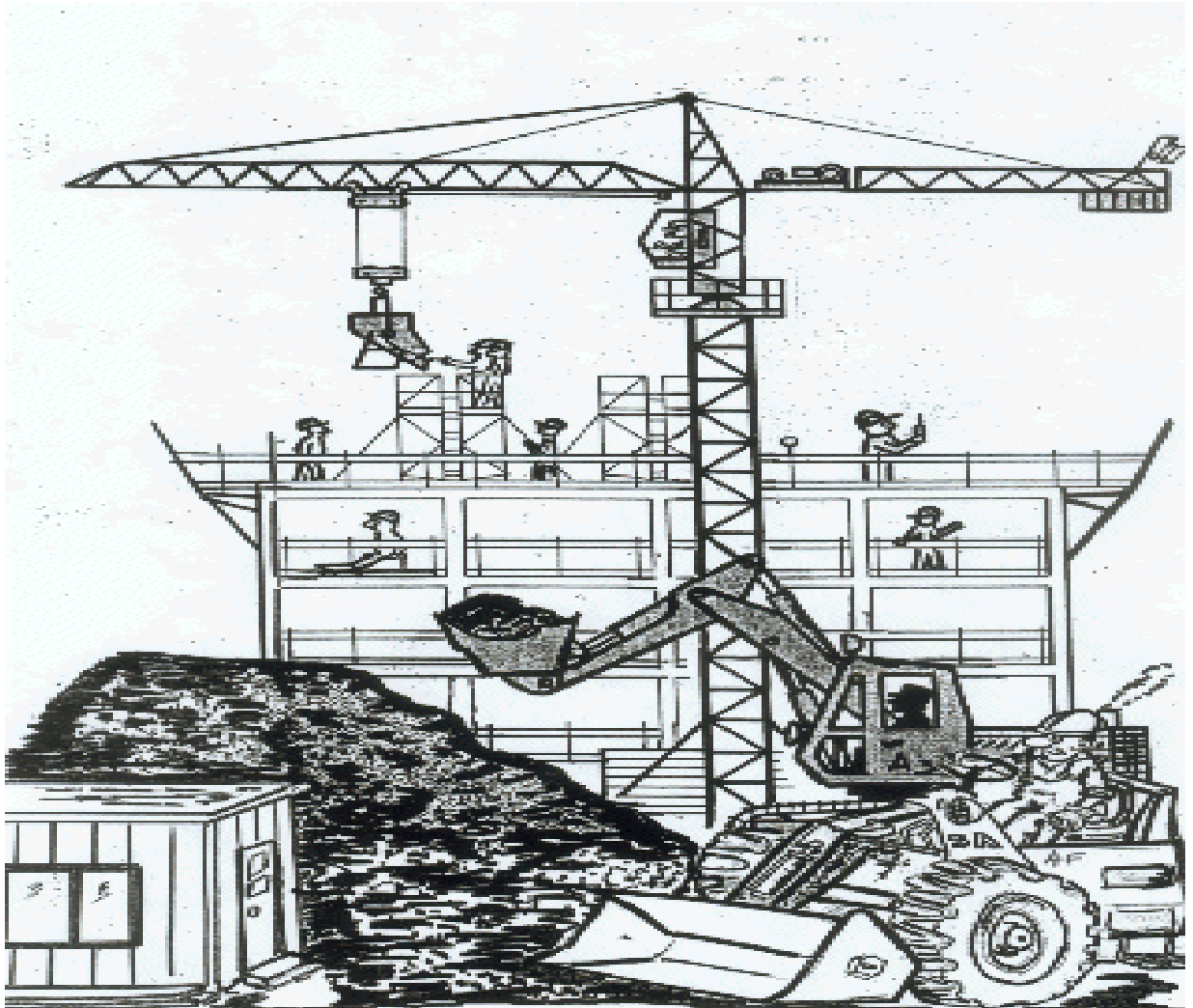


Lassaad TIZAOUI

Institut Supérieur des Etudes Technologiques
De Siliana

Support de cours
Procédés Généraux de construction



Département de Génie Civil

Janvier 2015

Fiche matière

Procédés Généraux De Construction I

Domaine de formation : Sciences et technologies	Mention :	GÉNIE CIVIL
	Parcours :	Tronc commun
Diplôme : Licence Appliquée en Génie Civil	Semestre :	2

Nombre d'heures/semestre		Coefficient	Crédits	Système d'évaluation
Cours intégrés	Travaux pratiques			
22.5	-	2	2	CC

Objectifs de l'enseignement :

L'étudiant doit être capable d'identifier les procédés d'exécution des éléments porteurs de la construction.

Pré requis : Dessin appliqué au génie civil 1

Contenu théorique :

- Présentation des ouvrages de Génie civil : (ouvrages de bâtiments, ouvrages de travaux publics).
- Constitution d'un ouvrage de Génie civil (infrastructure, superstructure).
- Techniques d'exécution de l'infrastructure (implantation, terrassement, fondations superficielles et profondes).
- L'ossature (poteaux, poutres, planchers, etc...).

Bibliographie :

- Bâtir (René Vittone)
- La technologie du bâtiment (Maurice Noverraz)
- Procédé généraux de construction (Jacques Mathivat , Christian Boiteau)
- Constructeur Bâtiment technologie (H. Renaud)

Table des matières : (Plan de cours)

Partie I

Chapitre I : Présentation des ouvrages de Génie civil.....	04
Leçon 1 : Présentation des ouvrages de Génie civil.....	05
Chapitre II : Techniques d'exécution de l'infrastructure.....	15
Leçon 2 : Généralité sur les terrassements.....	16
Leçon 3 : Terrassements en terrains meubles	33
Leçon 4 : Sols et fondations	70

Partie II

Chapitre III : Les ossatures.....	122
Leçon 5 : Les poteaux.....	
Leçon 6 : Les poutres.....	
Leçon 7 : Les planchers.....	

Partie III

Chapitre IV : Travaux de finitions.....	
Leçon 8 : Enduit – maçonnerie.....	

Partie I

Chapitre I :

Présentation des ouvrages de génie civil



Leçon 1 :

Présentation des ouvrages de Génie civil

Le génie civil est l'ensemble des activités conduisant à la réalisation de tout ouvrage lié au sol, ces activités se partagent en deux catégories :

Ouvrages de "Bâtiments"	Ouvrages de "Travaux Publics"
➤ Immeuble de grande hauteur (IGH) ➤ Gratte-ciel ➤ Habitation collective ➤ Habitation individuelle (Maison) ➤ Hôpitaux ➤ Établissement scolaire ➤ Aérogare ➤ Salle de cinéma ➤ Usine...	➤ Ouvrages de communication : Route, autoroute, voies ferrées, métro, viaduc, pont, tunnel, port maritime, aéroports, aéroport... ➤ Réseaux : Réseau électrique, fibre optique, Eau potable, Eaux usées, canal... ➤ Production électrique, centrale nucléaire... ➤ Les constructions hydrauliques : Barrage, digues...

Tab1 : Ouvrages de bâtiments et travaux publics

I/- Les ouvrages de bâtiments :

Les travaux de bâtiment concernent tout ce qui vise à construire, aménager, entretenir, démolir des ouvrages ou parties d'ouvrages immobiliers sur ou sous-sol.

Les travaux de bâtiment concernent le confort de l'homme. Ils créent, quel que soit le client-public ou privé des équipements immobiliers nécessaires à la vie sociale (logements, écoles, hôpitaux) et à la vie économique (bureaux, magasins, usine etc.).

Qu'il soit d'habitation, industriel, de commerce, sa construction comprend d'une part le gros œuvre et d'autre part le second d'œuvre.



Fig 1 : Bâtiment à usage d'habitation

1)- Gros œuvre :

Le gros œuvre est les travaux de structure qui assurent la stabilité générale du bâtiment, il comprend la réalisation :

- De l'infrastructure :

Composée essentiellement des fondations d'un ouvrage ainsi que d'éventuels niveaux enterrés. Elle assure la transmission des efforts venant de la partie aérienne du projet (superstructure) vers les éléments de fondations notamment par le biais de poutres.

Exemple : semelles, longrines, pré-poteau, chape (ou dallage)...

➡ Qui transmettant les charges au sol.

- De la superstructure :

Dans le monde de la construction, la **superstructure** d'un bâtiment regroupe l'ensemble des pièces situés au-dessus de terre et composant l'ouvrage, c'est-à-dire les poteaux, les voiles, les poutres, les consoles (encorbellement), les raidisseurs ou encore les planchers.

Remarque : La structure pouvant être en béton, bois, pierre ou en acier.

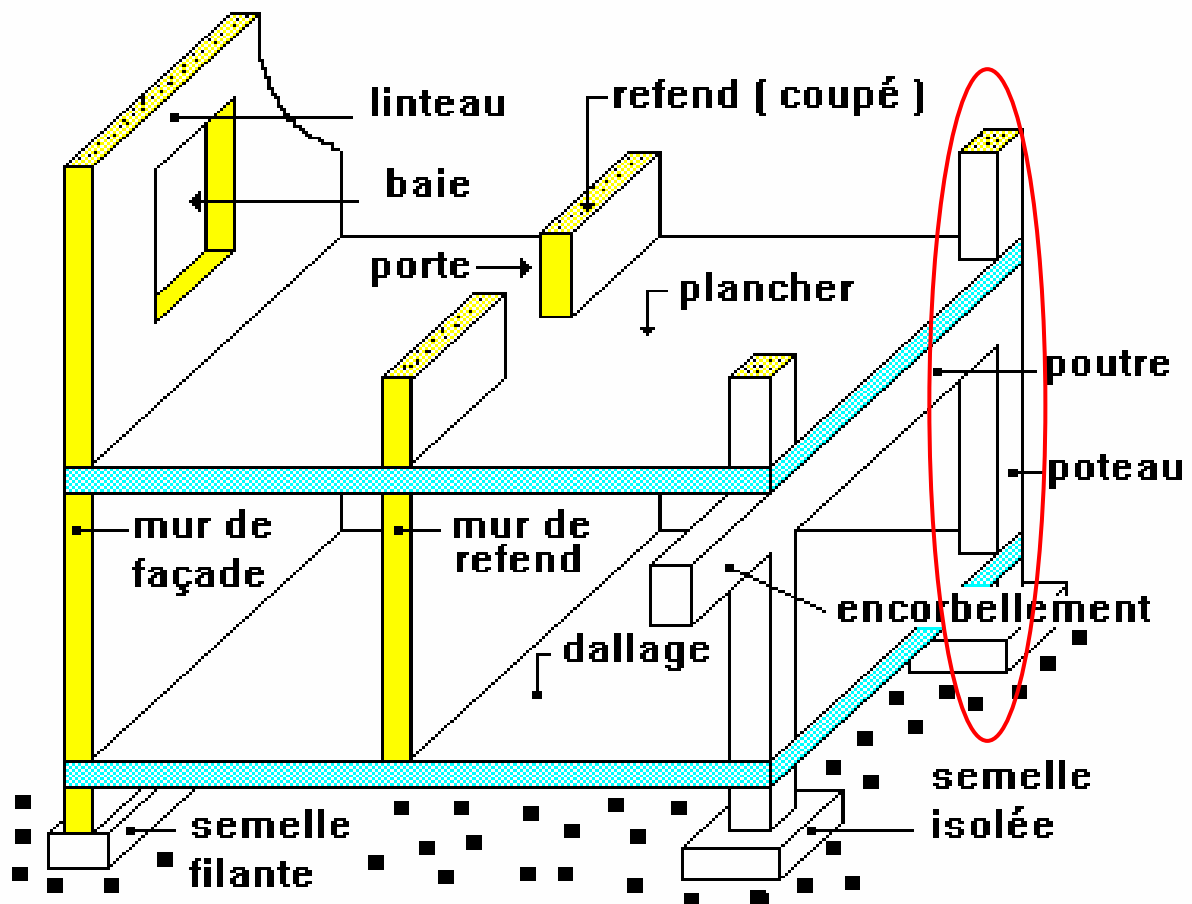
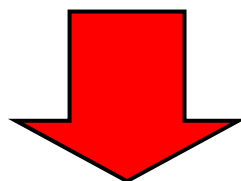


Fig 2 : Gros œuvre



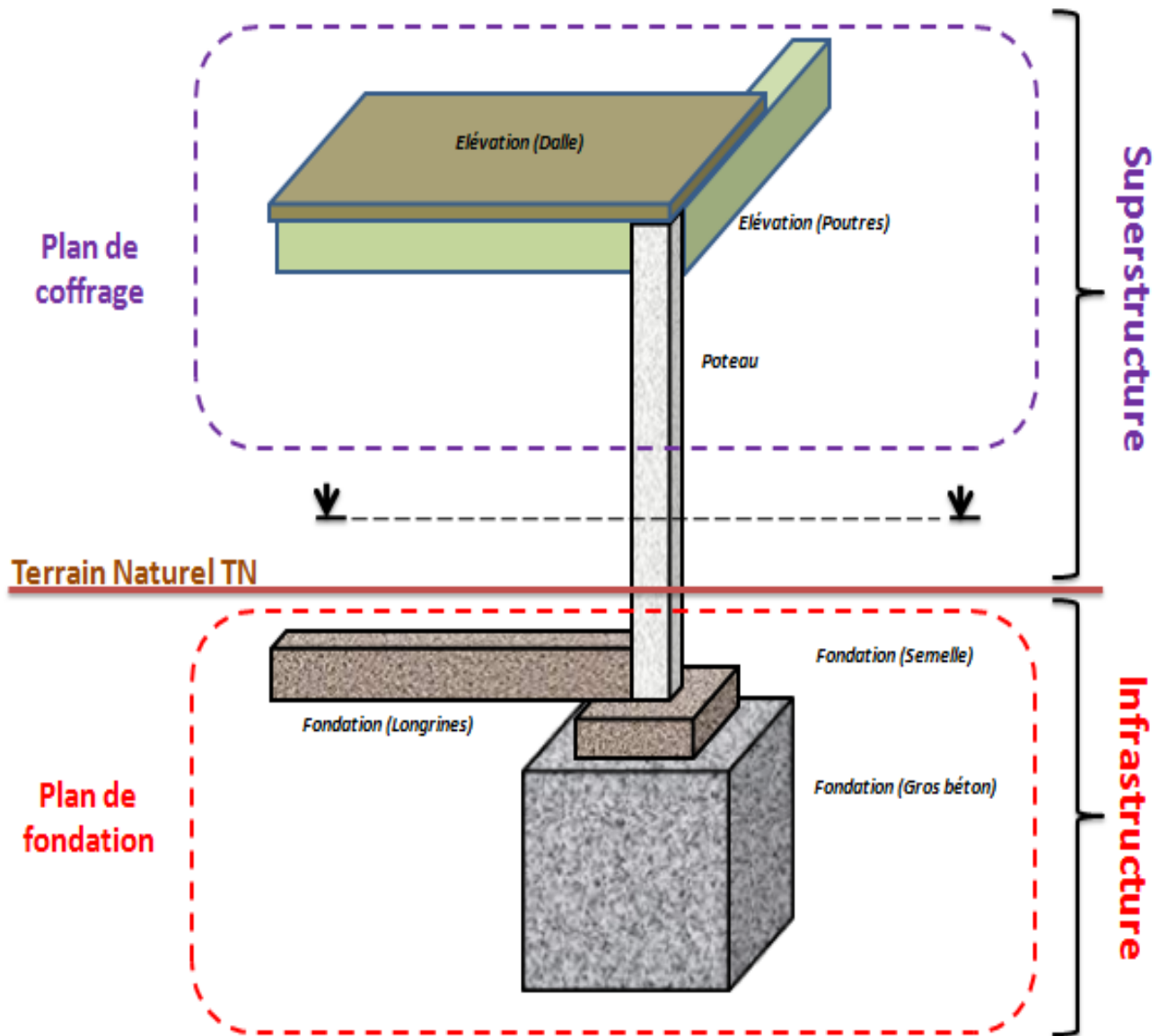


Fig 3 : Infrastructure et superstructure

2)- Second œuvre :

Le second œuvre contribue à habiller et à rendre fonctionnel le bâtiment, garanti un niveau de confort qui comprend :

- L'aménagement et finition intérieure tel que la maçonnerie (cloisonnement ou mur de refend), enduit, revêtement carrelage (murale et au sol), décoration, peinture, plâtre...
- Installation des équipements sanitaire et techniques tel que : éclairage, chauffage, climatisation, ventilation, alimentation en eau potable, alimentation en gaz, évacuation des eaux usée...
- Enveloppe protégeant de l'intérieur à l'extérieur tel que l'isolation acoustique et thermique, étanchéité...
- La menuiserie extérieure et intérieure en bois, aluminium...

Le second œuvre fait appel à plusieurs matériaux différents tel que : le verre, le bois, les métaux (acier, aluminium, cuivre...), le céramique (brique, faïence, carrelage...)



Fig 4 : Maçonnerie et cloisonnement



Fig 5 : Enduit extérieur



Fig 6 : Revêtement au sol (carrelage)



Fig 7 : Plâtre (faux plafond)

II/- Les ouvrages de travaux publics :

Les travaux publics sont des équipements nécessaires à la collectivité tel que:

- Ouvrages de communication : les routes, les voies ferrées et fluviales, les ports et aéroports, les ponts, les tunnels.
- Ouvrages d'adduction d'eau : captage, stockage et distribution (barrages, forages, canaux, châteaux d'eau...)
- Ouvrages d'assainissement : collecte et traitement (égouts, stations d'épurations...)
- Ouvrage de production d'énergie : production, stockage et transport (centrale électrique, ligne électrique...)
- Ouvrages de télécommunication : tours d'émission, réseaux câblés...

1)- Les voies de communication:

Nous classerons également dans cette catégorie en plus des routes, les voies de navigations et les voies ferrées.

1-a)- Les autoroutes :

Une autoroute présente les caractéristiques suivantes :

Elle comporte deux chaussées à sens unique, séparées par un terre-plein central (TPC) ou une double glissière de sécurité, composées chacune d'au moins deux voies de circulation, ce qui rend très improbables les chocs frontaux (les plus meurtriers)



Fig 8: Les Auto route

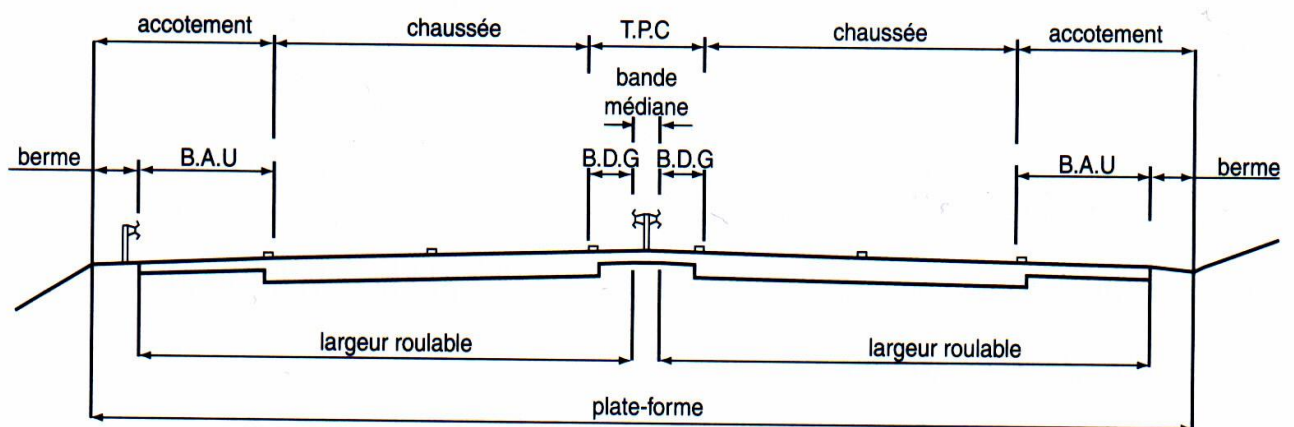


Fig 9: La structure d'une auto- route

Une autoroute ne comporte aucun croisement à niveau ; l'accès et la sortie se font par des bretelles dont le tracé est tangentiel à celui de la chaussée, appelées « voies d'accélération » ou de « décélération », et qui permettent au véhicule entrant d'adopter la vitesse du flux de circulation pour pouvoir mieux s'y intégrer (tout en cédant la priorité aux véhicules circulant sur l'autoroute) ; les croisements entre autoroutes et avec le réseau routier ordinaire se font par des échangeurs.

2)- Les ouvrages d'art :

Les ouvrages d'art sont des constructions souvent prestigieuses construites à l'unité.

Ils font appel à des techniques de construction complexes.

Les ouvrages d'art liés aux voies de communication : Ce sont les ponts et les tunnels. Ils permettent aux voies de communication le franchissement d'obstacles tels que rivières, montagnes,...

2-a)- Les ponts :

Est une construction permettant de franchir un obstacle ou un espace vide (cours d'eau, route, voie ferrée, vallée) entre deux points. En général, un pont soutient une voie de circulation ; Il peut également supporter des canaux ou des conduites d'eau : il s'agit alors d'un aqueduc.

Le terme passerelle désigne parfois un pont relativement petit.



Fig 10: Pont Dalle PSIDA

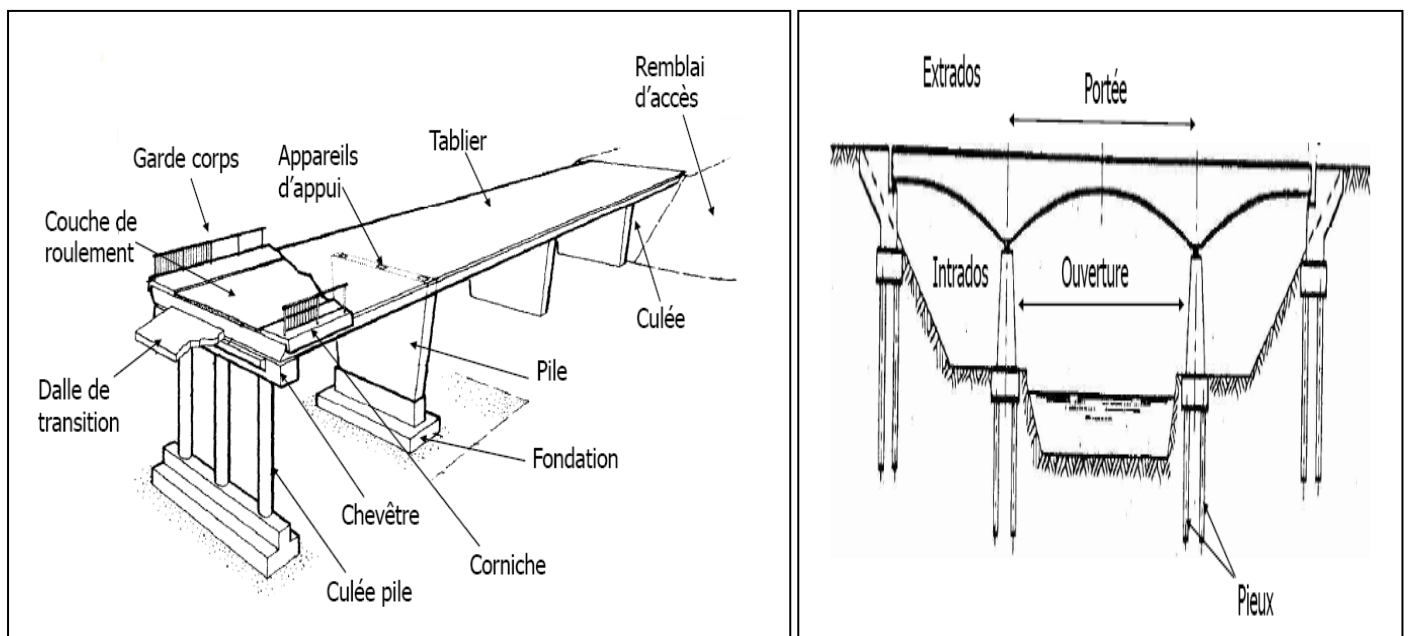


Fig 11: Structure d'un pont

Il existe de nombreux types de ponts adaptés à des situations très variées.

2-b)- Le tunnel :

C'est un ouvrage souterrain qui permet le franchissement de tout obstacle similaire à ceux franchis par les ponts



Fig 12: Le tunnel

2-c)- Echangeur autoroutier :

C'est un système de bretelles routières permettant de s'engager sur une voie rapide ou sur une auto route ou de les quitter pour prendre une autre route .Les échangeurs se trouvent donc aux intersections entre autoroute et un autre type de route .Il permettent d'éviter tout croisement à niveau pour limiter le ralentissement des voies concernées. Un échangeur compte au minimum un pont permettant à une autoroute d'enjamber l'autre.



Fig 13: Echangeur autoroutier " los Angeles "

2-d)- Le viaduc :

Le viaduc est un ouvrage d'art routier ou ferroviaire qui franchit une vallée, une rivière, un bras de mer ou tout autre obstacle et qui présente une hauteur ou une longueur importante, c'est un type de pont.

Un viaduc est un ouvrage routier ou ferroviaire de grande longueur, constitué de travées et permettant le franchissement à grande hauteur d'une brèche.



Fig 14: Le viaduc de Millau en France

3)- Les ouvrages liés à l'eau:

3-a)- Le barrage :

C'est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau et destiné à retenir l'eau. Un barrage fluvial permet la régulation du débit d'une rivière, l'irrigation des cultures, une prévention relative des catastrophes naturelles (crues, inondations).

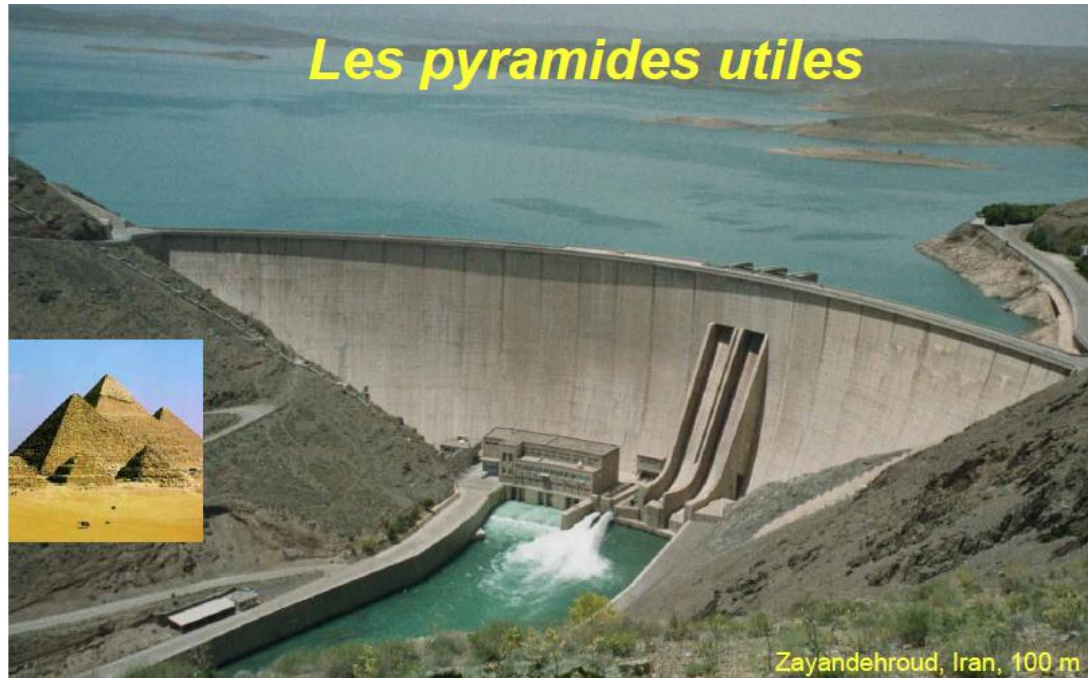


Fig 15: Barrage Zayandehroud, Iran, 100m

3- b)- La digue :

C'est un remblai longitudinal, naturel ou artificiel, le plus souvent composé de terre. La fonction principale de cet ouvrage est d'empêcher la submersion des basses-terres se trouvant le long de la digue par des eaux d'un lac, d'une rivière ou de la mer, de submerger.



Fig 16: Exemple digue en terre

On peut distinguer :

- Les digues de protection contre les inondations, situés dans le lit majeur d'un cours d'eau parallèlement à la rive et destinées les eaux de celui-ci.
- Les digues de canaux, alimentés artificiellement, les digues de canaux servent à contenir l'eau à l'intérieur du canal.
- Les digues de type maritime qui n'ont pas vocation à être étanches, mais qui ont une fonction de protection contre les actions mécaniques de l'eau (les vagues).

3- c)- Le canal :

C'est un cours d'eau artificiel, navigable ou non, une structure entièrement artificielle, ou d'un fleuve ou d'une rivière canalisée sur tout ou partie de son cours .L'homme modifie alors les caractéristiques géométriques et hydrauliques d'un cours d'eau, par curages, creusements, rectifications, élargissement.



Fig 17: Le canal de suez

4)- Les ouvrages spéciaux:

Les ports, les aéroports, les centrales thermiques ou nucléaires, les ouvrages de télécommunication.

4- a)- Le port :

Un port est un endroit situé sur le littoral maritime, sur les berges d'un lac ou sur un cours d'eau et destiné à accueillir des bateaux et navires. Il doit permettre d'abriter les navires, en particulier pendant les opérations de chargement et de déchargement. Il facilite l'opération de l'approvisionnement et de réparation. Il est protégé par une ou plusieurs digues ou moles, il peut nécessiter des dragages afin d'entretenir une profondeur suffisante. Il ya des ports maritimes, fluviaux, lacustres (lac), selon les activités on trouve : port de commerce, de pêche, de plaisance, militaires.



Fig 18: Le port de sidi bou said



Fig 19: Le port de rades

4- b)- L'aéroport :

C'est l'ensemble des bâtiments et des installations d'un aéroport qui servent au trafic aérien d'une ville .Ces bâtiments conçues pour que des avions puissent décoller et arriver, et les passagers puissent embarquer et débarquer. Il est composé de pistes construites en dur :bitume ou plaques en béton, de balises lumineuses pour être facilement repérable de nuit ou en cas de pluie ,brouillard et pour l'aide visuelle à l'atterrissage .Aussi ,l'aéroport comporte les voies de circulation qui relient les pistes entre elles , le tour de contrôle ,l'aérogare et les aires de stationnement.



Fig 20: Aéroport D'Enfidha

Chapitre II :

Techniques d'exécution de l'infrastructure



Leçon 2 :

Généralité Sur Les Terrassements

Généralités :

Le terrain tel qu'il se trouve dans la nature n'est pas souvent apte à recevoir l'emprise d'une opération de construction ; car les ondulations du terrain naturel modelées spontanément par les phénomènes naturels (vent, pluie...) ne correspondent pas à la géométrie conçue pour la construction en question, en outre le bon sol sur lequel la construction devrait se tenir stable est loin d'être rencontrée sur la surface du terrain naturel.

De ce fait, la modification du terrain naturel pour l'adopter à la construction s'avère nécessaire même inévitable, l'opération qui a pour souci cette modification, s'appelle "les terrassements généraux".

I/- Introduction :

Les terrassements : constituent l'ensemble des opérations nécessaires à la préparation de la plate-forme (terrain support) des ouvrages de génie civil. Ils correspondent à tout mouvement de terre (déblais et remblais) ayant pour objet la modification de la surface naturelle du terrain.

Exemples : nivellement du sol ; fouille pour l'exécution des fondations ; tranchée pour la mise en place des canalisations...

Selon le volume, les techniques utilisées et les difficultés rencontrées, les terrassements peuvent se classer en deux groupes :

- Cas des terrassements pour ouvrages d'art (ponts) et pour bâtiments :
 - Les masses de terre à déplacer est faible ;
 - La superficie du chantier est restreinte ;
 - L'excavation souvent assez profonde ;
 - On peut rencontrer des difficultés : venues d'eau, éboulements.
- Cas des terrassements généraux de grande masse : (routes, aérodromes, barrages et digues en terre...)
 - Quantité de terre très importante ;
 - Utilisation d'engins spécifiques.

II/- Travaux de préparation de terrassement :

Les travaux de préparation de terrassement regroupent généralement l'ensemble de l'opération suivante :

1)- Dessouchage : Enlever les arbres gênant l'implantation, la réalisation et l'exploitation de l'ouvrage.



Fig 21: Souche d'arbre

2)- Débroussaillage : Se débarrasser de l'ensemble de fourrés, arbustes, plantation et autres obstacles naturels.



Fig 22: Débroussaillage



Fig 23: Transport

3)- Démolition : Dégager les anciennes constructions et transporter leurs débris.



Fig 24: Démolition par pelle hydraulique



Fig 25: Démolition par Boulet ou « drop ball »

4)- Décapage : Eliminer une couche de sol d'épaisseur 20 cm environ, souvent riche en végétation et matières organiques, soit stockée pour réutilisée pour les espace vert soit retirées du chantier.



Fig 26: Décapage avec « Niveleuse »



Fig 27: Décapage avec « Bulldozer »

III/- Terminologies des terrassements généraux :

Le terrain naturel : Expression utilisée pour désigner la configuration du terrain avant les travaux de terrassement.

La terre végétale : Couche superficielle de terre mélangée à des végétaux en décomposition, la terre végétale est souvent stockée provisoirement pour être réutilisée lors des travaux d'aménagements extérieurs.

Le bon sol : Couche de terrain résistant, plus ou moins profonde, capable de supporter le poids de la construction.

La terre excédentaire : Expression souvent employée pour désigner les déblais non réutilisés sur le terrain et évacués à la décharge publique.

L'excavation : Dégager en masse une grande quantité de sol dans le but de construire des ouvrages enterrés.

Remarque : Si le sol à dégager est situé en face ou au-dessous de l'engin, et l'extraction est à ciel ouvert celle-ci est dite en **rétro**. S'il s'agit de creuser en sous terrain, cette excavation est dite en **taupe**.

Le décapage : Fouille superficielle effectuée sur une profondeur de 20 à 30 cm.

Le nivellement : Action d'aplanir le terrain.

Déblaiement : c'est l'opération qui consiste à abaisser le niveau altimétrique du terrain, en vue de réaliser une fouille, une tranchée...

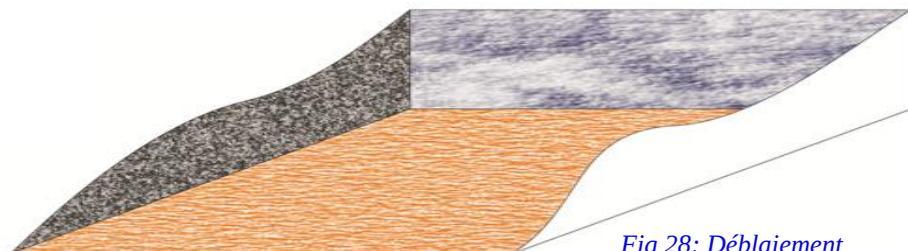


Fig 28: Déblaiement

- Déblai : c'est le nom qui désigne les terres provenant de l'excavation.

Remblaiement : est l'opération opposée à la première (déblaiement), elle consiste à apporter des terres en vue de combler une cavité ou créer une plate-forme (massif en terre).

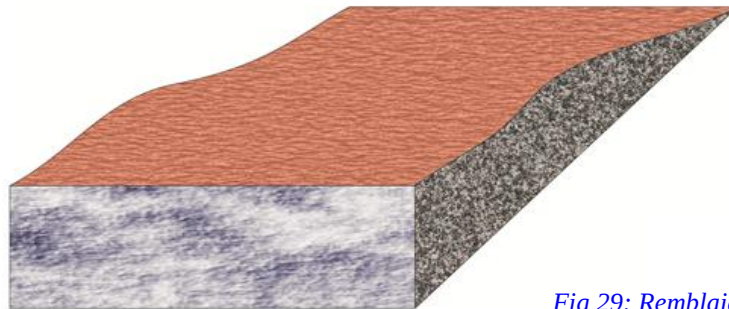


Fig 29: Remblaiement

- Remblai : est le nom qui désigne les terres à apporter pour l'opération de remblaiement.

Dépôt : c'est l'endroit où on doit déposer les terres résultant d'une opération de déblaiement.

Emprunt : c'est l'endroit où on doit apporter les terres afin de réaliser un remblaiement.

Cote plate-forme (CPF) : est le niveau altimétrique à donner au terrain naturel sur une surface définie par l'une des opérations du déblaiement ou de remblaiement.

Le talus : inclinaison donnée à la paroi d'une fouille ou à des terres en remblais.

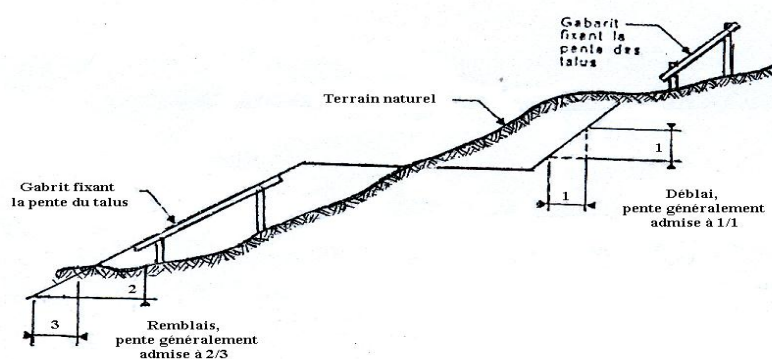


Fig 30: Talus

IV/- Différents types des fouilles :

1)- La tranchée :

Longue excavation, plus ou moins large, destinée à la mise en place de canalisation enterrées (conduites d'alimentation et d'évacuation, drains...), ou à la réalisation de fondations pour un mur de clôture.

Une tranchée donc c'est creuser dans le sol une fouille en longueur importante par rapport aux dimensions transversales et à une profondeur supérieure à 1 m. Les tranchées sont présentes dans de nombreux travaux des collectivités territoriales, par exemple, dans les voiries, les tranchées servent pour l'assainissement ou le raccordement à des réseaux (eau, électricité, gaz, ...).

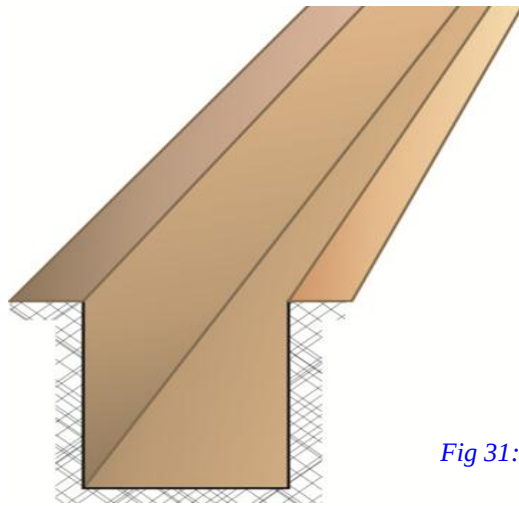


Fig 31: Tranchée

Pose de grillage avertisseur en fonction des réseaux enterrés (pour la VRD La Voiries et réseaux divers).



Fig 32: Grillage avertisseur

✚ Grillage avertisseur code couleur :

Electricité BT, HTA ou HTB et éclairage		Rouge
Gaz combustible (transport/distribution), hydrocarbures		Jaune
Produits chimiques		Orange
Eau potable		Bleu
Assainissement et pluvial		Marron
Chauffage et climatisation		Violet
Télécommunications		Vert
Feux tricolores et signalisation routière		Blanc
Zone d'emprise multi-réseaux		Rose

Remarque :

- Une fouille est dite « tranchée » lorsque l et h satisfont aux relations suivantes, où deux cas sont envisagés :

1^{ère} cas : $l < 2 \text{ m}$; on doit alors avoir : $h > 1 \text{ m}$

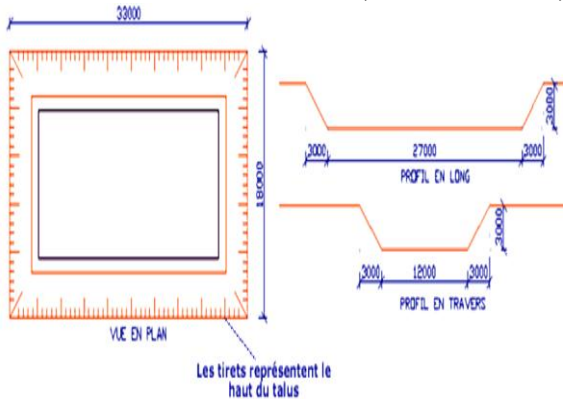
2^{ème} cas : $l > 2 \text{ m}$; on doit alors avoir : $h > l / 2$.

- Lorsque h est supérieur à 1 m et que la longueur « L » est du même ordre de grandeur que la largeur l , la fouille est dite « puits ». Une petite tranchée est parfois appelée rigole.

