

Université Denis SASSOU NGUESSO

**INSTITUT SUPERIEURE DE L'ARCHITECTURE, URBANISME,
BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS**

ISAUBTP

Parcours BTP

Cours de technologie

Niveau BTP 1

-

***Par :
Narcisse MALANDA
Maitre de Conférences***

PROGRAMME	
Intitulé	Technologie
Code	LBTP1224
Crédits	2
VHT	30
Objectif	Expliquer aux étudiants les concepts de corps d'état (éléments constitutifs) d'un bâtiment et d'un ouvrage de travaux publics.
Contenu	Concepts de corps d'état ou éléments constitutifs d'un bâtiment et d'un ouvrage de travaux publics, Gros œuvre (Terrassements généraux, Fondations, Dalles du sol, Maçonneries, Structures portantes, Dalles planchers et dalles toitures, Couverture, Etanchéité et Isolation), Second œuvre (Enduits, Menuiseries, Revêtements sols et murs, Ferronnerie, Faux plafonds et faux planchers, Décorations intérieures et extérieures, Plomberie sanitaire et circuit RIA, Electricité et climatisation, Peinture), Voiries et réseaux divers (VRD), Ouvrages de gestion des eaux usées (individuels et collectifs), Cours, Jardins, Mur de clôture.
Compétence	Appliquer les techniques et technologies de mise en œuvre des ouvrages.
Éléments de compétence	Expliquer les concepts fondamentaux des corps d'état ou éléments constitutifs d'un bâtiment et d'un ouvrage de travaux publics, Décrire le gros œuvre (Terrassements généraux, Fondations, Dalles du sol, Maçonneries, Structures portantes, Dalles planchers et dalles toitures, Couverture, Etanchéité et Isolation), le second œuvre (Enduits, Menuiseries, Revêtements sols et murs, Ferronnerie, Faux plafonds et faux planchers, Décorations intérieures et extérieures, Plomberie sanitaire et circuit RIA, Electricité et climatisation, Peinture), les voiries et réseaux divers (VRD), Décrire les ouvrages de gestion des eaux usées (individuels et collectifs), Cours, Jardins, Mur de clôture.
TD TP	Exercices d'application. Travail en atelier et Visites de terrain.
Orientation bibliographique	Constructeur bâtiment. Technologie (tome 2) ; RENAUD Henri ; Ed. Foucher ; 1984 La technologie du bâtiment Tome 1 : Le gros œuvre ; NOVERRAZ Maurice ; Ed. Eyrolles ; 1992 La technologie du bâtiment Tome 2 : Le second œuvre ; NOVERRAZ Maurice ; Ed. Eyrolles ; 1992 [Karsenty, 2005] Gérard Karsenty La fabrication du bâtiment – Le Gros Œuvre <i>Editions Eyrolles</i> [Destrac, Lefèvre, Maldent&Villa] Memothech Génie civil

INTRODUCTION

I-1. Objectifs du cours

Ce cours de Technologie I, appelé à intégrer les connaissances scientifiques et techniques fournies par les autres disciplines inhérentes comme la « Résistance de matériaux », les « Matériaux de construction », la « Géotechnique », etc... se propose comme objectifs :

- de donner des informations capables d'aider le futur " Technicien " à composer un chantier type en vue de la réalisation d'une œuvre de génie civil ;
- d'aider le futur technicien à choisir les procédés et/ou techniques et le matériel adapté à la réalisation de l'œuvre sus-citée ;
- d'aider le futur technicien du domaine à définir les conditions optimales d'utilisation des ressources disponibles.

Parmi les grands domaines d'utilisation, on a pour les bâtiments et les travaux publics :

- les immeubles résidentiels ;
- les immeubles à usage commercial ;
- les ateliers industriels ;
- les infrastructures sociales (hôpitaux, écoles...)
- les ouvrages d'art (pont, barrages...)

I-2. Quelques définitions

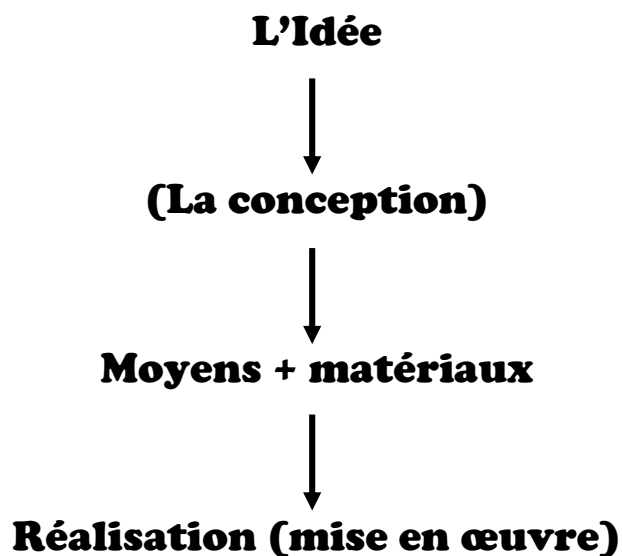
La technologie (de construction) peut donc se comprendre comme l'étude des techniques, des outils, des procédés, ou des méthodes nécessaires à mettre en œuvre pour la réalisation d'une œuvre de génie civil :

⇒ Selon *Le Robert*, construire veut dire : « Bâtir suivant un plan déterminé avec des matériaux divers » ;

⇒ Règles de l'Art : « La manière réglée, correcte de procéder... »

Ces « Règles de l'Art », autrefois transmises oralement sont maintenant écrites sous forme de textes codifiés appelés « Normes NF », « Documents Techniques Unifiés (DTU) » etc..

La réalisation d'un projet de construction dépend fondamentalement du schéma suivant :



Somme toute, un ouvrage doit être :

- bien conçu et bien calculé ;
- correctement exécuté avec de bons matériaux régulièrement contrôlés ;
- normalement et correctement entretenu.

Ces conditions essentielles correspondent fondamentalement aux critères de « qualité et de durabilité exigée ».

CHAPITRE I : LES TERRASSEMENTS

I-1. Généralités

⇒ Les terrassements correspondent à des travaux qui modifient le relief du terrain, à savoir :

- en abaissant le niveau du terrain, par **enlèvement des terres** : il s'agit de terrassements en déblai ;
- en relevant le niveau du terrain, par **apport de terres** : ce sont des terrassements en remblai (voir figure 3.1)

⇒ Les mouvements de terre correspondent à des travaux de terrassements exécutés sur de grandes superficies, en **remblai** ou en **déblai**.

Si la qualité des sols s'y prête, la réalisation des plates-formes prend en compte la compensation nécessaire entre déblai et remblai. A défaut, il faut prévoir l'évacuation des terres excédentaires et l'apport de remblai complémentaire.

⇒ Le décapage d'un terrain correspond à un terrassement de faible profondeur, comparativement à la surface traitée. Le décapage est de l'ordre de 0,20 à 0,30 m d'épaisseur environ.

Avant tous travaux de terrassement, un décapage de la terre végétale est effectué sur l'emprise des bâtiments ou des voiries. Ceci pour les raisons suivantes :

- éliminer toute trace de végétaux ou de déchets organiques ;
- éviter que, sur un terrain en pente, la couche de terre végétale ne constitue un plan de glissement ;
- permettre, le stockage de ces terres et leur réemploi sur les zones traitées en espaces verts.

I-2. Les fouilles

Les fouilles correspondent à des travaux de terrassement de profondeur plus ou moins grande (voir figure).

Elles peuvent être réalisées :

- en pleine masse, afin d'atteindre le niveau le plus bas de la construction, quelle que soit sa profondeur par rapport au niveau du terrain naturel ;
- en excavation superficielle ;
- en rigole au droit des fondations superficielles ;
- en tranchées, pour la réalisation des fondations linéaires profondes ou pour la pose de canalisations ;
- en puits lorsque la surface est faible par rapport à la hauteur.

I-3. Définitions

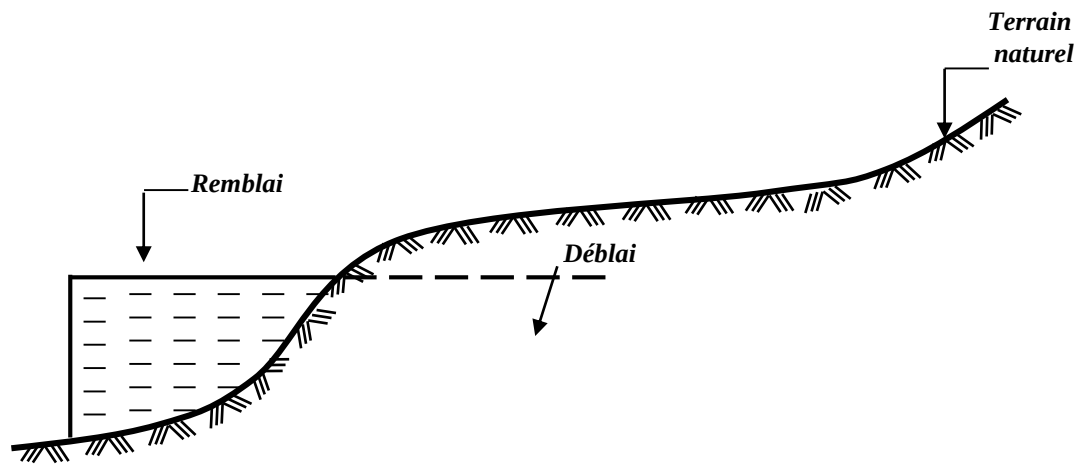
* On appelle terrassement tout mouvement de terres en remblai ou en déblai en vue de modifier le relief d'un terrain. Il faut distinguer :

1°/ Les déblais

Ils constituent à enlever de la terre (C'est l'extraction de terre).

