celle du contact en pointe.

- Principe de la méthode : auscultation sonique. Un émetteur et un récepteur sont descendus dans 2 tubes parallèles (Ø 50 mini) fixés à la cage d'armatures.

Seules les zones hachurées sont auscultées en auscultation sonique en transparence



- Mesures : vitesse et temps de propagation de l'onde dans le béton durci.

- Interprétation : chaque anomalie se traduit par une diminution brutale de V et une augmentation de t.

- Nature des défauts : ségrégation importante, vides, mélange sol-béton ou boue-béton, béton délavé par circulation d'eau.

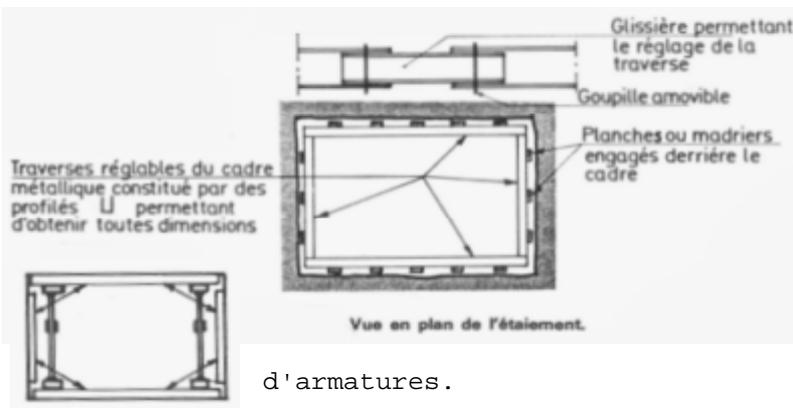


- Dans le cas de défaut décelé, solutions possibles :
- * injection de coulis de ciment à partir d'un carottage,
- * réalisation de pieux au voisinage en remplacement du pieu défectueux.

□ 8 - LES PUITES

Par définition, les puits sont des fondations creusées à la main. Les moyens de forage exigent la présence d'hommes au fond du forage.

Les puits de section circulaire ont un diamètre supérieur ou égal à 1,20 m. Les puits de section quelconque (rectangulaire, oblongue, en fer à cheval, ...) ont une largeur minimale de 0,80 m et une section minimale de 1,1 m². La profondeur est généralement inférieure à 8,00 m. Ces dimensions doivent permettre aux ouvriers de travailler en fond de fouille.



A l'heure actuelle ils sont exécutés au tractopelle pour des profondeurs n'excédant pas 5 mètres.

Les parois du forage sont obligatoirement blindées.

Ils sont bétonnés pleine fouille et ne comportent, en général, pas

L'exécution de puits sous une nappe phréatique en terrain peu cohérent est interdite. Sauf si la nappe est rabattue à l'extérieur du puits.

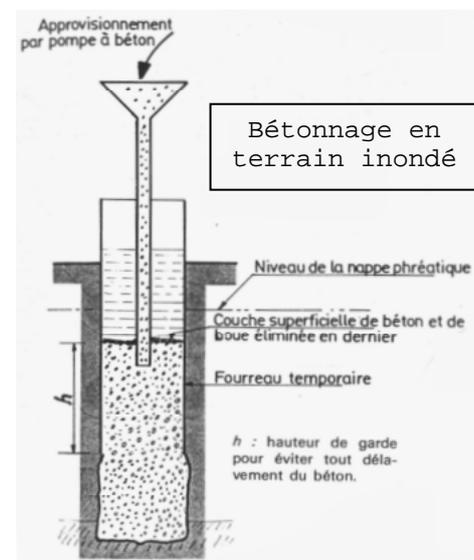
Le bétonnage est effectué à l'aide d'un système de tubes ou gouttières de façon à ne pas provoquer d'éboulements des parois du puits.

Un puits peut être muni d'une base élargie qui ne peut être réalisée que dans le cas de sols suffisamment cohérents (car dans ce cas le blindage n'est pas possible). Le diamètre de la base élargie est limité au double du diamètre du puits.

Une armature peut être incorporée dans la partie haute du puits pour frotter le béton.