2)- La fouille :

Excavation réalisée dans le sol et destinée à être remplie par le béton des semelles de fondation ; on distingue trois types de fouilles :

a)- La fouille en pleine masse : appelée aussi excavation à ciel ouvert, elle est réalisée sur la totalité de l'emprise du bâtiment, plus ou moins profonde, selon l'importance de la partie enterrée de la construction (l'infrastructure).



b)- La fouille en rigole : tranchée destinée à recevoir les semelles filantes de fondations.

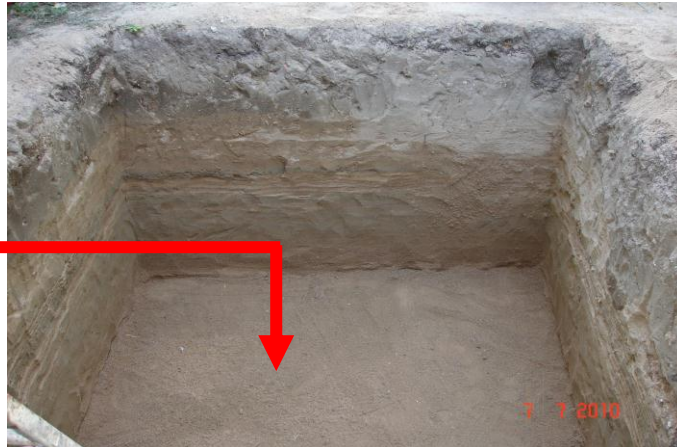


c)- La fouille en puits : comme l'indique son nom cette fouille rassemble à un puits de section carrée, rectangulaire, circulaire ou composée. La profondeur est limitée par la capacité de l'engin ou la limite de stabilité des parois. Les dimensions en plan peuvent dépasser dans les deux directions les 3 mètre.



N.B : Fond de fouille, désigne le fond horizontal de l'excavation.

Fond de fouille



V/- Nature du terrain :

Les travaux de terrassement sont extrêmement variables d'un chantier à l'autre selon la configuration du terrain (leurs consistances et leurs duretés). Tout problème de terrassement est conditionné à la nature de terrain à extraire ou à ramener. Cette nature détermine la méthode de travail et le choix des engins.

1)- Reconnaissance terrain :

Pour choisir la méthode et les engins de terrassement, les intervenants doivent faire une reconnaissance du terrain. Cette dernière consiste à :

- Faire une lecture de la carte géologique du site.
- Se rendre sur le site pour prendre connaissance visuelle de la nature du sol.
- Prélever des échantillons : faire des sondages selon des profondeurs permettant de savoir le niveau du substratum rigide (bon sol) etc...

Sondage : c'est-à-dire pratiquer des trous de manière à déterminer l'épaisseur et la nature de chacune des couches rencontrées.



- Définir les accès et la situation des décharges publiques les plus proches.
- Réaliser des tranchées pour savoir la stratification de couches supérieures du sol.

2)- Classification des terrains du point de vue terrassement :

Mise à part la classification géologique des sols, il existe une classification liée à la facilité d'extraction. Les travaux de terrassement dépendent de la nature du sol à extraire et ils sont donc classés par ordre de la difficulté d'extraction :

Terrain	Exemples et caractéristiques
Terrain ordinaire	- Terres végétales, - Sables meubles, - Remblais récents,...
Terrain argileux ou caillouteux non compact	- Terrains argileux, pierreux ou caillouteux - Tufts, - Marnes fragmentées, - Sables agglomérés par un liant argileux,
Terrain compact	- Argiles compactes, - Glaises (terre argileuse dont on fait la poterie), - sables fortement agglomérés
Roches	Devront être attaquées au pic ou à la pioche
Roches dures	Devront être attaquées au marteau piqueur
Roches très dures	Emploi de la mine, d'explosif
Roches de sujétion	Roches très dures pour lesquelles l'emploi de l'explosif est interdit.

Remarque :

Terrain rocheux : le sol rocheux est un sol qui, après désagrégation préalable, compte plus de 20 % d'éléments rocheux homogènes supérieurs à 20 cm ; il s'agit des sols rigides, exemple le granite.

Sol compact : le sol compact est un sol qui compte plus de 40 % d'éléments rocheux homogènes supérieurs à 50 cm après désagrégation préalable à l'aide de moyens tels que le marteau piqueur, l'explosif, la fraise, ou tout autre moyen spécifique adapté en accord avec le fonctionnaire dirigeant.

- Pour les terrains argileux sont d'autant plus difficile à extraire qu'ils contiennent plus d'argile et d'eau.
- Pour les terrains rocheux, ce classement est assez important pour déterminer la mode de perforation à adopter pour les trous des mines le rendement de la perforation et la consommation d'explosifs pour obtenir la désagrégation.

Les terrassiers distinguent, pour leur part, trois groupes de sols :

- ❖ Terrains meubles pouvant être attaqués directement par une chargeuse ou une pelle mécanique.
- ❖ Terrains rocheux défonçages pouvant être attaqués par un engin chargeur.
- ❖ Terrains rocheux nécessitant un dynamitage.

3)- Difficultés d'exécution des terrassements :

En principe les travaux de terrassement ne sont pas très difficiles, mais ils deviennent plus complexes dans les cas suivants :

- Travaux exécutés sur argile peut consistante ou sable boulang.
- Terrassements exécutés en profondeur avec venue d'eau.
- Terrassements exécutés en souterrain.
- Terrassements exécutés sous l'eau et parfois à sec.

VI/- Etat des sols après extraction :

1)- Stockage et rejet des sols :

Lors de la réalisation des travaux de terrassement, le terrassier prévoit la conservation du sol dégagé ou son rejet. Ce choix est en fonction des données suivantes.

a- Nature du sol :

- ✓ Riche en matière organique, stocké pour réutilisation si le projet comporte des aménagements en zones verts.
- ✓ Pulvérulent (sableux), stocké dans l'emprise elle-même pour une éventuelle utilisation en couche de forme pour les projets de VRD et route, ou remblais sous chapes pour les projets de bâtiments.
- ✓ Sols fins (argile, limon) ces sols sont pratiquement gonflant leur utilisation en sous œuvre et quasi interdite.

b- Contraintes liées au projet :

Situation du projet : en zone urbaine, les endroits de stockage sont limités, ainsi, les manœuvres des engins sont difficiles. Dans ce cas le stockage du sol dégagé devient presque impossible, à la limite, et si le cadre le permet, le terrassier peut louer un terrain à proximité du projet pour le stockage.

COS du projet : s'il s'agit d'un projet qui couvre une majeure partie du terrain, le besoin en sol dégagé devient limité.

Dans tous les cas, si le stockage du sol dégagé ne présente pas des intérêts justifiés le terrassier doit prévoir l'engagement du matériel nécessaire adéquat compatible avec la zone et la nature d'intervention pour se débarrasser de ce sol.

Le rejet des déblais doit faire l'objet d'une étude et une organisation très spécifiques en fonction des engins mis à la disposition, nature du sol, accessibilité du terrain, réseaux enterrés, les constructions voisines, la décharge publique...

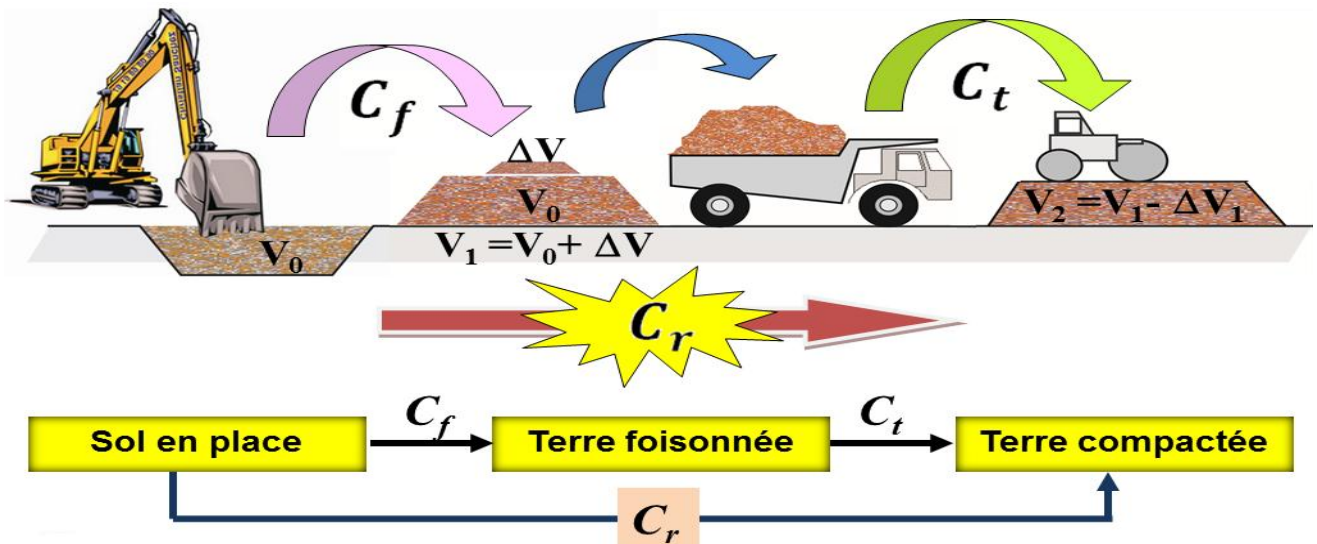
2)- Foisonnement et tassement :

Tout matériau dégagé augmente de volume, on dit alors qu'il foisonne, donc le foisonnement c'est l'augmentation du volume des terres provoquée par leur déplacement lors des travaux de terrassement ; par contre, un sol abandonné diminue de volume sous l'effet de plusieurs agents, parmi lesquels on cite :

- Les effets climatiques : la température dégage l'eau existante dans le sol donc le volume diminue.
- Le tassement : sous l'effet du propre poids du sol lui-même et des éventuelles charges appliquées dessus, le sol tasse et devient de plus en plus compact (consolidation).
- Le compactage : sous l'effet des engins mécaniques l'empilement des agrégats, constituant le sol, réduit son volume.

La connaissance du foisonnement est nécessaire pour les travaux de terrassements afin :

- De déterminer la capacité des véhicules de transport des déblais.
- D'effectuer la mise en dépôt dans les décharges publiques à partir d'un cube mesuré sur place.
- Que les dimensions initiales à donner aux remblais atteignant, après tassement, les cotes exigées.



Toutes ces variations de volume de sol sont estimées par les formules suivantes :

	coefficient	Valeur
De foisonnement	$C_f = \frac{V_1}{V_0}$	$F = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100\%$
De tassement	$C_t = \frac{V_2}{V_1}$	$T = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100\%$
De foisonnement résiduel	$C_r = \frac{V_2}{V_0} = C_f \times C_t$	$R = \frac{V_2 - V_0}{V_0} \times 100\%$

Le tableau ci-après donne quelques valeurs des coefficients définis ci-dessous

Nature de terrain	Foisonnement Cf	Tassement Ct	Tassement Résiduel Cr
Terre végétale, sable	10 à 15 %	1 à 1,5 %	8 à 12 %
Graviers	15 à 20 %	1,5 à 2 %	12 à 15 %
Terre argileuse	25 à 30 %	4 à 6 %	17 à 19 %
Argiles, marnes	30 à 40 %	6 à 8 %	19 à 25 %
Argiles, marnes très compactes	40 à 65 %	8 à 15 %	23 à 30 %
Roche tendre	30 à 40 %	8 à 15 %	17 à 18 %
Roche compact	40 à 65 %	25 à 40 %	10 à 15 %

LES TERRASSEMENTS

Planning **CHEMIN DE FER**

● Organisation des travaux de terrassement

Moyens

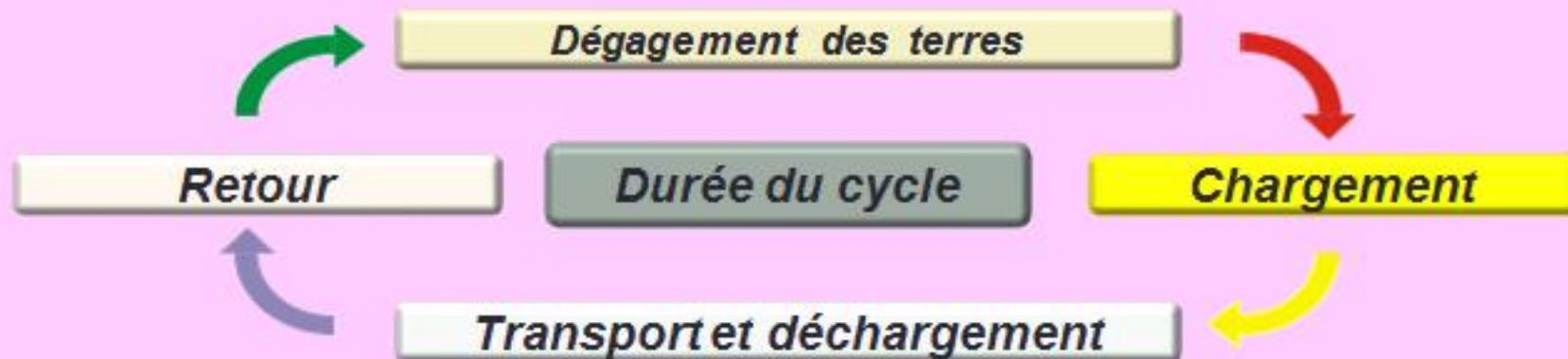
Pelle



Chargeuse



Camion



Organisation des travaux de terrassement

Cycle de pelle :



CHEMIN DE FER

Nature de sol	Temps du cycle
Terrains légers	25 s
Terrains compacts	30 s
Débris rocheux	40 s à 1mn
Bloc de rochers	1 mn à plus

Coefficient d'efficienc K(%) :

Conditions de chantier	K (%)
- Matériaux : terre non compacte, sable, gravier. - Profondeur : inférieure à 40% de la profondeur maximale. - Vidage sur déblais, sur camion en fond de fouille, avec un bon opérateur et sans obstacles.	95 à 100 %
- Matériaux : terre compacte, sols avec moins de 25 % de roches. - Profondeur : inférieure à 50 % de la profondeur maximale. - Vidage sur une zone large, avec quelques obstacles.	83 %
- Matériaux : terre très compacte, sols avec ± 50 % de roches. - Profondeur : inférieur à 70 % de la profondeur maximale. - Vidage dans des camions proches de l'excavateur, au même niveau.	75 %
- Matériaux : sol très compact ou avec ± 75 % de roches. - Profondeur : inférieure à 90 % de la profondeur maximale. - Travail au-dessus de canalisations, dans une tranchée.	65 %
- Matériaux : terrains gelés. - Profondeur : supérieure à 90 % de la profondeur maximale. - Chargement du godet.	55 %

Facteur de remplissage R (%) :

Nature de sol	R (%)
Terrains légers	110
Terrains lourds	95
Débris rocheux	85
Blocs de rochers	70

Le Rendement réel, R_r Vaut : **$R_r = R^{theo} \cdot K \cdot R$**

Application :

Pour une pelle d'un godet de 1m³, accomplissant un cycle en 25 secondes dans des conditions de travail normales et en excavant un **terrain lourd**.

Coefficient d'efficience : **k = 75%**

Facteur de remplissage : R = 95 %

Transport des déblais par tombereaux de 10,4 m ³		
Temps d'allée en charge	Temps de déchargement	Temps de retour à vide
26 mn	4 mn	22 mn

Eléments de réponse :

R_{théo} =

R_r = R_{théo} . K(%) . R(%) =

Le transport de la terre se fait par des tombereaux de 10,4 m³ de capacité.

Temps de chargement d'un tombereau :

Le temps de transport en charge : 26 mn, à vide : 22 mn et de déchargement : 4 mn.

Temps de cycle :

Nombre de tombereaux :

NATURE DE TERRAIN

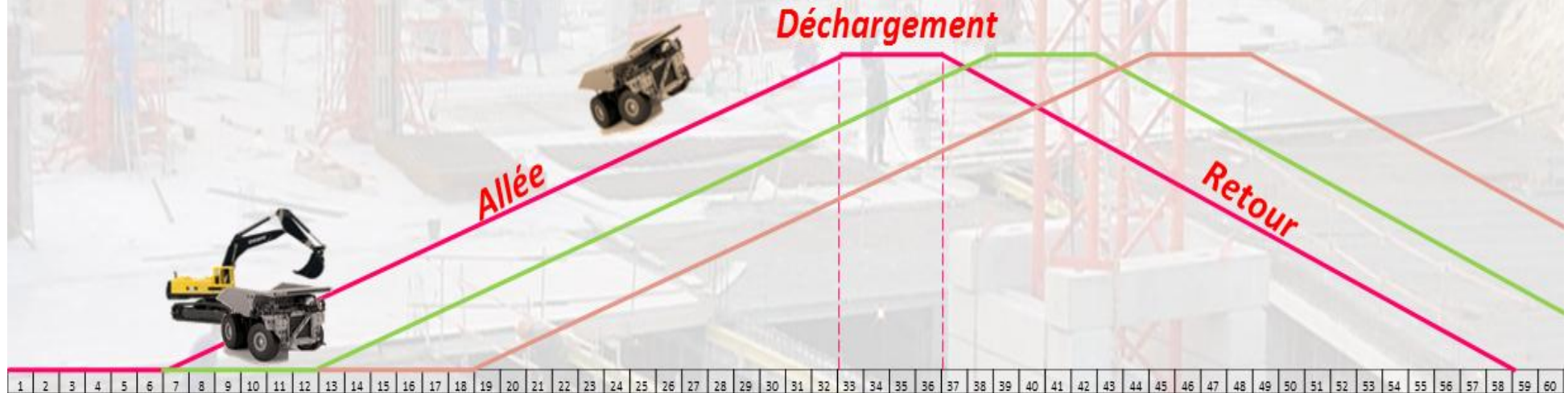
Organisation des travaux de terrassement

CHEMIN DE FER

Éléments de réponse

Temps de cycle : $6 + 26 + 4 + 22 = 58 \text{ mn}$

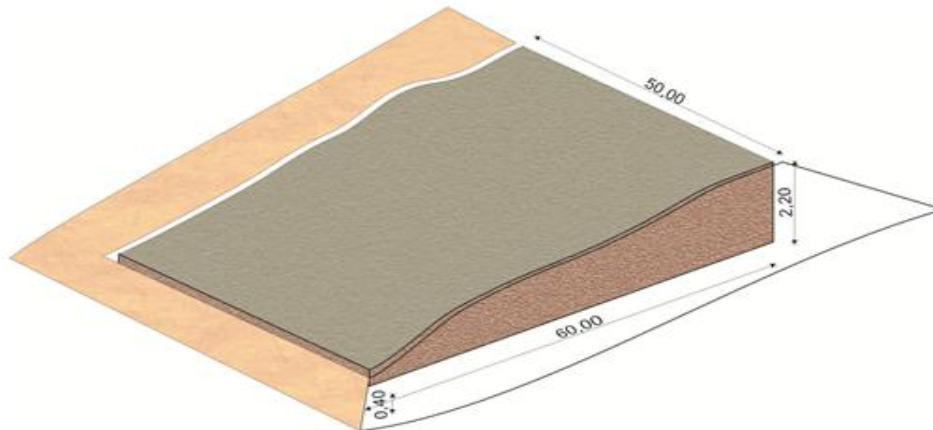
Nombre de tombereaux : $58/6 = 10$



TD N°1 : Procédés Généraux de Construction
Foisonnement

Exercice 1 :

Une entreprise vient de décrocher un chantier de terrassement qui consiste à mettre à un niveau uniforme le terrain schématisé ci-contre :



On demande d'organiser la rotation de camions qui vont effectuer le transport de ces matériaux.

Les données relatives au sujet sont les suivantes :

- Pelle mécanique (dégagement du sol et chargement des camions) :

Coefficient d'efficienc $K = 4/5$. Ce coefficient rectifie le rendement théorique selon l'état de l'engin et les contraintes relatives au terrain.

- Masse volumique apparente du terrain : $1,50 \text{ t/m}^3$
- Foisonnement du terrain considéré : 20 %
- Chargement des camions :
Temps de chargement des camions : 0,20 min par m^3
Temps de déchargement des camions : 1 min
- Temps de travail journalier : 7 heures par jour maximum

Les matériaux doivent être évacués à une décharge publique située à 22 Km du chantier.

Types camions	Capacité (m^3)	Charge utile (tonnes)	Vitesses (Km/h)	
			chargé	Vide
Semi-remorque	16	24	60	78

On demande de :

- 1)- Calculer la durée de cycle d'un camion.

- 2)- calculer le nombre de camions nécessaires, permettant un rendement en continu de la pelle.
- 3)- Calculer la durée des travaux de terrassement.

Leçon 3 :

Terrassements en terrains meubles

Généralités :

Avant de commencer les travaux de terrassement, il est indispensable d'obtenir des renseignements sur la construction à réaliser et sur le terrain à entreprendre afin que le projet et la méthode d'exécution soient conçus rationnellement. On procède, alors, à la lecture de documents suivants :

- La carte topographique (pour les projets de travaux publics)



Fig 33: Carte topographique



Fig 34: Plan de situation



Fig 35: Plan de masse

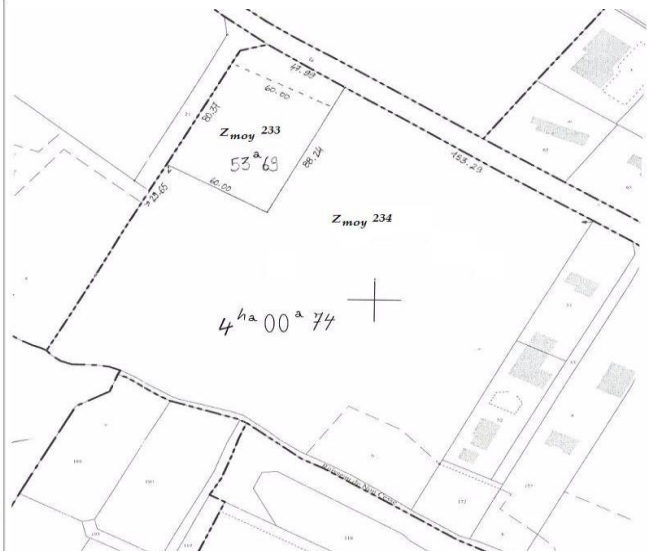


Fig 36: Plan de Géomètre



Fig 37: Plan de lotissement

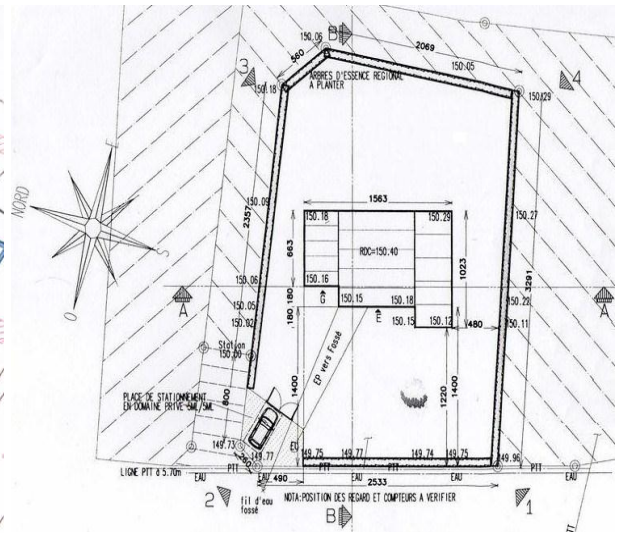


Fig 38: Plan d'implantation

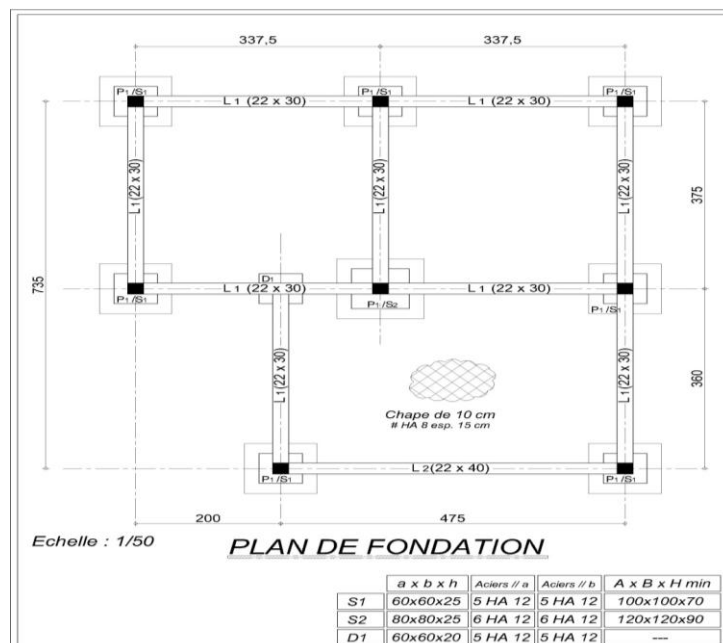


Fig 39: Plan de fondation

I/- Implantation :

Planter, c'est positionner sur le terrain la forme du bâtiment à construire. Tous les projets de génie civil sont implantés sur la base d'un point de référence connu en coordonnées (x,y,z) rattachées à l'origine du pays. Afin de réussir l'implantation qui représente une importante phase du projet, particulièrement celui de bâtiment, on utilise les dispositifs suivants :

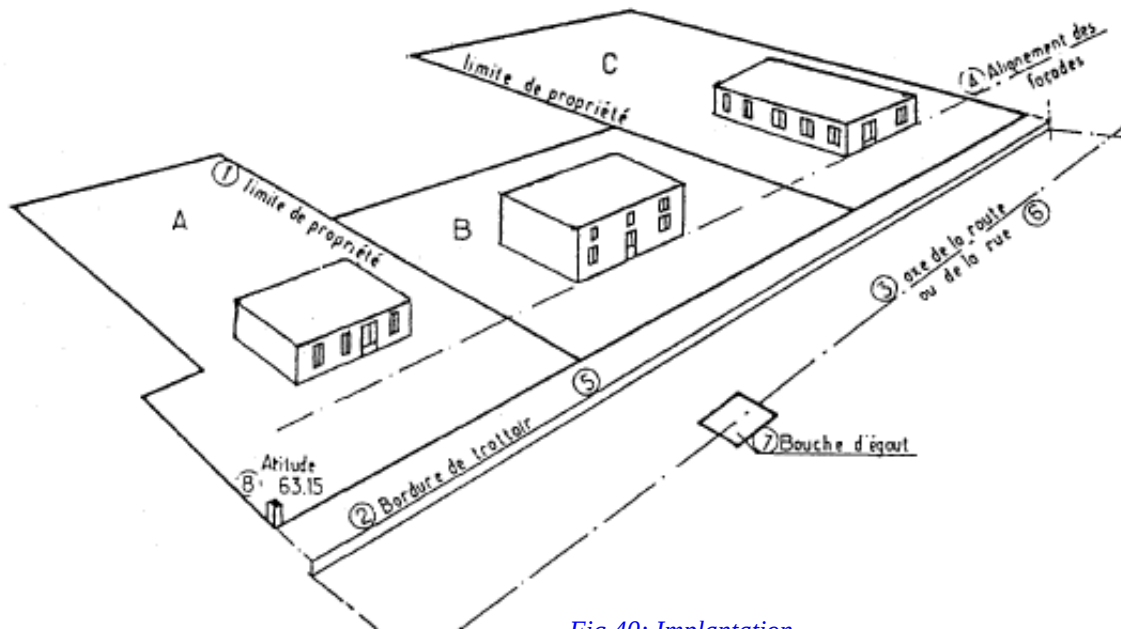
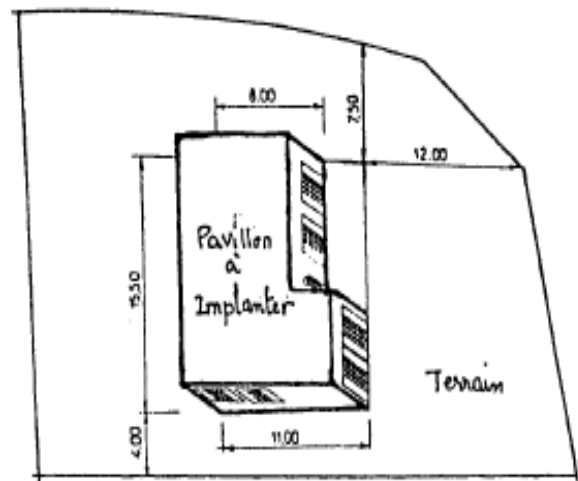


Fig 40: Implantation

1)- Piquets d'implantation :

Les piquets d'implantation nous permettent de repérer les alignements principaux ; ce sont des piquets en bois ou en acier, planté bien solidement dans le sol, à l'extérieur de la zone de construction. Il faut les conserver jusqu'à la fin des travaux de terrassement et des fondations ; ils seront soigneusement protégés soit par des bétons, des blocs ou des briques...

On les place dans l'alignement des murs, en tirant des cordes passant par les coins des bâtiments, par exemple : un cordeau tendu bien droit et passant par les coins autrement dit axes permet de placer deux piquets à plus de 1 m à l'extérieur de la zone des travaux.

2)- Chaises d'implantation :

L'implantation par la méthode des chaises sert à matérialiser sur le terrain les grandes lignes de la construction par l'intermédiaire des chaises d'implantation reliées par des cordeaux. Son but est de déterminer l'emplacement du bâtiment, de situer les murs de façades, de refends et les axes des poteaux.

Une chaise est constituée de deux piquets verticaux reliés par une planche horizontale (latte). Elle est placée à l'extérieur de la zone de construction (1,5 à 2m à l'extérieur du bâtiment à construire), pour positionner une chaise, on procède de la manière suivante :

- Tendre un cordeau entre deux piquets d'alignement.
- Planter profondément et verticalement deux piquets en bois alignés avec le cordeau, à un mètre à l'extérieur de la zone des travaux, on utilisera pour cela une équerre de chantier.
- Clouer sur les piquets, coté extérieur, une planche appelée aussi une latte bien horizontale moyennant un niveau à bulle.

Pour positionner les autres chaises, on procédera de la même façon que précédemment.

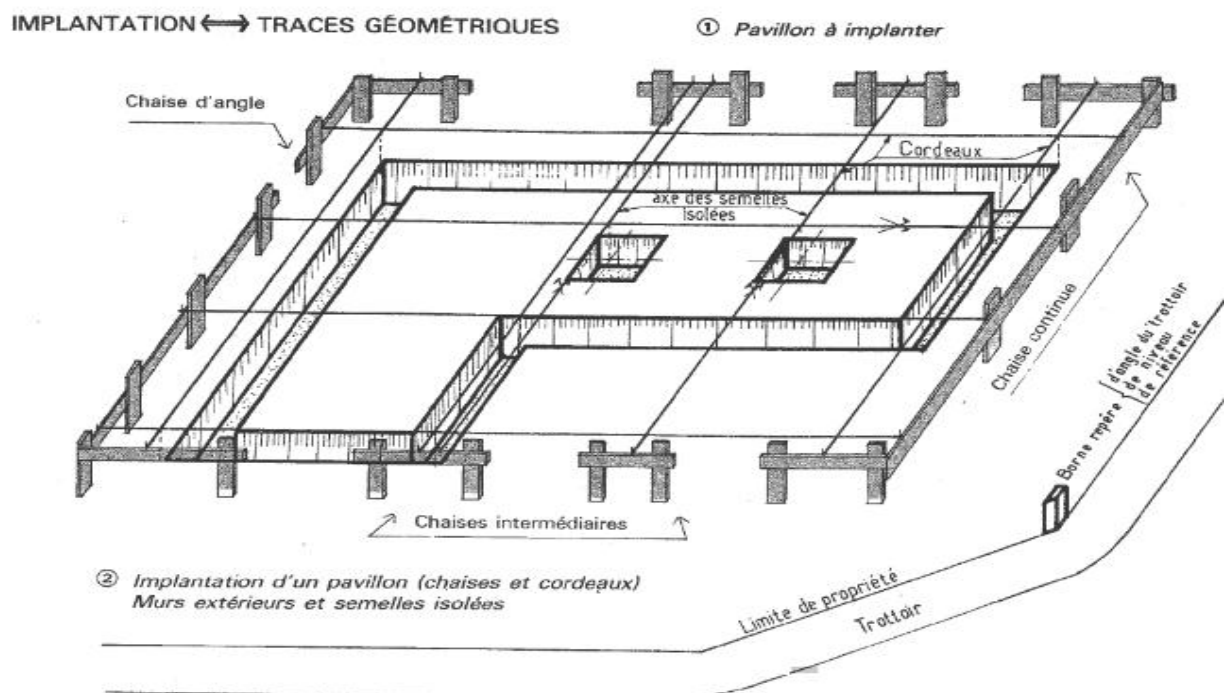


Fig 41: Implantation par la méthode des chaises

Les erreurs courantes à éviter :

- Mauvais emplacement de l'ouvrage,
- Inversion des façades,
- Fausse équerre,
- Dimensions erronées.

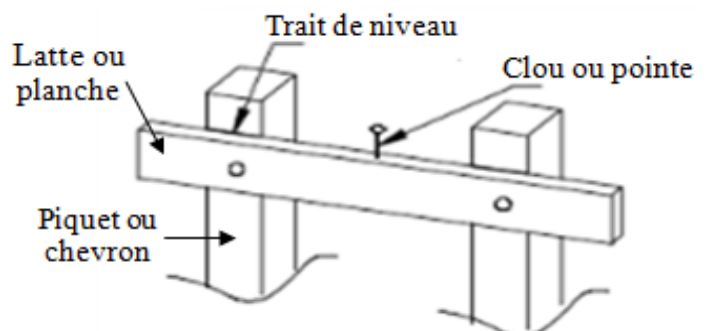


Fig 42: Chaise d'implantation

3)- Repères sur les chaises :

A partir de l'alignement des piquets d'implantation et du plan de la construction, on marque sur chaque chaise l'épaisseur du mur, son axe et les limites de la fondation en plantant des clous dans la planche horizontale et en marquant au crayon.

4)- Repère général de niveau :

Le repère de niveau est un piquet en bois ou autres solidement fixé dans le sol avec du béton. La tête de clou plantée dans les piquets indique un niveau (une altitude) qui servira de référence pendant toute la construction.

5)- Traçage des terrassements :

Une fois les chaises sont installées, et les clous matérialisant les axes, sont mis en place, on tend des cordeaux en dessous des quels on trace sur le sol avec du plâtre ou du sable propre les limites des terrassements.

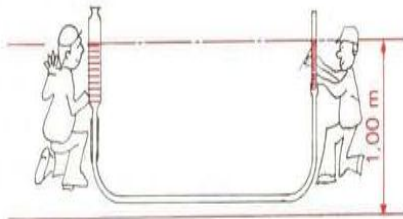
Exemples :

- Les bords extérieurs des semelles isolées ;
- Les limites des semelles filantes ;
- Les têtes et les pieds des talus en cas d'excavation en pleine masse...

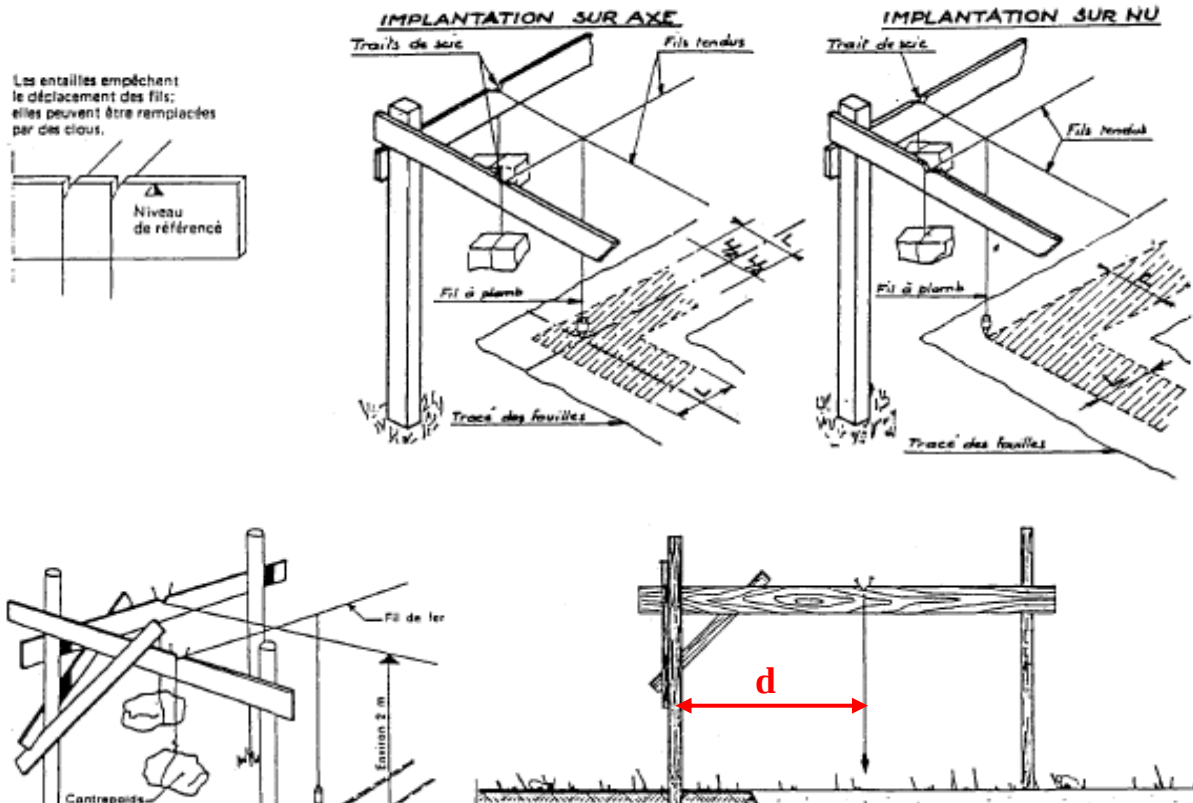
Ensuite on passe à la réalisation des terrassements.

Les instruments utilisés pour l'implantation d'un ouvrage

<i>Désignation</i>	<i>Description et Utilisation</i>	<i>Représentation</i>
Le jalon Ou canne	Tige de 2 m peintes alternativement blanc et en rouge. Pour déterminer ou prolonger un alignement	
Le trait bleu	Permettre de matérialiser les alignements	

Le ruban	Décamètre ou double décamètre. Pour mesurer de grandes longueurs lors de l'implantation	
Le mètre roulant	Mesurer des longueurs	
Le fil à plomb	Permettre le repérage vertical des axes	
Le niveau à bulle d'air	Déterminer ou contrôler l'horizontalité et la verticalité	
Le niveau à caoutchouc ou à eau	-Tracer le trait de niveau -Déplacer les repères de nivellement	
L'équerre de maçon	Permet de tracer des retours d'équerre (angle droit) Système 3,4,5.	

Le niveau à lunette avec trépied et mire parlante	-Tracer des alignements -Mesurer des angles horizontaux -Utiliser pour des nivellements de précision	Le niveau Le trépied La mire parlante
Les chaises d'implantation	- Fixer des cordons d'alignement du nu extérieur des murs, - Planter les axes	
Le cordeau	Matérialiser les alignements droits et les trais d'axes	



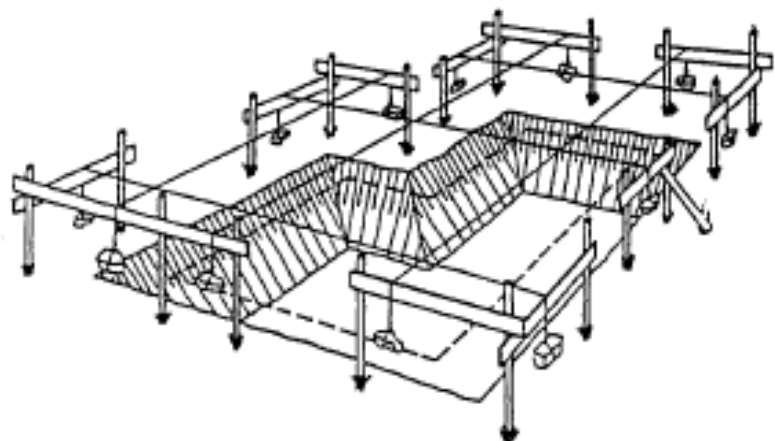
Les chaises :

Constructions provisoires, supportent le réseau de fil. L'intersection des fils définit le nu extérieur des murs finis.

Il est possible également de tendre plusieurs fils, un pour le mur extérieur, un pour l'intérieur, ainsi que pour les faces des semelles de fondation.