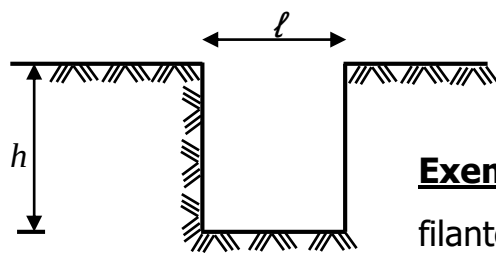
2°/ Les remblais

C'est l'apport de terre nécessaire en vue de rattraper le niveau naturel. Les terres déblayées en quantité importante peuvent être mises en dépôt (lieu de stockage) pour être utilisées ultérieurement dans les remblais.



* **Fouilles** : On appelle fouille, un déblai plus ou moins important. On les distingue selon leur importance.

- Les rigoles (fouilles en rigoles)



$$h < 1,00 \text{ m}$$

$$\ell < 2,00 \text{ m}$$

Exemple : Canalisations ou fondations de semelles filantes peu profondes.

- Les branches (fouilles en tranchées)

$$h < 2,00 \text{ m}$$

$$\ell < 1,00 \text{ m}$$

Exemple : Egoût et fondations profondes.

- Les excavations fouilles en grandes masses :

Elles constituent à déblayer dans une grande étendue de terres.

Exemple : Fouilles pour radin général

- Puits (Fouilles en puits) :

Ce sont des fouilles dont la profondeur, dépasse l'orifice.

- Fouilles en déblais : qui visent à abaisser le niveau des terres sur-élevées par rapport au terrain environnant afin de niveler.

I-4. Travaux de terrassement

1°/ Implantation du terrassement

- Nivellement préalable du terrain (repères d'attitude ou côtes de niveau)
- Implantation des fouilles

2°/ Blindage des fouilles

Dès que l'on a affaire à des fouilles importantes ou exécutées en terrain instable, il convient de les blinder (On n'y reviendra).

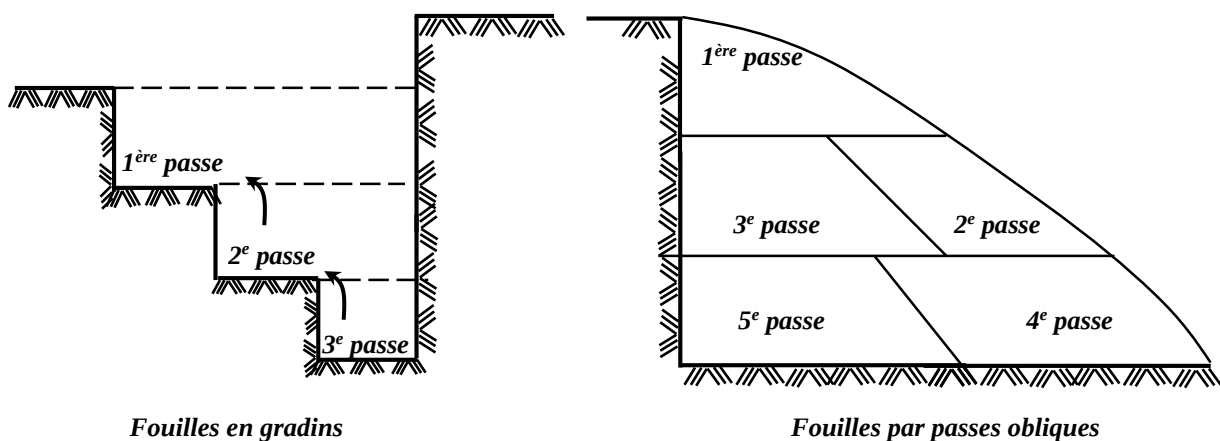
3°/ Procédés de terrassement :

Les fouilles peuvent être exécutées soit manuellement, soit mécaniquement.

- Dans le premier cas, on utilise les outils tels que les bêches, les pelles, la pioche, etc.
- Dans le 2^e cas, on fait appel à des engins mécaniques (pelles hydrauliques, scrapes, etc.) – Fournir l'état de besoin pour un terrassement quelconque.

*** Exécution des fouilles manuelles :**

Elle se fait pour des travaux peu importants ou spéciaux, l'enlèvement des déblais se fait à la brouette (rayon d'un transport 30 m).



On commence par ameubler la terre avec la pioche et le pic, ensuite on retire à la pelle.

L'évacuation des déblais se fait généralement par jet *de pelles sur banquettes* (c'est à dire d'un étage à l'autre).

*** Exécution des fouilles mécaniques :**

On distingue plusieurs types d'engins dont la fonction peut être de :

- creuser pour effectuer le déblai (pelles hydrauliques ou mécanique...)
- charger le déblai (charger la terre) → (chargeur, pelles...)
- décaper, plus ou moins profondément → (scrapers ou décapeurs...)
- niveler (mettre au même niveau) → (niveleuses...)
- compacteurs à pneus pour remblai

4°/ Problèmes particuliers de terrassements :

*** Déblais rocheux ou déroctage**

Il s'agit d'exécuter des travaux de terrassement dans la roche avec ou sans explosif.

- **Soins explosif** : On digne un certain nombre de trous dans lesquels on enfonce à force un coin métallique
- **Avec explosif** : On exécute des trous de mines, on fait ensuite sauter la roche par pans (parties) successifs.

*** Terrassements en présence d'eau**

La provenance de l'eau peut être pluviale (eau de ruissellement) ou souterraine (nappes aquifères)

- Eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement engendrent des surfaces de rupture qui sont dues à l'érosion.

Pour cela, il faut dévier ces eaux de l'emprise du terrassement par :

- Cavaliers de terres qui écartent et détournent l'eau de ruissellement
- Rigoles imperméables qui recueillent et canalisent l'eau, loin des fouilles
- Pose des buses jointives (évacuation des eaux)
- Eviter la stagnation des eaux par la confection des points bas
- Protection des parois de fouilles contre la dégradation par projection de mortier ou pose de bâche plastique

- **Eaux souterraines**

Les eaux souterraines sont évacuées de fouilles par les procédés suivants :

- épanouissement direct par pompe
- rabattement de la nappe
- confection des parois étanches par colmatage

5°/ Foisonnement des terres

Les foisonnement est l'augmentation de volume de terres dû à l'extraction c'est-à-dire les terres remuées (déblais ou remblais) augmentent, du fait de l'ameublissement, de volume par rapport à celui de l'excavation.

Cette augmentation est variable suivant la nature des matériaux et elle diminue dans le temps.

Nature des terrains	Coefficient de foisonnement
Terre végétale,	1,10
gravier, sable,	1,15 à 1,20
argile, glaise,	1,20 à 1,25
marne, schiste	1,25 à 1,30
Terre marneuse et argile assez compacte	1,50
Roc	1,60 à 1,65
Terre marneuse	1,70
Terre compacte et très dure	

6°/ Constitution d'un remblai

- Préparation du terrain d'assise
- Choix des déblais constituants
 - Une couche inférieure
 - Un corps du remblai
 - Les couches supérieures qui donnent la forme du profil de la plate-forme
- Observe les règles suivantes :
 - Accélérer le terrassement
 - Accroître la stabilité

Protéger le talus du remblai contre toute cause de dégradation (intempéries, eaux de ruissellement et d'infiltration, surcharges éventuelles...).

- Remblaiement

On exécute les remblais par superposition de couches de 0,20 à 0,40 m d'épaisseur, données et serrées de sorte à réduire au maximum le foisonnement du matériau rapporté.

La pente du talus du remblai doit être inférieure à l'angle de glissement ou angle de talus naturel des terres (α).

$\alpha = 65^\circ$ glaise, argile compacte et sèche $\alpha = 20^\circ$ sable pur et sec, argile mouillée
 $\alpha = 30$ à 50° terre végétale

- Drainage

Le remblai doit être drainé à l'aide de drains placés à l'intérieur du remblai.

7°/ Blindage et étaieement

* But du blindage

Le blindage est l'opération qui consiste à soutenir les parois d'une fouille contre tout éboulement d terres.

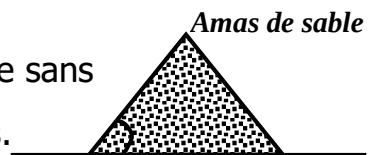
Les buts essentiels du blindage sont :

- éviter que la terre ne retombe sur la partie terrassée
- permettre le travail des terrassiers en fond de fouilles, en toute sécurité
- éviter que la terre ne retombe sur les ouvriers qui travaillent en fond de fouilles

* Pourquoi blinder (facteurs déterminant la nécessité de blinder)

▪ Rappels :

- Une paroi de terre peut tenir sur une certaine hauteur (h_c) sans qu'il y ait nécessité de blinder c'est la hauteur critique h_c
- L'angle est l'angle maximal que peut prendre la terre sans s'accrocher : c'est l'angle du talus naturel des terres.
- quand on a une bonne cohésion $\rightarrow \alpha$ est proche de 90°
- Mauvaise cohésion $\rightarrow \alpha$ faible (ex sable)



Donc, plus α sera petit, plus la terre nécessitera le blindage.

Ainsi le choix du blindage dépend :

- de la nature du terrain (consistant ou ébouleux)
- des dimensions de la fouille (largeur, profondeur)
- de la présence du matériel lourd en bord d'excavation
- de la présence éventuelle de nappes d'eau
- de la méthode de terrassement : manuel ou mécanique.