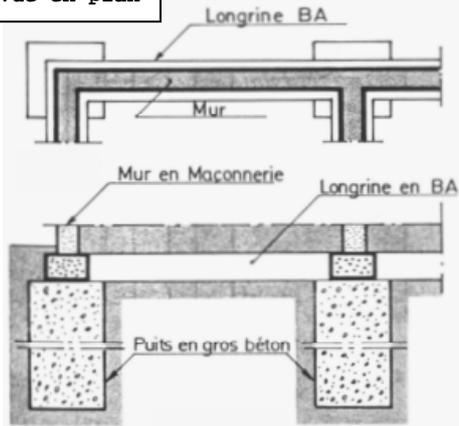
La fondation par puits est choisie si :

- la couche superficielle présente une résistance insuffisante.
- les charges sont importantes et concentrées.



Les puits sont donc placés sous les éléments de la superstructure les plus chargés (angles, poteaux, trumeaux, ...) et sont reliés entre eux par des longrines. Leur nombre résulte d'un compromis entre d'une part la quantité de terrassement et de remplissage en béton des puits et d'autre part les portées et sections des longrines qui reposent sur les puits.

vue en plan



Les puits sont moins coûteux qu'un radier ou des semelles massives.

Modes de fonctionnement des puits :

- Cas n°1 : terrain compact, c'est le frottement positif qui s'oppose à l'enfoncement.
- Cas n°2 : terrain non cohérent dont le tassement provoque un frottement négatif, c'est l'effet de pointe qui s'oppose à l'enfoncement.
- Cas n°3 : terrain non cohérent en couche de surface provoquant un frottement négatif et terrain cohérent en profondeur, l'enfoncement est contré à la fois par le frottement positif dû au terrain cohérent et par l'effet de pointe.

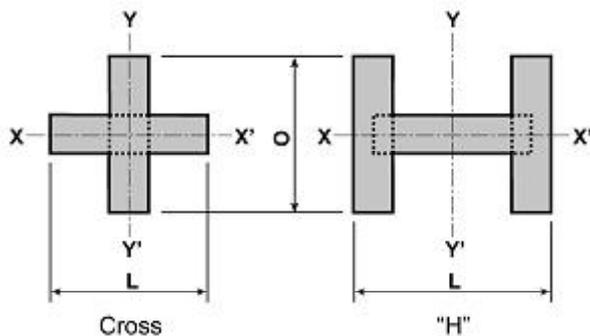
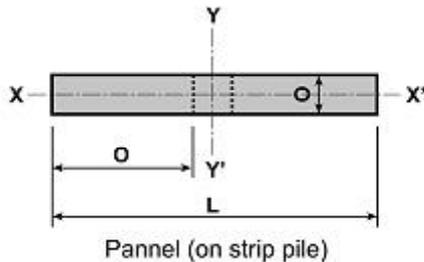
9 - LES BARRETTES

Il s'agit d'un type de pieux forés et moulés dont les caractères distinctifs concernent la forme et le mode de forage.

On utilise des outillages de forage à benne ou de type Hydrofraise dont les dimensions constituent la base de celles des appuis.

Les appuis les plus simples sont réalisés avec un seul coup de benne (ou Hydrofraise) "standard". Les dimensions sont alors :

- largeur : 0.52, 0.62, 1.02, 1.22, 1.52 m
- ouverture : 1.80, 2.20, 2.70, 3.00 m



A partir de ces bases, on peut concevoir des appuis plus grands ou plus rigides : barres, croix, H, T, etc...

MODE D'EXECUTION

Il comprend classiquement trois étapes :

- forage,
- mise en place des armatures,
- bétonnage.

Le forage est généralement fait sous boue bentonitique, comme pour les parois classiques. Souvent, selon la nature de la plate-forme de travail, il est utile de prévoir un dispositif analogue à la présaignée.

Après dessablage de la boue de forage, la cage d'armatures est descendue dans la saignée.

Le bétonnage est effectué de façon normale, au tube plongeur. Si les dimensions l'exigent, on met en œuvre plusieurs tubes de bétonnage.