Chaise d'implantation :

La distance « d » entre la chaise et le nu du mur doit être suffisante pour éviter les éboulements et permettre la circulation et le travail au pied du mur pour la pose des enduits. De l'étanchéité ou des drainages.



Le réseau de fil maintenu par les chaises ou les banquettes matérialise les alignements des murs durant l'exécution des fouilles, des fondations et des murs du sous-sol.

II/- Terrassement à la main :

1)- Déblais manuels :

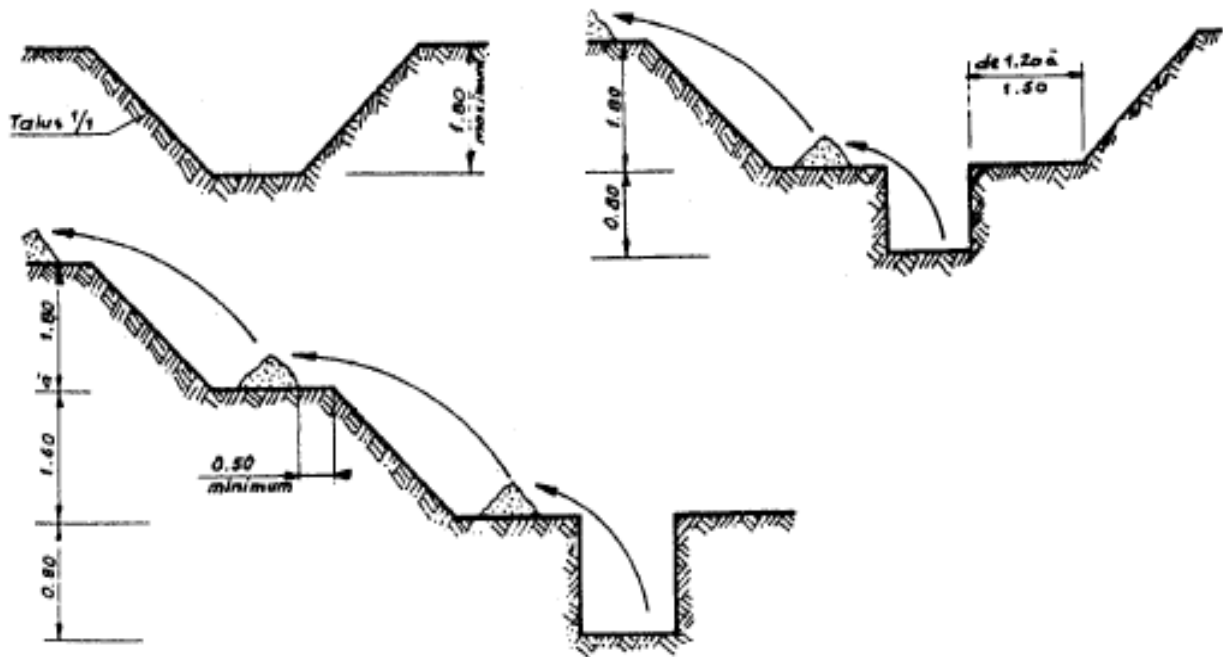
Les fouilles peuvent être réalisées à la pelle ou à la bêche dans la terre végétale, le sable, les sols vaseux (le du sol ne soit pas trop compacte)...

On n'effectue des fouilles à la main que lorsqu'il s'agit de petits terrassements (les travaux qui présentent des petites interventions), des fouilles en rigoles ou en puits, non accessibles aux machines ou encore dans des encombres d'étais.

Lorsque l'espace est restreint, les fouilles en tranchées pour canalisation ou fondation sont exécutées à la main, dans les travaux qui se prêtent mal aux engins, exemples : tranchée étroite, existence des réseaux enterrés, intervention ponctuelle dans les voies publiques...

Si cette méthode présente des avantages économiques remarquables.

Ce travail s'effectue à la pioche par couches successives d'environ 40 cm de profondeur, la terre ameublie étant rejetée hors de la fouille par le jet de pelle. Si la profondeur augmente, le jet de terre se fera par étapes successives : c'est le jet sur banquettes dont la hauteur ne doit pas dépasser 1,80 m.



Pour l'exécution manuelle des fouilles, il faut tenir compte :

- De la facilité de mouvement de l'ouvrier.
- De l'évacuation possible des déblais.

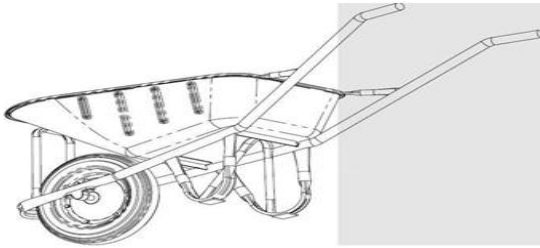
La facilité des mouvements et surtout fonction d'une relation entre le largeur la profondeur de fouille, c'est-à-dire que plus une fouille est profonde plus elle doit être large (largeur d'une pelle 40cm).

1-a)- Temps d'exécution des fouilles :

Désignation	Temps pour un 1m ² de fouille	Volume terrassé en 10 h	Temps de fouille pour un 10 h de terrassement
Terrain ordinaire	0,8 h ou 48mn	7.7 m ³	6.2 h ou 6h 12min
Terrain semi compact ou moyen	1,2h ou 1h 12mn	6.0 m ³	6.7 h ou 6h 42min
Terrain dur	1 ,55h ou 1h 33mn	5.2 m ³	7.1 h ou 7h 6min
Terrain compact	2,75h ou 2h 45mn	2.0 m ³	8.8 h ou 8h 48min

1-b)- Les outils manuels sont :

Description et Utilisation	Représentation
<u>La pioche</u> : utilisé pour creuser le sol, décompacter, couper les racines, excaver des cailloux...	
<u>La bêche</u> : large lame métallique plate, pour trancher le sol.	
<u>La pelle</u> : sert à charger manuellement les déblais dégagés.	
<u>La dame</u> : il s'agit d'un petit matériel qu'on utilise pour compacter de faibles surfaces.	
<u>Grenouilles pilonneuses</u> : sa masse peut atteindre 1 tonne, la hauteur du remblai compacté par cette machine varie de 40 à 60 cm. La cadence de frappe varie de 50 à 100 coups/mn. Leur rendement est estimé à 100-150 m ² /h.	

<u>Rouleaux à guidage manuel</u> : Si la surface à compacter est relativement importante et nécessite un compactage par vibration.	
Ces deux appareils conviennent particulièrement bien pour le compactage des tranchées remblayées.	
<u>Plaques vibrantes</u> : L'engin se compose d'une plaque mise en vibration par un dispositif mécanique. La plaque est rectangulaire de 30 x 60 cm² à 60 x 80 cm².	
Elles conviennent pour les sols sableux, mais mal pour les sols argileux, et surtout pour le compactage des tranchées remblayées, des petites surfaces et des asphaltes.	
<u>Marteau piqueur</u> : C'est un outil permettant la destruction locale de matériaux durs tels que les roches, le béton et l'asphalte.	
<u>Brouette</u> : Petit engin de transport pour des petites quantités et distances, la capacité d'une brouette ne dépasse pas les 80 l.	

III/- Terrassements aux engins mécaniques :

Lorsqu'il s'agit des travaux de terrassement importants et que leur réalisation à la main nécessite un temps exagéré, ça revient plus économique d'utiliser des engins mécaniques. Ces engins peuvent assurer :

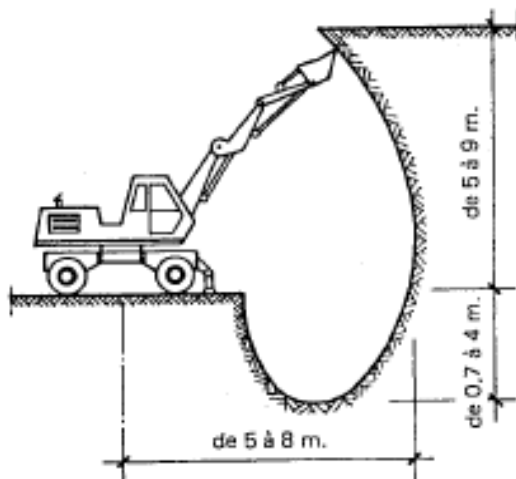
- L'extraction du sol ;
- L'extraction et le chargement ;

- L'extraction, le chargement et le transport des terres dégagées ;
- Le transport.

Le choix des engins est fonction du terrain et de la nature des terrassements.

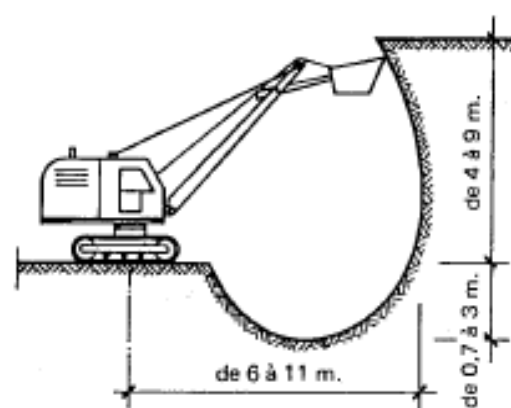
1)- Les engins d'extraction et chargement :

1-a)- **Pelle mécanique en butte** : On utilise cet équipement pour les travaux où le front d'attaque est situé au-dessus de la machine, son équipement est prévue pour les sols tendres à durs.



Pelle mécanique en butte.

Pelle hydraulique sur pneus ou chenilles



Pelle mécanique en butte.

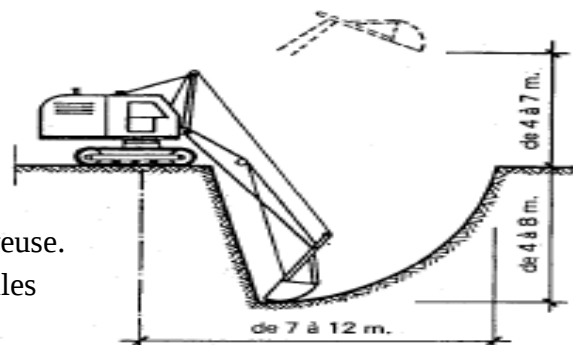
Pelle mécanique sur chenilles

1-b)- **Pelle mécanique en retro-caveuse** : Elle est utilisée lorsque le niveau de la fouille se trouve en contre bas de la machine.

L'opération de chargement s'effectue par traction vers la machine, tandis que l'extension du bras permet le déchargement. Cet équipement permet une exécution précise, rapide et la direction du travail est constamment contrôlée. L'effort d'attaque du godet est assez puissant pour permettre une utilisation dans les terrains relativement durs.

Cet engin de travaux publics est conçu pour des opérations multifonctions.

La pelle est un engin de terrassement adapté aux constructions routières, aux constructions du bâtiment (fondations), à la pose des canalisations et aux projets de réparation des routes.



Pelle mécanique en retro-caveuse.

Pelle mécanique sur chenilles

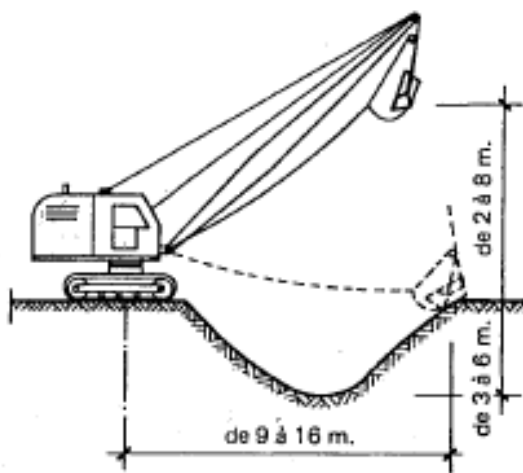


Fig 43: Pelle sur pneus



Fig 44: Pelle sur chenilles

1-c)- Pelle en dragline : Elle est utilisée pour les travaux où le niveau de la fouille se trouve en contre bas de l'assise de la machine et les terres sont déposées sur les berges de l'excavation. C'est la machine appropriée pour les fouilles non accessibles aux autres machines. Utilisée dans les grandes mines et en génie civil pour déplacer de grandes quantités de matériaux. Il est particulièrement utile dans des endroits inondés comme la construction de ports. Son poids excède 2t atteignant facilement dans certains cas à 13t.



Pelle mécanique en dragline.

Pelle mécanique sur chenilles

1-d)- Pelle niveleuse :

- Utilisé en terrain plat ou peu accidenté.
- Permet d'obtenir une surface de fouille parfaitement plane.
- Capacité de godet varie de 0,3 à 1 m³.

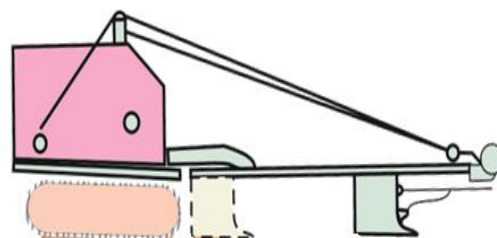


Fig 45: Pelle Niveleuse

1-e)- Pelle à benne preneuse : Elle présente les mêmes caractéristiques que la dragline avec un rendement moins élevé. L'équipement d'une telle benne permet l'exécution des terrassements à grande portée. On ne peut l'utiliser rationnellement qu'en terrain tendre et dans des roches désagrégées. Elle comprend une flèche et une benne preneuse formée de deux coquilles jointives ou d'un ensemble de plusieurs griffes articulées (3 à 8 griffes).

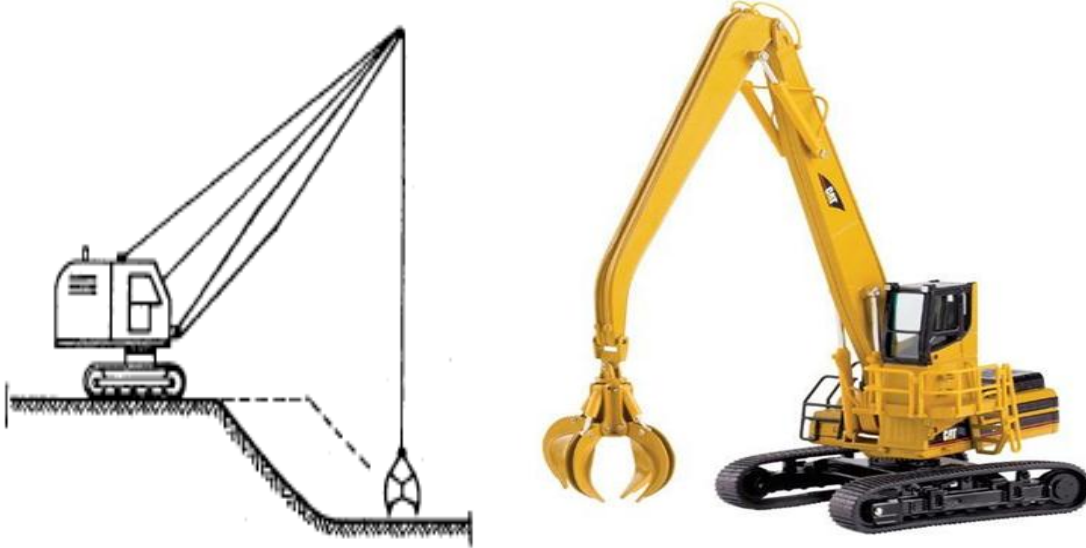


Fig 46: Pelle à benne preneuse



Benne



Grappin

1-f)- Excavateur à godets multiples : Il est composé d'un plan orientable supportant une chaîne de godets sans fin, il travaille en fouille ou en butte (en face d'un talus) utilisé souvent pour les mines à ciel ouvert.



Fig 47: Excavateur à godets multiples

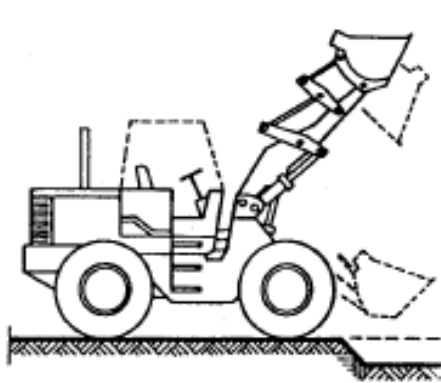


Roue Pelle

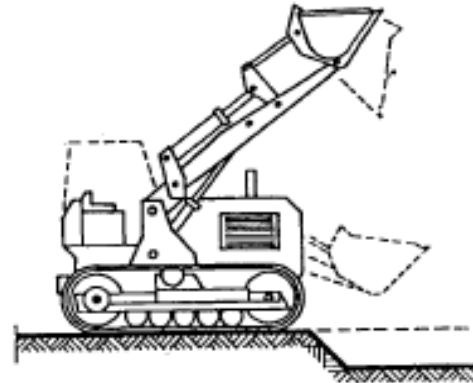
1-g)- Chargeuse : Elle est utilisée dans des terrains tendres semi-compacts ou défoncés, pour des fouilles en pleine masse et des remblayages. Elle effectue le terrassement et le chargement et peut transporter les terres dans un rayon de 60 m.

La chargeuse sur chenilles possède une bonne adhérence, même dans les fouilles humides, contrairement à la chargeuse sur pneus.

Utilisée pour charger le sol et les roches éclatées dans les travaux de terrassement, les constructions routières, les travaux municipaux, les travaux d'exploitation et de chargement dans les mines et dans les centrales à béton.



Chargeuse sur pneus



Chargeuse sur chenilles



Fig 48: Chargeuse sur pneus

1-h)- Niveleuse ou Grader : Elle est un engin tracté ou automoteur qui refoule et creuse par couches minces et égalise une surface de terre. Cet engin de travaux publics est équipé d'une longue lame orientable entre ses deux essieux qui permet de niveler les sols. Elle est adaptée aux constructions d'infrastructure de grande envergure. Elle permet d'effectuer les fonctions suivantes : réaliser des fossés triangulaires, niveler le sol et décompacter les couches de matériaux, bulldozer, ripper, etc...

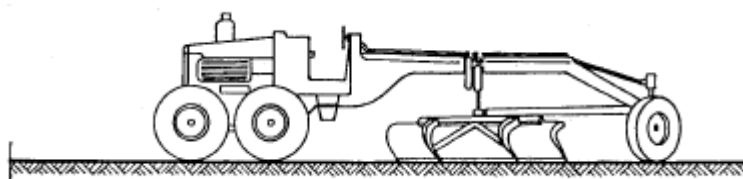




Fig 49: Niveleuse ou Grader

1-i)- Bulldozer : Il est conçu pour pousser les terres, il sert aussi bien à déplacer par refoulement la terre, la roche désagrégée, les troncs d'arbres, qu'à la mise en tas des matériaux excavés et à l'établissement de remblais. Cette machine ne peut pas charger.

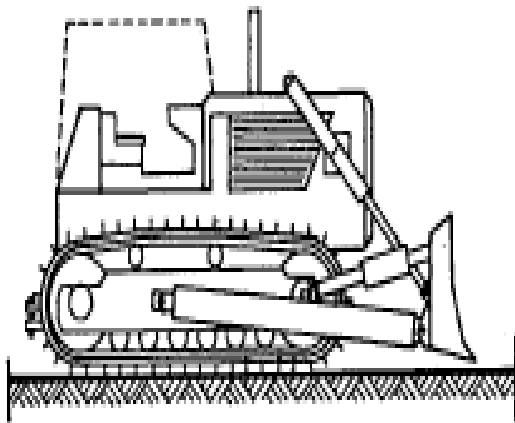


Fig 50: Bulldozer

1-j)- Chargeuse-pelleteuse : Elle comporte un tracteur, une chargeuse sur pneus à l'avant et une pelle à l'arrière. En tant qu'engin de travaux publics, elle permet de pelleter les matériaux et de les charger dans un camion. Ce matériel de terrassement est utilisé couramment pour les travaux urbains et les projets de construction de petite envergure, tels que la construction des résidences de petites tailles et des routes urbaines, etc...



Fig 51: Chargeuse-pelleteuse

2)- Transport :

Le choix des engins de transport est conditionné par la quantité de sol à transporter les distances et les conditions de transport :

2-a)- Mini-Dumper de chantier : Engin pneumatique équipé d'un poussoir mécanique (moteur à explosion) et d'une benne basculante de capacité allant de quelques centaines de litres à $1,5 \text{ m}^3$ et une masse limitée à 3 tonnes.

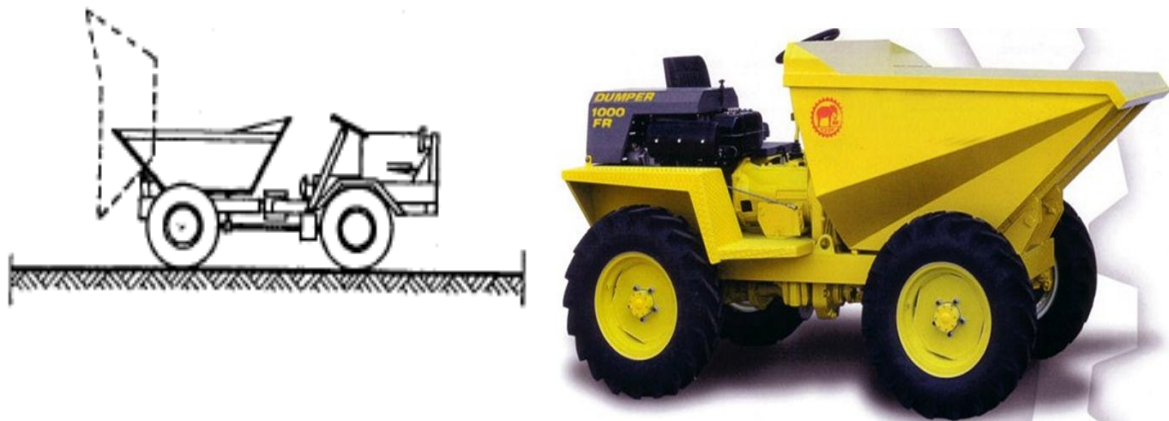


Fig 52: Mini-Dumper

2-b)- La décapeuse ou scraper : Ils sont des engins automoteurs utilisés pour les terrassements en couches minces est de grandes surfaces (travaux routiers). Ils assurent quatre opérations :

- Le décapage ;
- Le chargement par remplissage de la benne ;
- Le transport des terres ;
- La rectification des terres.



Fig 53: La décapeuse ou scraper

2-c)- Dumper de chantier ou de carrière : (tombereau rigide ou articulé)

Engin mécanique lourd utilisé souvent dans les carrières, pour l'industrie de mines et éventuellement dans les projets des travaux publics de très grande importance. Il est caractérisé par sa cabine de conducteur mono place, par sa capacité et sa benne va de 17 à 23 m^3 avec une charge utile d'environ 55 t . Il est caractérisé par un temps court de renversement de sa benne ($\leq 14\text{s}$ pour quelque modèle) mais une vitesse de déplacement relativement faible ($\leq 70 \text{ km/h}$).

La circulation de ces engins est interdite dans le réseau routier.



Fig 54: Tombereau Rigide



Fig 55: Tombereau Articulé

2-d)- **Les camions routiers** : Pour les transports des terres à travers le réseau routier, on utilise des camions à benne basculante. Leur capacité varie de 3 à 50 m³ même plus et de 1,5 à 55 tonnes.



Fig 56: Camions routiers

3)- **Finition** : (compactage)

Le compactage d'un remblai ou d'un enrobé consiste à réduire le volume des vides et des interstices (l'eau). Il a pour but de réduire le tassement ultérieur des ouvrages et d'augmenter sa capacité portante. L'épaisseur de la couche de sol à compacter est souvent de 30 cm pour toute nature de sol. Le choix de l'engin de compactage se fait selon la nature du sol et de la phase des travaux.

3-a)- **Rouleaux vibrants** : La vibration facilite le compactage en réduisant le frottement entre les grains de sol. Les cylindres sont équipés d'un mécanisme vibrant appelé balourd.



Fig 57: Monocylindre



Fig 58: Rouleau à tandem vibrant



Fig 59: Rouleau mixte vibrant à pneus (vibration + pétrissage)

3-b)- **Rouleaux à pieds d'ameurs** : En réduisant la surface de contact avec le sol la contrainte augmente et le compactage sera plus intense, d'où l'idée des pieds de mouton hérissant le cylindre métallique de ce type de rouleau.



Fig 60: Rouleaux à pieds d'ameurs

3-c)- **Rouleaux à pneus** : Ils sont employés pour le compactage des remblais et pour le compactage des chaussées, car ils ont l'avantage de ne pas modifier sa granulométrie. Ils sont capables de travailler en terrain moyennement argileux ou graveleux, et conviennent bien pour le cylindrage des gravillons constituant les revêtements des chaussées.

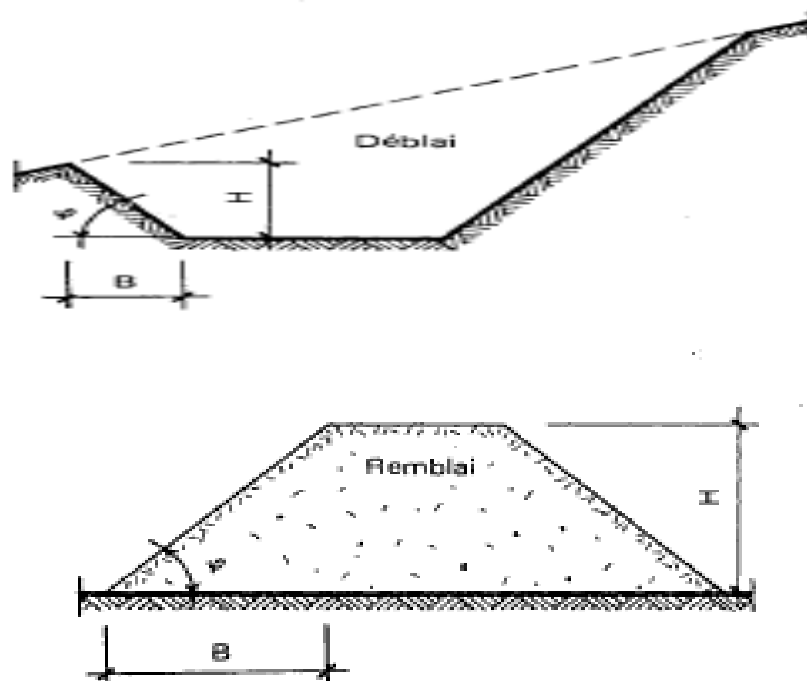


Fig 61: Rouleaux à pneus

IV/- Contrôle des travaux de terrassement :

1)- Stabilité des talus :

Les conditions de stabilité des talus, nécessaires pour une bonne conservation des fouilles tant en déblai qu'en remblai, définissent l'angle i du talus pris avec l'horizontale et déterminé par sa tangente ou sa cotangente comme indiqué sur la figure.



En définissant l'angle ϕ comme étant l'angle de talus naturel ou encore l'angle que prend le sol lorsqu'il est tout simplement déversé : la condition de stabilité impose que l'on ait dans tous les cas $i < \phi$. L'angle de talus naturel dépend de :

- La nature du sol.
- De la teneur en eau (humidité : sol sec ou non).

Le tableau suivant donne l'angle de talus naturel de quelque type de sol :

Catégorie du terrain	Inclinaison du talus							
	Déblais en terrain fraîchement remué				Déblais en terrain non fraîchement remué			
	Terrain sec		Terrain immergé		Terrain sec		Terrain immergé	
	ϕ°	$\text{tg}\phi$	ϕ°	$\text{tg}\phi$	ϕ°	$\text{tg}\phi$	ϕ°	$\text{tg}\phi$
Sable fin	30	1/2	20	1/3	30	1/2	20	1/3
Gravier	35	2/3	30	1/2	35	2/3	30	1/2
Argile	35	2/3	20	1/3	40	1/5	20	1/3
Terre grasse mêlée de pierre	35	2/3	30	1/2	45	1/1	30	1/2
Cailloux	45	1/1	40	1/5	45	1/1	40	1/5
Ruches tendres	45	1/1	45	1/1	55	3/2	55	3/2
Ruches dures	45	1/1	45	1/1	80	5/1	80	5/1

Les travaux de terrassement dépendent de la nature du sol meuble, rocheux ou compact. Cette nature de sol impose les moyens, la méthode et la durée à mettre en œuvre pour extraire et transporter les terres dégagées.

2)- Condition de compactage :

La qualité d'un remblai dépend de la nature des matériaux qui le compose et de leur mise en œuvre. La densité et la teneur en eau du remblai doit être respecté selon les prescriptions techniques de mise en œuvre. La vitesse du tracteur de la citerne d'arrosage et le débit de l'arroseur doivent garantir une teneur en eau optimale permettant un bon compactage du remblai.

2-a)- Contrôle de compacité :

Le contrôle du compactage est réalisé soit par des mesures ponctuelles de densités (nucléo densimètre), soit par une mesure en continu de l'énergie de compactage.



Fig 62: Nucléo-densimètre



Fig 63: Densitomètres à membrane



Fig 64: L'essai de plaque statique

L'essai de plaque statique permet de définir la compacité du sol sur la base du coefficient de déformabilité, il permet également d'analyser la portance du sol compacté.

V/- Blindage des fouilles :

Blinder : protéger les fouilles contre les effondrements de parois, le blindage est un ouvrage de soutènement provisoire ou définitif (bois, métallique, béton) destiné à éviter les effondrements des parois verticales lors des travaux de terrassement.

Suivant la nature du sol et la construction à réaliser on peut avoir :

- Puits blindés (3 ou 4 faces) ;
- Tranchée blindée (deux face) ;
- Parois berlinoise (blindage 1 face auto-stable) ;
- Palplanches (foncées dans le sol par battage) ;
- Blindage pour soutènement définitif (paroi moulée) ; etc...

Les blindages sont constitués principalement des éléments suivants :

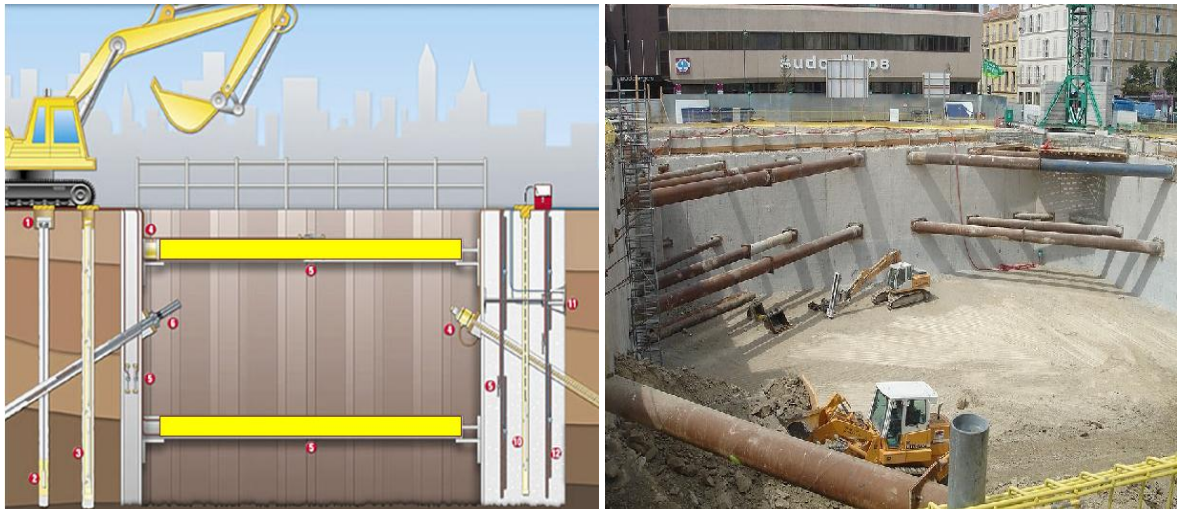
- Ecran (boisage vertical) : surface plane ou ondulée constituée de planches en bois, panneau en bois ou métallique ou encore paroi en béton.



- Semelles verticales : appelés couches pour blindage en bois ou métallique, profilé disposé perpendiculaire au sens des planches (bois).
- Longrines : profilés ou madriers formant des ceintures pour raidir les écrans.
- Etrésillons : consolidation, en bois ou métallique, que l'on place entre les deux parois pour arrêter leur rapprochement.



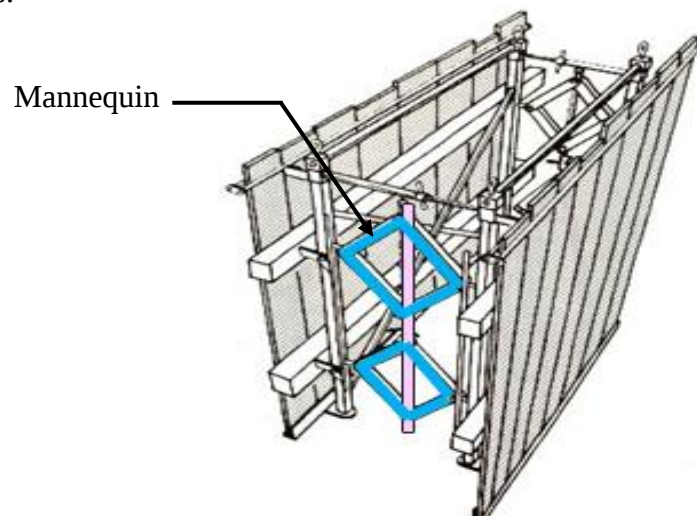
- Butons : ce sont des étréssillons à grande échelle métalliques provisoires jusqu'au coulage du radier, dalle ou poutre qui seront les butons définitifs.



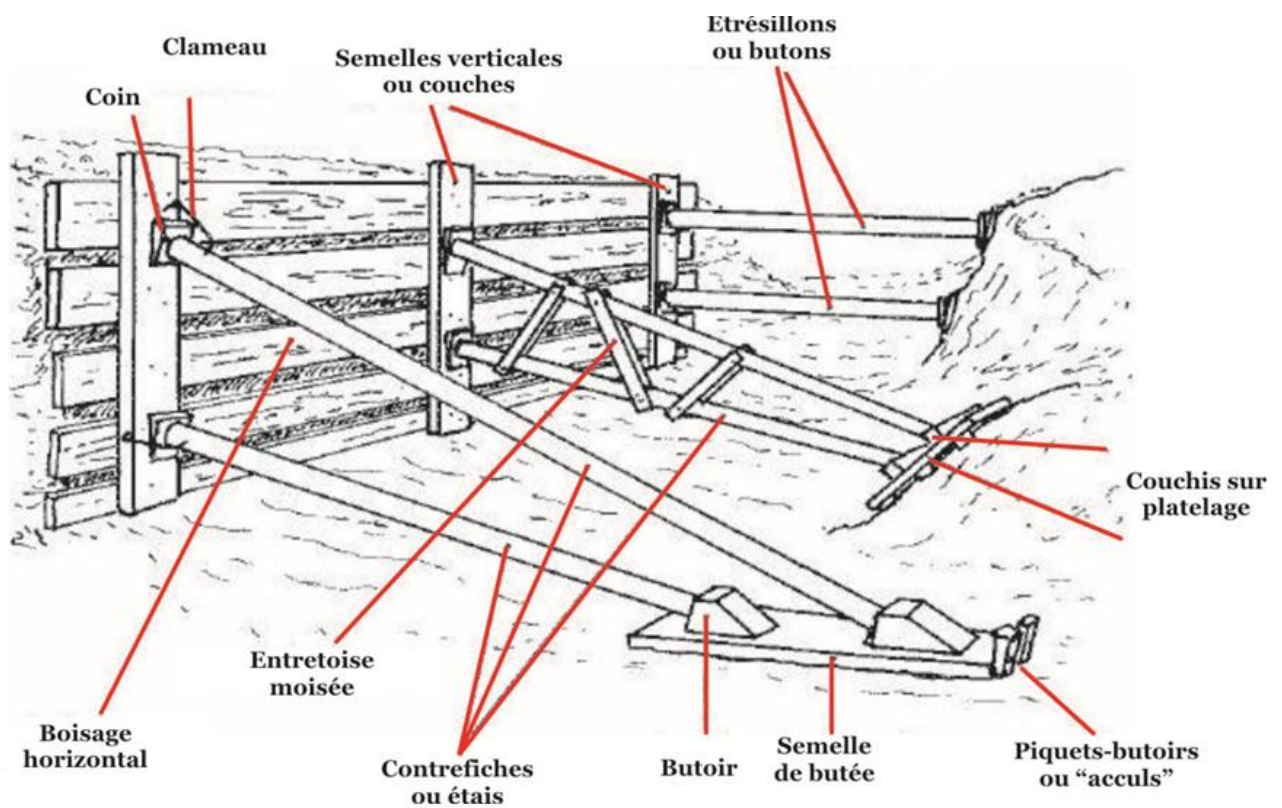
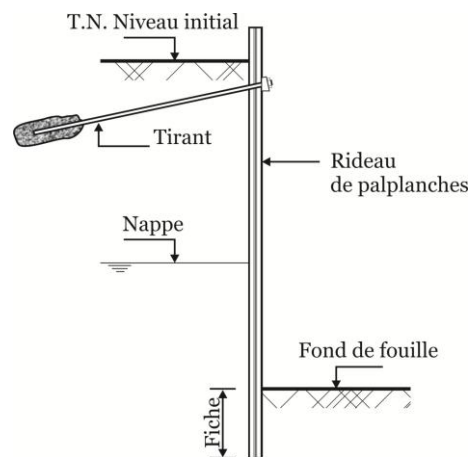
- Etai : (contre-fiches) tube métallique ou élément en bois sert à soutenir les parois dont une extrémité est fixée contre les couches et l'autre porte sur des planches posées à terre appelées couchis.



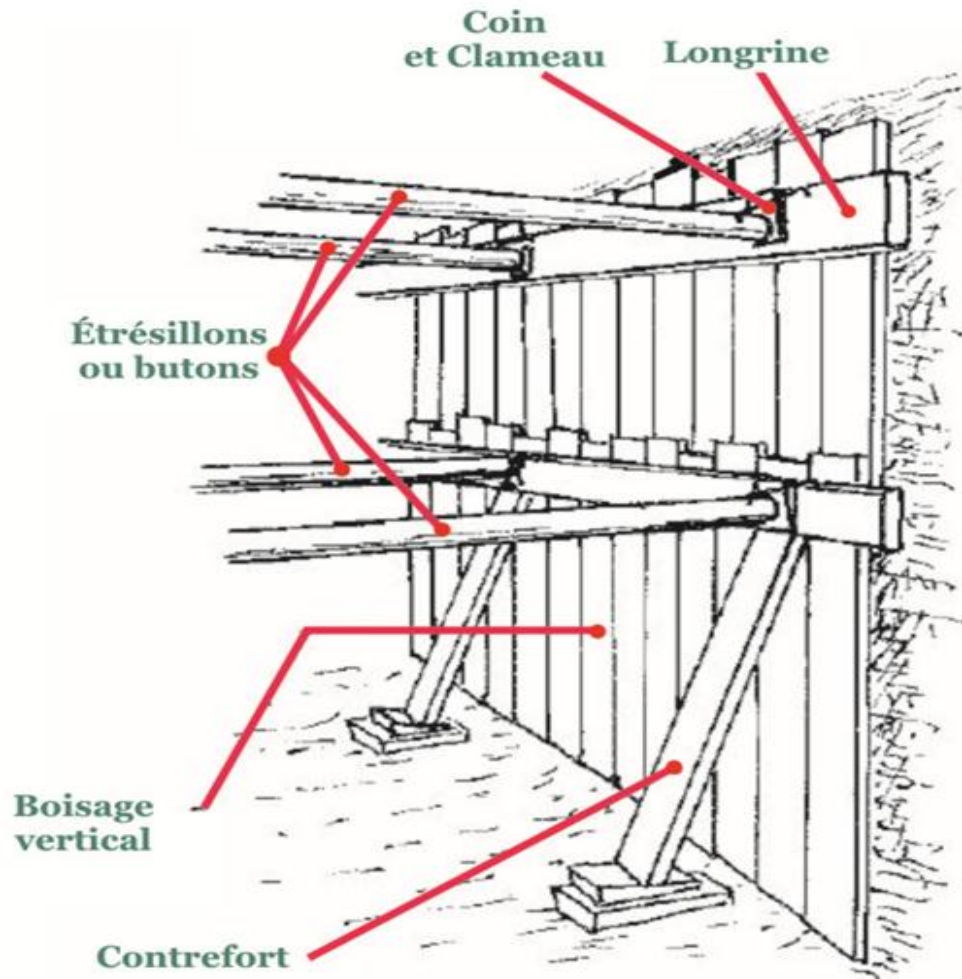
- Un mannequin : un châssis métallique dont on peut régler la largeur par l'intermédiaire de vérins à vis.



- Tirant : barre métallique ancrée par frottement dans le sol sa tête maintient les parois.