7°/ Constitution d'un blindage

Un blindage traditionnel comprend :

- des planches (madriers ou bastings) appliquées contre la paroi de la fouille et qui en constituent le blindage proprement dit
- des éléments de répartition, chargés de concentrer les efforts au droit des étais
- des étais pour soutenir la paroi
- des pièces accessoires, mais indispensables : pièces de liaisonnement, de raccordement et de jointoiement.

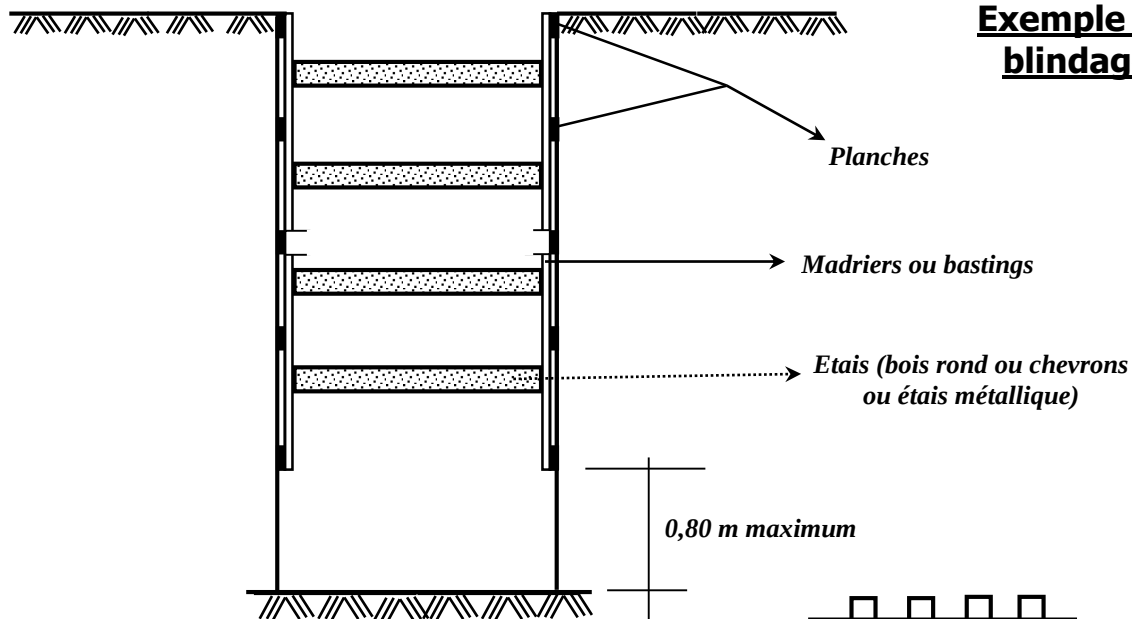
* Fouilles exécutées manuellement

▪ En terrain consistant

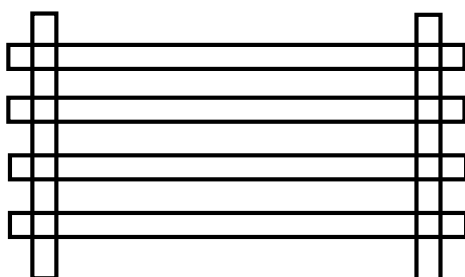
Les planches placées contre le sol ne sont pas jointives, car le terrain étant consistant, il ne passera pas entre les planches.

(SCHEMA X)

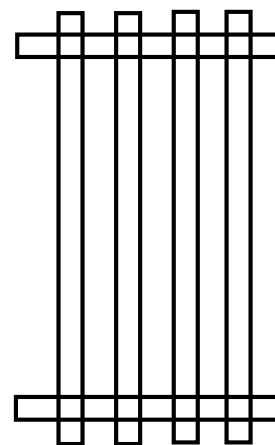
Exemple de blindage



(SCHEMA Y)



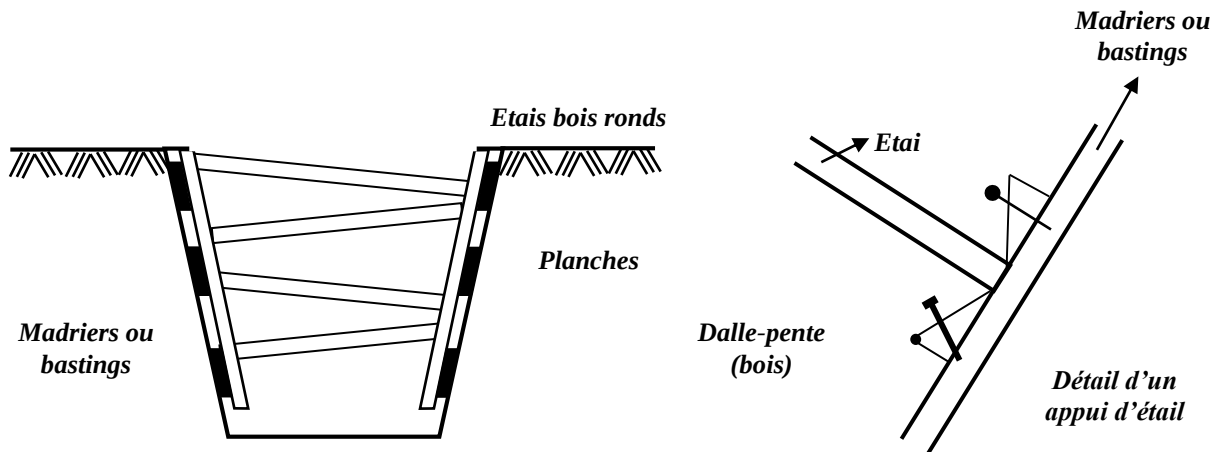
Planches horizontales non jointives



Planches verticales non jointives

Ce type de blindage simple est utilisé pour des tranchées manuelles étroites (largeur 1,80 m) et peu profonds (hauteur 1,80 m).

Les étais prennent appui sur la paroi opposée.



- Dans le cas où ($l < 3,00$) : on peut disposer des étais prenant appui sur les parois opposées, quittes à les multiplier.
- Si la largeur dépasse 3,00 m mais n'excède pas 15,00 m, on peut toujours prendre appui sur les parois opposées, mais on utilisera alors des véritables fermes en bois pour réaliser l'étalement (on les dispose car les planches risquent de flambées).

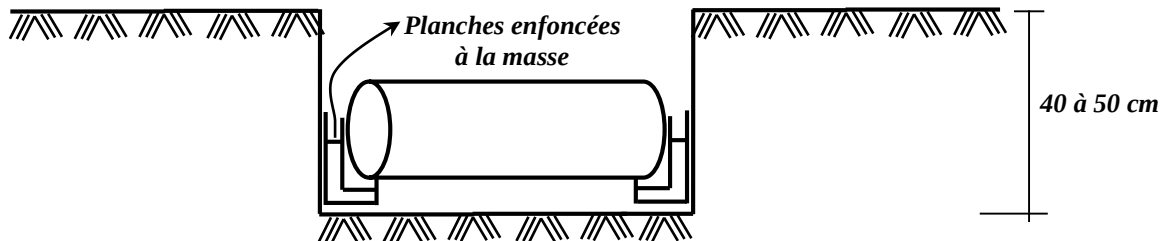
Pour des fouilles très large ($l < 15,00$ m), on ne peut plus s'appuyer sur les parois opposées. On dispose alors d'une batterie d'étais prenant appui en fond de fouille, soit sur une contre-fouille, soit sur une semelle ancrée dans le sol.

▪ **En terrain ébouleux**

- Pour les fouilles en terrain ébouleux, les principes adoptés en terrain consistant restent valables à condition de prendre les planches appliquées contre les parois jointives.
On supprime donc le jour entre les planches, de façon à éviter un éboulement par plaques à ce niveau.
Toutefois, ceci ne pourra s'appliquer qu'à des fouilles de faible profondeur car la hauteur critique d'un terrain ébouleux est faible.
- Dans le cas des fouilles, profondes en terrain ébouleux, il faut pouvoir blinder à l'avancement en profondeur de la fouille, de façon à protéger les ouvriers au fur et à mesure du creusement.