10 - RESUMÉ

	PUITS	Les puits sont des fondations creusées à la main. Les moyens de forage employés exigent la présence d'hommes au fond de forage. Les puits circulaires ont un diamètre supérieur à 1,20 m, les puits rectangulaires une largeur minimale de 0,80 m et une section minimale de 1,1 m ² . Les parois du forage sont maintenues par un blindage. Le forage est bétonné à sec.
TUBE BATTU	BATTU PILONNE	Un tube, muni à sa base d'un bouchon de béton ferme, est enfoncé par battage sur le bouchon. Le diamètre nominal du pieu est le diamètre extérieur du tube au niveau du bouchon. Le béton ferme est introduit dans le tube par petites quantités, successivement pilonnées à l'aide du mouton de battage au fur et à mesure de l'extraction du tube.
	BATTU MOULE	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 set enfoncée par battage sur un casque placé en tête du tube ou par battage sur le bouchon de béton. Le diamètre nominal du pieu est le diamètre du tube au voisinage de la pointe et non le diamètre de la pointe perdue ou de la plaque. Le tube est rempli totalement de béton d'ouvrabilité moyenne avant son extraction.
FORES	FORE SIMPLE	Ce procédé qui n'utilise pas de soutènement de parois ne s'applique que dans les sols suffisamment cohérents et situés au-dessus des nappes phréatiques. Un forage est exécuté dans le sol par des moyens mécaniques (tarière, benne, etc...). La bonne tenue des parois du forage est essentielle. La section est circulaire (pieux) ou de forme quelconque (barrettes). La mise en œuvre du béton se fait au moyen d'une colonne de bétonnage. La base de la colonne doit être située à au moins 1 mètre du dessus du béton en place.
	FORE TUBE	Un forage est exécuté dans le sol par des moyens mécaniques (tarière, benne, etc...), sous protection d'un tubage dont la base est toujours située au-dessus 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 diamètre du pieu est le diamètre extérieur du sabot du tubage. 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 mètre sous le niveau du béton.
	FORE BOUE	Un forage est exécuté dans le sol par des moyens mécaniques (tarière, benne, etc...) sous protection d'une boue de forage. Le forage est rempli de béton de grande ouvrabilité, sous la boue, en utilisant une colonne de bétonnage. La boue se compose d'eau, de bentonite et, éventuellement, d'argile, de ciment et d'additifs. La boue doit être adaptée au maintien de la stabilité des parois du forage pendant son exécution et jusqu'à la fin du bétonnage.
	TARIERE CREUSE	Une tarière à axe creux, d'une longueur totale au moins égale à la profondeur des pieux à exécuter, est vissée dans le sol sans extraction notable du terrain. La tarière est extraite du sol sans dévisser pendant que, simultanément, du béton est injecté par l'axe creux prenant la place du sol extrait.
	VISSE MOULE	Par rotation et par fonçage, on fait pénétrer dans le sol 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 à celui de la pénétration. Le béton prend en continu, sous l'effet de la gravité, la place laissée par l'outil.
	FONCES	BETON FONCE
	METAL FONCE	Les éléments métalliques soudés bout à bout au fur et à mesure de leur vérinage de 0,50 à 2,50 m de longueur, sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réaction.
FACONNES A L'AVANCE	BATTU PREFABRIQUE	Les pieux battus ou vibrofoncés préfabriqués sont en béton armé ou précontraint. La mise en œuvre se fait par battage à l'aide d'un mouton sur un casque placé en tête de pieu. L'extrémité du pieu peut être munie d'un sabot afin de faciliter le battage à travers des couches plus dures ou compactes et protéger la pointe du pieu.
	METAL BATTU	Les pieux métalliques sont constitués d'acier conforme aux normes NF, ils sont mis en œuvre par battage ou vibration.
	TUBULAIRE PRECONTRAINTE	Le pieu est constitué d'éléments tubulaires en béton légèrement armés assemblés par précontrainte antérieurement au battage, ils ont généralement 1,5 à 3 m de longueur et 0,70 à 0,90 m de diamètre intérieur, leur épaisseur est voisine de 0,15 m. La mise en œuvre est normalement faite par battage avec base ouverte.
	BATTU ENROBE	L'âme du pieu est métallique et constituée par des tubes d'acier de 150 à 500 mm de diamètre extérieur, par des profilés H ou par des caissons formés de profilés ou de palplanches à 2, 3 ou 4 éléments. 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.