Blindage a boisage horizontal



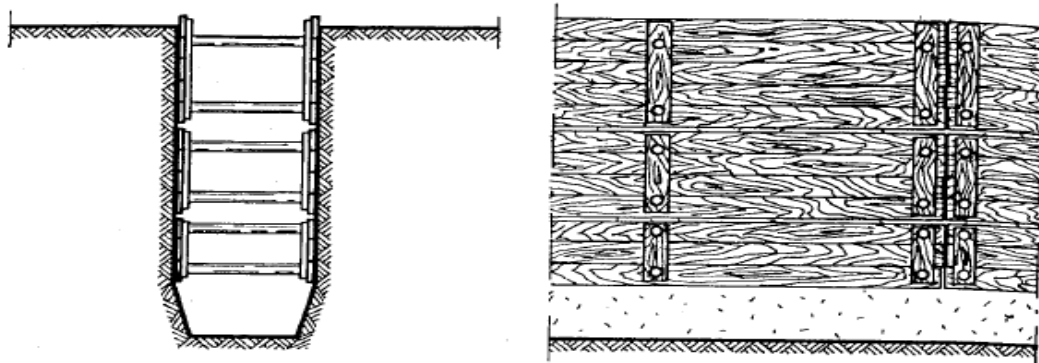
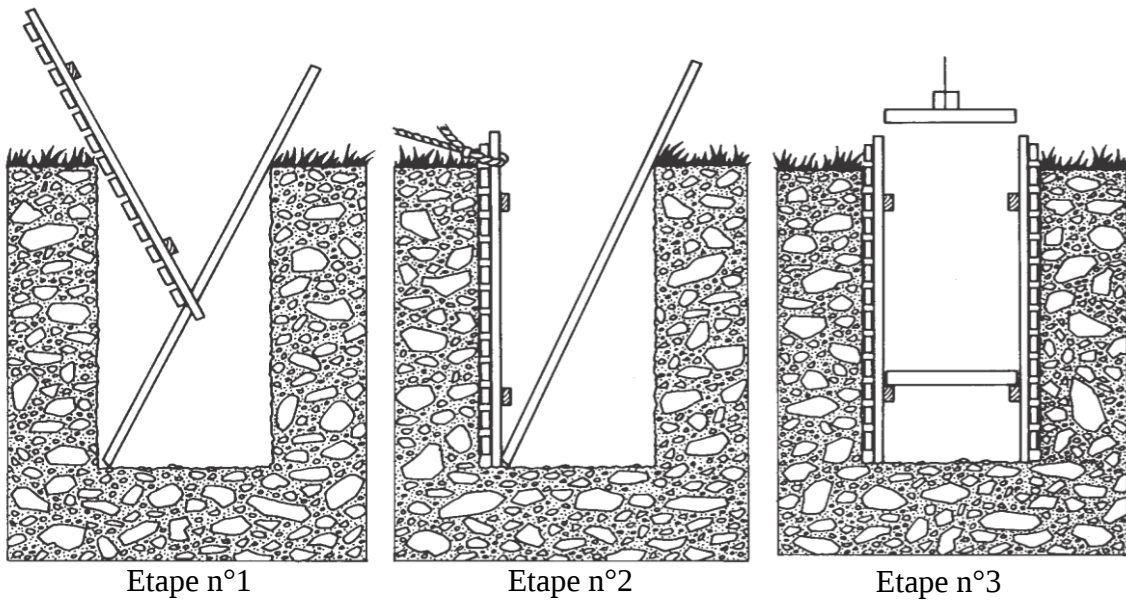
Blindage à boisage vertical

Suivant la nature et l'importance des terrassements à exécuter le blindage pourra être choisi parmi les modèles décrits ci-dessous.

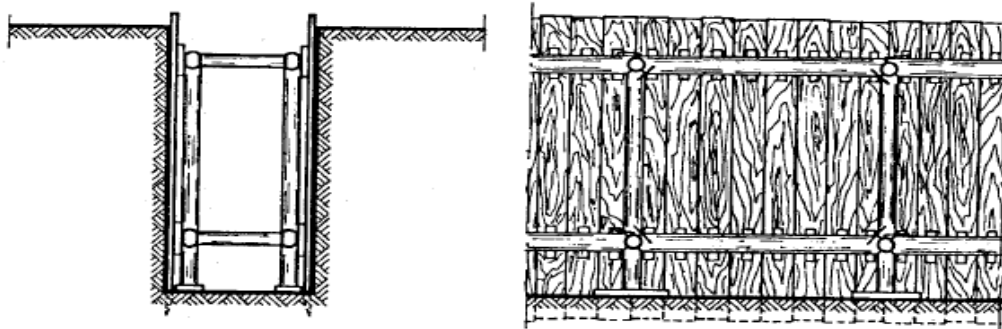
1)- Blindage en bois :

C'est l'un des procédés les plus simples, sa mise en œuvre ne demande aucun matériel particulier. Il consiste à :

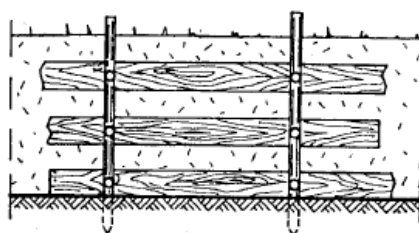
- Fabriquer à l'avance des panneaux en planches jointives ou non, d'une épaisseur adaptée à la nature du terrain.
- La longueur des planches est de 2 m à 2,5 m et leur hauteur est supérieure à la profondeur de la tranchée de 15 à 20 cm.
- Les panneaux sont ensuite descendus au fond de la fouille en les faisant glisser sur des perches (cannes) ou des tubes métalliques.
- Ils sont ensuite redressés verticalement contre la paroi.
- Des étrésillons provisoires en bois que l'on fait reposer sur des taquets fixés aux montants.
- Les boiseurs peuvent alors, sans risques, descendre dans la tranchée pour poser et bloquer les étrésillons définitifs entre les montants ou les longrines des panneaux.



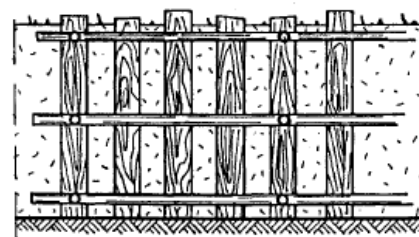
Boisage horizontal



Boisage vertical



Boisage horizontal non jointif



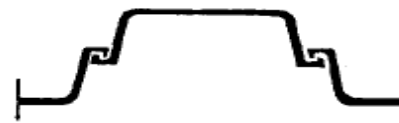
Boisage vertical non jointif

2)- Blindage métallique :

Le rideau de palplanches métalliques : Il est formé à l'aide de profilés fichés ou ancrés dans le terrain (récupérable ou perdu) et maintenus en tête entre deux profilés. Les palplanches sont mises par vibro-fonçage ou par fonçage à l'aide d'une presse hydraulique, supprimant toute vibration.

Le principe consiste à creuser une enceinte étanche à l'intérieur de laquelle on réalise simultanément les terrassements et l'assèchement de la fouille par pompage.

Palplanche en U
Type Larssen
Crochet de joint
sur l'axe
350 à 460 mm



Palplanche en Z
Type Belval
Crochet de joint
sur les bords
420 à 500 mm



Palplanche en S
Type Terres rouges
Crochet de joint
sur l'axe



Palplanche en S
Type Rombas
Crochet de joint
sur les bords



Palplanches métalliques.
Longueur maximale laminée de 27 m.
Poids au mètre courant, variant de 15 à 150 kg.

Suivant le mode de sa fixation dans le sol, présentent un dispositif de blindage stable. Le rideau de palplanche peut être :

- Encastré dans le sol par l'intermédiaire d'une grande fiche (partie du rideau enfoncée dans le sol). (fig.a)
- Ancré par des tirants placés au tiers supérieur de l'écran projetés inclinés dans le sol et résistant par frottement avec une faible fiche. (fig.b)
- Ancré encastré si la fiche est insuffisante sa combinaison avec un effet de tirant maintient efficacement le rideau. (fig. c)

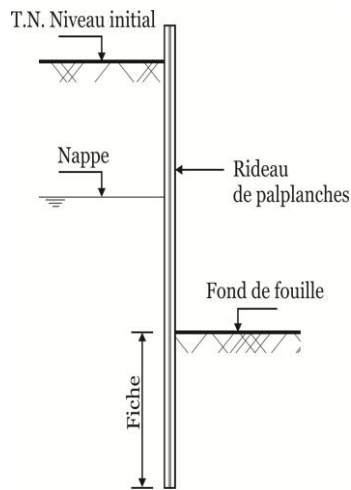


Fig. a

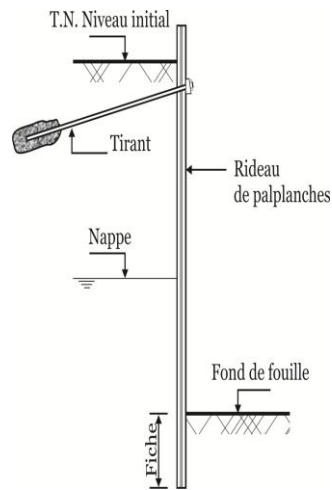


Fig. b

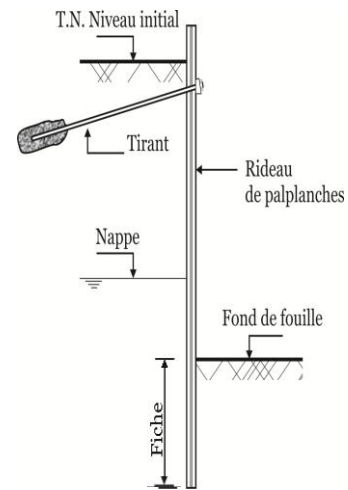


Fig. c



← Rideau de palplanche tenu par quatre longrines à différents niveaux
La mise en place des palplanches se fait par vibro-fonçage ou peu fréquemment par battage.

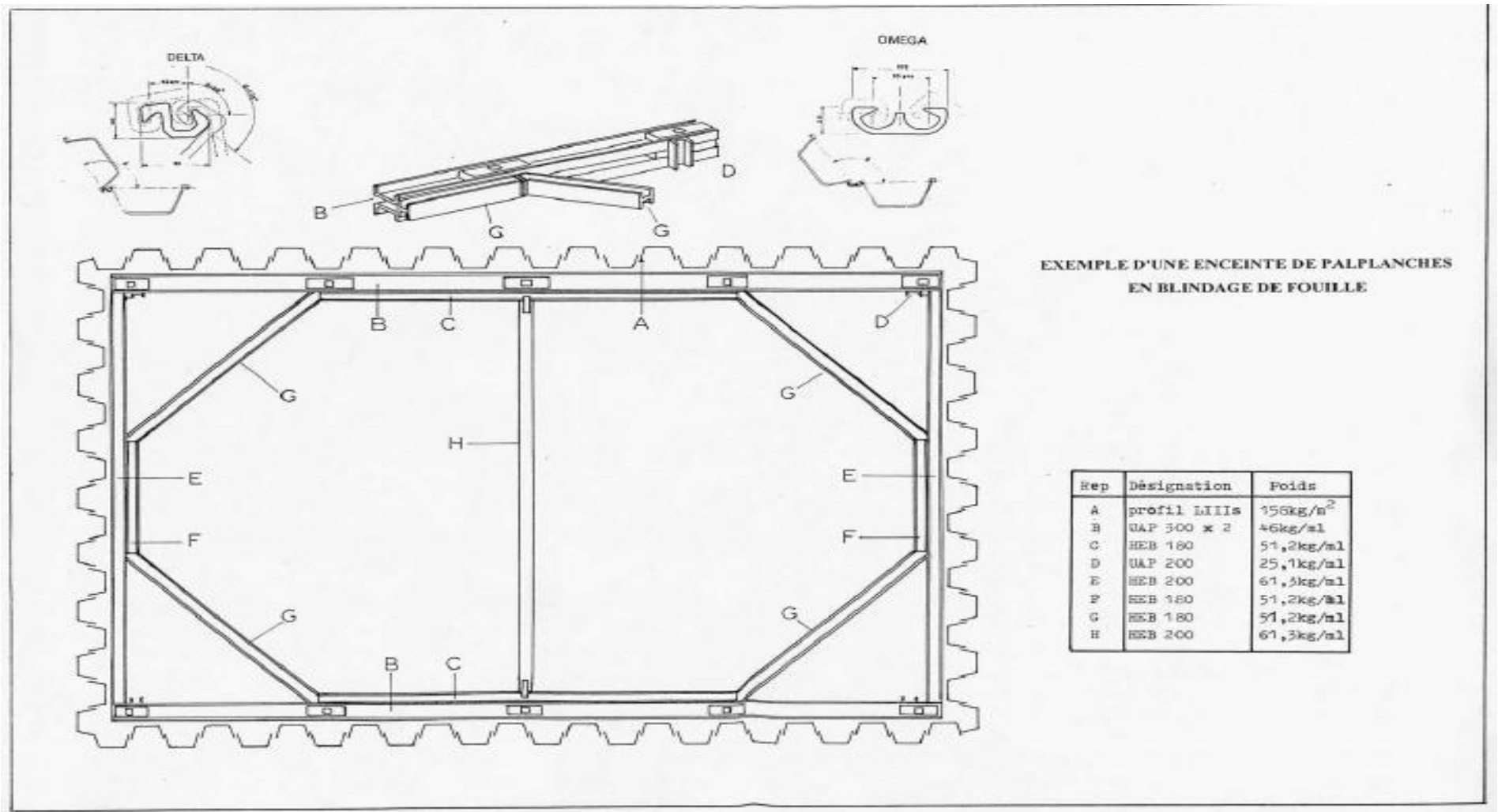


Remarque : il ne peut être procédé à l'enlèvement d'un blindage, d'un étréssillon ou d'un étai que lorsque des mesures de protection efficaces ont été prises contre les risques d'éboulement.

3)- Blindage en béton :

Les blindages en béton, souvent armé, sont utilisés à la fois pour soutènement des sols et comme éléments de fondation profonde. Ces parois permettent l'exploitation de l'emprise sous l'ouvrage ou la construction souterraine.

Les dalles des différents sous-sols jouent le rôle des butons définitifs. Eventuellement si la sécurité et la stabilité de l'ouvrage l'exige, les parois moulées peuvent être ancrées par des tirants.



3-1)- Parois moulées :

Elle est en béton coulé en place ou préfabriqué moulé, fichée et ancrée dans le terrain, venant en périphérie du bâtiment, cette paroi moulée peut s'intégrer dans le système de fondation du bâtiment. Le but de cette enceinte est double :

- Assurer le maintien des terres et des bâtiments voisins lors des travaux d'excavation.
- Constituant un élément pouvant jouer le rôle de fondation pour les éléments porteurs périphériques.

La stabilité de la tranchée (pour la murette guide) pendant les opérations de forage, de ferrailage et de bétonnage est obtenue avec un fluide de perforation appelé boue. La boue est fabriquée avec de la bentonite. Elle forme sur les parois de l'excavation un dépôt étanche appelé cake qui lui permet de ne pas percoler dans le terrain et d'assurer la pression hydrostatique qui s'oppose à l'éboulement des parois. Une boue fabriquée avec des polymères peut être aussi utilisée.

La bentonite est une argile colloïdale dont le nom vient de « FORT Benton », Connue aussi sous le terme de *terre à foulon*. Les gisements de bentonites sont d'origines volcanique et hydrothermale.

Les boues bentonitiques (recelant une fraction de bentonite) sont utilisées comme boues de forage dans les travaux de terrassement, de parois moulées, du fait de leur capacité à laisser la place rapidement et facilement aux bétons coulés à leur place. Elles peuvent être ajoutées au compost.

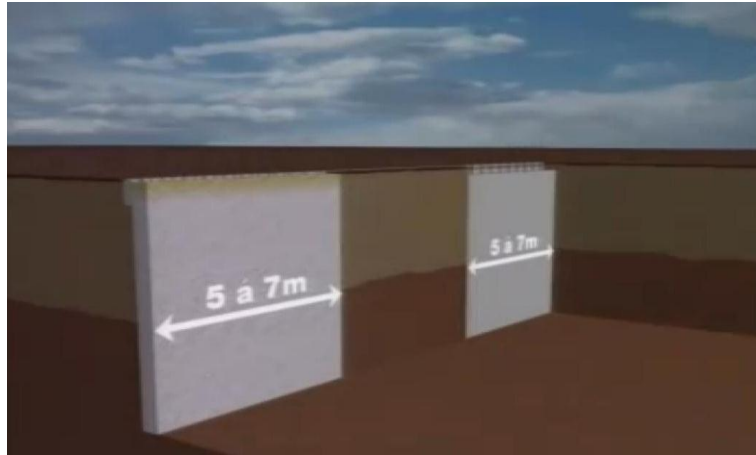


- ✓ Le premier ouvrage exécuté est la murette guide : elle est constituée de deux murets en béton armé de 30 cm de large environ et permet :
 - De matérialiser l'ouvrage à exécuter et d'en définir avec précision le tracé ;
 - De guider l'outil de forage ;
 - D'assurer une réserve de boue de forage ;
 - Décaler les cages d'armatures.

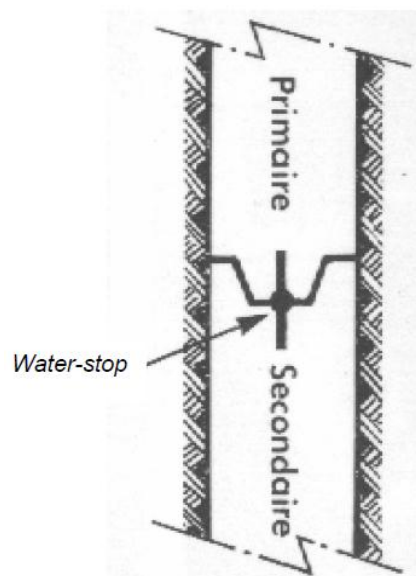
Murette Guide

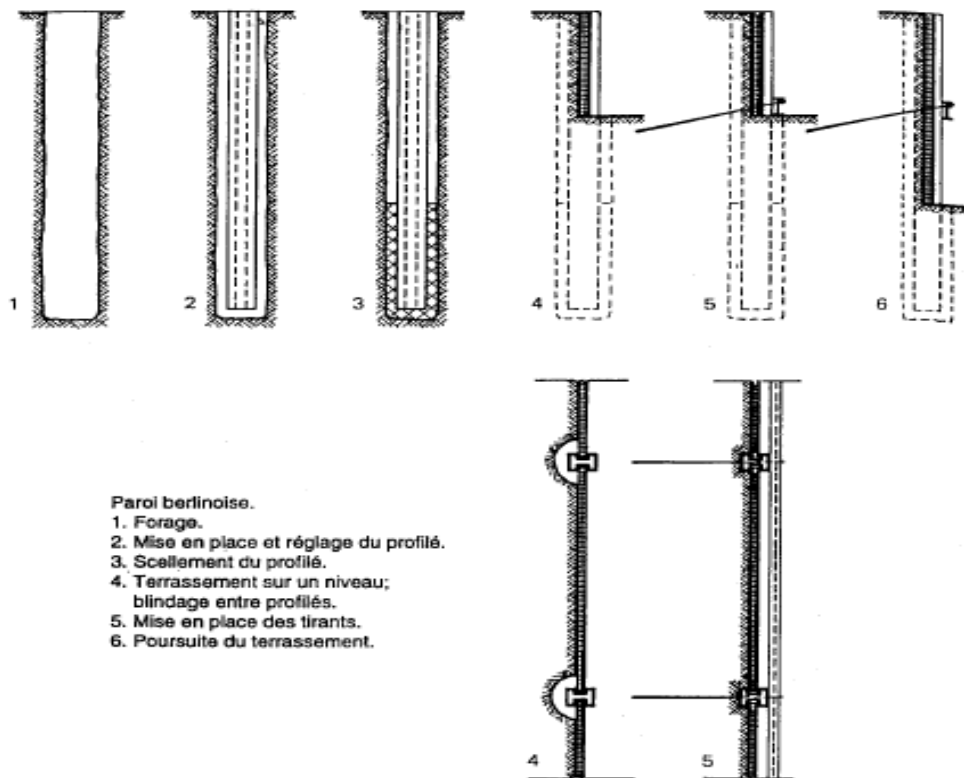


- ✓ Afin d'assurer la stabilité de la tranchée durant les travaux, la perforation se fait par panneaux de longueur limitée, de l'ordre de 7 m, variable selon le type de sols et le voisinage.



- ✓ En présence de mitoyens, la distance minimale entre le nu du mitoyen, y compris ses fondations, et le nu extérieur de la paroi à réaliser est égale à l'épaisseur de la murette guide.
- ✓ Une fois l'excavation d'un panneau achevée, la cage d'armatures est mise en place dans la tranchée remplie de boue préalablement traitée afin de limiter les particules de terrain en suspension.
- ✓ Le bétonnage est ensuite effectué à l'aide d'un **tube plongeur** placé sous la goulotte de la toupie qui descend jusqu'au niveau inférieur du forage. Le béton, en remontant, chasse la boue vers le haut. Il faut que l'extrémité de la colonne se situe t
- ✓ oujours plongée d'au moins 2 mètre dans le béton frais.
- ✓ La jonction entre panneaux adjacents peut se faire :
 - Par utilisation d'un coffrage métallique provisoire CWS permettant la mise en place d'un joint d'étanchéité entre les panneaux, et le guidage de l'outil d'excavation.
 - En remordant le panneau exécuté en première phase dans le cas de perforation à l'hydro-fraise.





3-3)- Mise en place des tirants :

Pour toutes les procédures de blindage (palplanches ou ouvrages en béton armé), le mode de mise en place des tirants est le même, et ne dépend que de la nature de tirant lui-même (passif ou actif).

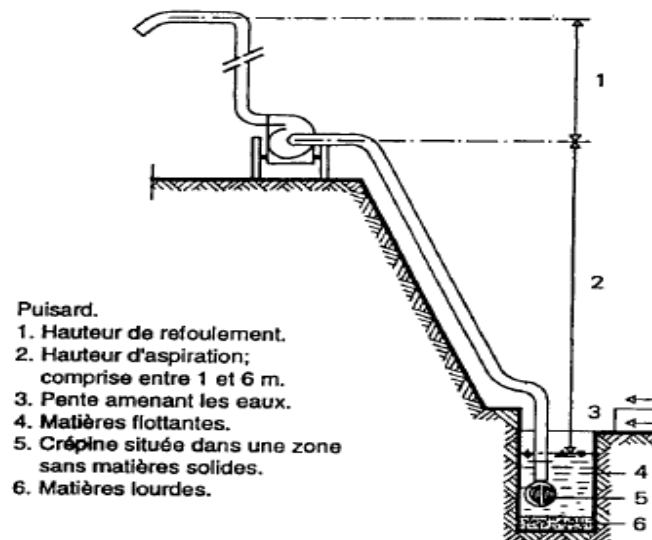
- 1- Forage du trou dans lequel sera mis place le tirant. Le procédé de réalisation de ce forage est choisi en fonction de la nature des tirants traversés, de façon à ne pas en modifier les caractéristiques, notamment de compacité et de frottement. Le forage pourra être réalisé directement à l'aide de l'armature du tirant (tirants auto-forés) ou sera remplacé par le battage de cette même armature.
- 2- Fabrication du tirant sur un banc d'assemblage (sur la photo, cas d'une armature constituée de torons).
- 3- Mise en place dans le trou du forage de l'armature et du dispositif d'injection du scellement.
- 4- Scellement du tirant au terrain par injection de coulis de ciment fabriqué sur site à l'aide d'une petite centrale mobile.
- 5- Mise en tension du tirant (si tirant actif).

VI/- Assèchement des fouilles :

Il est préférable d'obtenir un fond de fouille sec pour permettre l'excavation, le traçage et l'exécution des fondations.

1)- Venues d'eau accidentelle, due aux intempéries : (pas de nappe phréatique)

Si le fond de fouille est au-dessus de la nappe d'eau et que les travaux de terrassement sont suffisamment avancés, il faut prévoir l'élimination des eaux de pluie ou d'infiltration par l'installation d'un puisard ou point de profondeur vers le quel convergent toutes les eaux drainées par les fouilles en tranchée et par de petites rigoles creusées à cet effet. Par gravitation, l'eau s'écoule du puisard dans l'égout public ou alors si n'est pas possible, elle sera évacuée par pompage.



2)- Fond de fouille sous le niveau de la nappe phréatique : (Rabattement par pompage)

Le rabattement de nappes consiste à abaisser temporairement le niveau de la nappe phréatique pendant la construction des infrastructures d'un bâtiment ou des ouvrages d'art. Les méthodes suivantes sont principalement employées.

2-a)- Rabattement de nappe par puits crépines :

Cette technique de rabattement est mise en œuvre en présence de terrain présentant de forte perméabilité. En fonction des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du site, on détermine le nombre de puits, leur diamètre et leur profondeur, ainsi que la granulométrie du massif filtrant.

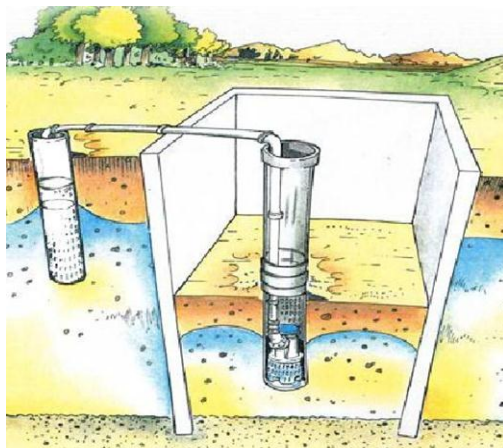


Fig 65: Puits dans une paroi moulée

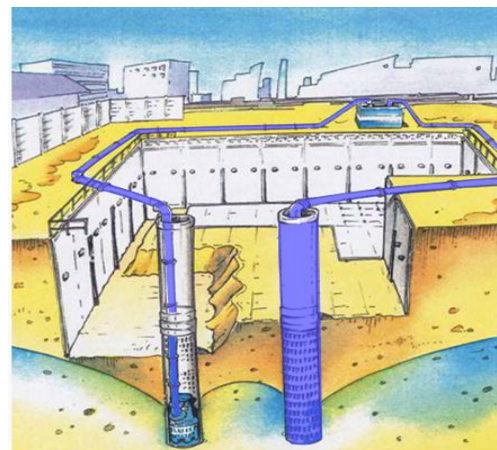
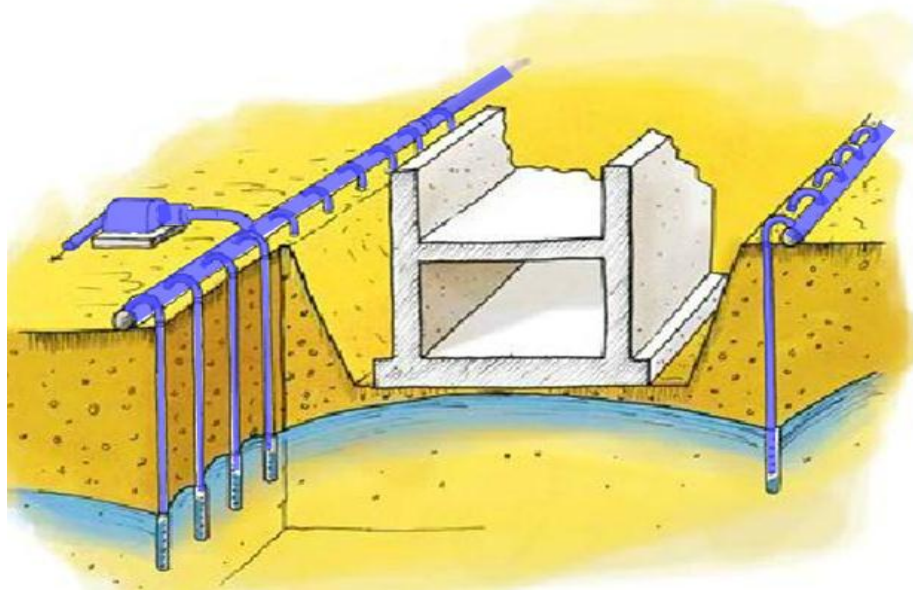


Fig 66: Puits avec rejet dans le réseau d'égouts

2-b)- Rabattement de nappe par pointes (aiguilles) filtrantes :

Le rabattement de nappes par pointes filtrantes est particulièrement adapté dans les terrains peu perméables (*limons ou sable fin*) dont la perméabilité est comprise entre 10^{-7} et 10^{-4} m/s. Des mini forages de ϕ 114 mm sont exécutés sur la périphérie de la fouille à une équidistance comprise entre 1 et 2 m permettant la mise en place des pointes filtrantes reliées à un réseau d'aspiration sous vide. Le rabattement de nappes par pointes filtrantes est limité à une hauteur de 6 mètres.

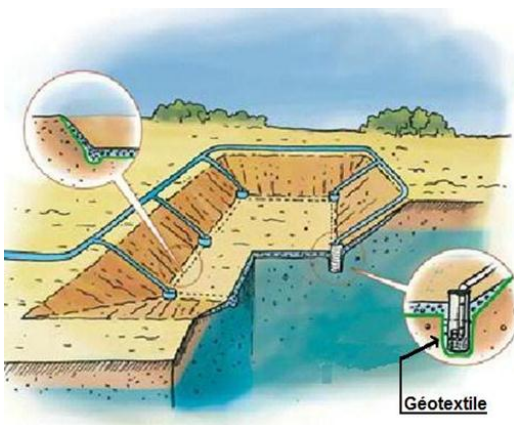


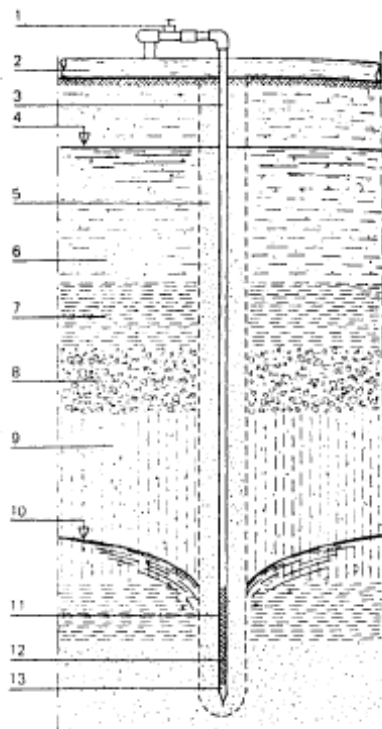
Les pointes filtrantes peuvent être mise en œuvre, soit par lançage hydraulique au moyen d'un groupe motopompe haute pression, ou par perforation à la tarière hydraulique. En présence de limons, l'adjonction d'un massif filtrant améliore l'efficacité du rabattement et évite le colmatage des pointes filtrantes. Le système de rabattement est ensuite relié à une pompe à vide.

2-c)- Rabattement de nappe par tranchées drainantes :

La technique de rabattement par tranchées drainantes est idéale dans des terrains de très faibles perméabilités.

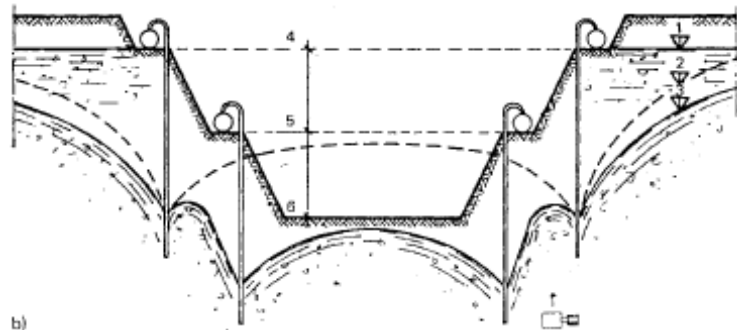
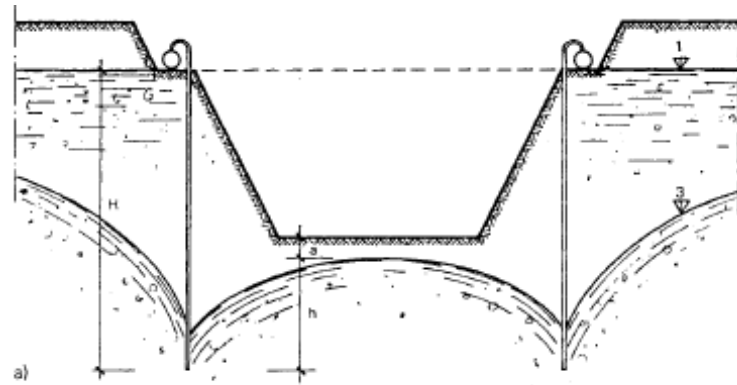
La réalisation de la tranchée drainante est assurée par une draineuse qui permet simultanément l'excavation de la tranchée, la pose du drain et le remplissage de la tranchée avec un massif filtrant. Le système drainant est ensuite raccordé à une pompe à vide.





Rabatement par pointe filtrante (Wellpoint) ou puits ponctuel.

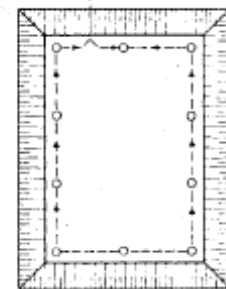
1. Vanne de réglage.
2. Conduite d'aspiration.
3. Tuyau de remontée de l'eau.
4. Niveau naturel de la nappe phréatique.
5. Filtre de sable.
6. Limon.
7. Argile.
8. Gravier et sable.
9. Tourbe.
10. Niveau rabattu de la nappe phréatique.
11. Filtre Welpoint.
12. Tamis filtrant.
13. Pointe d'injection.



Rabatement d'une nappe par pointes filtrantes (Wellpoint).
La valeur de $(a + h)$ dépend de la perméabilité du sol:
d'environ 1,50 m pour les graviers et sables grossiers
et d'environ 4 m pour les limons.

- a) Installation de pointes filtrantes sur un niveau.
- b) Installation de pointes filtrantes sur deux niveaux.
- c) Vue en plan d'une installation de pointes filtrantes.

1. Niveau de la nappe avant les travaux.
2. Niveau de la nappe avant la mise en marche du 2^e étage.
3. Niveau de la nappe pendant les travaux.
4. 1^{er} étage.
5. 2^e étage à 4 m max. du 1^{er} étage.
6. Fond de fouille à 4 m max. du 2^e étage.



c)

Leçon 4 :

Sols et Fondations

A/- Sols :

I/- Généralités :

La conception d'une fondation est naturellement liée à la connaissance des caractéristiques mécaniques du sol sur lequel va reposer l'ouvrage. La première étape consiste donc à analyser les résultats des reconnaissances géotechniques, ce qui doit permettre de définir les différents niveaux d'appuis possibles, et pour chaque niveau le type de fondation adapté.

Les fondations sont donc la base de l'ouvrage; c'est donc la partie la plus importante de la construction.

On doit apporter le plus grand soin à la préparation des fondations afin de ne pas nous exposer à de graves désordres dont la réparation est souvent difficile et toujours coûteuse.

II/- Reconnaissance des terrains :

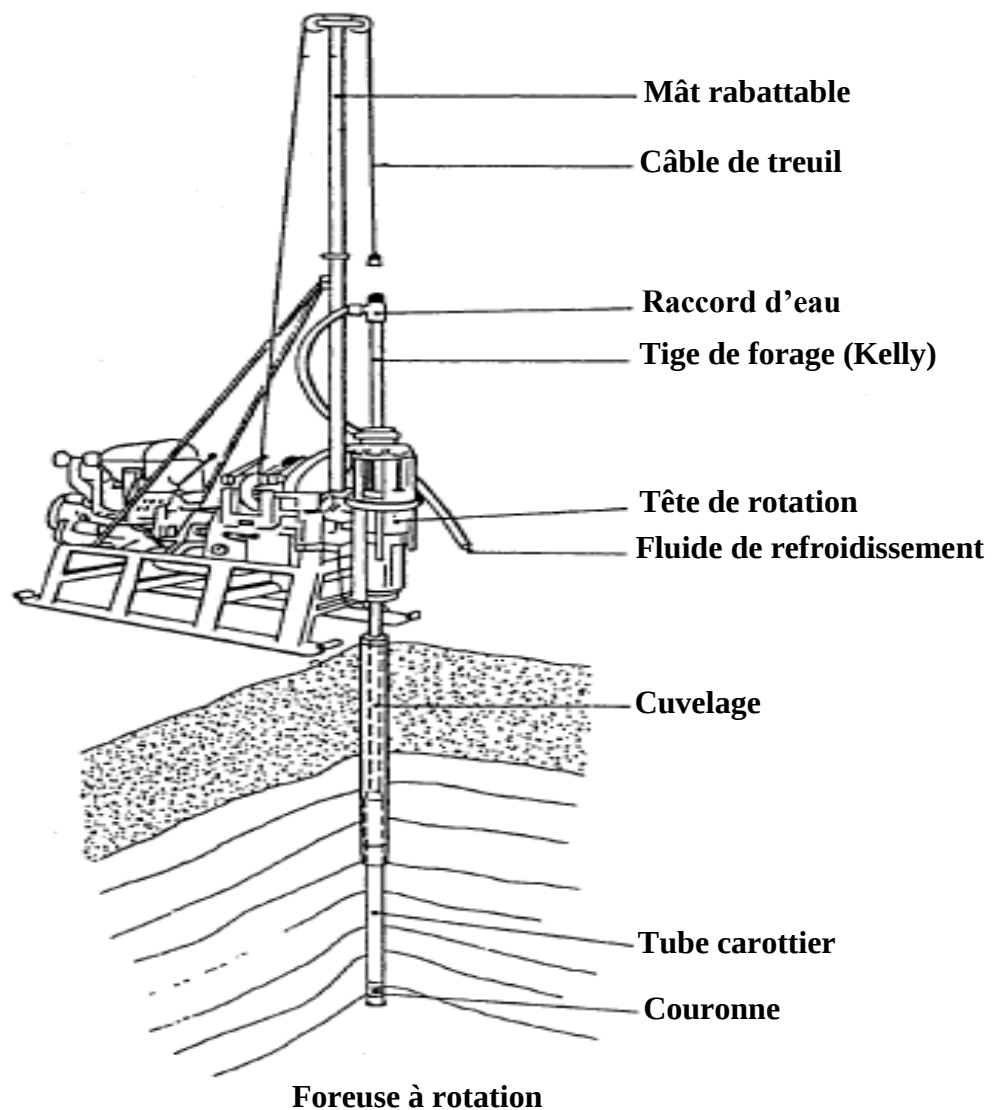
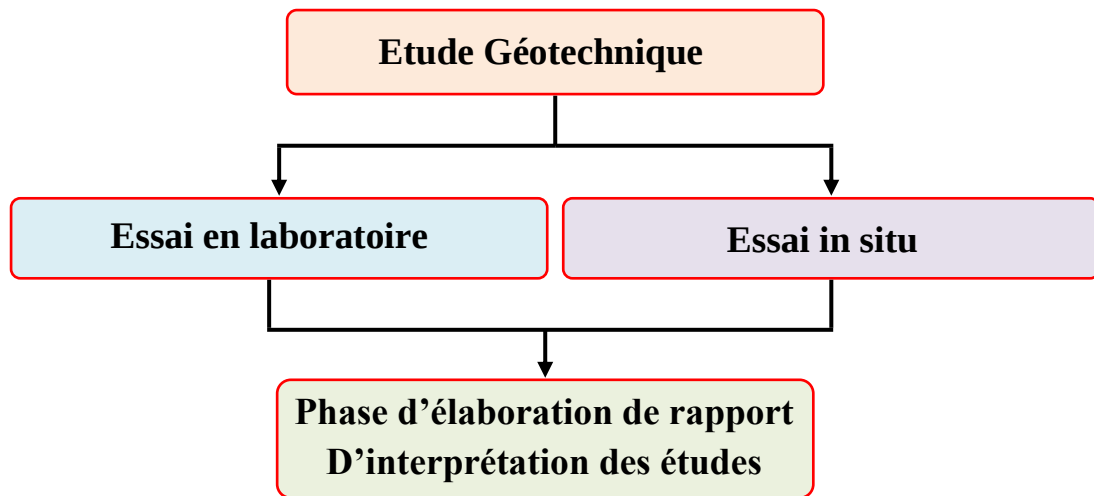
La connaissance approfondie du sol est indispensable aussi bien pour définir le type de fondation à réaliser que pour limiter les risques d'accidents ultérieurs, il est donc essentiel de reconnaître à l'avance la nature de terrain d'assise et de mesurer ses propriétés par une étude géotechnique.