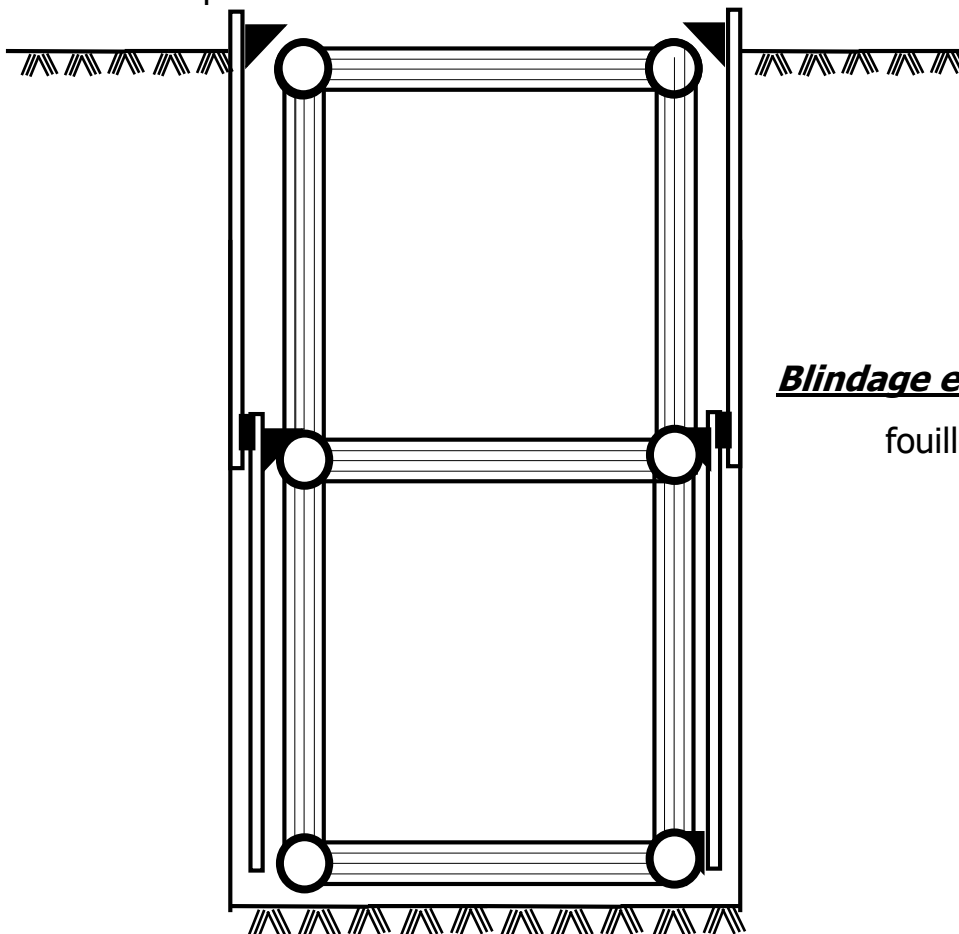
On utilise le système suivant :

- On creuse environ 40 à 50 cm et on dispose le premier jeu de boulins.



Démarrage du blindage

- On glisse derrière les planches, et on les enfonce à la masse
- On creuse jusqu'en bas de la planche
- On dispose le 2^e jeu de boulins
- On enfonce la 2^e série de planches
- On poursuit le creusement et ainsi de suite...



Blindage en sol ébouleux :

fouille profonde

8°/ Fouilles exécutées mécaniquement

Dans ce cas, les procédés décrits pour les fouilles manuelles ne sont plus utilisables puisque l'engin donne sa profondeur définitive à la fouille.

Il serait dangereux d'y faire descendre des ouvriers pour l'exécution du blindage.

On cherche donc à réaliser le blindage, tout au moins sur une certaine longueur depuis le haut de la fouille.

On utilise les procédés suivants :

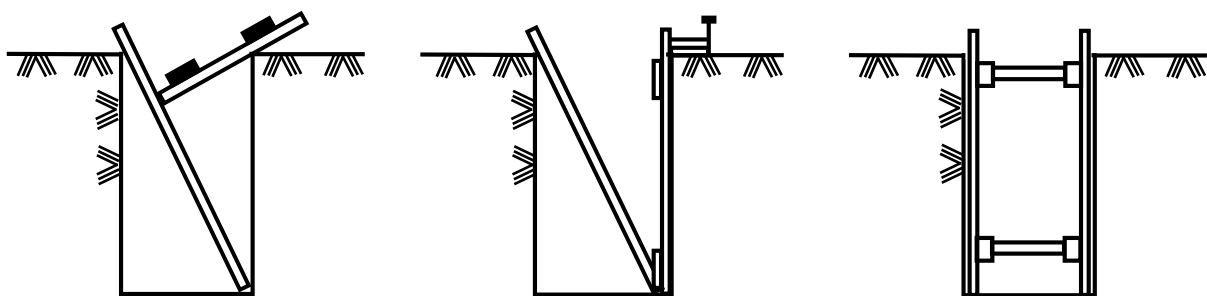
- Procédés Quillery
- Procédés des cadres de montages

8-1 Procédés Quillery

Il consiste à préfabriquer au sol des panneaux, planches jointives ou non maintenues par des madriers.

Les panneaux sont descendus dans la fouille en glissant sur des perches, puis maintenues en tête par des cadrages, en pieds par les perches.

L'ouvrier peut alors descendre sans risque disposer les étais puis, à l'abri du premier blindage, continuer la mise en place des autres panneaux.



1°/ Descente du 1^{er} panneau 2°/ Panneau bloqué contre la paroi 3°/ Premier jus de panneau éayé

Blindage pour fouille mécanique (Procédé Quillery)

8-2 Procédés des cadres de montages

MODE D'EXÉCUTION DES FOUILLES

1. Généralités

L'emprise du terrassement est déterminée en tenant compte d'une surlargeur de travail en fond de fouille et du talutage, sous réserve de disposer de la surface libre nécessaire pour l'exécution de l'excavation talutée (fig. 1.1).

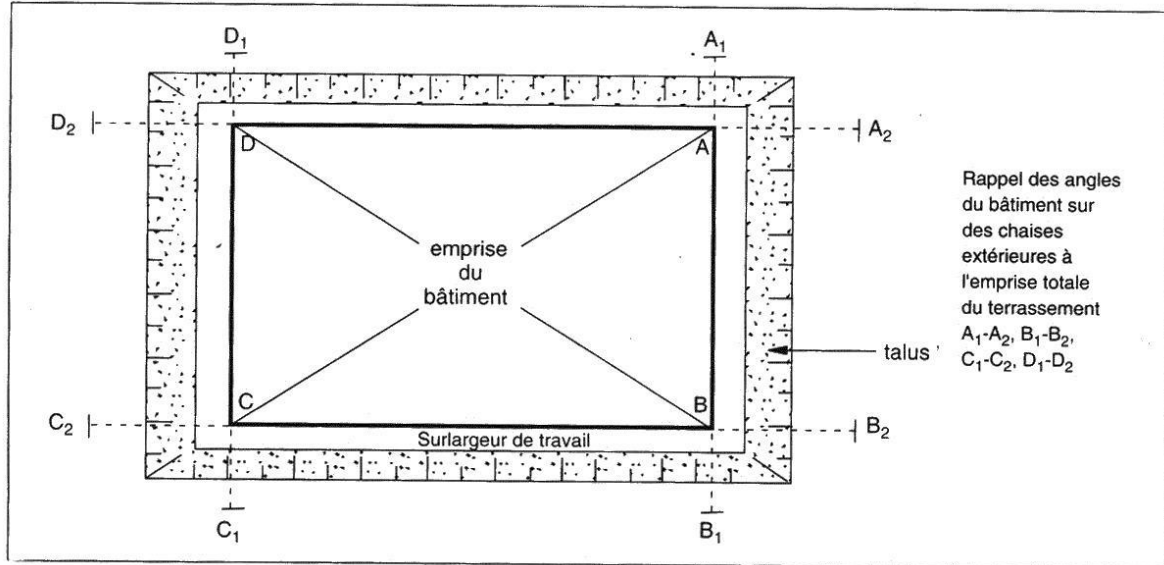


Fig. 1. : Emprise du terrassement

Le talus est établi en fonction de la profondeur de la fouille et des caractéristiques du sol. Il est défini par le rapport largeur/hauteur, en déblai comme en remblai (fig. 3.5).

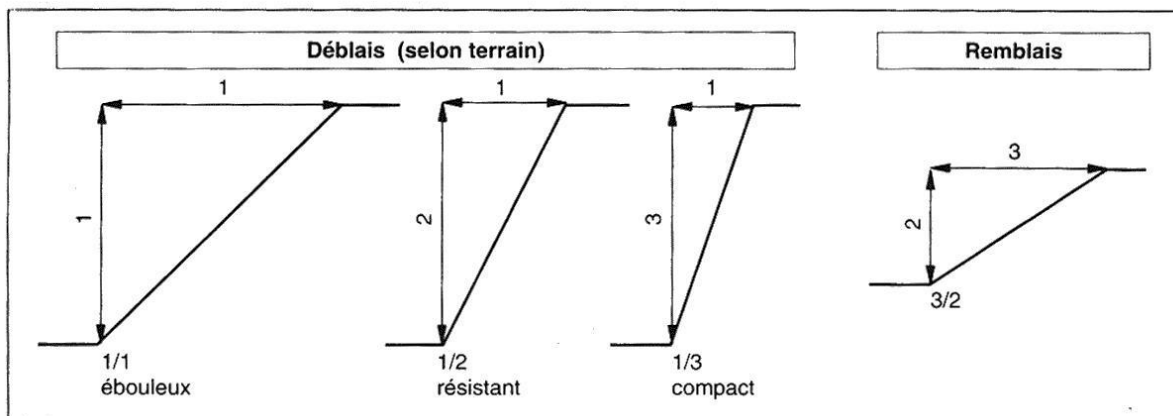


Fig. 3.5. : Talutage

Lors de la réalisation de travaux de terrassement à proximité d'une construction existante, afin de ne pas la mettre en péril, des précautions doivent être prises telles que l'étalement, la reprise en sous-œuvre des fondations et le terrassement par petites parties.

Lors de l'étude de mouvements de terre, les cubatures* sont affectées d'un **coefficient de foisonnement*** suivant la qualité des terrains (tab. 3.2) :

Nature des sols	Masse volumique kg/m ³	Coefficient de foisonnement	
		Provisoire (%)	Permanent (%)
Terre végétale compacte	1700	1,20	1,05
Argile sèche	1600	1,50	1,15
Argile humide	1 200 à 1 800	1,25	1,08
Marne sèche	1 500	1,50	1,08
Sable fin sec	1400	1,10	1,03
Sable fin humide	1600	1,20	1,04
Gravier humide	2000	1,25	1,04
Cailloux	1600	1,50	1,15
Roches diverses	2000 à 2 500	1,50	1,15

Tab. 3.2 : Coefficient de foisonnement

- coefficient de foisonnement provisoire, en cours de travaux, pour le transport des terres;
- coefficient de foisonnement permanent, pour les remblais, après compactage soigné.