L'étude d'un sol comporte essentiellement :

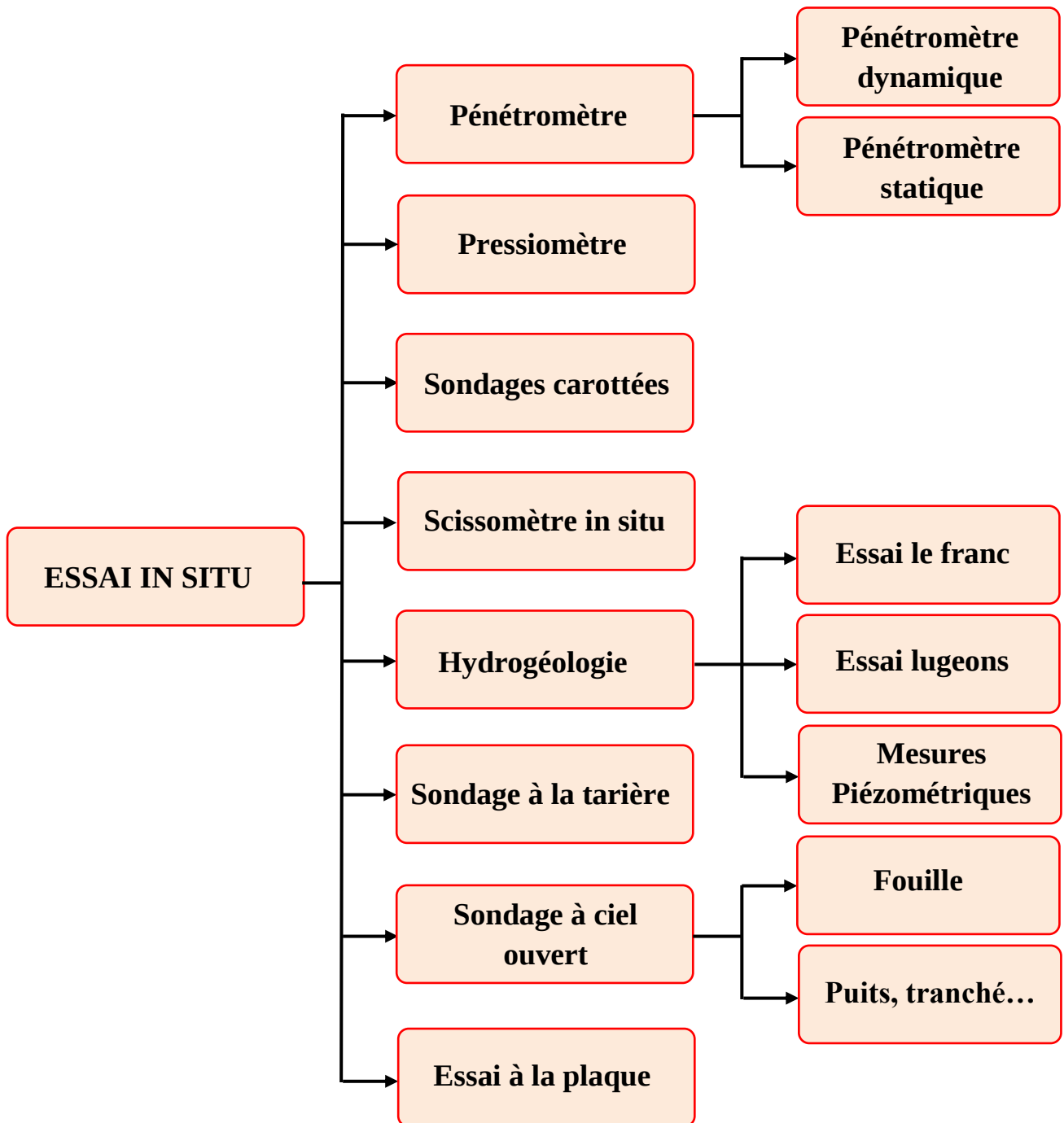
- **Les sondages carottés** : obtenu au moyen d'une machine foreuse à rotation.
- **Essai in situ** : le coefficient de perméabilité du terrain, le module de déformation, les pénétromètres statiques et dynamiques, les pressiomètres...
- **Essai en laboratoire** :
 - ✓ les essais d'identification et de la classification de sol : L'analyse granulométrique, indice de vide, porosité, teneur en eau, limite d'Atterberg, la perméabilité, la capillarité, angle de frottement interne et cohésion (coefficient d'adhérence), poids volumique, compression du sol...
 - ✓ Les essais de propreté vis-à-vis de l'argile : Essai au bleu de méthylène, et l'équivalent de sable...
 - ✓ Les essais mécaniques (les essais routiers) : Connaissance des caractéristiques mécaniques du sol (essai de cisaillement direct, essai triaxial...).

1) Compositions d'une étude géotechnique :

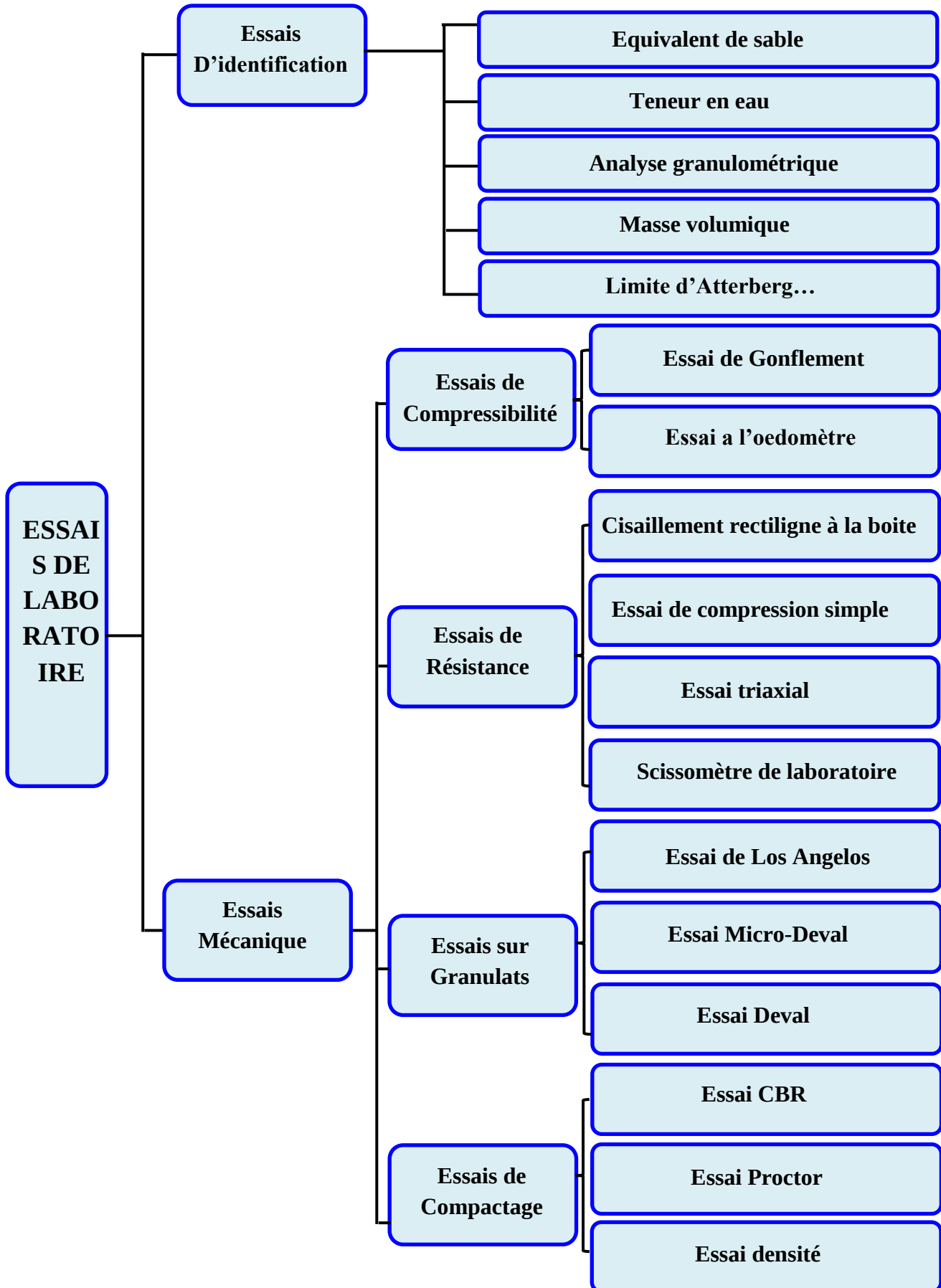
L'étude géotechnique comporte généralement deux phases : une phase de reconnaissance de sol au laboratoire, et une phase d'essai in situ.

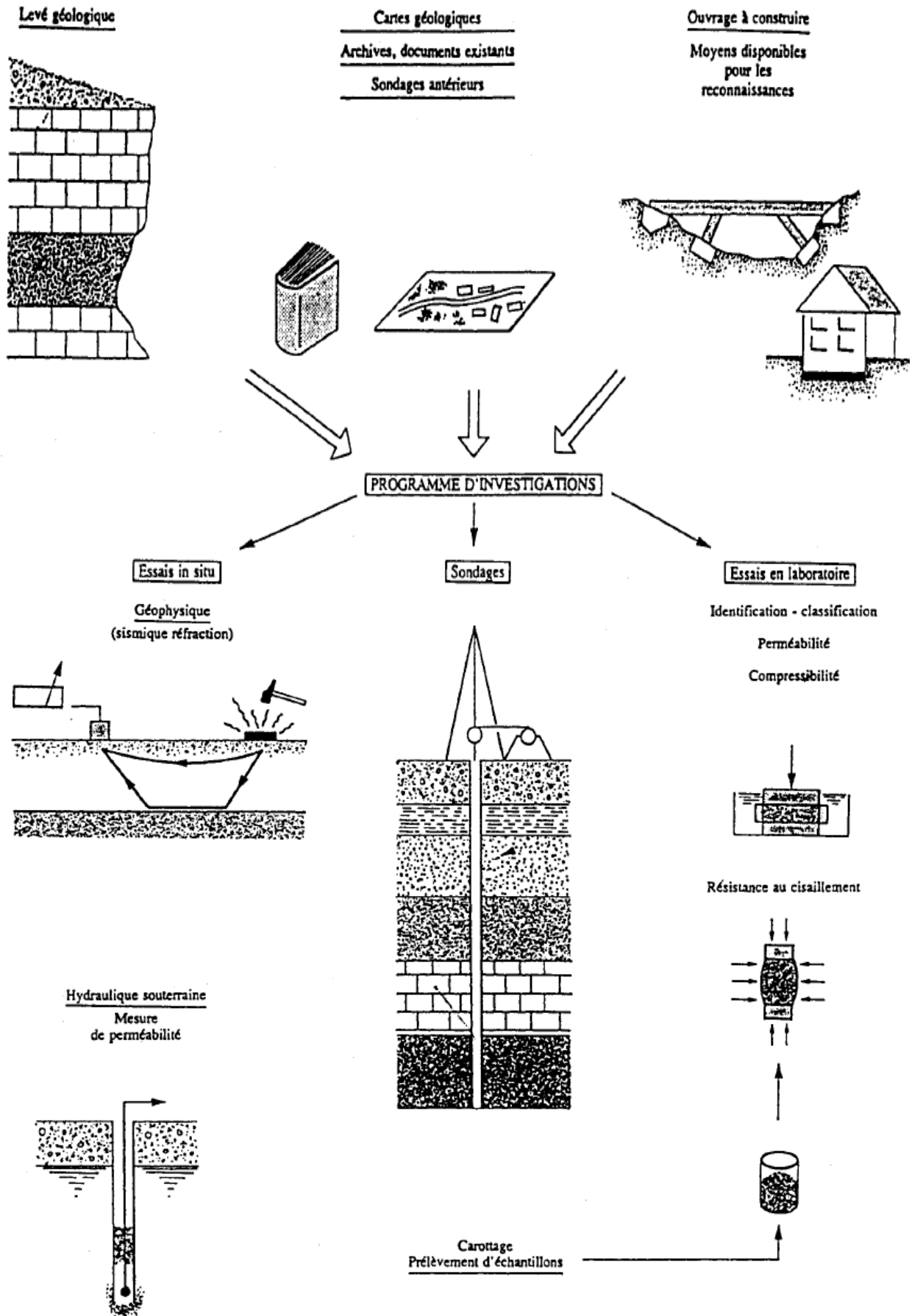


Les principaux moyens de reconnaissance de sol in-situ :



Les principaux moyens de reconnaissance de sol en laboratoire :





Choix et méthodes d'investigation

2) Résistance des sols de fondations :

Avant d'entreprendre une construction, il faut déterminer les qualités du terrain et en particulier ses contraintes admissibles ce qui permet ensuite de déterminer le système de fondation à adopter en particulier il faut connaître :

- ✓ L'épaisseur des différentes couches du terrain.
- ✓ Le niveau éventuel de la nappe phréatique.
- ✓ Les circulations d'eau à l'intérieur du sol.

Voici à titre indicatif une classification simplifiée des sols selon les contraintes admissibles qui peuvent être utilisés au niveau de l'avant-projet :

Type des sols	Contrainte admissible (bars)
Roche saines et non fissurées	$5 < \sigma_{adm} < 30$ bars
Terrain non cohérent à bonne compacité	$2.5 < \sigma_{adm} < 5$ bars
Terrain non cohérent à compacité moyenne	$0.5 < \sigma_{adm} < 2.5$ bars
L'argile	$0.02 < \sigma_{adm} < 0.5$ bars

Remarque :

Bon sol à faible profondeur ➡ **Fondation superficielle** pour une faible charge.

- Couche de très bonne force portante : Semelles isolés ou Semelles filantes.
- Couche de faible force portante : Radier général.

Bon sol à grande profondeur ➡ **Fondation profonde**.

B/- Fondations :

I/- Généralités :

Les fondations assurent la stabilité des ouvrages de génie civil. Elle transmet au sol le poids total de l'ouvrage en le répartissant de manière à garantir une assise parfaite.

On distingue deux principaux types de fondations selon le mode de transmission des charges au sol et la profondeur à laquelle elles se situent :

- **Les fondations superficielles** appelées aussi fondations directes : elles sont utilisées quand le bon sol est proche de la surface. Ce type de fondation comprend les semelles, les longrines, les plots ou « Dé » les radiers...
- **Les fondations profonde** appelées aussi fondations par éléments interposés : systèmes de fondations par puits ou par pieux employés quand le bon sol est situé en profondeur.

II/- Principe et fonctions assurées par les fondations :

Les fondations mettent en contact l'ouvrage (bâtiment, pont, ...) avec le terrain d'assise, et doivent reporter sur le « bon sol » les charges et assurer la **stabilité** et la **sécurité** de la construction **sans tassement**, ni glissement, ni affouillement préjudiciable.

Les fonctions assurées par les fondations sont essentiellement de deux ordres :

- Reprendre les charges et surcharges supportées par la structure ;
- Transmettre ces charges et surcharges au sol dans de bonnes conditions de façon à assurer la stabilité de l'ouvrage.

Equilibre des massifs de fondations, Les massifs de fondation doivent être en équilibre sous :

- Les sollicitations dues à la superstructure.
- Les sollicitations dues au sol.

Stabilité des ouvrages : Le terrain d'assises ne doit pas tasser sous les massifs de fondations

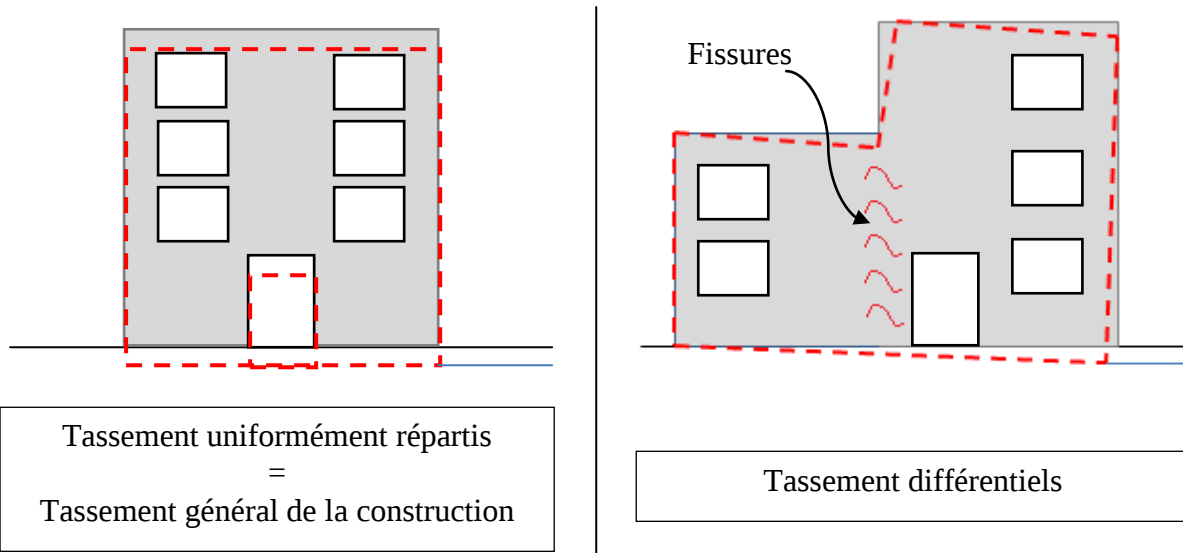
1) Reportez les charges au « bon sol » :

Dans ce but, les charges à reporter doivent être estimées. Elles comprennent :

- Le poids propre du bâtiment : Murs, Planchers et revêtements, Cloisons
- Charpente et couverture
- Les surcharges admises pour le type de construction : Personnel, Mobilier, Matériels divers ...

2) Assurer la stabilité:

- Le terrain **ne doit pas** se tasser sous les massifs de fondation. En pratique, les tassements doivent rester **inférieurs à 25 mm** (peuvent être de l'ordre de 5 à 25 mm), et, surtout, être **uniformément répartis**. Des tassements non uniformes sont dits « **différentiels** » et peuvent, s'ils sont importants, faire apparaître des fissures et des difficultés de fonctionnement de l'ouvrage.



Remarque :

- Tassement uniformément répartis : celui-ci doit rester faible pour que les accès de l'immeuble et les conduites remplissent correctement leurs fonctions.
- Les tassements différentiels entre les diverses semelles : ces derniers doivent rester assez faibles pour que les murs en maçonnerie et en briques ne se fissurent pas.

a)- Principales causes de tassements différentiels des fondations :

- Lorsque les fondations sont de natures différentes sous un même ouvrage,
- Lorsqu'elles s'appuient sur des couches de terrain situées à des profondeurs très différentes (fondations superficielles et fondations profondes),
- Lorsque le sol est soumis à des variations saisonnières de volume (gel, sécheresse),
- Lorsque le sol est constitué par un remblai récent,
- Lorsque le remblai masque un terrain d'assise peu résistant et très compressible (Fig.1),
- Lorsque le remblai est d'épaisseur variable (Fig.2),
- Lorsque le terrain contient d'eau,
- Lorsque notre ouvrage reposant sur des sols de natures différentes (Fig.3),
- Chargé de manière asymétrique (Fig.4),
- Reposant sur un remblai d'épaisseur variable.

Noté Bien :

- Les poussées d'Archimède dont les intensités varient avec le niveau de l'eau contenue dans le sol ne doivent pas soulever l'ouvrage ou compromettre sa stabilité.
- L'ouvrage ne doit pas se déplacer sous l'action des forces horizontales ou obliques appliquées à la superstructure (vent, poussée de terre sur un mur de soutènement, poussée de l'eau sur une digue, ...).
- L'ouvrage ne doit pas se déplacer sous « l'action de poussées de terrain ou sous l'effet de glissements éventuels (cas de terrains en pente ou couche de terrains inclinés).

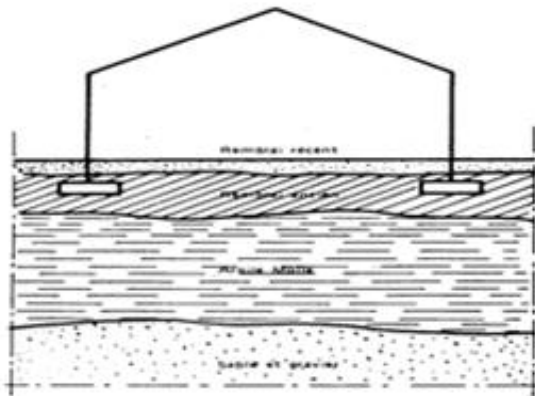


Fig.1

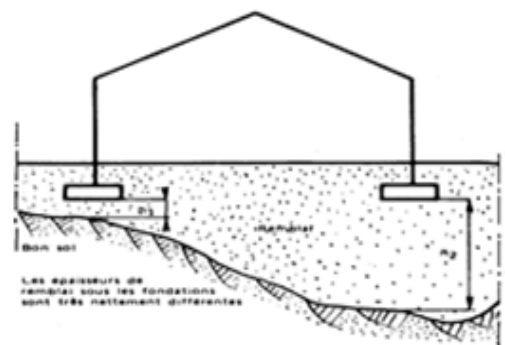


Fig.2

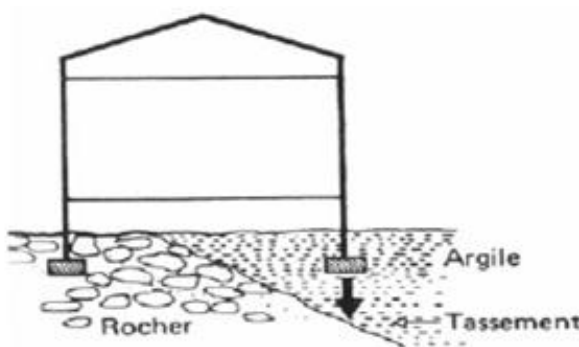


Fig.3

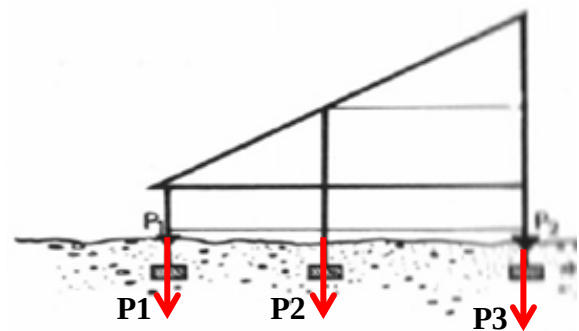


Fig.4

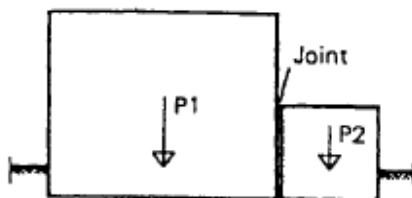
Principales causes de tassements différentiels

3) Joints :

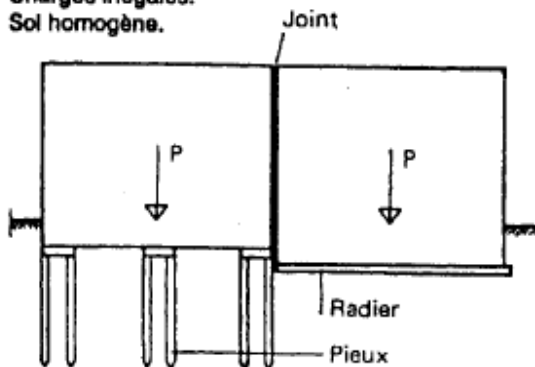
a) Joint de rupture (ou joints de tassement):

Un joint de rupture doit être ménagé entre deux éléments d'ouvrages voisins lorsqu'ils subissent des différences importantes de charge et de tassement. Il en est de même lorsque le sol présente un changement brusque de compressibilité sous un même ouvrage.

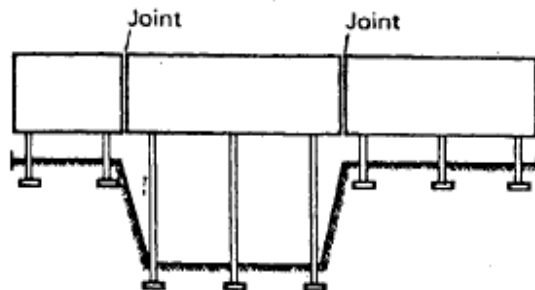
Les joints de tassement ou de rupture doivent couper totalement ; dans un plan vertical ; aussi bien les éléments porteurs que les éléments de l'enveloppe du bâtiment. Le fait de laisser des éléments horizontaux entraîne des désordres. Le joint de tassement de l'enveloppe extérieure et particulièrement les parties enterrées seront rendues étanches pour éviter toute infiltration d'eau. Cette étanchéité est obtenue par interposition au droit des points de bandes d'étanchéité élastiques « couvre-joint » (profilés préfabriqués en PVC thermoplastiques soudables).



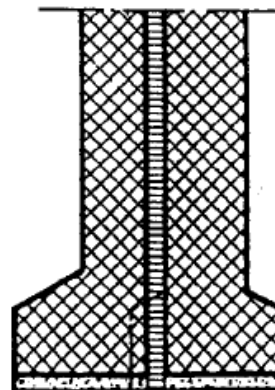
Charges inégales.
Sol homogène.



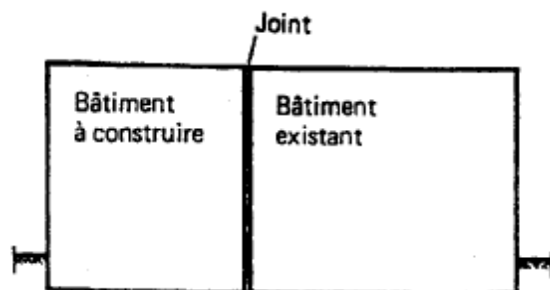
Charges inégales.
Fondations hétérogènes, sol homogène.



Fondations homogènes.
Bons sols à des niveaux différents.



Joint de tassement
d'une nouvelle construction contiguë.
Le joint doit être accusé nettement;
chaque ouvrage doit pouvoir travailler librement
sur ses propres fondations;
l'indépendance est obtenue par l'interposition
de couches tendres continues
(mousse de polystyrène, panneau de fibres de bois
imprégné de bitume...).



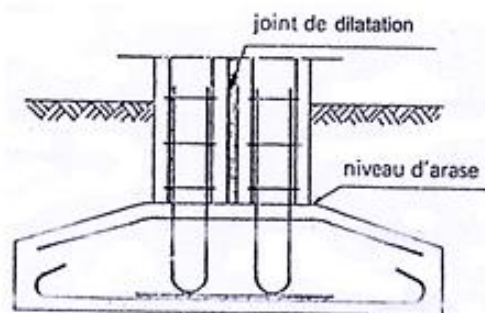
Bâtiments d'âges différents

b) Joints de dilatation :

Ce type des joints permet d'absorber les modifications dimensionnelles de l'ouvrage dû à la dilatation des armatures, ils concernent plus directement la superstructure et les enveloppes hors terre. Toute fois les joints de dilatation coïncidant généralement avec les joints de tassements (ou de rupture).

L'espacement maximal entre les joints dépend du système statique de la structure, de climat et des matériaux utilisés.

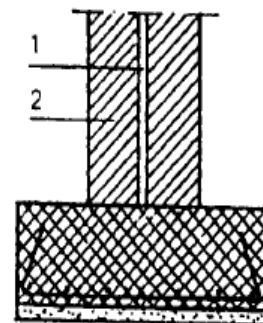
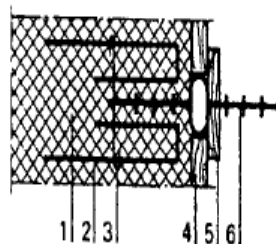
- Construction en béton armé : espacement de 25, 30 à 50 mètre.
- Structure métallique : espacement jusqu'à 100 mètre.



Variante de joint de tassement étanche.

La bande d'étanchéité ne risque pas d'être blessée lors du dépliage; par contre, le coût est plus élevé.

1. Béton.
2. Armature.
3. Fil de ligature.
4. Élément de remplissage du joint.
5. Coffrage provisoire.
6. Bande de joint.



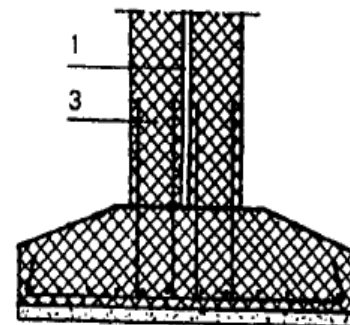
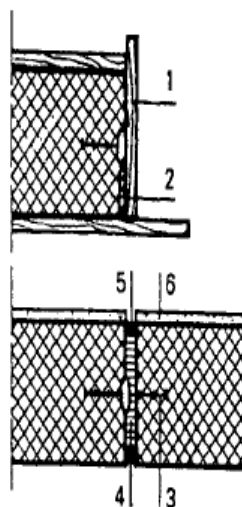
Joint de dilatation étanche dans une enveloppe extérieure enterrée.

Phase I:

1. Arrêt de bétonnage réalisé par un coffrage provisoire.
2. Le joint souple est rempli, en attente.

Phase II:

3. Le joint est déplié.
4. Interposition éventuelle d'une couche tendre et bétonnage de la 2^e étape.
5. Pose éventuelle d'un joint en mastic à plasticité permanente.
6. Enduit d'étanchéité souple éventuel du côté extérieur.



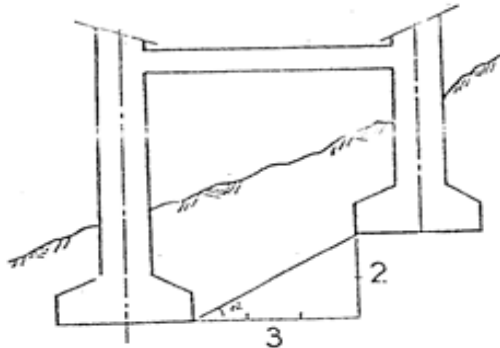
Joints de dilatation.

Dans le cas de piliers ou de murs doubles situés de part et d'autre d'un joint de dilatation, la semelle est commune aux deux constructions, ceci à l'inverse d'un joint de tassement.

1. Joint de 2 à 3 cm.
2. Murs en maçonnerie.
3. Murs en béton armé.

Remarque : Poussées des fondations

Il faut éviter que les fondations supérieures ne transmettent des poussées sur les fondations inférieures.



Pente maximale entre deux
semelles successives

III/- Les fondation superficielles :

1) Définition :

La fondation fait partie de **l'infrastructure** d'une construction. C'est l'élément qui repose sur un sol d'assise et qui transmet à ce dernier toutes les sollicitations : charges, surcharges, effet de renversement...

2) Choix du type de fondation :

Pour établir un projet de fondation, il faut disposer des données suivantes :

- Etude géotechnique (nature du terrain) ;
- Les plans de l'ouvrage à fonder (villa, immeuble, silos...).

3) Dimensionnement :

Pour dimensionner les fondations il faut connaître le poids total de l'ouvrage (charge et surcharge) et la force portante du sol de construction, défini par la charge unitaire en MN/m², Sur laquelle le tassement n'augmente pratiquement plus. Par ailleurs, il faudra aussi prendre en compte la forme et le type de fondation.

Il faut observer la relation suivante :

$$\text{force portante du sol} \left(\frac{MN}{m^2} \right) \geq \frac{\text{charge à transmettre au sol en MN}}{\text{Surface d'appui sur le sol}(m^2)}$$

Le calcul de la surface de la fondation sera :

$$\text{Surface d'appui sur le sol}(m^2) \geq \frac{\text{charge à transmettre au sol en MN}}{\text{force portante du sol} \left(\frac{MN}{m^2} \right)}$$

4) Types de Fondations Superficielles :

On distingue essentiellement :

- **Les fondations ponctuelles** : constituées par des semelles isolées sous poteaux ;
- **Les fondations linéaires** : constituées par des semelles filantes et des semelles continues sous murs ou sous poteaux ;
- **Les fondations « surfaciques » constituées** : par des radiers et cuvelages sous poteaux ou sous murs.

a) Semelles isolées :

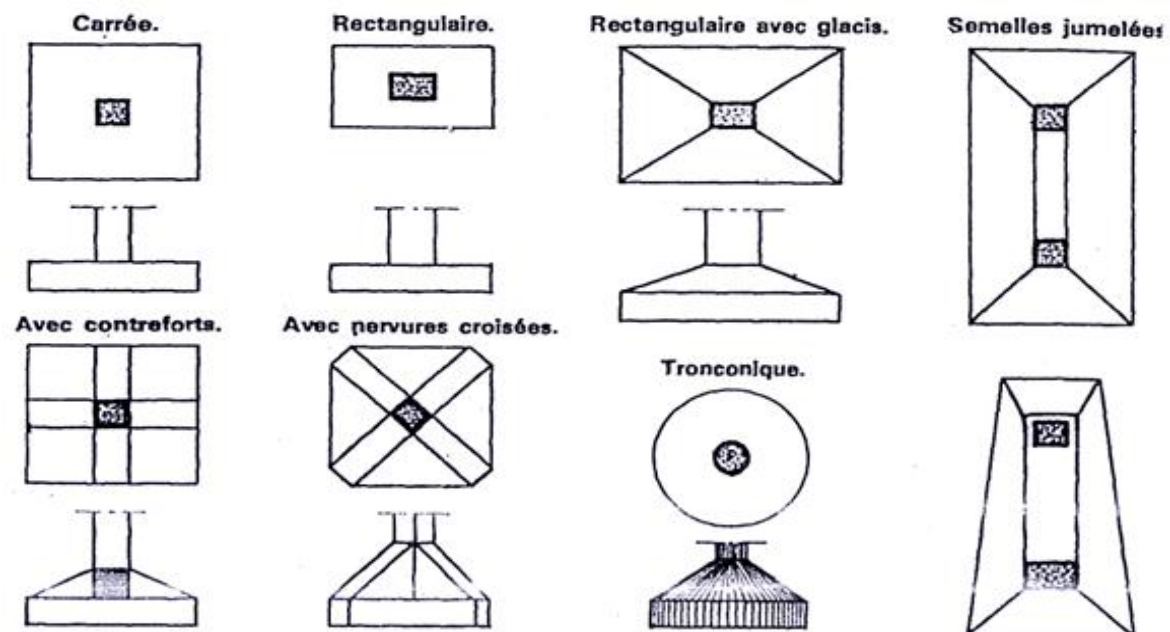
Une semelle superficielle est dite isolée si sa longueur est inférieure 5 fois sa largeur : $b' < 5.a'$. Ces semelles transmettent au sol les charges concentrées de piliers, de colonnes ou de poteaux. La forme en plan est soit carrée, rectangulaire ou circulaire, homothétique à la section du pilier, et leurs deux principales formes en (3D) sont soit parallélépipède soit en tronc de pyramide.

Dans les semelles isolées ; les efforts de traction sont orientés dans deux directions : deux nappes d'armatures superposées, chaque nappe jouant alternativement le rôle d'armature principale dans un sens et d'armature de répartition dans l'autre (50 à 120 Kg d'acier /m³ de béton).

Très souvent, les semelles isolées sont reliées entre elles par **des longrines** assurant à la fois un entretoisement et évitant le déversement des semelles isolées.

Dans le cas de piliers dédoublés pour raison de joint de dilatation, la semelle sera commune aux deux piliers. Les critères du choix des formes sont d'ordres techniques, économiques et relatifs :

- à la charge et à l'emplacement de la semelle,
- au terrassement et à la nature du terrain,
- à la réalisation ou non d'un coffrage,
- au façonnage des aciers,
- à la quantité et à la facilité de mise en place du béton.



Types de semelles isolées

Les semelles isolées sont généralement armées par deux nappes d'aciers orthogonaux protégés de l'oxydation par une épaisseur d'enrobage de 3 cm à 5 cm selon que le milieu est agressif ou non. Un béton de propreté en fond de fouille facilite l'implantation et l'enrobage régulier.

Il faut s'assurer de la liaison du poteau avec la semelle par encrage de l'armature, réalisée à l'aide de retours horizontaux qui assurent la transmission du moment à la semelle.

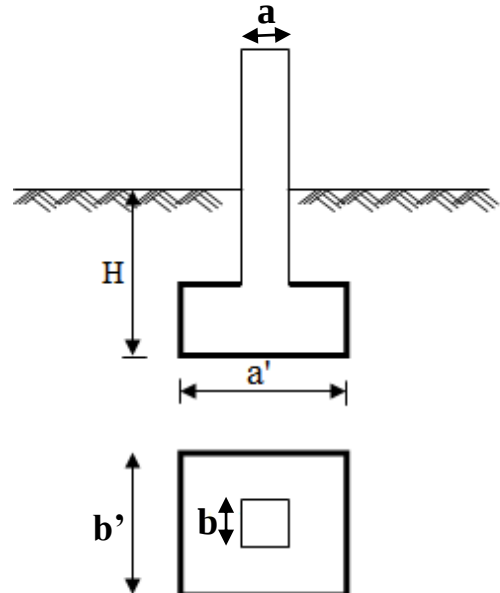
➤ **Dimensions :**

$$\frac{Q}{\sigma_{adm}} \leq a' \cdot b'$$

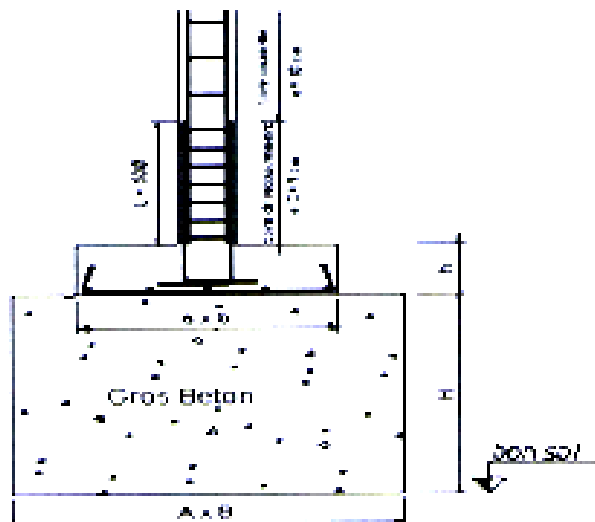
$Q = G + P$ avec : G = Charge permanente,

P = Charge d'exploitation.

σ_{adm} : Contrainte admissible du substratum.



Semelle isolée centrée avec Gros Béton :



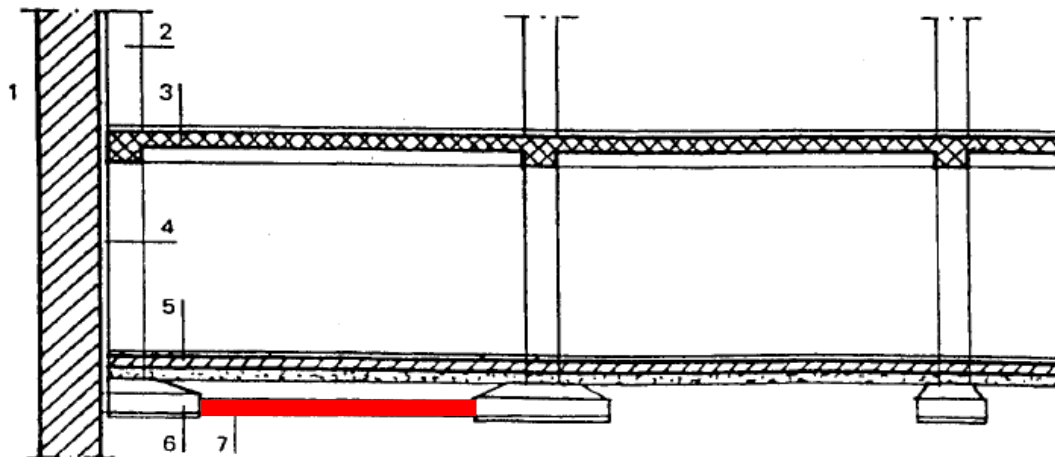
Les semelles sont exécutées en béton armé. Elles reposent directement sur le sol par l'intermédiaire d'une couche de béton de propreté de 5 à 10 cm, lorsque le bon sol affleure, ou par l'intermédiaire d'un massif de **gros béton**, non armé, permettant d'atteindre un bon sol un peu plus profond

Semelle excentrée :

Lorsque les semelles sont situées sous les murs ou pilier (poteau) dont le nu extérieur est tangent à la limite de propriété ou lorsqu'un mur est fondé contre un autre existant, on se trouve contraint d'excentrer la semelle sous le porteur.

Exemple : mur mitoyen, joint de rupture de deux zones d'un bâtiment différemment chargées.

Comme l'empattement n'est pas équilibré statiquement, il est nécessaire de lier les semelles et le mur par des fers d'attente. Pour ces poteaux de rive, il faut éviter l'instabilité et les trop fortes pressions sur le sol.



Semelles excentrées.
 1. Mur existant contigu, en limite de propriété.
 2. Nouveau pilier.
 3. Dalle.
 4. Joint de tassement entre les deux constructions.
 5. Dallage.
 6. Semelle excentrée.
 7. Buton éventuel.

b) Semelles filantes : (Linéaires)

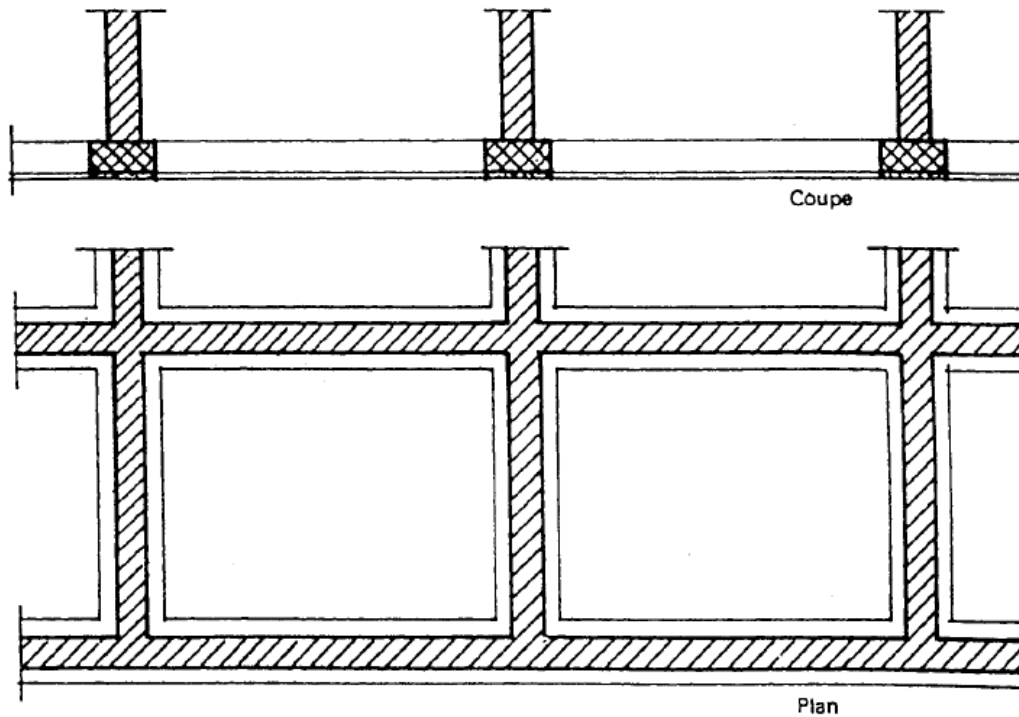
- Sous murs :

Ce type de fondation reprend les charges transmises par les murs porteurs continus : murs de façade, de refend ou d'échiffre...

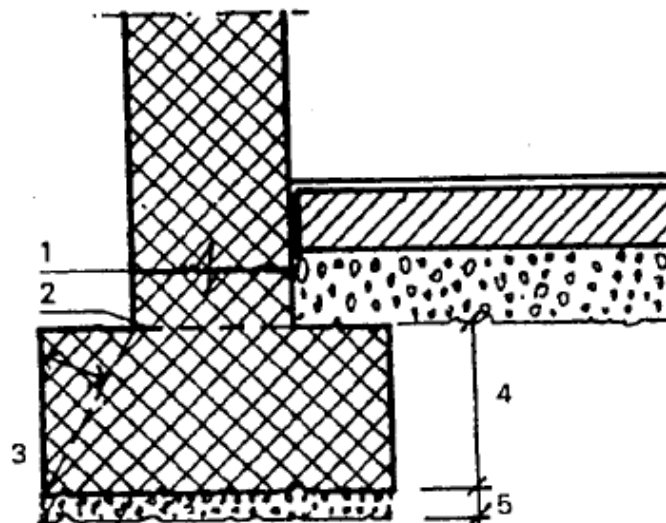
Les fondations par semelles continues sous murs sont généralement coulées contre terre. Elles ne sont pas coffrées latéralement, sauf cas particulier. Les parois de fouilles en fondue servent de coffrage. La largeur des semelles ne doit pas être inférieure à 35 cm (largeur de la pelle). La fouille en rigole fait office de coffrage pour les fondations en béton ; pour éviter que l'assiette ne soit contaminée de la terre ; Il convient d'étendre sur le fond de fouille une couche de béton de propreté.

La semelle filante présente une armature longitudinale lui permet de supporter les efforts auxquels elle est soumise.

La semelle travaille transversalement comme une semelle isolée et longitudinalement comme une poutre continue inversée.



Semelles filantes ou continues sous murs en maçonnerie

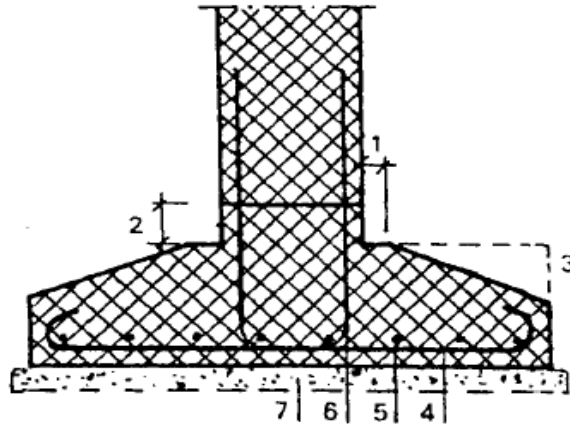


Semelle continue non armée de faible largeur.

1. Arrêt de bétonnage situé à 10 cm au-dessus du niveau supérieur de la semelle, permettant le serrage de la base du coffrage du mur en béton armé.
2. Variante de l'arrêt de bétonnage.
3. Angle de 30° , répartissant les efforts de compression.
4. Hauteur min. 30 cm.
5. Béton de propreté, min. 5 cm, évitant la contamination du béton.

- Sous voiles :

Pour les semelles continues sous voiles ; il y'a lieu d'assurer une liaison par armatures verticales du béton de la semelle avec celui du voile verticale.

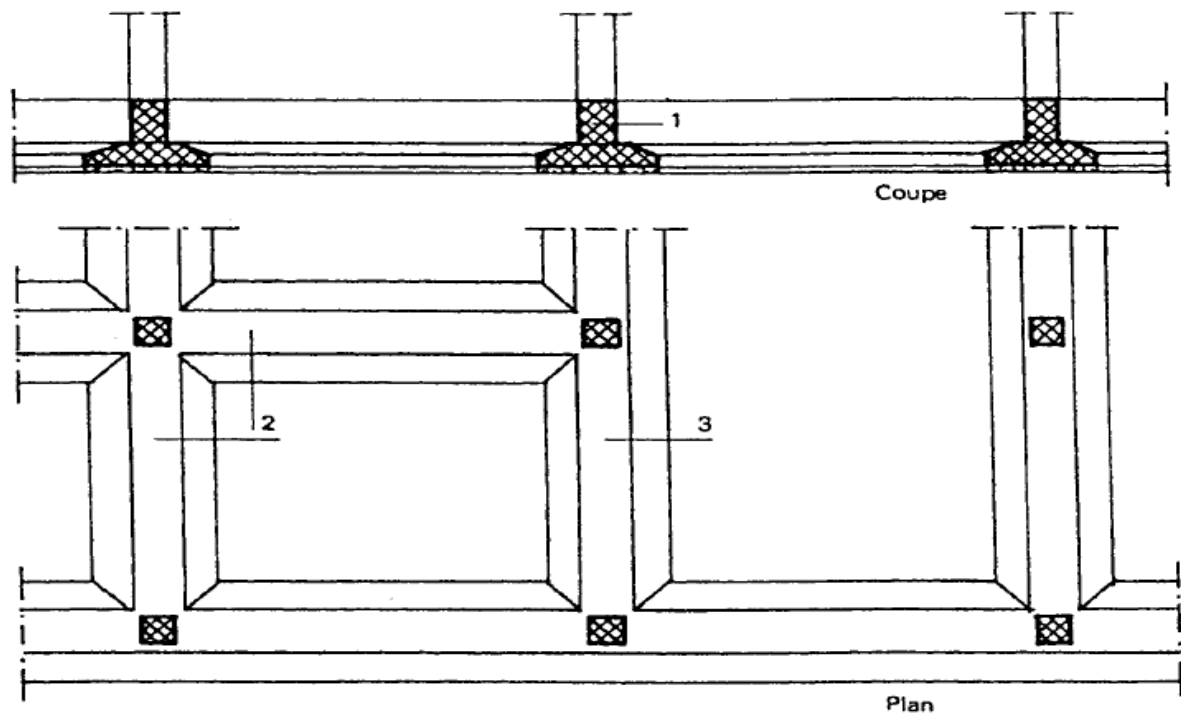


Semelle filante armée sous voile en béton armé.

1. Redent facilitant le coffrage du mur.
2. Arrêt de bétonnage dépassant de 10 cm le dessus de la semelle, permettant le serrage de la base du coffrage du mur supérieur.
3. Béton inutile, pente env. 20 %.
4. Armatures disposées au bas de la semelle dans le sens transversal.
5. Armatures longitudinales de répartition.
6. Armatures de liaison entre semelle et voile.
7. Béton de propreté, débordant éventuellement s'il y a un coffrage latéral.

- Sous piliers :

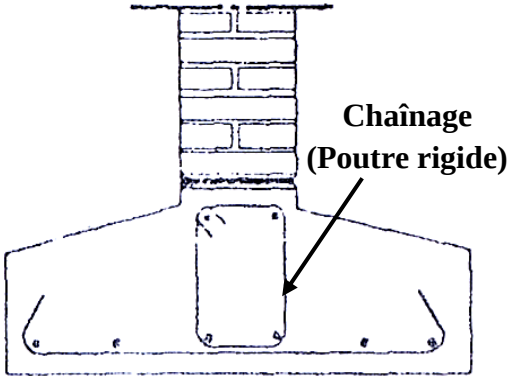
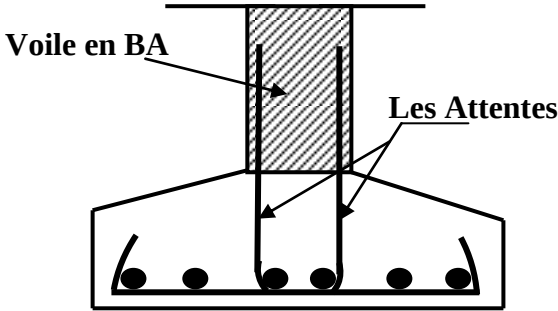
Lorsque les semelles ont des dimensions telles qu'elles se touchent dans un sens, il est avantageux de les relier de manière à former une semelle.



Semelles continues sous piliers.

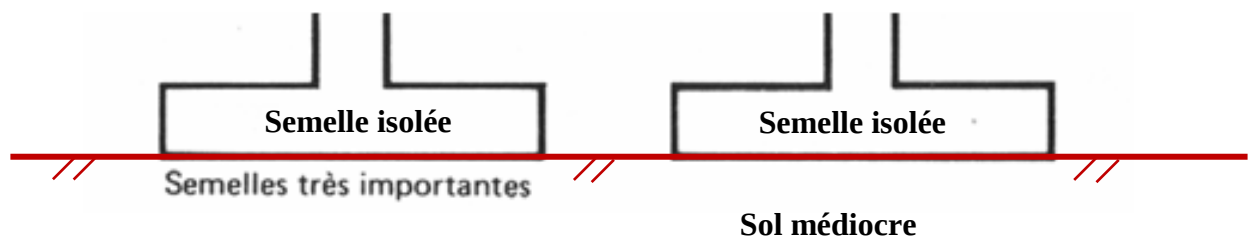
1. Longrine constituant une entretoise.
2. Semelle continue dans deux directions.
3. Variante d'une semelle continue dans une seule direction.

Pour éviter les risques de tassement, il est conseillé :

L'élément vertical :	
MUR EN MAÇONNERIE ↳ prévoir un chaînage (poutre rigide) noyé dans la semelle	VOILE EN BETON ARME ↳ placer des attentes dans la semelle
	

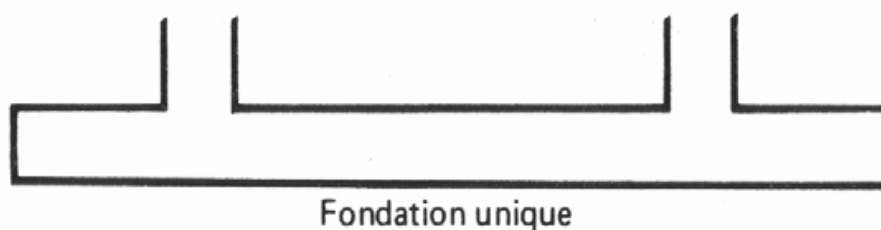
c) Les radiers :

Lorsque le terrain de fondation est médiocre les semelles deviennent très importantes et dans certains cas arrivent même à se chevaucher.



On préfère alors réaliser une fondation unique qui embrasse toute la surface de la construction et que l'on **appelle radier**.

Les radiers sont des dalles de grandes dimensions reposant directement sur le sol. Compte tenu de ces dimensions, ils ne sollicitent que peu le sol de fondation dont la capacité portante peut descendre jusqu'à 0.1 MPa.



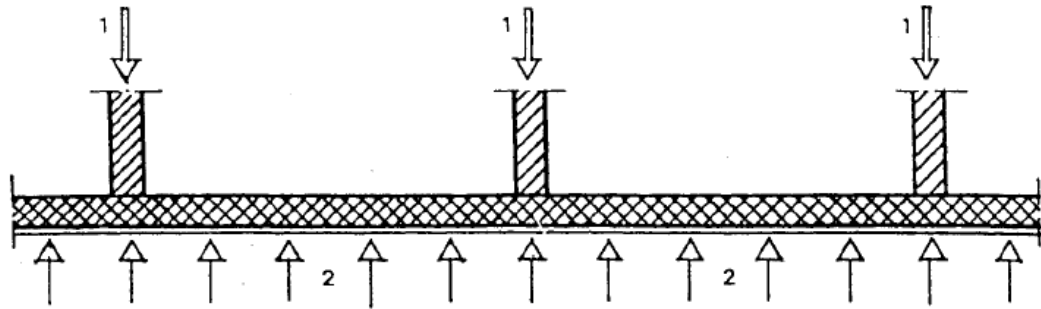


Schéma d'un radier plat (dalle) en béton armé 300 à 350 CP.

Armature principale en partie supérieure de la dalle.

1. Transmissions des charges de la construction.

2. Répartition sur le sol de l'ensemble des charges.

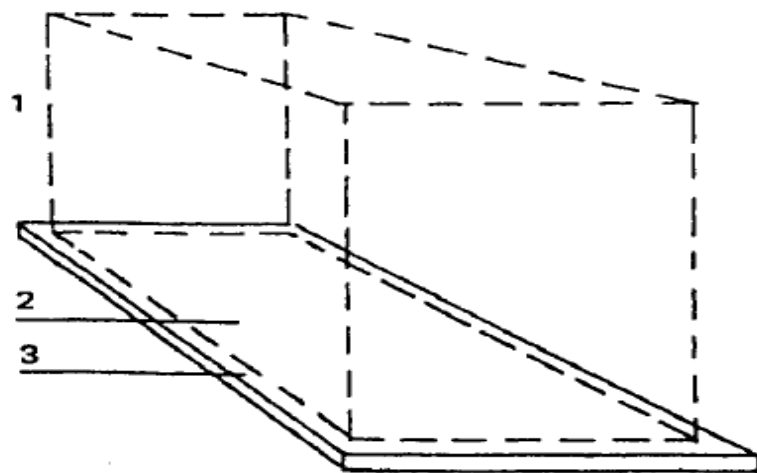


Schéma de principe d'un radier.

1. Bâtiment à construire.

2. Radier général.

3. Débord du radier.

Parmi les critères qui conduisent à ce choix :

- Des semelles filantes ou isolées avec de grands débords,
- Une surface de l'ouvrage petite par rapport à son volume (silo...)
- La nature du terrain de fondation qui nécessite la réalisation d'une boîte indéformable constituée par radier, les murs et la dalle du niveau supérieur,
- L'étanchéité relative.

Le radier peut être comparé à une dalle en béton armé inversé, recevant la contrainte du sol et reposant sur les points d'appui de la construction. L'armature principale est placée dans la partie supérieure du radier, à l'inverse d'une dalle pleine. Ainsi un radier pourra être conçu en radier plat (ep 20 cm), en radier champignon, en radier nervuré. On distingue donc essentiellement :

❖ Les radiers dalles plates :

Ils sont constitués par une simple dalle reposant directement sur le sol et sur laquelle les murs viennent s'appuyer. L'épaisseur de la dalle est fonction des charges qui sont cependant assez faibles.

❖ Les radiers dalle nervurées :

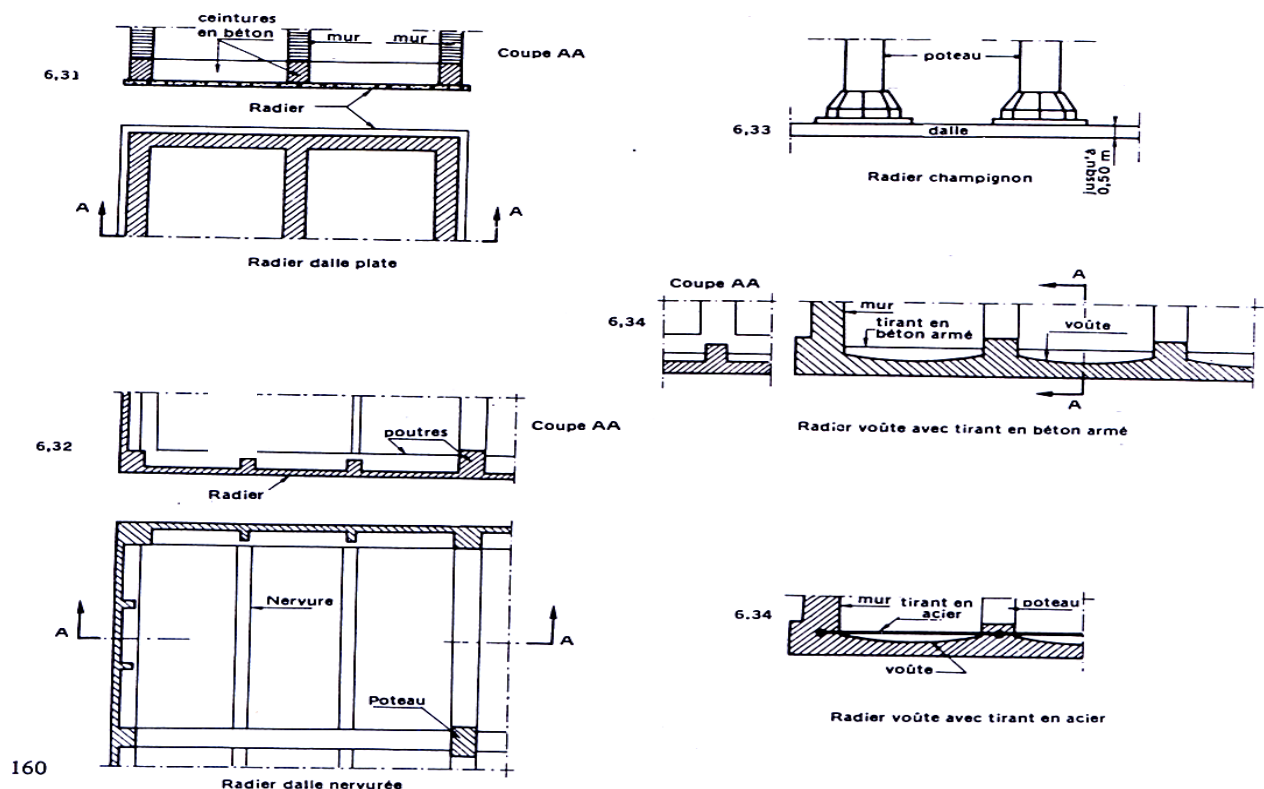
Ils sont constitués par un système de dalles, de poutres et de solives. Les charges sont transmises par des poteaux et par des murs. Elles peuvent être très importantes. Ce type de radiers peut être réalisé en béton précontraint. Ils peuvent être lestés de sable si nécessaire.

❖ Les radiers champignons :

Les charges sont transmises par des poteaux à une dalle épaisse (jusqu'à 50 cm). La liaison poteau-dalle se fait par l'intermédiaire d'un tronc de pyramide.

❖ Les radiers voûtes :

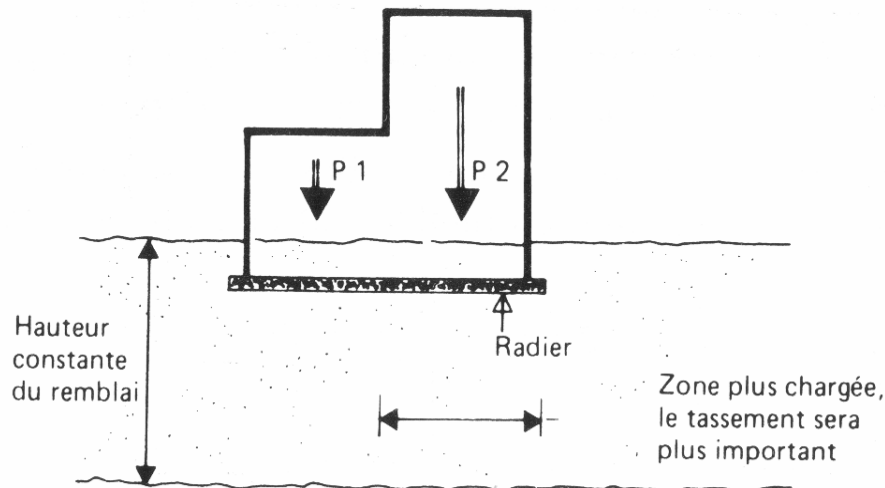
Leur mise en œuvre est assez complexe. Ils permettent d'économiser du béton et de l'acier. Cependant, ils nécessitent des répartitions des charges symétriques. Leur rigidité est assez faible. Les poussées de voûtes doivent être reprises soit par des culées, soit par des tirants. Ces radiers peuvent être lestés de sable si nécessaire.



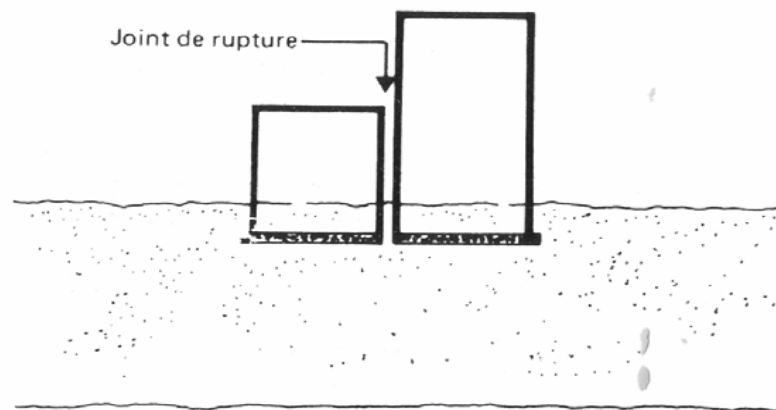
Le choix du radier se justifie donc pour un terrain médiocre de grande épaisseur lorsque l'on veut éviter l'appui sur le bon sol en profondeur, mais à condition que le terrain :

- ✓ soit homogène,
- ✓ qu'il soit in-affouillable,
- ✓ qu'il soit d'épaisseur constante.

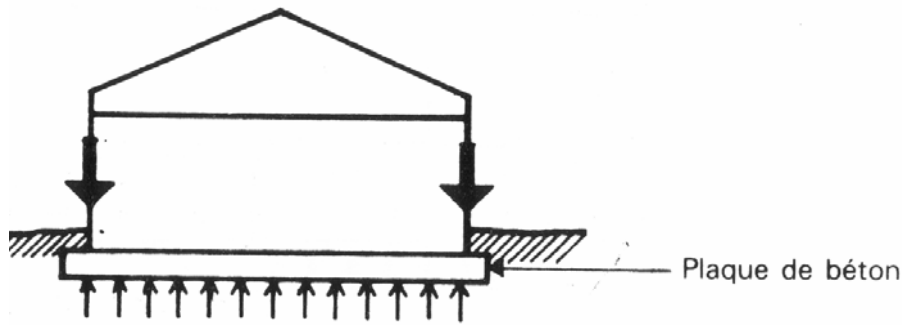
Ces conditions sont impératives pour éviter les tassements différentiels. Ce même phénomène peut se produire pour une construction chargée dis-symétriquement.



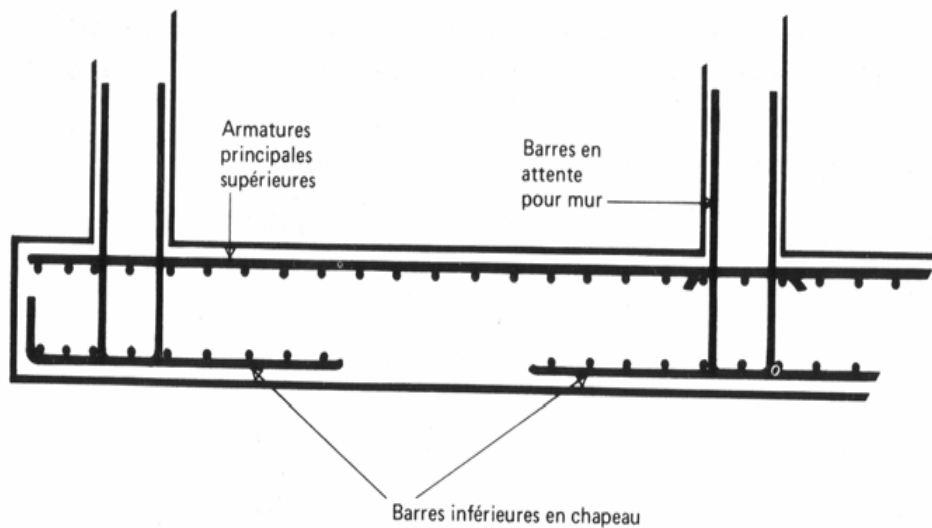
La solution consiste à couper le bâtiment sur toute sa hauteur par un joint de rupture pour créer deux bâtiments indépendants.



Les charges appliquées (qui sont les réactions du sol) sont dirigées du bas vers le haut.



Vu ce mode de chargement, les armatures principales sont placées en haut.



5) Exécution des fondations superficielles :

a) Cas général :

L'exécution d'une fondation superficielle peut être plus ou moins facile en fonction de la profondeur des fouilles à réaliser, et surtout selon la présence ou non d'une nappe phréatique.

En l'absence de nappe, on procède selon les étapes suivantes :

Le décapage : une couche de terre végétale est retirée puis stockée sur le terrain de la construction.

L'implantation : un piquetage de la zone à terrasser est réalisé en général par le chef de chantier.

Le creusement des fouilles : dans le cas de semelles filantes ; elles sont effectuées en rigole (moins de deux mètres de largeur sur moins d'un mètre de profondeur).

Le coulage du béton de propreté : effectué sur une épaisseur de 5 à 10 cm il a pour objectif de protéger le fond de fouille (sol sensible à l'air et à l'eau) ; et d'isoler les armatures (à fin d'éviter toute apparition de rouille), Il est faiblement dosé en ciment (en général 150 Kg/m^3 de béton).

Mise en place des armatures et du coffrage.

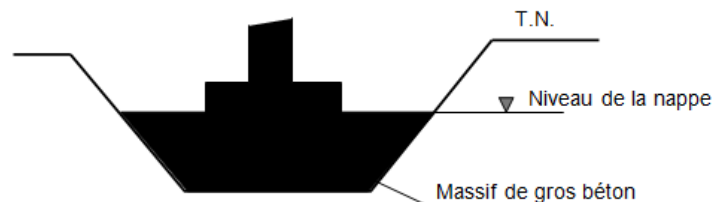
Coulage de béton de la semelle.

b) En présence d'une nappe :

En présence d'une nappe, différentes solutions sont envisageables, selon la nature du terrain qui peut être plus ou moins perméable et par conséquent conditionner l'importance des venues d'eau. Lorsque le sol est peu perméable, les venues d'eau sont faibles, et il est possible de maintenir la fouille à sec par **pompage**.

On peut s'affranchir de la nappe par **rabattement** lorsque le terrain est perméable.

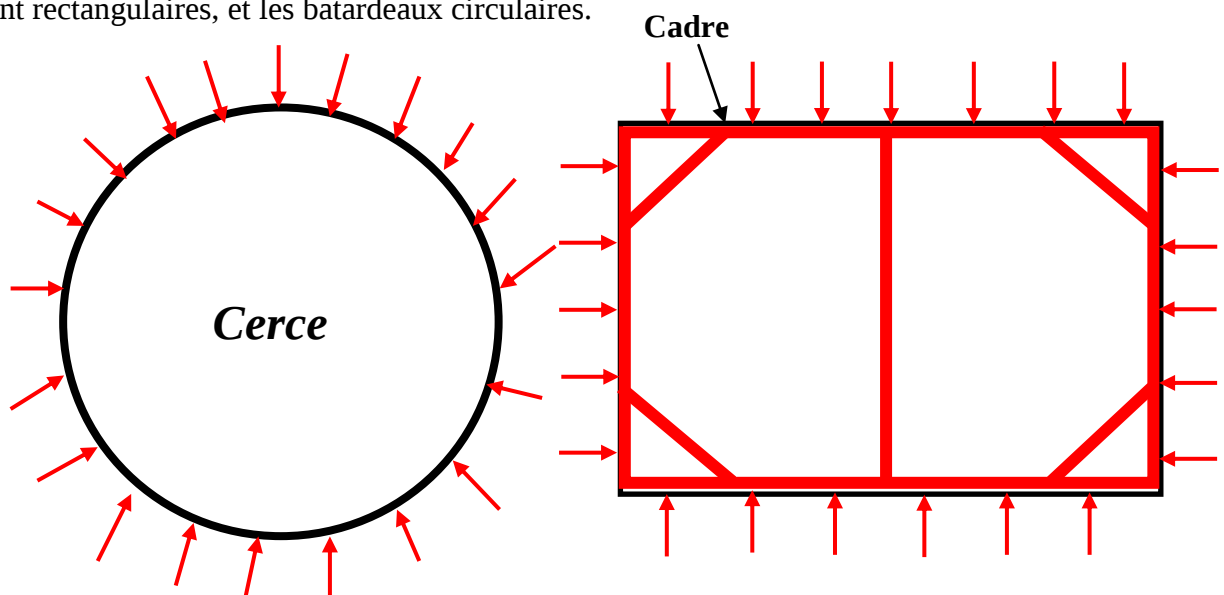
Lorsque les venues d'eau sont plus importantes, et que le niveau de la fondation se situe juste en dessous de la nappe, on peut couler un massif de béton non armé sous l'eau, à l'aide d'un tube plongeur pour remonter le plan d'appui de la semelle, qui pourra être réalisée à sec en deuxième phase.



c) Fondations superficielles en site aquatiques :

Les fondations superficielles en site aquatique posent avant tout un problème d'exécution, puisqu'on doit réaliser la semelle à sec. Pour cela, on réalise généralement à l'aide de planches métalliques, une enceinte étanche, appelée **batardeau**.

Les batardeaux ont divers formes, mais l'on peut distinguer les batardeaux polygonaux, le plus souvent rectangulaires, et les batardeaux circulaires.

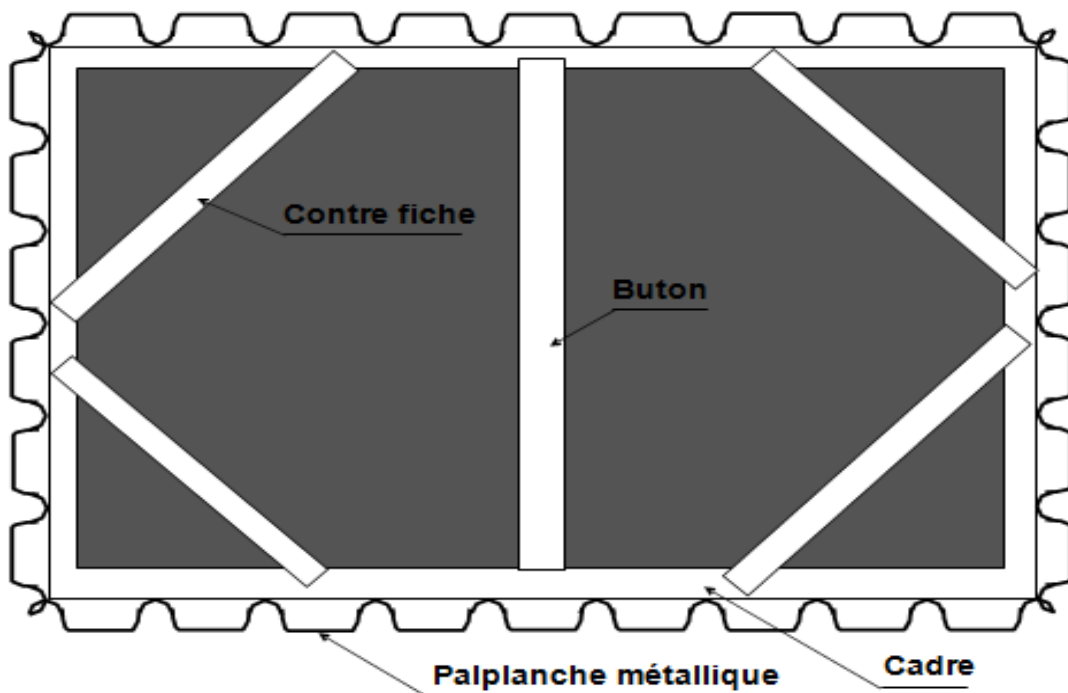




Batardeau

Les batardeaux polygonaux sont éayés par des cadres et des butons en profilés métalliques. Cet étaieement présente l'inconvénient d'encombrer l'air de travail.

On réalise également des batardeaux circulaires dont la stabilité est assurée par des cerces circulaires. L'avantage est de ne pas encombrer l'aire de travail par des butons. De tels batardeaux peuvent atteindre un diamètre de 50 mètres.

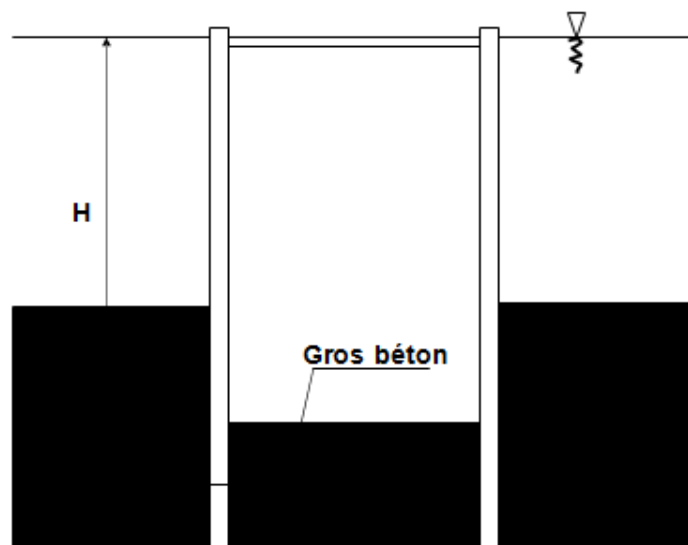


Exécution des batardeaux :

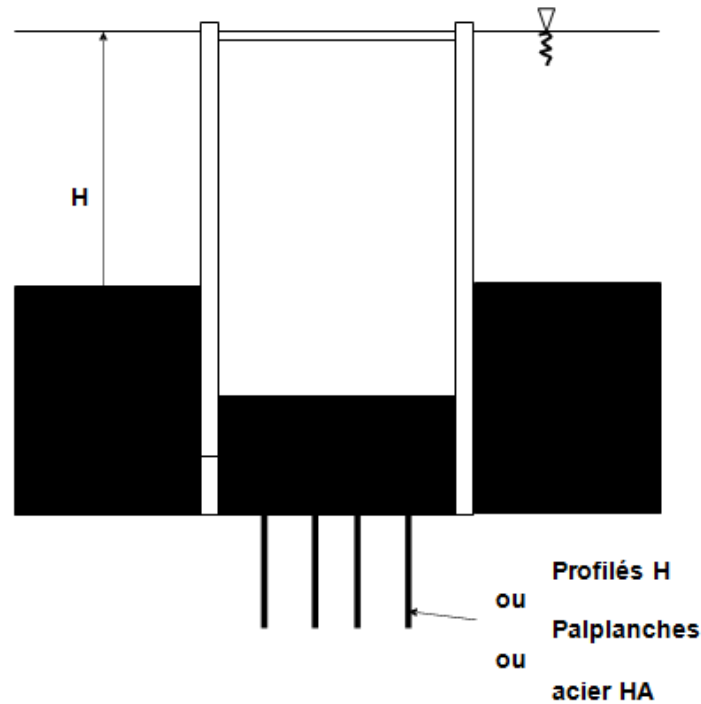
La mise en œuvre des palplanches métalliques est le plus souvent réalisée par **battage** à l'aide d'un mouton, méthode comparable à celle employée pour la réalisation des pieux métalliques préfabriqués (pieux H ou palpieux). Il convient ensuite d'en assurer l'étanchéité pour pouvoir exécuter la semelle de fondation à sec.

L'enceinte est relativement étanche en elle-même et du fait que des sédiments fins viennent rapidement obturer les fuites au niveau des serrures des palplanches. En ce qui concerne le fond de fouille, l'étanchéité naturelle est rarement réalisée, si on excepté le cas d'un substratum imperméable. Pour le rendre étanche différentes solutions sont envisageables.

La méthode la plus courante consiste à réaliser un massif de gros béton non armé, coulé sous l'eau au tube plongeur, et dont le poids équilibre les sous pressions. L'épaisseur du massif à réaliser est proportionnelle à la hauteur d'eau dans le rapport des densités de l'eau et du béton (soit environ 2,4).



Lorsque le bouchon de gros béton est réalisé, le batardeau est mis hors d'eau par pompage et on peut alors réaliser la semelle à sec. Si la hauteur d'eau est importante, le volume de gros béton à mettre en œuvre devient très important et il est intéressant d'ancrer le massif à l'aide de profilés métalliques (pieux H ou palplanches) préalablement battus dans le sol, ou encore par scellement de barres précontraintes ou de haute adhérence.



IV/- Les fondations profondes : (par éléments interposés)

1) Définition :

On distingue les fondations profondes des fondations superficielles par la définition suivante : Toute fondation dont la largeur est inférieure au sixième de la hauteur, elle-même supérieure à 3 mètres, est une fondation profonde. Les autres types de fondations sont des fondations superficielles.

Les fondations profondes peuvent être réalisées au moyen de pieux ou barettes, parois, puits...

a) Marché des pieux et parois (En France)

- Pieux battus : 10%
- Pieux forés : 40 %
- Parois moulées : 40 %
- Micropieux : 10 %

Dimensions	Valeurs extrêmes	Valeurs courantes
Pieux		
- Diamètres	0,25 m à 2,70 m	0,4 m à 1,50 m
- Profondeurs	5 m à 50 m	10 m à 20 m
Parois moulées		
- Epaisseur	0,50 m à 2 m	0,6 m à 1,20 m
- profondeur	10 m à 120 m	15m à 30 m

Exemples : pieux des pylônes du Pont de Normandie : diamètre 2,10 m et profondeur 50 m.

Parois moulées du barrage de Mud Mountain (Solétanche) : profondeur 122,7 m.