Les fouilles exécutées pour des fondations doivent avoir un fond parfaitement dressé horizontalement, sans interposition de sol remanié.

Sur un terrain en pente, elles peuvent présenter plusieurs plans successifs formant des **fouilles enredans** (fig. 3.6). Dans les terrains particulièrement sensibles à l'action de l'air ou de l'eau (marnes, argiles), le bétonnage est effectué dans les plus brefs délais après l'ouverture des fouilles.

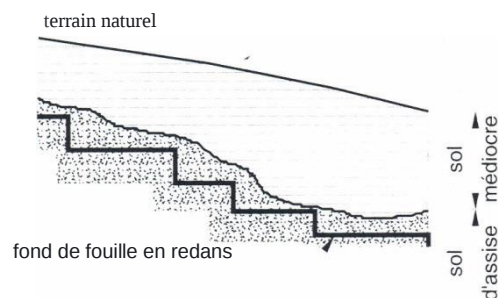


Fig. 3.6. : Fondation en redans

1.1. Blindage des fouilles

Lorsque la superficie du terrain correspond sensiblement à la surface de l'ouvrage à réaliser (site urbain), il faut procéder à une excavation à parois verticales, ce qui impose un **étalement** ou un **blindage** de la fouille.

Il en est de même pour les fouilles de grande profondeur, en pleine masse ou en tranchée, pour lesquelles le talutage présenterait un emprise trop

importante.

Le blindage est défini en fonction du type d'excavation à réaliser et des caractéristiques des différentes couches de sol.

4.2.1. Fouille en tranchée de profondeur supérieure à 1,50 m

Le blindage est effectué à l'aide de l'un des systèmes suivants (fig. 3.7) :

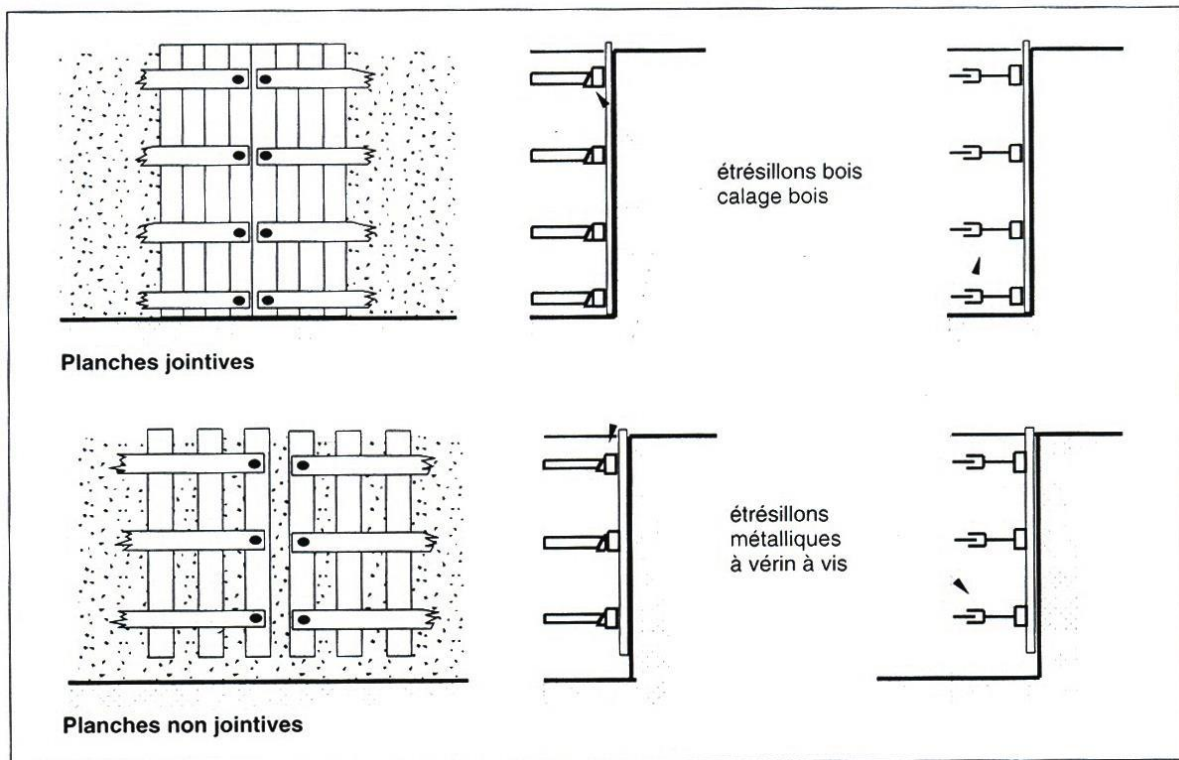


Fig. 3.7. : Blindage des fouilles

- un platelage* jointif ou non jointif, maintenu en place par des raidisseurs et des butons* prenant appui de paroi à paroi;
- un platelage métallique industrialisé, avec raidisseurs incorporés, maintenus en place par des étrésillons à vérins, à vis ou hydrauliques

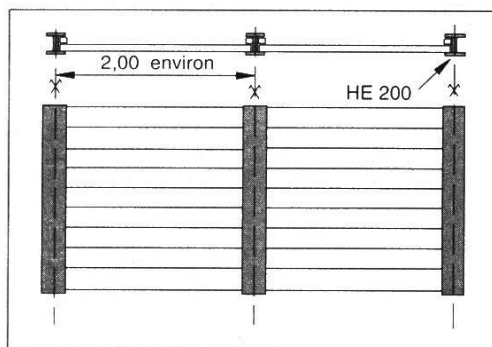
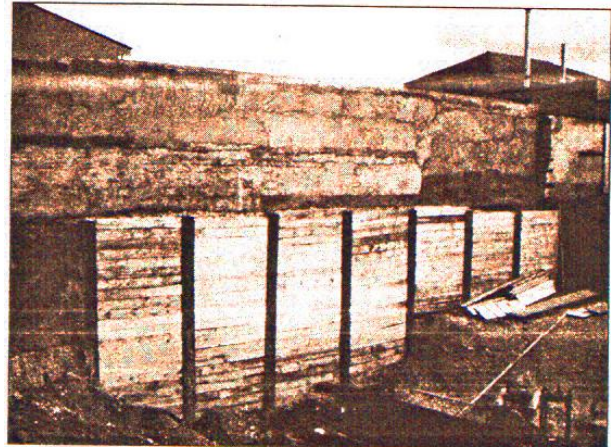
4.2.2. Fouille en puits

Pour ces fouilles de plus ou moins grande profondeur, ou traversant des sols de faible cohésion, le blindage est réalisé à l'aide d'un platelage étayé ou d'un tubage fait de cerces métalliques ou de buses en béton armé.

4.2.3. Fouille en pleine masse en terrain meuble

Plusieurs techniques peuvent être employées lorsque les fouilles en pleine masse sont exécutées en terrain meuble.

- La **paroi berlinoise** (photo 3.2) est constituée de pieux en béton armé ou de profilés métalliques HE fichés dans le terrain à intervalles réguliers. Ces profilés servent d'appui à un coffrage provisoire fait de madriers* mis en place au fur et à mesure de l'approfondissement de la fouille.



Après exécution des parois enterrées, contre-ventées par les planchers ou les murs intérieurs, les profilés peuvent être retirés (fig. 3.8).

Fig. 3.8. : Paroi berlinoise

- La **paroi moulée** est en béton coulé en place ou préfabriqué'. Fichée et ancrée dans le terrain, venant en périphérie du bâtiment, cette paroi moulée peut s'intégrer dans le système de fondations du bâtiment. Elle est étudiée dans le chapitre 6 - paragraphe 8.1.
- Le rideau de **palplanches* métalliques** est formé à l'aide de profilés fichés ou ancrés dans le terrain et maintenus en tête entre deux profilés. Les palplanches sont mises en place par vibro-fonçage ou par fonçage à l'aide d'une presse hydraulique, supprimant toute vibration (fig. 3.9)

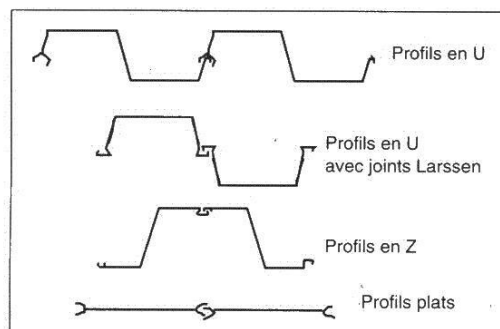


Fig. 3.9. : Types de palplanches métalliques

- La **paroi clouée** est constituée d'une armature en treillis soudé maintenue en place par clouage dans le terrain à l'aide de barres

d'acier, régulièrement réparties, de 4,00 à 6,00 m de longueur selon la hauteur de soutènement. L'armature en treillis est protégée par une couche de béton projeté (fig. 3.10). Elle est utilisée dans les terrains qui présentent une cohésion acceptable (photo 3.3).