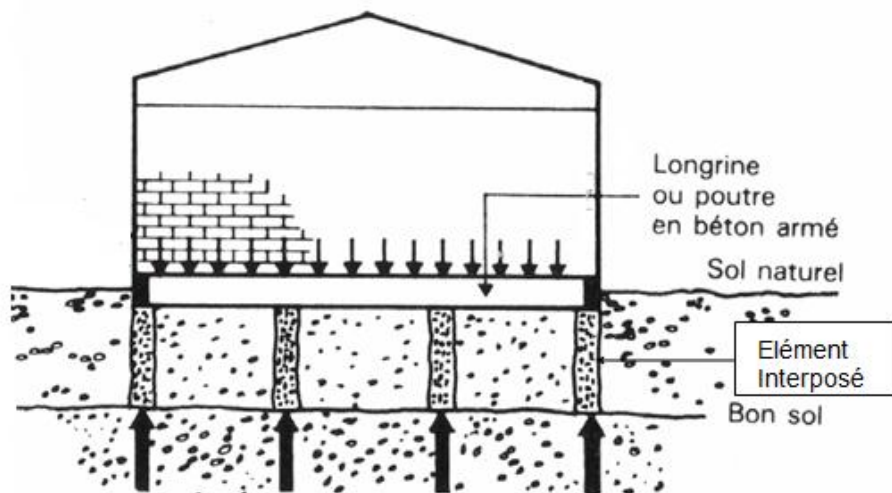
b) Types de pieux :

<i>Pieux façonnés à l'avance</i>	- pieux battus préfabriqués en béton armé, - pieux métalliques battus (tubes, H...) - pieux tubulaires précontraints - pieux métalliques battus enrobés avec sabot débordant et injection de mortier extérieur - pieux battus ou vibrofoncés injectés haute pression $\phi \geq 250$ mm
<i>Pieux à tubes battus exécutés en place</i>	- pieux battus pilonnés avec bouchon de béton à la base et tube récupéré lors de bétonnage - pieux battus moulés à tube récupéré lors du bétonnage
<i>Pieux forés</i>	- pieux forés simples sans soutènement des parois, béton coulé avec colonne de bétonnage. - Pieux forés tubés : soutènement des parois par tube récupéré lors du bétonnage à la colonne - Pieux forés à la boue : soutènement à la boue thixotropique et bétonnage à la colonne - Pieux forés à la tarière creuse avec axe creux servant au bétonnage : Type 1 : sans enregistrement des paramètres de forage, Type 2 : avec enregistrement des paramètres de forage, Type 3 : type 2 équipé d'un dispositif de bétonnage rétractable. - Pieux forés injectés haute pression $\phi \geq 250$ mm avec armature et un ou plusieurs tubes à manchettes et injection sélective - Pieux vissés moulés
<i>Puits</i>	Creusés à la main, parois soutenues par blindage, bétonnage à sec avec récupération du blindage
<i>Micropieux $\phi \geq 250$ mm</i>	- Type I : foré tubé avec ou sans armatures - Type II : avec armature scellée sous très faible pression - Type III : avec armature scellée dans un tube à manchette injecté avec une pression ≥ 1 MPa de façon globale et unitaire - Type IV : type III avec injection répétitive et sélective.
<i>Parois</i>	- Parois moulées dans le sol à la boue thixotropique - Parois préfabriquées.

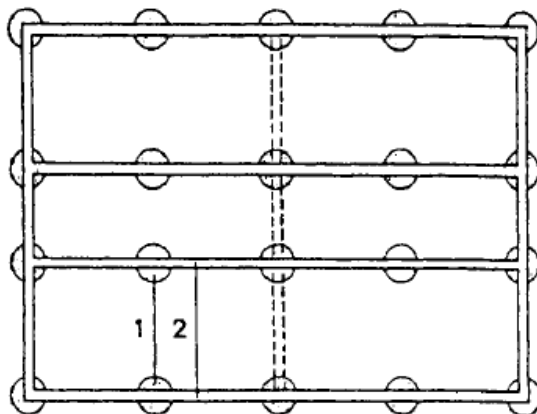
2) Fondations sur puits :

a) Définition :

Ce mode de fondation consiste à remplir de béton la fouille dénommée puits. Les puits sont creusés manuellement exigeant des sections minimales pour permettre les manipulations d'extraction et la présence d'hommes au fond du forage. Le creusement à la main est souvent obligatoire lorsque le chantier ne permet pas l'accès de machine de forages. Les puits ne peuvent être réalisés que dans des terrains sans nappe phréatiques.

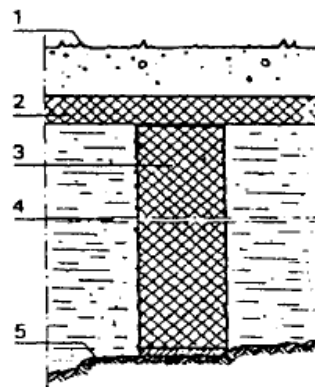


Fondation sur pieux ou sur puits



Répartition des charges de l'ouvrage sur des puits par l'intermédiaire de longrines, ou éventuellement de voiles en béton armé.

1. Puits.
2. Longrines.



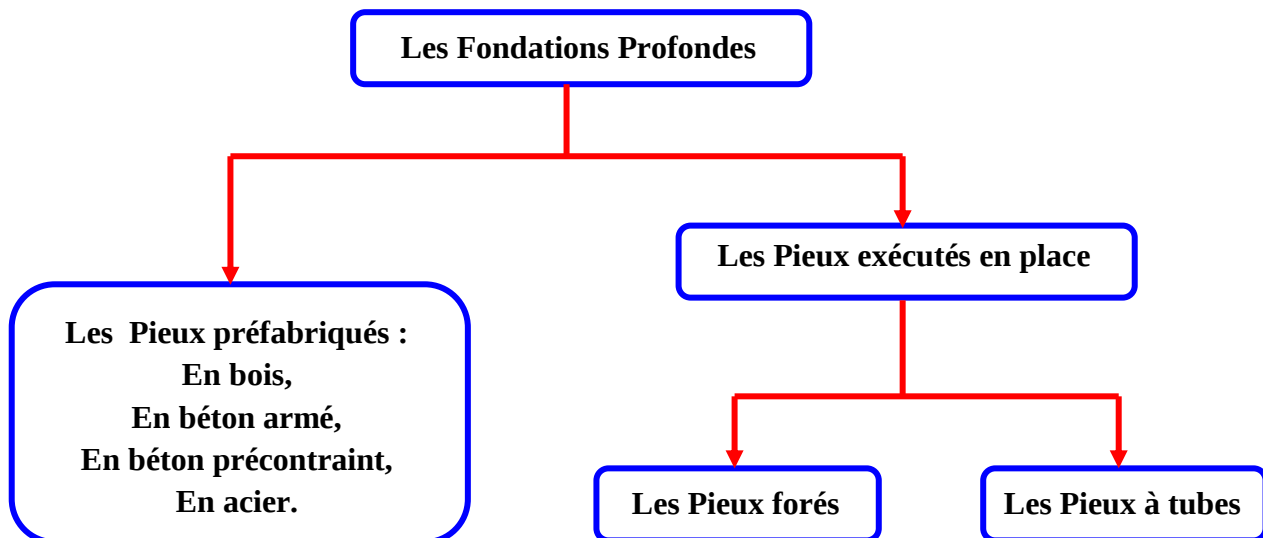
Fondation sur puits reportant la charge de l'ouvrage, par effet de pointe, sur un terrain résistant.

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 1. Sol naturel. | 4. Mauvais terrain. |
| 2. Longrine. | 5. Bon terrain. |
| 3. Puits. | |

3) Fondations sur pieux :

a) Définition :

Les pieux sont des éléments de faible section et de grande longueur ; de forme prismatique ou cylindrique ; que l'on enfonce (pieux préfabriqués) ou que l'on confectionne dans un terrain de faible capacité portante (pieux moulés).



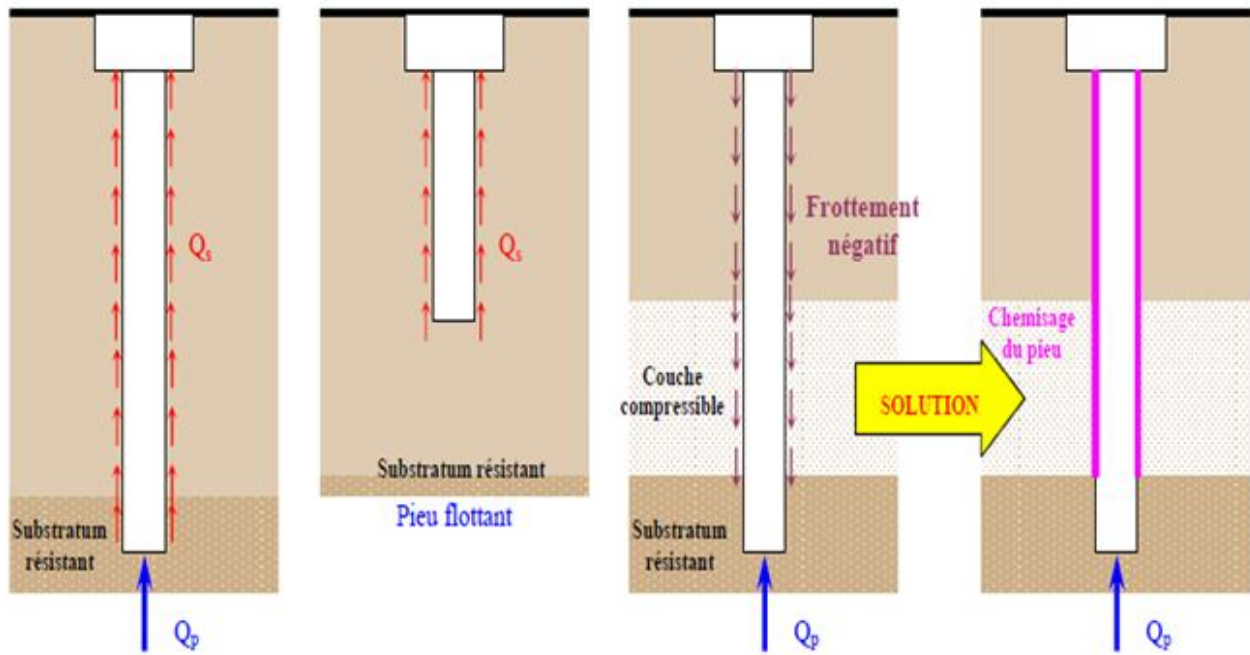
b) Les comportements mécaniques des pieux :

b-1) Modes de résistance à l'enfoncement :

La résistance à l'enfoncement d'un pieu dépend du terrain traversé. D'une façon générale, on distingue :

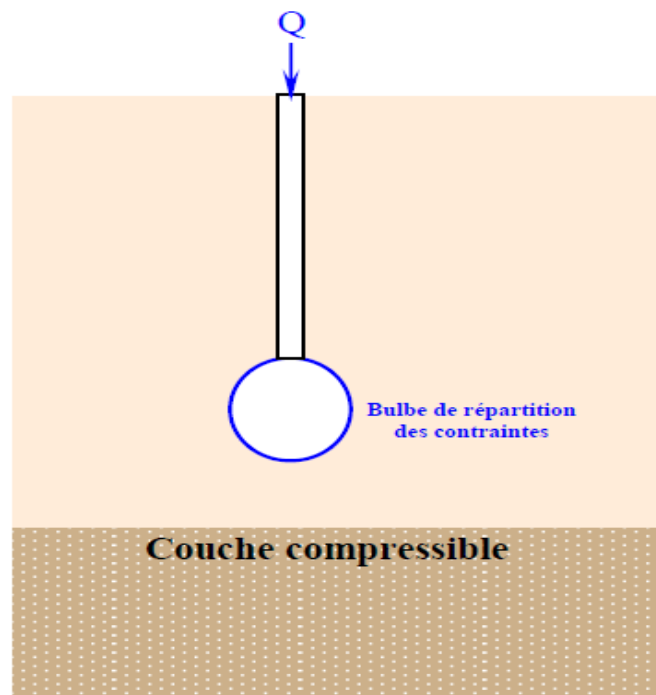
- **Les pieux résistant à l'enfoncement uniquement par frottement latéral contre le terrain traversé :** On dit alors que les pieux sont flottants (exécutés surtout dans le terrain argileux compacts) ; les pieux doivent être longs.
Le frottement entre pieu et sol est augmenté par les aspérités de surfaces créées par le bétonnage (pour pieux forés) ou par des formes spéciales (pour pieux préfabriqués) : pieu Takechi.
- **Les pieux résistant à l'enfoncement par la rencontre d'un terrain d'assise, s'opposant à la pénétration :** Effet de pointe. La résistance à l'enfoncement peut être améliorée par l'exécution de bulbe ayant pour but d'augmenter la surface de contact pieu-sol.
- **Les pieux résistant à l'enfoncement par frottement latéral et par effet de pointe :** C'est le cas le plus fréquent.

La portance d'un pieu est conditionnée par la résistance du terrain sous la base et /ou par frottement latéral exercé par les terrains ambiants sur les parois du pieu.



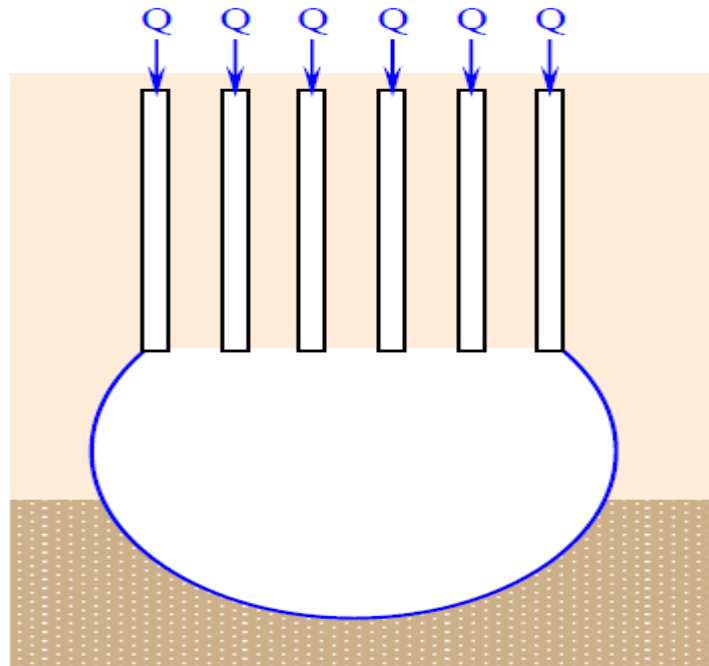
b-2) Répartition des pressions à l'intérieur du sol :

- Sous un pieu isolé, le bulbe de répartition des pressions est en général de faible importance.



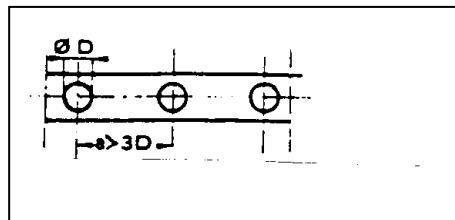
Pieu isolé
la zone compressible n'est pas
influencée par le pieu

- Sous un groupe de pieux, le bulbe a des dimensions données par le schéma : $h = 1,5 \times a$
Pour éviter les concentrations de contraintes dues aux intersections des bulbes de pressions, il est bon que les pieux soient suffisamment espacés.

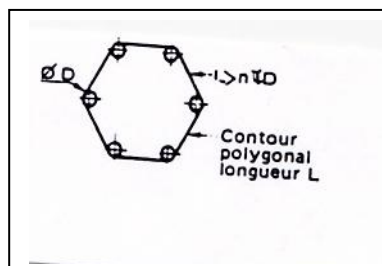


Groupement de pieux
la zone compressible est influencée
par l'effet radier du groupe de pieux

Si e est la distance entre axes de pieux de diamètre D , on doit avoir : $e > 3.D$



Lorsque n pieux déterminent un contour polygonal de longueur L , on doit avoir : $L > n.\pi.D$



3-1) Les pieux préfabriqués :

Les pieux préfabriqués sont réalisés en bois, en acier en béton armé ou en béton précontraint. Ils sont enfoncés dans le sol par battage ; vibration ; rotation ou lançage ; le sol est refoulé ou déplacé.

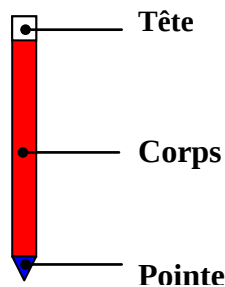
Ces pieux sont des éléments rectilignes destinés à transmettre au sol des efforts verticaux ; oblique ; horizontaux ou des moments d'encastrement.

Les pieux préfabriqués assurent une mise en charge immédiate ; et supportent des courants d'eau souterraine.

Par contre la mise en œuvre de pieux préfabriqués nécessite des installations mécaniques de battage très lourdes et une aire importante de réparation et de stockage.

Ils se composent :

- D'une tête, pouvant recevoir un casque de battage permettant le fonçage.
- D'un corps, plein ou évidé, dont la section droite est polygonale ou circulaire.
- D'une pointe, elle favorise la pénétration du pieu dans le sol. Elle est en général de forme conique, protégée ou non par un sabot. Dans certain cas, cette pointe peut être à vis.



Opérations de battage :

- 1- **Bardage** : opération consistant à amener le pieu au pied de la sonnette de battage et à le mettre en place pour l'enfoncer (position, inclinaison), cette opération nécessite une manutention.
- 2- **Mise en fiche** : opération consistant à enfoncer le pieu sur une longueur de 2 à 3 m, à le positionner parfaitement et à le fixer sur le guide de la sonnette pour permettre le battage.
- 3- **Battage** : opération consistant à enfoncer le pieu après la mise en fiche, à l'aide d'un mouton agissant sur la tête du pieu, laquelle est protégée par un casque.

Matériel utilisé :

Une sonnette : à taraude, à vapeur, etc... Son rôle est de guider le pieu pendant le battage et de porter le mouton.

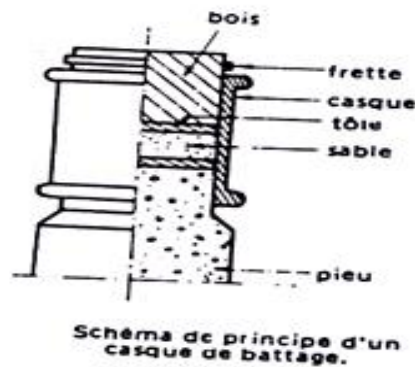
Un mouton : son rôle est de communiquer au pieu l'énergie nécessaire pour qu'il s'enfonce. On distingue essentiellement :

Les moutons à chute libre : masse (~ 2000 kg) tombant sur la tête du pieu (hauteur de chute est élevée : jusqu'à 25 m).

Les moutons à vapeur : c'est la pression de vapeur produite par une chaudière qui crée le déplacement d'une masse pouvant atteindre 9000 kg et se déplacer sur une hauteur de 1.50 m maximum.

Les moutons trépideurs : par l'air comprimé ou de la vapeur, on met en mouvement une masselotte.

Un casque de battage : appareil placé sur la tête du pieu et permettant d'en éviter la déformation ou la détérioration sous l'effet des chocs ou vibrations communiqués par le mouton.



3-1-1) En bois :

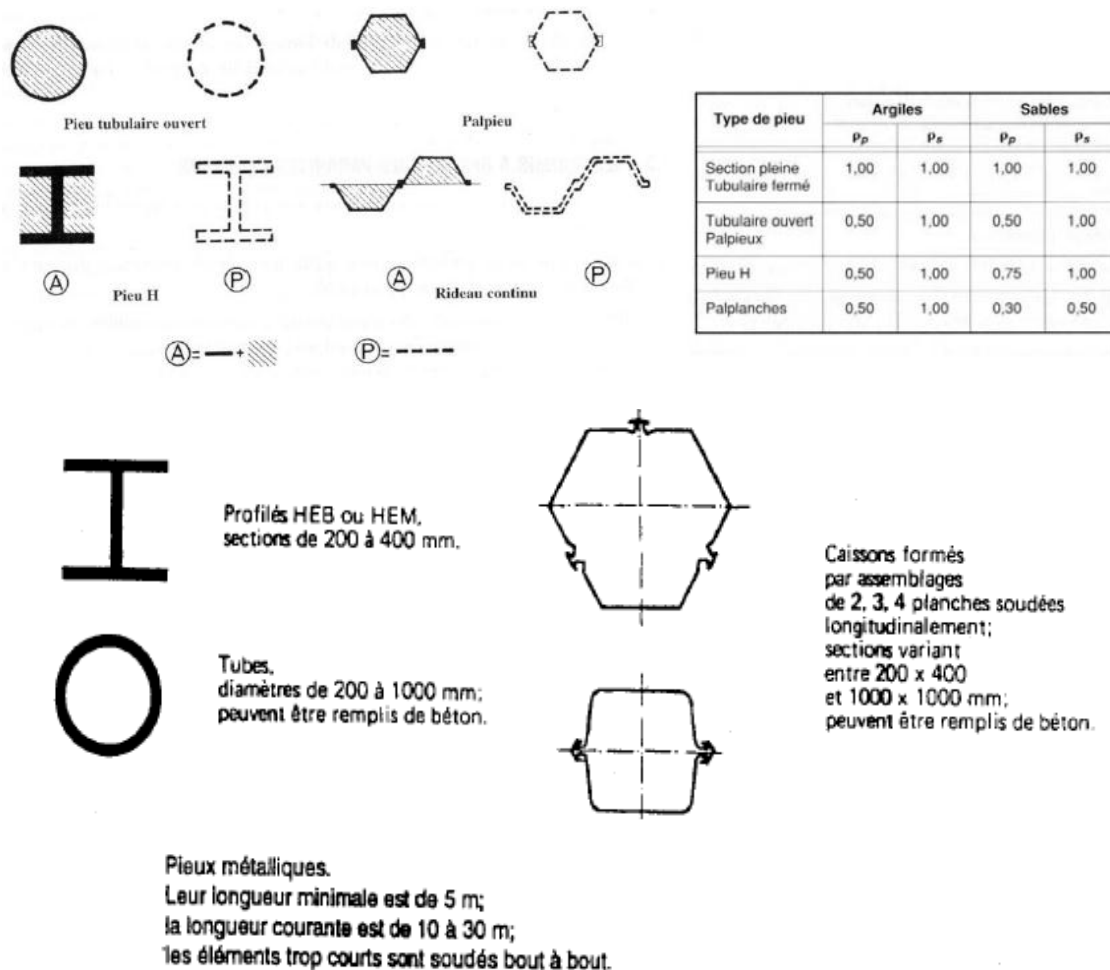
Les pieux en bois sont utilisés pour des constructions provisoires. Ces pieux présentent plusieurs avantages dont un battage facile ; un transport aisé. Par contre leur capacité portante est réduite.

- On utilise du chêne, des résineux ou des bois tropicaux sous forme de grumes écorcées.
- Les pieux en bois ne se conservent que s'ils sont complètement immergés (en mer) ; les bois pour pieux sont employés aussitôt que possible après l'abattage.
- Longueur maximum 25 m environ et diamètre moyen jusqu'à 50 cm.
- Ces pieux peuvent supporter des charges maximales de l'ordre de 40 t. La contrainte de compression moyenne admissible sur la tête d'un pieu en bois peut être de l'ordre de 30 bars.
- Les têtes sont frettées et les pointes sont protégées par un sabot.
- Les pieux en bois sont de moins en moins utilisés (pas des grandes longueurs, prix de mise œuvre élevé par rapport au béton armé).



3-1-2) Métallique :

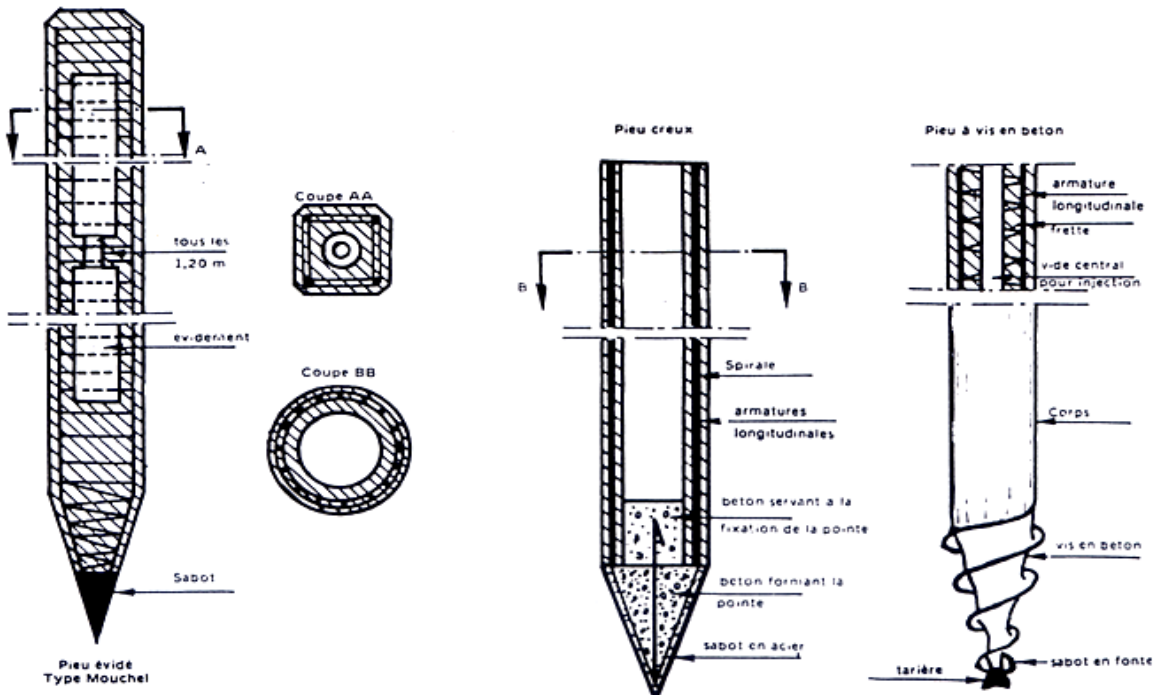
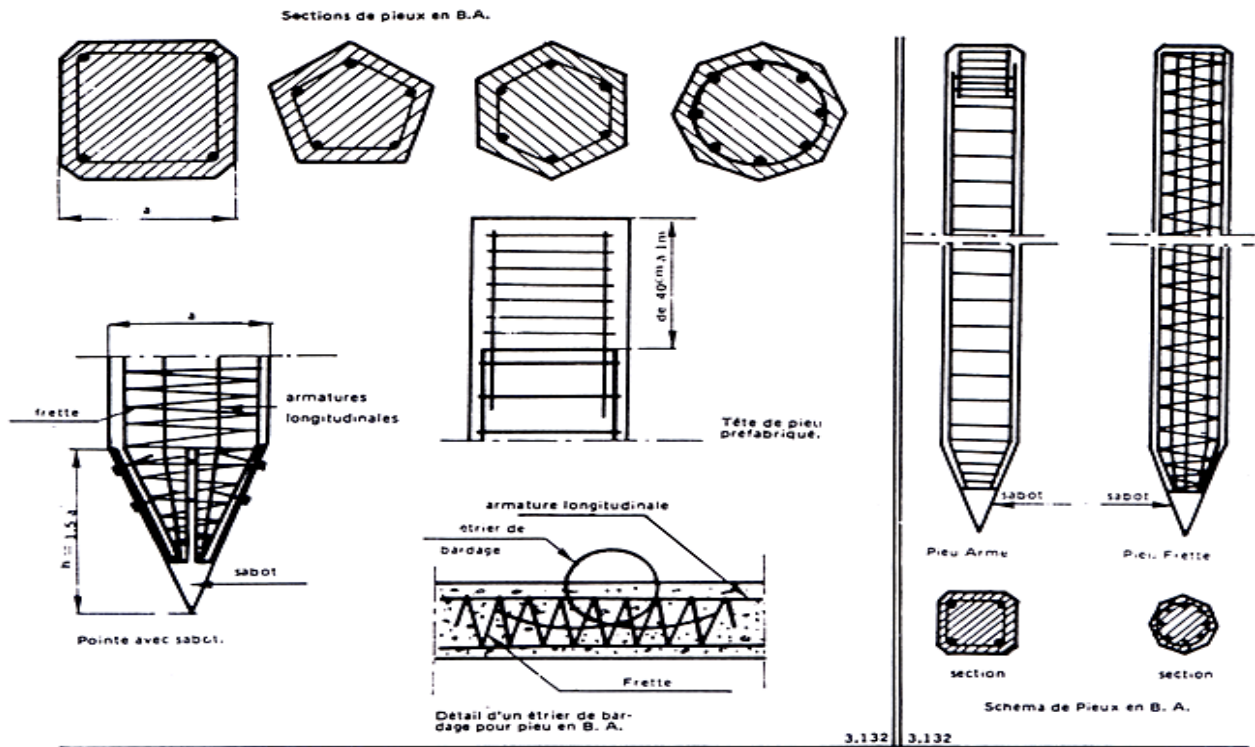
Ce sont des profilés d'acier ou leur emploi est privilégié dans les fondations de gratte-ciel. Les pieux métalliques ont une résistance élevée à la compression et à la flexion ; ils permettent d'atteindre de grandes profondeurs par soudure des éléments les uns aux autres ; ils peuvent également traverser des couches résistantes. Par contre, la rouille se manifeste dans la partie alternativement immergée et émergée ; il vaut mieux prévoir un supplément de section et un revêtement anti-rouille efficace (perte de 0,05 à 0,08 mm/ans).

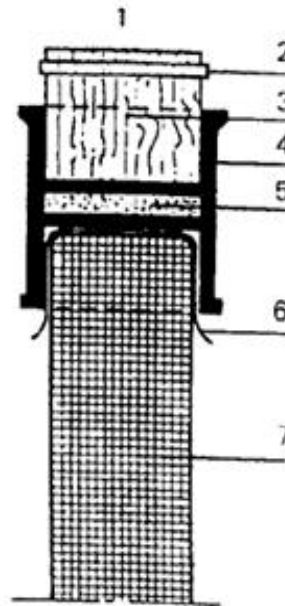
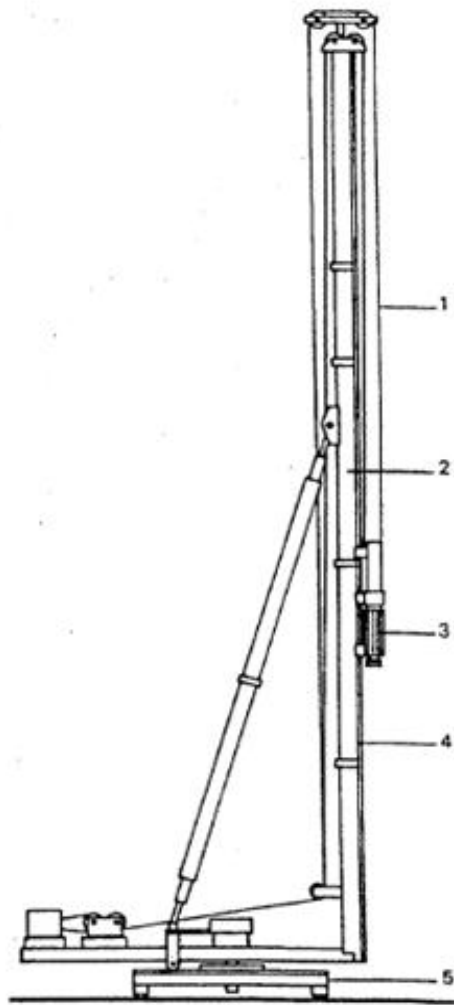


3-1-3) En Béton :

Actuellement, le béton armé est le matériau le plus souvent utilisé pour réaliser des pieux préfabriqués sous de multiples formes. Dans la grande majorité des cas, sous l'effet de la charge apporté par l'ouvrage, le pieu ne travaille qu'en compression ; le béton est donc parfaitement adopté à cette fonction. La préfabrication permet d'obtenir la forme, les dimensions et les qualités requises du pieu, ainsi une durée de vie presque illimitée

- Les bétons pour pieux sont généralement dosés à 400 kg/m^3 .
- Le type de ciment doit dépendre de la nature des terrains traversés (agressivité des eaux).
- Forme :
 - Longueur : $10 \text{ m} < L < 25 \text{ m}$,
 - Section : carrée, pentagonale, hexagonale, octogonale ou circulaire,
 - Tête frettée,
 - Pointe frettée et protégée par un sabot.





Casque de battage.

1. Mouton.
2. Frette.
3. Bloc de chêne fretté.
4. Casque en acier.
5. Fourrure (sable, liège, sciure).
6. Interposition de sacs en papier.
7. Pieu préfabriqué en béton armé.

Sonnette et mouton.

Battage de pieux ou de palplanches.

1. Câble de mise en place et de levage des pieux.

2. Mât.

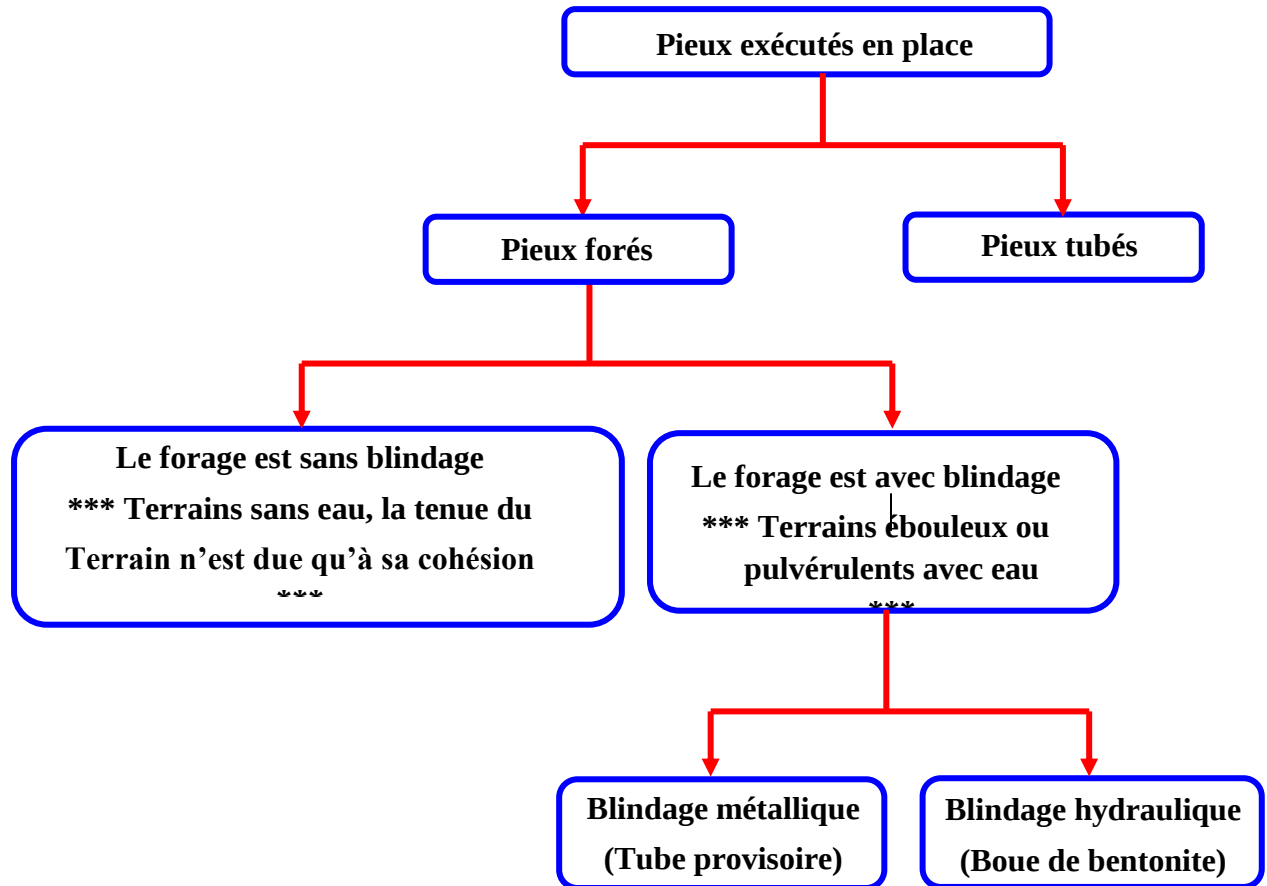
3. Mouton diesel.

4. Jumelles de guidage du mouton.

5. Chariot éventuel.

3-2) Les pieux exécutés en place :

a) Introduction :



b) Les pieux tubés :

b-1) Généralités :

- Ces pieux sont en béton ou en béton armé, à tube perdu ou récupéré.
- Le dosage du béton utilisé doit être supérieur à 350 kg/m^3 .

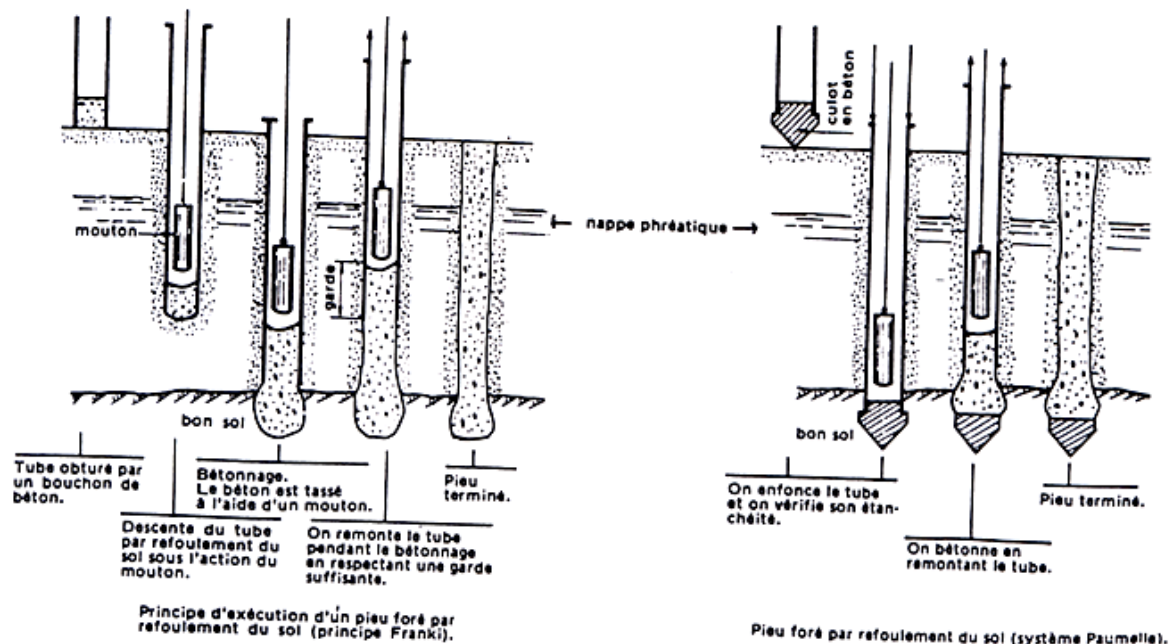
b-2) Principe de la mise en œuvre :

On distingue les opérations suivantes :

- **Battage du tube** : un tube dans la partie inférieure est obturée par un bouchon amovible est battu dans le sol (à la façon d'un pieu préfabriqué). La progression du tube se fait par refoulement du terrain.
- **Bétonnage** : lorsqu'on atteint le bon sol, on coule du béton dans le tube. On pilonne le béton en remontant le tube. Le dispositif d'obturation utilisé doit éviter les venues d'eau à l'intérieur du tube, ce qui permet un meilleur bétonnage.

Dans ce type de pieu, le tube doit être aussi long que le pieu.

Le tube est soumis à des fortes sollicitations : laminage à travers le terrain traversé, à la pénétration, comme à l'extraction ; compression, risque de flambage et possibilité de détérioration de la tête sous l'action du mouton.



c) Les pieux forés :

c-1) Généralités :

- Ces pieux peuvent être très longs et de grand diamètre (jusqu'à 1.50 m).
- Ces pieux peuvent travailler à l'arrachement (avec ferrailage).
- Ils peuvent être inclinés à 30° environ.

c-2) Réalisation :

Le forage :

1^{ère} phase :

Forage (procédé par havage par trépan et injection d'eau, soupape, hammergrab, tarière, etc.) et mise en place d'un tube provisoire (une virole) seulement en partie haute du pieu pour éviter l'éboulement du forage en tête.