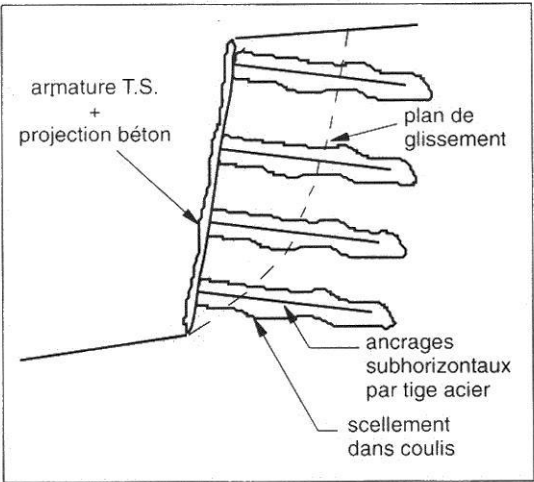


Fig. 3.10. : Paroi clouée

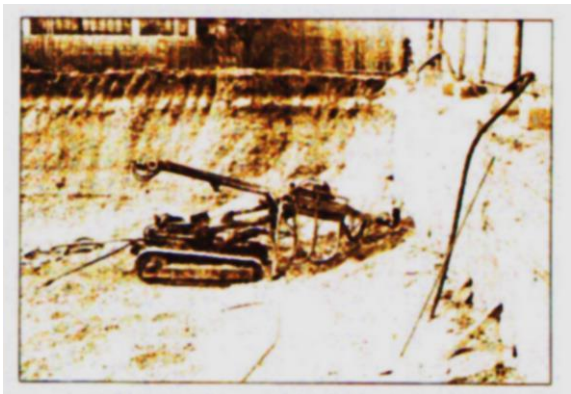


Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Ces différents types de blindage sont récapitulés dans le tableau suivant (tab. 3.3).

Fig. 3.4. : Emprise du terrassement

4.3. Terrassement en présence de rocher

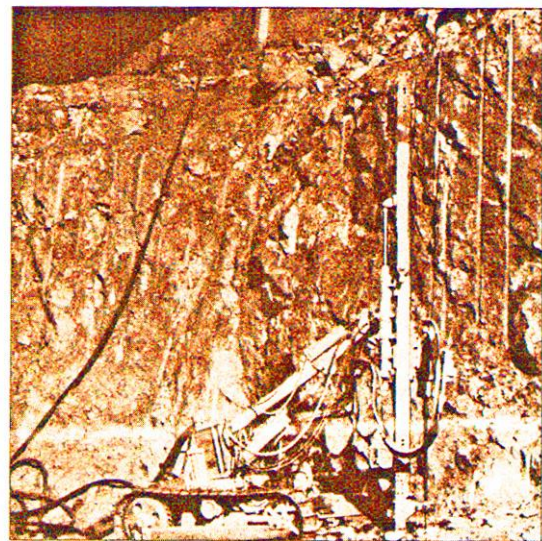
La classification abordée au paragraphe 2 permet de distinguer plusieurs qualités de rocher :

- les roches moyennement dures: certains calcaires, les grès altérés, les schistes, les roches délitables et fortement fissurées, attaquables aux engins de chantier, marteaux-piqueurs et rippers ;
- les roches compactes et dures : les granites, certaines roches volcaniques, qui ne peuvent être extraites avec les engins de chantier et nécessitent donc l'emploi d'explosif.

Dans ce cas, il convient de respecter la réglementation, très stricte, et de prendre des précautions particulières. Seules les entreprises spécialisées et qualifiées sont habilitées à intervenir.

Sur des terrassements localisés ou des fouilles en tranchée, les explosifs employés sont parfaitement dosés et placés dans des trous de mine, l'ensemble étant protégé pour éviter toute projection de pierres hors de l'emprise du chantier.

Sur des terrassements importants, en site urbain, un prédécoupage est effectué en périphérie de la zone concernée par forage de trous descendus, en dessous du niveau de la pleine masse.



Le but de cette opération est de casser la propagation des ondes sous les terrains voisins et de réduire ainsi les risques de désordre dans les constructions avoisinantes (photo 3.4).

Photo 3.4. : Terrassement en rocher

Préalablement à toute intervention de ce genre, il est conseillé de faire procéder à un constat contradictoire de l'état de ces constructions par une personne habilitée, expert ou huissier.

En cours de travaux, la paroi est purgée de tous les blocs de solidité douteuse. Les fonds sont dressés de manière à ne présenter aucune saillie, des surprofondeurs locales pouvant être admises dans la limite des tolérances.

4.4. Terrassement en présence d'eau

La présence d'eau dans les sols modifie de manière non négligeable leurs caractéristiques. Ce phénomène dépend essentiellement de la qualité des sols rencontrés. En premier lieu, il faut éviter que les eaux extérieures de ruissellement ne viennent dans la fouille. Pour ce faire, elles sont collectées dans des rigoles en tête de fouille et sont éloignées de celle-ci (fig. 3.11).

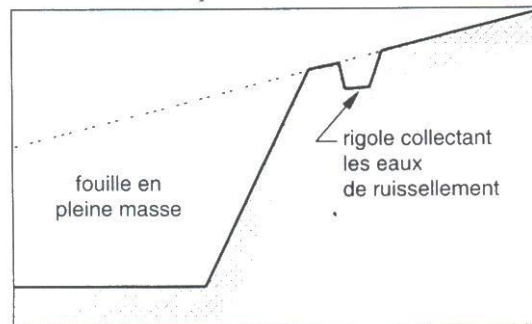


Fig. 3.11. : Rigole en tête de terrassement

Les eaux de toiture d'immeubles voisins sont recueillies puis évacuées, de manière provisoire ou définitive.

Les venues d'eau, de faible importance, dans les parois ou les fonds de fouille, sont captées et collectées par un système de drainage jusqu'à des puisards*. Elles sont rejetées à l'extérieur, par pompage, puis évacuées dans un égout existant, après accord des services techniques de la commune, ou sur le terrain, à une distance suffisante.

En aucun cas la présence d'eau ne doit polluer les fonds de fouille.

Les arrivées d'eau dans les sols, tels que sables fins peu compacts, modifient leur tenue, entraînant un phénomène de **boulance*** et d'**affouillement***. Dans le cas de fouille en puits, le tubage est indispensable pour traverser les couches concernées (fig. 3.12).

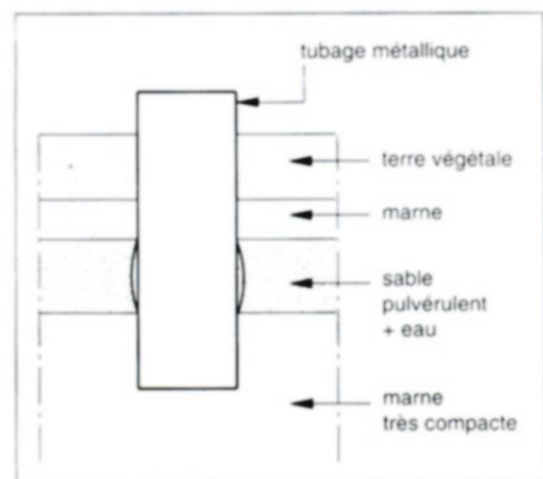


Fig. 3.12. : Tubage des puits

L'existence d'une **nappe phréatique***, par la présence permanente d'eau, impose des dispositions complémentaires à prendre avant exécution de tous travaux de terrassement. Plusieurs techniques peuvent être retenues:

- la création d'une **enceinte** relativement étanche, par paroi moulée ou par rideau de palplanches, descendue jusqu'à une couche imperméable, pour éviter les risques de remontées d'eau;
- le **rabattement** de la nappe phréatique obtenu grâce à des puits de

pompage judicieusement répartis en périphérie de la construction, ou dans l'enceinte de celle-ci (fig. 3.13) ; la profondeur de pompage est suffisamment grande et la vitesse peu élevée pour éliminer le risque d'entraînement des fines et toute modification de la granulométrie des sols et de leurs caractéristiques, ceci .fin d'éviter des tassements sous les fondations des immeubles voisins;

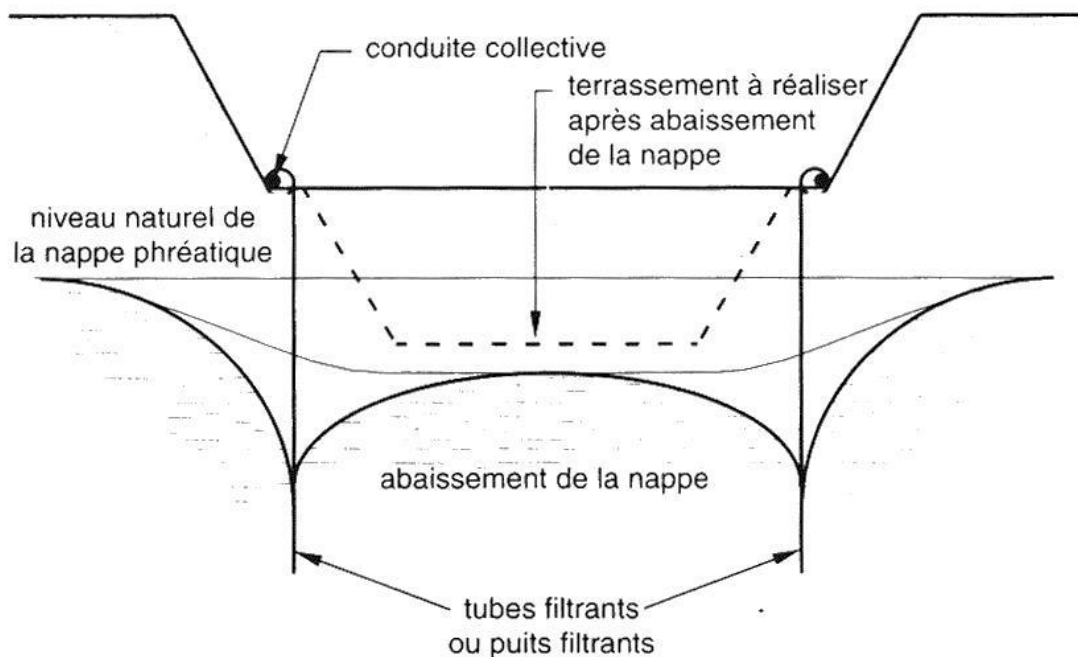


Fig. 3.13. : Rabattement de la nappe par pompage

- la **congélation** des couches de terrain saturées d'eau par la circulation d'une saumure* à une température de - 25°C à - 30°C dans des tubes enfoncés dans le terrain; ce procédé est utilisé avec précaution au voisinage de constructions existantes, l'effet de gel pouvant entraîner un gonflement des terres, c'est-à-dire un soulèvement des fondations.