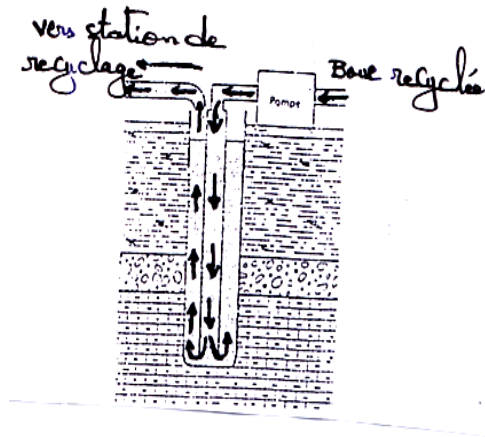
2^{ème} phase :

Continuité du forage en utilisant d'un tube provisoire ou de la boue de bentonite pour le blindage de la fouille :

- La boue peut être utilisée sans circulation : Elle est introduite au fur et à mesure du forage et elle est récupérée avec la remontée du béton. Cette boue doit être contrôlée et changée en cas de nécessité.
- La boue peut être aussi utilisée par circulation directe ou inverse :

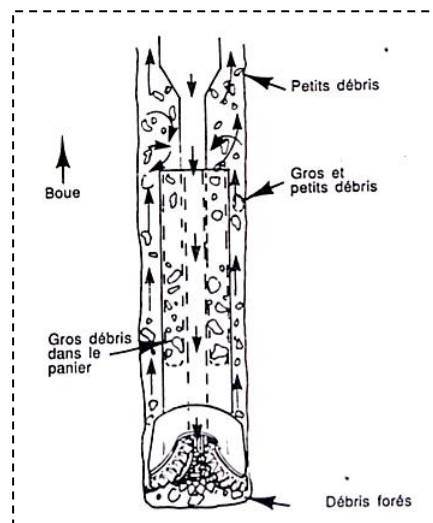
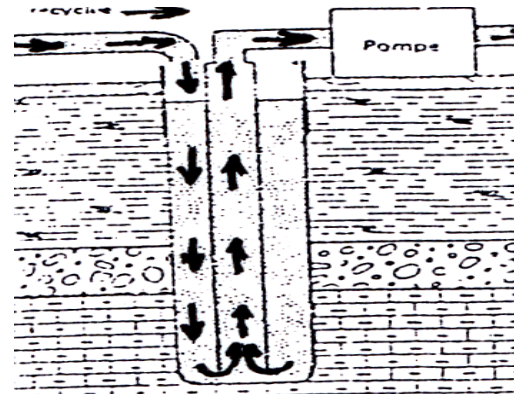
Circulation directe :

Une pompe injecte la boue par un canal et la boue remonte les débris de perforation par courant ascendant dans l'espace annulaire compris entre les tiges et les parois du forage.



Circulation inverse :

On injecte la boue dans l'espace annulaire et la boue remonte dans le canal des tiges actionnant l'outil, C'est-à-dire qu'on inverse le sens de circulation pour procéder au prélèvement en vue de l'analyse du terrain au fur et à mesure de la perforation.



Remarque :

- 1- La circulation et le recyclage de la boue sont faits d'une manière continue.
- 2- La boue de forage est préparée sur le chantier dans une station qui comprend :
 - Une unité de fabrication assurant la dispersion de la bentonite.
 - Des silos de stockage.
 - Une unité de régénération.
- 3- La densité de la boue à l'origine est de 1.01 à 1.05 < la densité du béton = 2.5.
- 4- Le forage est curé moins de 3 heures avant le début du bétonnage.

Ferraillage :

Pieux travaillant en compression simple : aciers seulement en tête de pieux pour assurer la reprise.

Pieux travaillant en compression accompagnée de flexion, ou pieux soumis à des efforts de traction : aciers longitudinaux avec spires.

Pieux supportant une ossature métal : tête de pieu fretté.

Les cages d'armature des pieux sont constituées par des barres longitudinales en acier autour desquelles sont enroulées et fixées rigidement des cerces ou hélices.

Le diamètre des armatures longitudinales le plus couramment comprises entre 16 et 32 mm.

Le bétonnage :

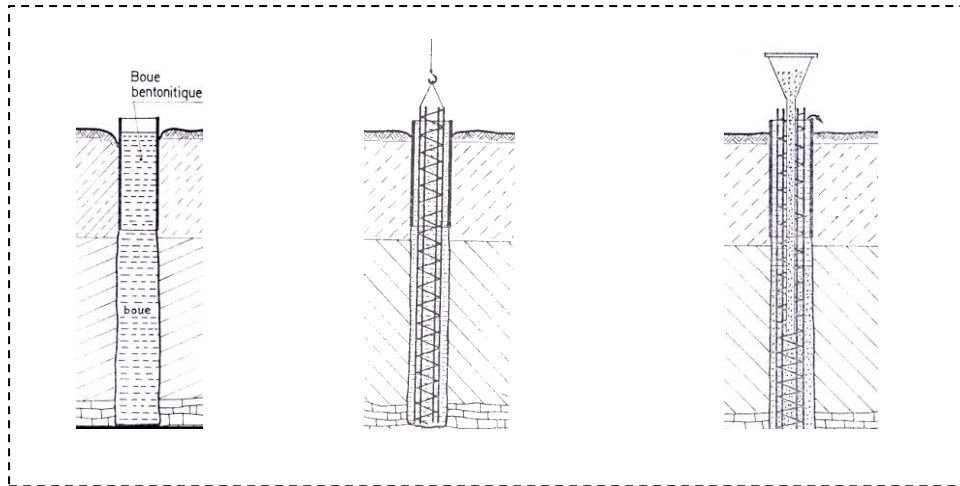
- ❖ Il se fait suite à la descente des armatures et le nettoyage du fond du trou par changement de la boue ou le recyclage de celle-ci.
- ❖ Dosage : de l'ordre de 400 Kg/m³ de béton.
- ❖ Vibration pour obtenir des caractéristiques mécaniques constantes sur la hauteur du pieu.

- ❖ Les bétons utilisés dans les pieux doivent avoir les caractéristiques suivantes :
 - Fluidité à la ségrégation (L'affaissement est entre 14 et 18 cm, parfois > 22 cm).
 - Prise lente et contrôlée (il est conseillé d'utiliser un retardateur prise et un fluidifiant).
 - Résistance à l'agressivité du milieu (utilisation d'un ciment HRS).
 - Bonnes performances mécaniques.

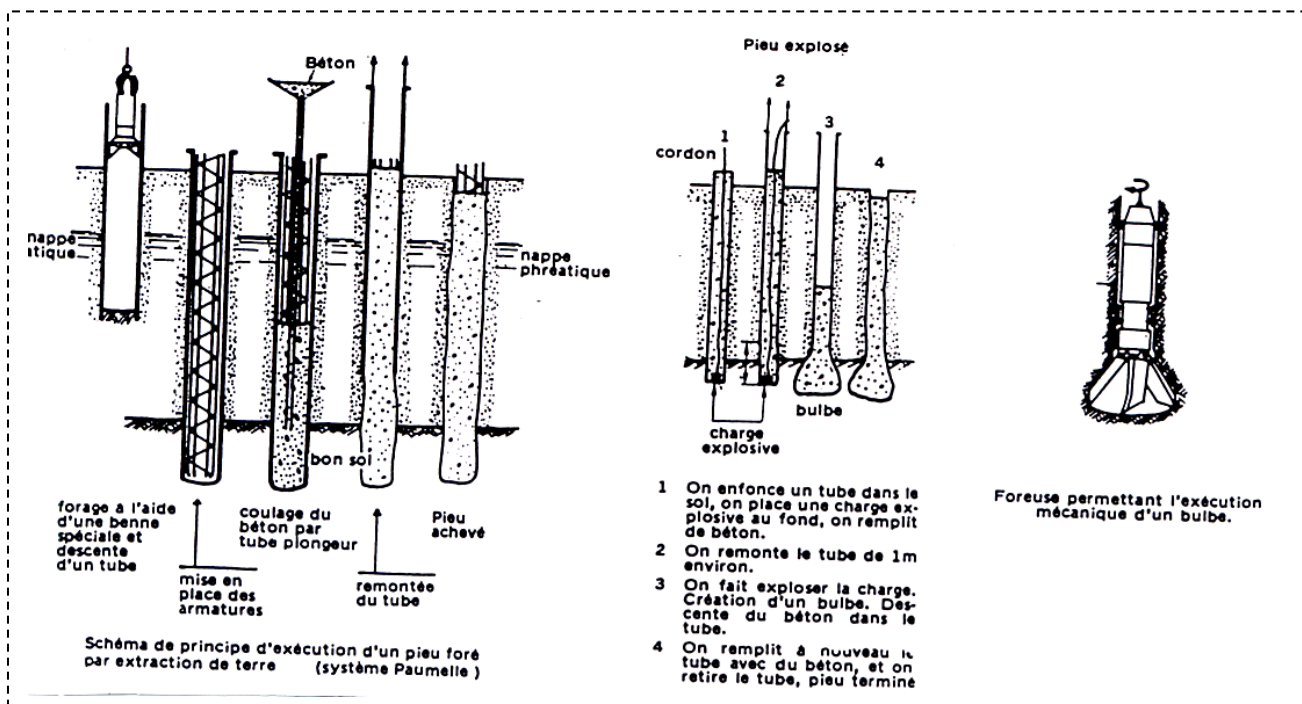
- ❖ La méthode de déversement du béton la plus courante est celle du tube plongeur pour éviter la ségrégation. La remontée du tube se fait lentement avec une garde de 3 m.

Le recépage :

Il consiste à éliminer une certaine hauteur (en surplus) de béton à la tête du pieu. Le béton de surface peut présenter des zones douteuses ; le recépage est de l'ordre de 1m.



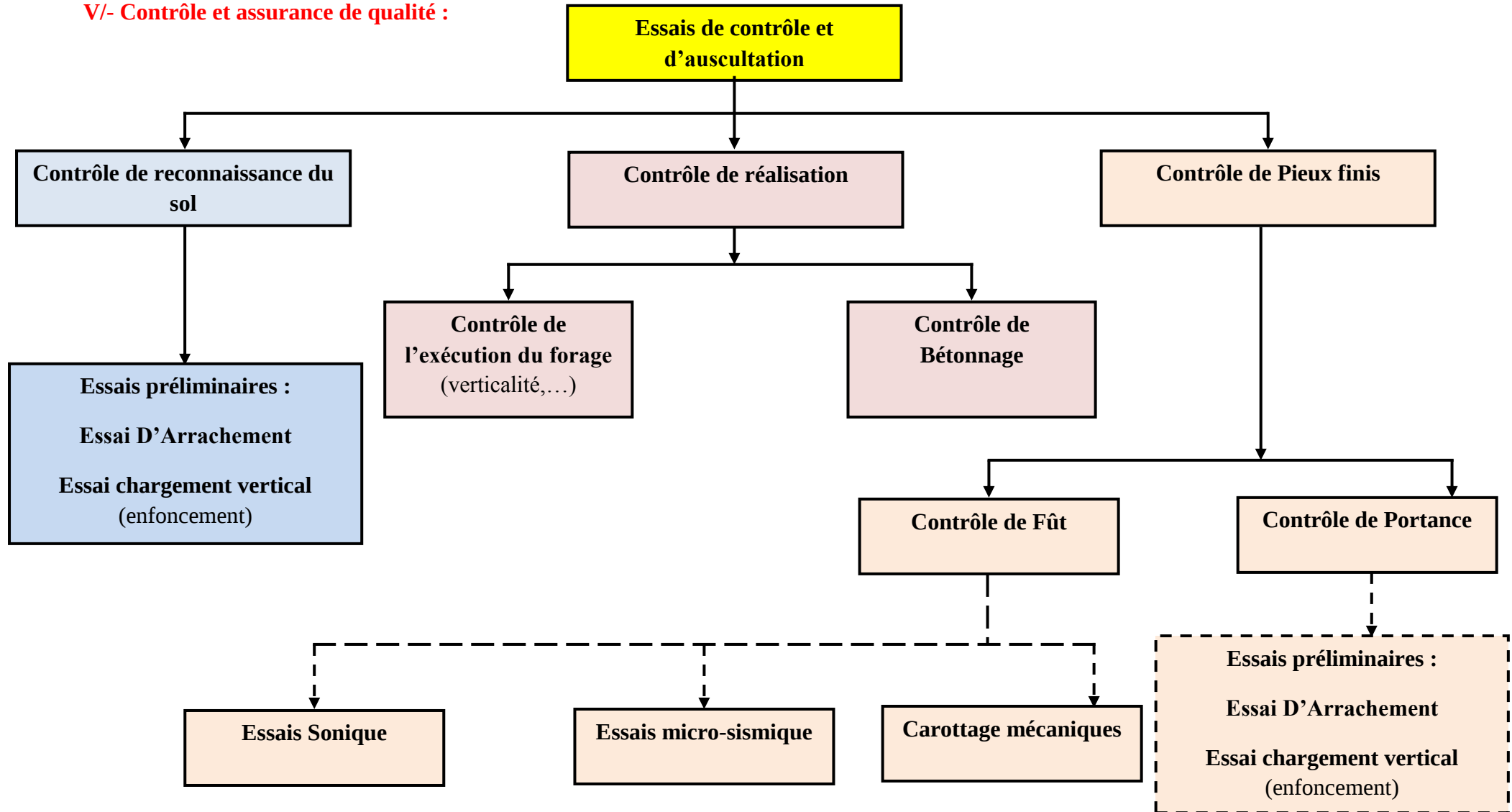
📖 Réalisation des pieux forés par blindage métalliques (Tube provisoire) :



Avantages et inconvénients :

- * La boue de forage permet :
 - De refroidir les outils de perforation ;
 - De remonter les sédiments ;
 - De maintenir les parois.
- * Le système de perforation n'ébranle pas les constructions voisines et ne désorganise pas les terrains traversés.
- * Il faut faire le recépage du pieu.

V/- Contrôle et assurance de qualité :



1)- Contrôle de la reconnaissance du sol : (contrôle extérieur)

Les essais préliminaires, qui sont réalisés au moment de la conception du système de fondation de l'ouvrage, sont destinés à vérifier et à préciser les conclusions de l'étude géotechnique relative au dimensionnement et au comportement des pieux (charge nominale et déplacements).

Les essais préliminaires sont effectués, en général, sur des pieux indépendants d'ouvrage. Les pieux d'essai doivent être représentatifs (dimensions, type de pieu et condition d'exécution) des pieux de l'ouvrage.

Il est conseillé d'entreprendre les essais préliminaires 2 à 3 mois avant l'exécution des pieux de l'ouvrage, afin que les résultats obtenus puissent être utilement exploités pour la mise au point du projet.

Les essais préliminaires consistent à éprouver un pieu en lui appliquant des efforts de même nature que ceux transmis par le futur ouvrage.

Ces essais peuvent être en conséquence :

- Un essai d'enfoncement, dans le cas de pieux travaillant à la compression.
- Un essai d'arrachement, dans le cas d'une fondation soumise à la traction.
- Un essai de chargement horizontal, lorsque les pieux sont appelés à mettre le terrain en butée latérale.

2)- Contrôle de la réalisation : (contrôle intérieur)

La conception étant faite sur la base de l'étude géotechnique, lors de l'exécution des pieux on doit s'assurer du bon choix, dimensionnel surtout, de ceci et la conformité du terrain aux hypothèses retenues.

Chaque tâche et chaque matériau doivent être contrôlés. Les plus importants en relation la géotechnique sont :

- L'exécution du forage : géométrie et verticalité du trou, la nature des sols rencontrés, la situation du substratum, la qualité de la boue et la propreté du fond de forage.
- Le bétonnage : la consommation du béton en rapport avec le volume théorique à utiliser.

3)- Contrôle des pieux finis : (contrôle extérieur)

Les contrôles exécutés sur les pieux forés ont pour but de s'assurer de la qualité du béton du fût et celle du contact en pointe entre le béton et le sol.

Les essais de contrôle peuvent être des essais de contrôle de fût et des essais de contrôle de portance :

a)- Essais de contrôle du fût :

Ces essais de contrôle ont pour objet de vérifier la continuité du fût du pieu et la résistance mécanique du béton ainsi que de s'assurer de la bonne qualité du contact sol-pieu. Ils peuvent comporter suivant les cas :

- Des essais soniques par transparence ;
- Des essais par micro sismique transparence ;
- Des carottages mécaniques.

❖ **Essais soniques par transparence :**

➤ **Principe de la méthode :**

Les essais soniques par transparence, appelés aussi carottages soniques, consistent à mesurer le temps de propagation et la variation d'amplitude d'ondes acoustiques se déplaçant à travers le béton du pieu entre une sonde émettrice et une sonde réceptrice. Les sondes sont mises en place dans des tubes de réservation parallèles. Les mesures sont effectuées de façon continue par remontée des sondes sur toute la hauteur du pieu. Si une anomalie est repérée, on répète les mesures.

Cette méthode d'auscultation impose de choisir, avant leur exécution, les pieux qui feront l'objet d'un contrôle afin de les équiper des tubes de réservation, qui sont fixés sur les cages d'armature.

La présence d'anomalies (inclusion de sol ou de boue, interruption de bétonnage, poches de béton pollué) est mise en évidence par l'apparition simultanée d'une augmentation du temps de propagation des ondes (vitesse moyenne de propagation = 4000 m/s), d'une diminution d'amplitude en conséquence, et d'une modification des signaux reçus.

➤ **Répartition des tubes verticaux d'auscultation :**

Les anomalies ne peuvent être détectées que dans la mesure où elles sont situées sur le trajet des ondes acoustique. Il importe donc de prévoir un nombre suffisant de tubes verticaux d'auscultation à la périphérie du pieu pour reconnaître, à chaque niveau, la majeure partie de la section du fût. La répartition des tubes dépend de la forme et des dimensions de l'élément de fondation. Les dispositions suivantes sont retenues :

- Pieux $\phi \leq 60$ cm : 2 tubes diamétralement opposés ;
- Pieux $60 \text{ cm} < \phi \leq 120$ cm : 3 tubes disposés à 120° ;
- Pieux $\phi > 120$ cm : 4 tubes disposés à 90° .

➤ **Recommandations pour la mise en œuvre :**

- Le recépage du pieu n'est jamais exécuté avant les mesures, de manière à éviter la déformation des tubes, ce qui interdirait la descente des sondes.
- Pour que les résultats des essais soient significatifs, il est nécessaire que le béton ait un âge minimal de 7 jours.
- Les tubes d'auscultation sont parallèles et fixés convenablement sur la cage d'armature.
- La base des tubes est fermée par un bouchon pour éviter la pénétration de boue ou de béton.
- La partie supérieure des tubes dépasse nettement la tête du pieu et est munie d'un bouchon de protection.
- Avant la réalisation des mesures, les tubes sont remplis d'eau propre.

❖ **Essais par micro sismique transparence (MST) :**

➤ **Principe de la méthode :**

On réalise à proximité immédiate du pieu à ausculter un forage parallèle à celui-ci et d'une profondeur supérieure de quelques mètres à celle du pieu. Ce forage est équipé sur toute la hauteur d'un tube en matière plastique rigide de diamètre voisin de 60 mm.

On descend dans le tube un accéléromètre et on mesure, à diverses profondeurs, le temps mis par un ébranlement, choc provoqué en tête du pieu ou de la structure solidaire du pieu. Pour atteindre l'accéléromètre.

On trace la courbe temps/profondeur de l'accéléromètre. L'interprétation de cette courbe permet de situer la pointe du pieu à quelques décimètres près. On obtient également la vitesse moyenne du son dans le béton du pieu.

➤ **Mise en œuvre :**

Cette méthode est mise en œuvre après l'exécution des pieux, et même après l'exécution complète de l'ouvrage. Les pieux essayés peuvent être choisis après leur exécution et au hasard.

Pendant les mesures, il y a lieu de veiller à ce que le tube soit plein d'eau jusqu'au niveau de l'accéléromètre et que le contact tube-sol soit assuré.

❖ **Les carottages mécaniques :**

➤ **Objet :**

Les carottages mécaniques continus permettent de vérifier de façon précise la résistance et l'homogénéité du béton du pieu, le niveau et la nature des anomalies, la qualité du contact sol-pieu.

➤ **Carottage de la pointe du pieu :**

Si l'on veut vérifier à coup sûr la qualité du contact sol-pieu, il est possible de prévoir, au moment de l'exécution des fondations, la mise en place d'un tube guide métallique, de diamètre supérieur à 100 mm, fixé sur la cage d'armature et arrêté à 1 m environ au-dessus de la base du pieu. Il faut que ce tube soit fermé à sa base par un bouchon facile à détruire avec l'outil de carottage (par exemple : plâtre). Le carottage mécanique est effectué à l'intérieur du tube guide jusqu'à une profondeur de 1,50 m environ sous la pointe du pieu.

Le tube guide peut également être utilisé comme tube d'auscultation dans le cas d'essais soniques par transparence. Il permet, en outre, d'injecter sous la pointe du pieu lorsqu'un défaut de contact sol-pieu a été détecté.

➤ **Recommandations :**

- Le béton doit avoir un âge minimal de 8 jours pour pouvoir être carotté.
- Le diamètre du carottier n'est pas inférieur en général à 75 mm.

- Le carottage mécanique est réalisé dans l'axe de l'élément de fondation, de façon à réduire le risque de sortir du fût avant d'avoir atteint la base.

b)- Les essais de contrôle de portance :

Les essais de contrôle de portance sont des essais de chargement statique qui intéressent les pieux finis de l'ouvrage. Il est souhaitable de ne désigner les pieux d'essai qu'après leur exécution en les choisissant si possible parmi les pieux les plus chargés ou parmi les pieux qui sont situés dans les zones présentant les moins bonnes caractéristiques géotechniques.

Les essais de contrôle de portance ont pour objet de vérifier que la charge nominale des pieux est conforme à celle fixée à partir de l'étude géotechnique.

De même que les essais préliminaires, les essais de contrôle de portance consistent à éprouver les pieux en leur appliquant des efforts de même nature que ceux qui seront transmis par l'ouvrage : chargement vertical, arrachement, sollicitations horizontales...

VI / Les autres types de fondations profondes :

1) Les micropieux :

Ce sont des pieux forés tubés ou non, avec ou sans armatures, diamètre inférieur à 250 mm. Le forage est rempli d'un mortier ou d'un coulis de scellement selon le type de micropieux.

2) Les colonnes ballastées :

Les colonnes ballastées sont constituées par des fûts de matériaux d'apport mis en place et compacté dans le sol à l'aide d'un vibreur radial placé à la pointe d'un tube qui lui sert de support. Elles permettent d'obtenir une amélioration en place des caractéristiques globales du sol d'assise ; elles reportent les charges à travers une couche du sol de qualité médiocre sur une couche sous-jacente plus résistante. Elles fonctionnent également comme des drains, par accélération du processus naturel de consolidation. Exemple : les citernes de carburant et d'huiles au port de Zarzis, diamètre compris entre 0.6 et 1.2 m.

3) Les picots :

Ce sont des petits pieux en diamètre et en longueur ; ils sont surtout utilisés pour améliorer les caractéristiques d'un certain volume de sol sous des fondations superficielles ou similaires. Dans certains cas, ils sont utilisés comme des petits pieux en béton comportant des armatures d'attente piquées dans le béton frais.

Ils sont réalisés en place par battage ou vibration à l'aide d'un tube métallique tronconique appelé mandrin. Ils ont un diamètre moyen de 15 à 40 cm et une longueur de l'ordre de 2 à 6 m

Le matériel d'apport est mis en place dans l'empreinte immédiatement après l'enlèvement du mandrin qui est fermé à la base.

4) les fondations spéciales :

a) Les parois moulées :

C'est un mur réalisé dans une tranchée forée à la boue, dont la fonction est de maintenir les parois de l'excavation. Le forage est exécuté à l'aide d'une benne preneuse. L'ouvrage est coulé en place après descente d'une cage d'armature dans la tranchée, ou préfabriqué.

Quand la paroi excède une certaine longueur, on divise la paroi à réaliser en panneaux de 2.5 à 6 m, que l'on réalise soit alternativement, soit à la suite l'un de l'autre. Le bétonnage d'un panneau doit se faire en une seule fois avec des tubes plongeurs. La partie supérieure de béton en contact avec la boue doit être recépé.

b) Fondations par caissons :

Ce système consiste à préfabriquer les fondations d'un ouvrage, et à les introduire ensuite dans le sol. Les fondations servent ainsi à la stabilité de l'ouvrage et au blindage de la fouille durant l'excavation. On emploie ce système pour les travaux en rivières ou dans de très mauvais terrains. Le caisson constituant les fondations peut être une simple enceinte ou une sorte de caisse sans fond sous air comprimé, compensant les pressions extérieures.

-Pieux coulé en place, à tube battu

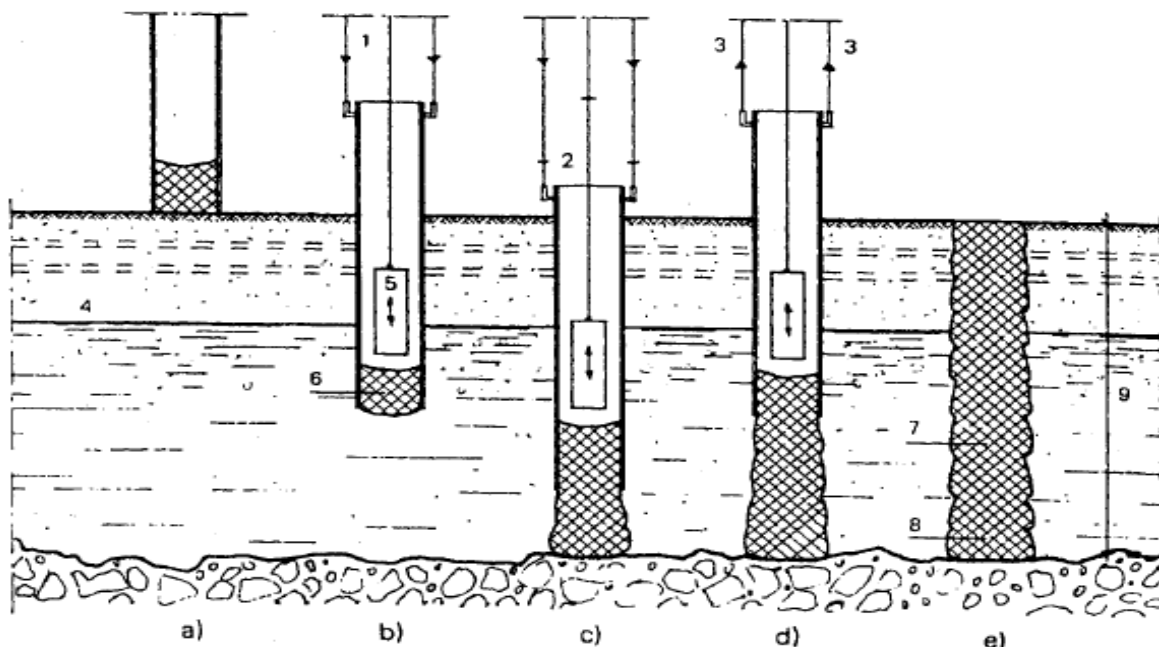
Un tube métallique épais, indéformable, obturé à sa base, est battu jusqu'au refus et ensuite rempli de béton ; il peut être retiré ou perdu. L'obturation de la base du tube est obtenue, selon le système, par un sabot, une simple plaque métallique ; un bouchon en béton.

Lorsque le battage du tube s'effectue dans terrain aquifère ; il faut que l'obturation de base empêche l'introduction d'eau dans le tube.

*Tubes récupérables

Ce système est intéressant lorsque la zone à traverser comporte des parties dures. Il y a augmentation du frottement latéral par pilonnage du béton de remplissage.

Il ne faut pas pratiquer ce procédé lorsque le sol à traverser est pratiquement incompressible, du fait du danger de rupture des pieux voisins. Comme pour tout système battu, il y a des risques d'ébranlement. Le temps d'attente avant la mise en charge est d'environ de deux semaines ; l'avancement est moins rapide que pour les pieux préfabriqués.



Processus d'exécution d'un pieu Franki.

Le système utilise un tube de forage qui est obturé à sa partie inférieure par un bouchon de béton armé durci.

Le fonçage du tube se fait en pilonnant le bouchon de béton avec un mouton.

Le tube enfoncé est maintenu immobile par des câbles de relevage et le bouchon est défoncé.

Le tube est rempli de béton; sous l'effet du pilonnage, le pied du pieu s'évase en forme de bulbe.

Le tube est progressivement retiré tout en poursuivant le damage.

Il y a possibilité de placer une armature.

Le procédé trouve un bon domaine d'application pour des pieux flottants ou également pour des pieux résistants à la traction, compte tenu de l'adhérence entre pieu et terrain. Diamètres de 40 à 50 cm; longueurs de 15 à 30 m.

a) Préparation.

b) Battage.

c) Bétonnage.

d) Relevage.

e) Pieu terminé.

1. Câble du mouton.

2. Repères sur câble.

3. Câbles de relevage du tube.

4. Niveau de la nappe.

5. Mouton dameur, 2,5 t.

6. Bouchon de béton comprimé, étanche.

7. Fût.

8. Bulbe.

9. Hauteur max. 30 m.

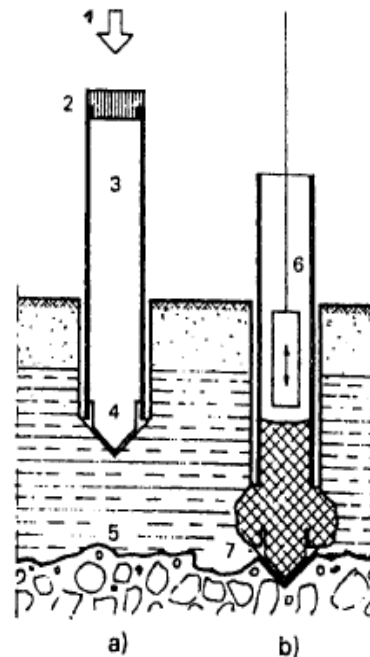
*Tubes perdus

Dans certains terrains inconsistants (vases, argiles molles), le frettage du terrain est insuffisant avec le risque d'une dispersion latérale anarchique du béton. Le danger de discontinuité du bétonnage est éliminé par un tubage métallique permanent. Cette gaine mince généralement en tôle ondulée appelée chemisage

Processus d'exécution d'un pieu Simplex.
Ce système ressemble au système Franki.
L'enfoncement est réalisé par battage du tube dont l'extrémité comporte un sabot en fonte (perdu) d'un diamètre légèrement supérieur à celui du tube.
Le tassement du béton est exécuté par pilonnage à l'aide d'un mouton.
La longueur de ces pieux est limitée à 20 m.

- a) Battage.
- b) Bétonnage, damage, relevage du tube.

- 1. Mouton.
- 2. Casque de battage.
- 3. Tube battu.
- 4. Pointe amovible facilitant l'enfoncement.
- 5. Bon terrain.
- 6. Damage énergétique du béton.
- 7. Perte du sabot.



-Pieux forés

La caractéristique principale de mise en œuvre du pieu foré est que le terrain est extrait ; le sol est creusé tant que la couche apte à supporter l'ouvrage n'est pas rencontrée. Le forage du trou est indépendant du bétonnage. L'avantage principal réside dans le fait que chaque pieu est en lui même un sondage de reconnaissance du terrain. L'examen des déblais extrait permet de repérer avec exactitude la future couche d'assise.

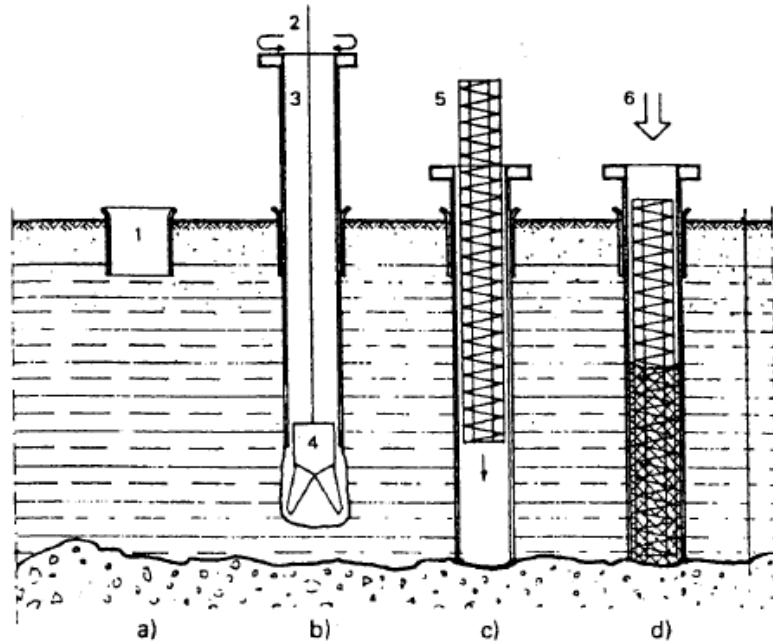
La longueur des pieux forés est plus importante que celle des pieux vers des couches de capacité portante élevée, situé en profondeur. Les engins actuels permettent de forer des pieux jusqu'à 1.60 m de diamètre et de 50 m et plus de profondeur. Il n'y a pas de risque d'débranlement du sol ou des constructions voisines. Les pieux forés ont l'avantage d'être réalisés assez rapidement mais il exige une exécution minutieuse.

*Foré simple

Ce procédé ; qui n'utilise pas de soutènement des parois, ne s'applique que dans les sols suffisamment cohérents situés au-dessus des nappes phréatiques. Cette méthode est irréalisable si la longueur des pieux exige la traversée ou l'approche d'une couche traversée par de l'eau.

*Foré tubé

Le forage est exécuté sous protection d'un tube enfoncé jusqu'à la profondeur finale par vibration. Simultanément, le terrain intérieur est extrait au moyen d'un outil creusement et de curage tel que trépan curette à clapet, hammerless (benne frappeuse).



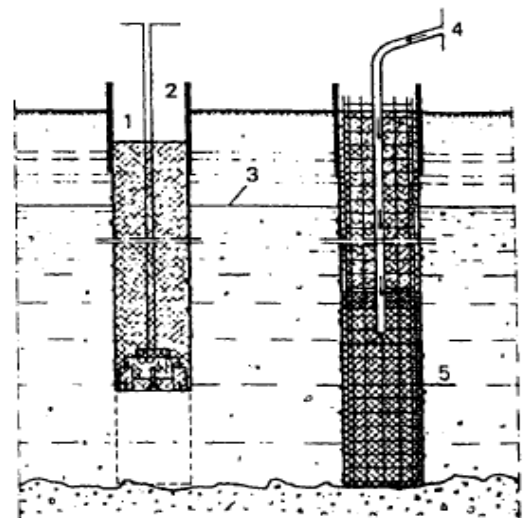
Processus d'exécution de pieux forés tubés.
Chaque exécution de pieu constitue un véritable sondage.

- a) Préparation.
- b) Havage du tube.
- c) Pose de l'armature.
- d) Bétonnage, pervibra

- 1. Tube de guidage.
- 2. Mouvement alternatif de rotation.

*Foré à la boue thixotropie

Dans des terrains instables, il arrive que la masse extraite soit supérieure au volume du tube, entraînant une décompression du sol au voisinage du forage. Pour éliminer ce grave inconvénient, on utilise de plus en plus le forage à la boue. En cours de creusement, le trou est rempli en permanence d'une boue thixotropique (bentonite) dont le rôle est de soutenir les parois de forage. L'excavation est réalisée à l'aide d'un grappin spécial forme ronde. Encas de présence de nappe phréatique, l'eau est déplacée par la bentonite.



Processus d'exécution d'un pieu foré non tubé, avec boue thixotropique (bentonite) de soutènement des parois.
Sections circulaires de 90 à 300 cm; également sections carrées, rectangulaires, cruciformes; longueur jusqu'à 80 m.

- 1. Boue thixotropique (bentonite).
- 2. Tube-guide ou muret de guidage.
- 3. Nappe phréatique.
- 4. Béton introduit par tube-plongeur.
- 5. Béton pollué.

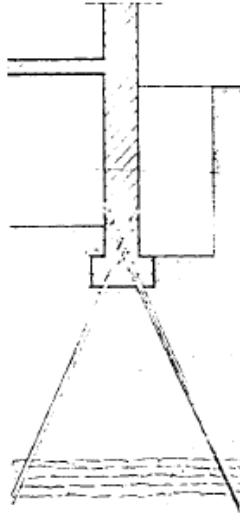
-Pieux foncés

Ce type de pieu est utilisé dans des cas particuliers tel que reprise en sous œuvre ou renforcement de fondations existantes.

Le sol n'est pas excavé mais déplacé et le fonçage se fait à l'aide d'un vérin hydraulique. Le pieu est constitué d'éléments préfabriqués circulaires en béton ou en métal ; poussés dans le sol par étapes successives. La mise en œuvre ne provoque ni bruit ni vibration.

-Micro-pieux

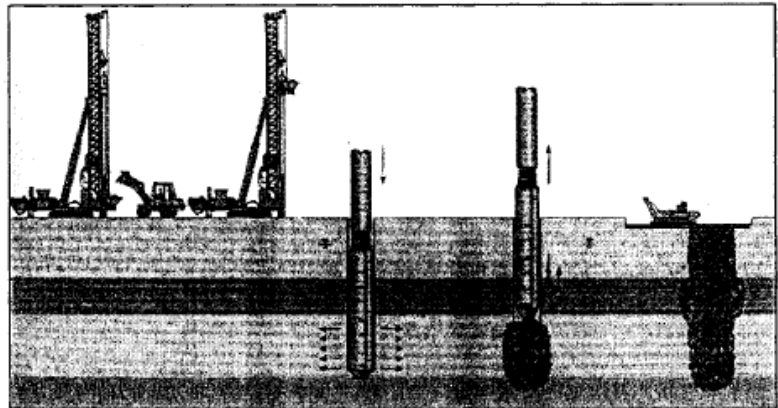
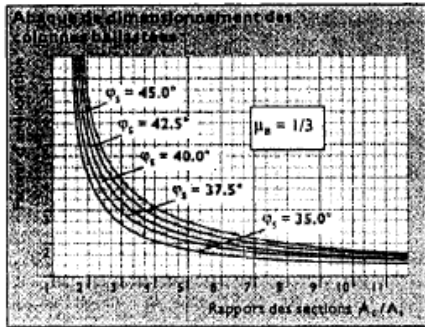
Il s'agit de pieux de petit diamètre (5 à 25 cm) ; armés et travaillent uniquement au frottement latéral. Ces pieux exceptionnellement élancés ; travaillent en compression et peuvent également travailler en traction comme les tirants d'ancrage



Micropieux forés.

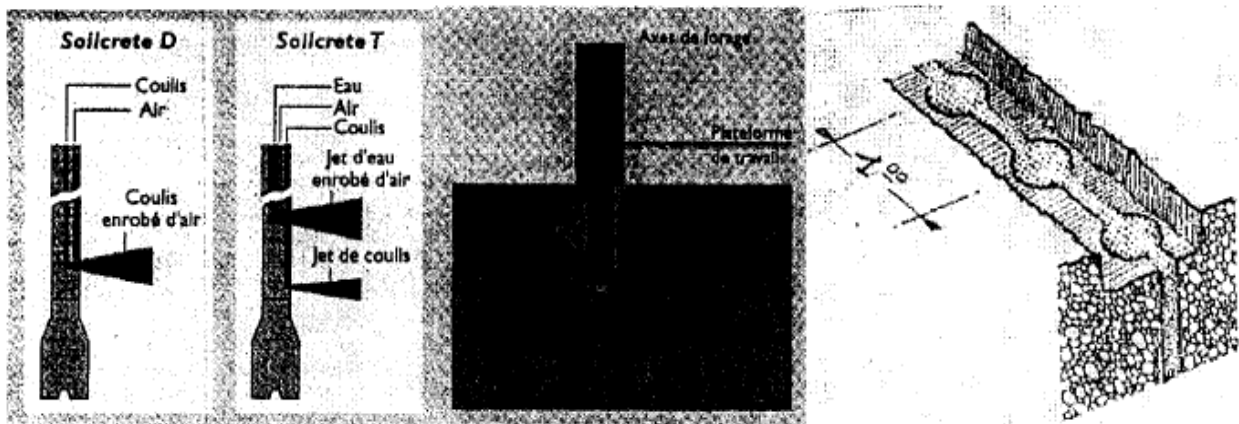
KELLER

Colonnes ballastées - Colonnes ballastées semi-injectées - Colonnes ballastées injectées.
Colonnes chaux-ciment.(voie sèches).

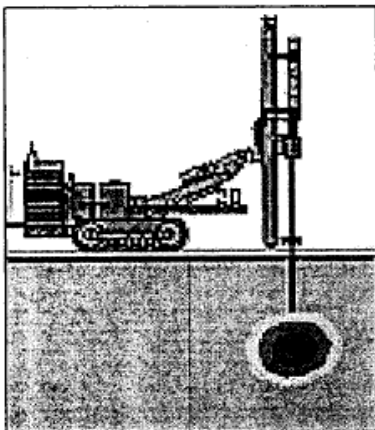


SOILCRETE : Jet grouting

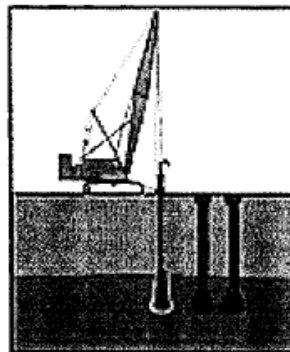
Voile mince



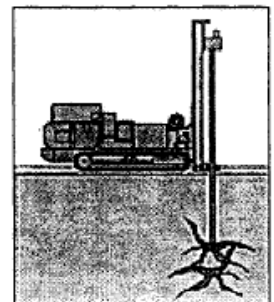
Compaction Horizontal Statique (CHS)



ELITERRE



SOILFRAC



KELLER FONDATIONS SPECIALES