Mode d'exécution des remblais

Les remblais sont constitués par une ou plusieurs couches superposées de terrain rapporté. Il peut provenir de fouilles voisines ou, si les caractéristiques des sols ne conviennent pas, d'apport de matériaux appropriés tels que grave ou gravier tout-venant pour constituer la couche de fondation d'une chaussée ou le remblaiement d'une tranchée. L'emploi de sols à forte teneur d'argile ou de déblais de carrière fait l'objet de spécifications particulières.

Les remblais doivent être convenablement compactés afin d'améliorer les qualités géotechniques des sols, à savoir:

- augmenter la résistance mécanique,
- réduire ou éliminer les risques de tassement (fig. 3.14).

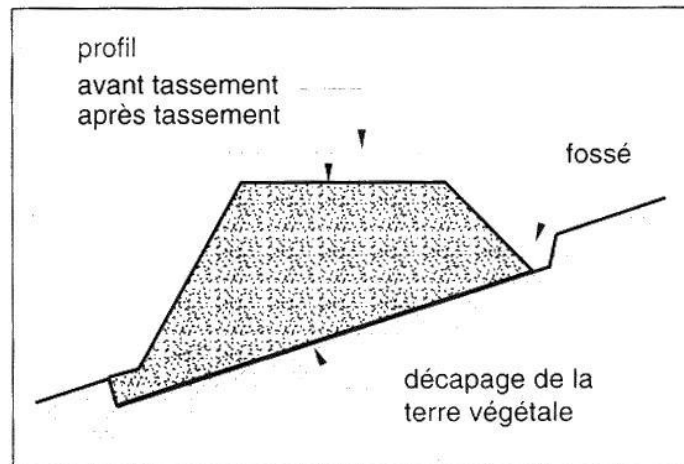
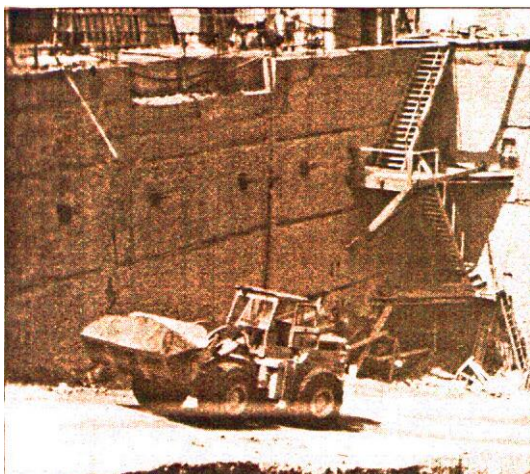


Fig. 3.14. : Tassement des remblais

- en butte - mouvement de bas en haut - surtout pour les sols tendres, sables ou roches altérées;
- en rétro - l'engin se trouve au-dessus de la fouille - pour l'exécution de terrassements courants et de tranchées, dans des sols assez durs;
- en benne preneuse, pour l'exécution de fouilles en puits à plus ou moins grande profondeur, dans des sols assez tendres ou des roches altérées;
- en dragueline : pour des gros travaux de terrassement en terrain meuble.



La **chargeuse** (photo 3.6), montée sur chenilles ou sur pneus, est équipée à l'avant d'un godet relevable. Elle exécute en une seule opération le terrassement et le chargement dans des camions ou le transport sur de faibles distances pour le Stockage des terres.

Fig. 3.4. : Emprise du terrassement

Le **tractopelle** ou **chargeuse-pelleteuse** (photo 3.7) combine à la fois la pelle mécanique équipée en rétro et le chargeur. Son utilisation est courante pour de petits chantiers ou pour l'exécution de fouilles en tranchées. Son équipement permet d'effectuer la fouille, puis son remblaiement.



Fig. 3.4. : Emprise du terrassement

Le **bulldozer** ou **bouteur** (photo 3.8) est un tracteur sur chenilles ou sur pneus équipé d'une lame d'acier droite ou légèrement courbée, fixée à l'avant, perpendiculaire au sens de la marche. Conçu pour pousser les terres, il exécute des terrassements sur de faibles épaisseurs, la mise en tas, le régalaage de remblai. Il est utilisé fréquemment pour le débroussaillage et le décapage des terrains.



Fig. 3.4. :

Emprise du terrassement

L'**angledozer** est semblable au bulldozer. Grâce à la lame orientable par rapport au sens de marche (photo 3.9), il réalise aisément les terrassements en haut de talus ou à flanc de coteau

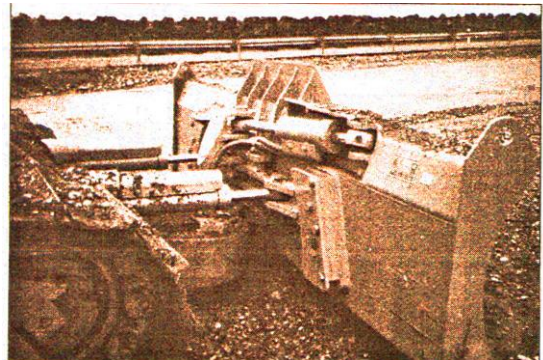
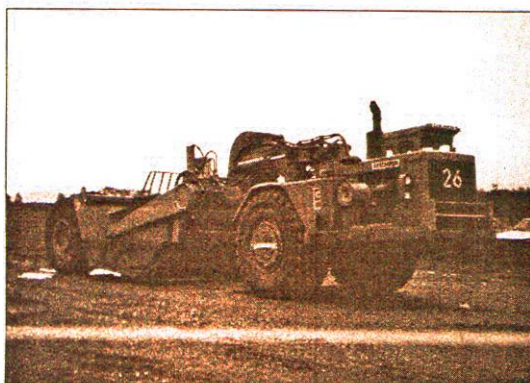


Fig. 3.4. : Emprise du terrassement



Le **scraper** ou **décapeuse** (photo 3.10), équipé de pneus, est constitué par une benne avec une porte inférieure renforcée pour araser le sol par raclage. Il permet, en une même phase, le terrassement par couche de faible épaisseur en terrain normal et le transport des terres sur de courtes distances (400 à 500 m).

Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage



Le **grader** ou **niveleuse** (photo 3.11), est un engin sur pneus, équipé d'une lame d'acier de profil incurvé à inclinaison variable et orientable par rapport au sens de marche, placée entre les deux essieux. Utilisé pour terrasser sur de faibles épaisseurs, il déplace et régale les terres afin

d'aplanir la surface.

Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Le **ripper** ou **scarificateur** (photo 3.12) est formé de dents espacées et relevables. Fixé à l'arrière d'un bulldozer ou d'un grader, il désagrège les terrains durs et compacts, voire les roches altérées, par passages successifs.

Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Les **minipelles** ou **minichargeurs** sont adaptés à des conditions de travail particulières telles qu'espaces ou hauteurs réduits (photo 3.13).

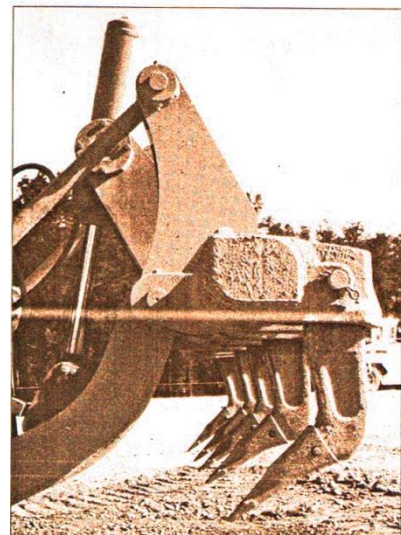


Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Le transport des terres s'effectue avec des **camions à benne** basculant vers l'arrière ou latéralement, d'une contenance de 10 à 18 m³ ; ils sont utilisés pour les transports à moyenne ou à grande distance. Les **dumpers**

sont des engins spécifiques pour les gros travaux de terrassement; d'une contenance de 20 à 30 m³, à vitesse relativement lente, ils sont opérationnels sur de faibles distances, soit 1 000 à 1 500 m.

L'évacuation des terres en centre-ville doit prendre en compte la durée des parcours et les possibilités de rotation des camions qui s'insèrent dans le trafic plus ou moins dense ou circulent dans des rues étroites.

Le compactage des fonds de forme et des remblais est obtenu par cylindrage régulier à l'aide de:

- **compacteurs hydrauliques**,
- **compacteurs à pneus**, tractés ou auto-tractés (photo 3.14),
- **rouleaux à pieds de mouton**, dont la surface de compactage est dentée, tractés, vibrants ou non, utilisés surtout en terrain argileux.



Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Sur de faibles surfaces, les engins utilisés sont la **dame vibrante** ou la **dame mécanique**.

Le **compactage dynamique** est un cas particulier de compactage de remblais neufs, d'une granulométrie appropriée, par couches successives de 1,00 m d'épaisseur. Il est obtenu par la chute libre d'une masse de 10 à 12 t pour une surface de 4 m², d'une hauteur de l'ordre de 10 à 20 m et permet de constituer le sol d'assise de certains types de construction (fig. 3.17). L'opération est rigoureusement suivie et contrôlée.

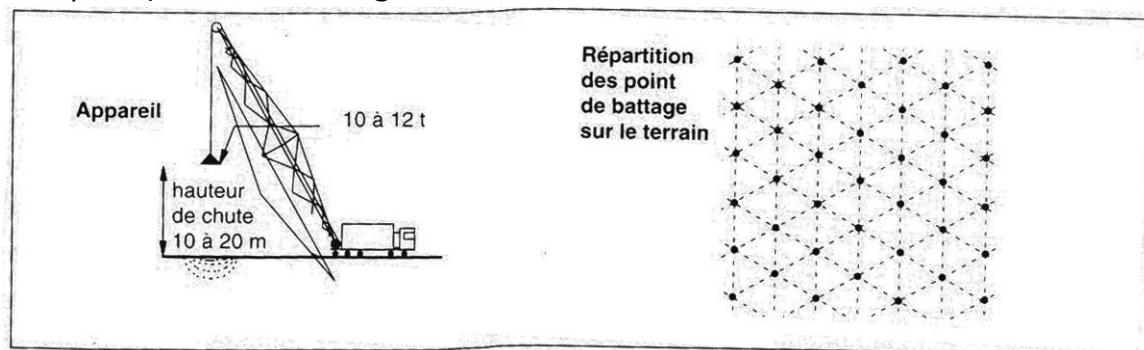


Fig. 3.4. : Emprise du terrassement

Les murs de soutènement

Lorsque l'emprise du talus est importante au regard de l'espace disponible, il est nécessaire de prévoir (fig. 3.18) un mur de revêtement du talus, pour en accentuer la pente, un mur en pied de talus ou un mur de soutènement permettant la suppression partielle ou totale du dit talus.

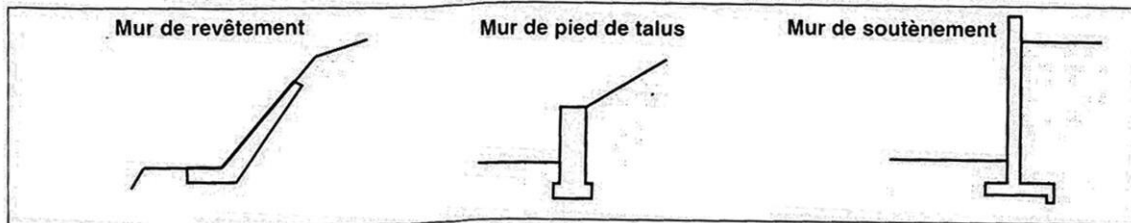


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Murs de soutènement réalisés in situ

Ces murs de soutènement sont classés en deux catégories (fig. 3.19).

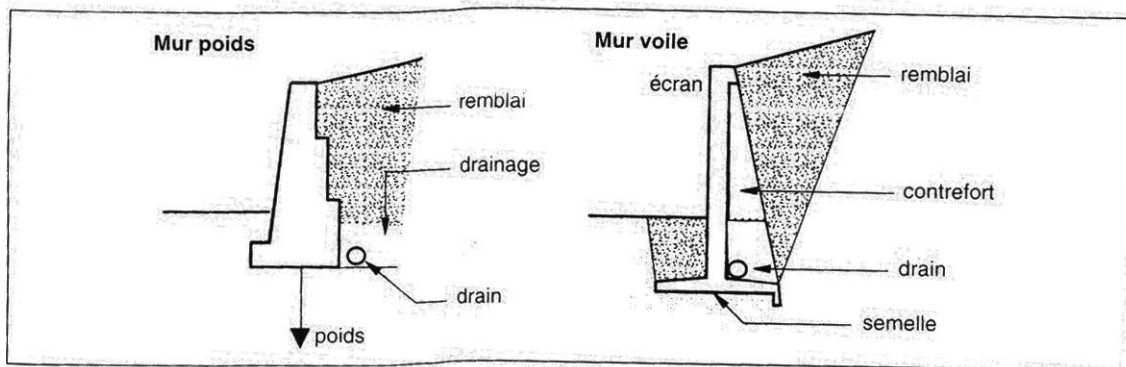


Fig. 3.10. : Paroi clouée

- **Le mur poids** dont le poids propre s'oppose à la poussée des terres. N'étant pas soumis à des contraintes importantes de traction, il est réalisé en béton ou en maçonnerie de pierre. Les parements extérieurs ou intérieurs peuvent présenter un léger fruit*.
- **Le mur léger** ou **mur voile** dont le profil est étudié pour offrir une résistance suffisante à la poussée des terres. Il se compose d'une semelle et d'un voile en béton armé complété, éventuellement, par un raidisseur en tête et des contreforts (fig. 3.20).

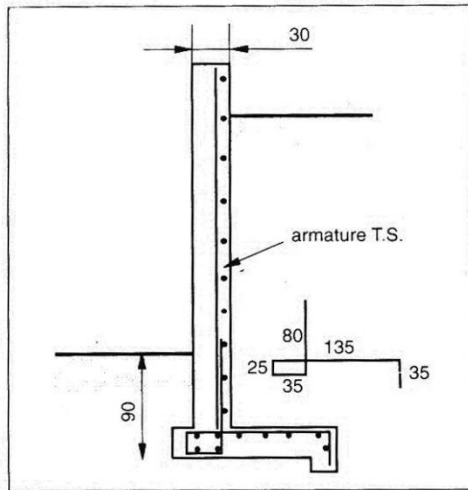


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Lorsque la semelle ne peut pas être réalisée, le voile est fiché dans le sol et maintenu par une ou plusieurs lignes d'ancrages (fig. 3.21).

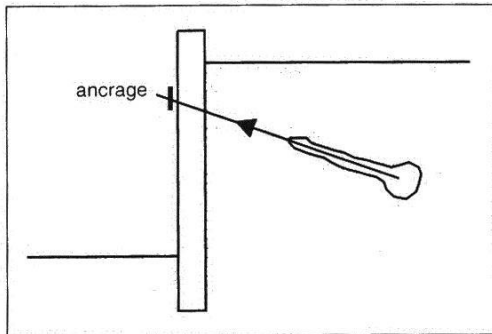


Fig. 3.10. : Paroi clouée

L'étude et la réalisation des murs de soutènement, dont la hauteur peut atteindre plusieurs mètres, nécessitent une parfaite connaissance des caractéristiques des sols maintenus, déblais ou remblais, et de la couche d'assise des fondations du mur. Ainsi, un mur poids relativement lourd ne pourra pas être retenu sur des sols de faibles résistances mécaniques. En effet, les contraintes transmises sur le sol seraient supérieures aux contraintes maximales admises par celui-ci.

Les murs de soutènement de grande longueur sont recoupés régulièrement par des joints de dilatation ou par des joints de rupture, tous les 10 m environ.

Pour assurer la stabilité des murs de soutènement, il faut que les résultantes des forces en présence soient concourantes et répondent à la relation:

$$T + P + S = 0,$$

où T est la poussée des terres,
 P est le poids du mur,
 S est la réaction du sol d'assise.

La résultante doit se situer dans le tiers central de la fondation (fig. 3.22).

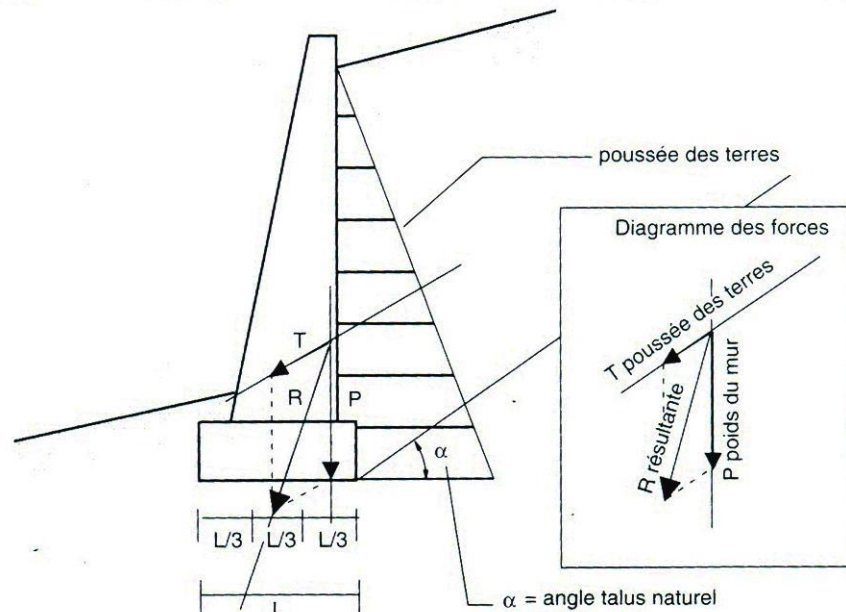


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Sous l'action de la poussée des terres, le mur de soutènement est soumis à des mouvements de trois ordres, combinés ou non: le tassement, le glissement horizontal et le déversement. Des dispositions adéquates sont donc prises pour y faire face (fig. 3.23).

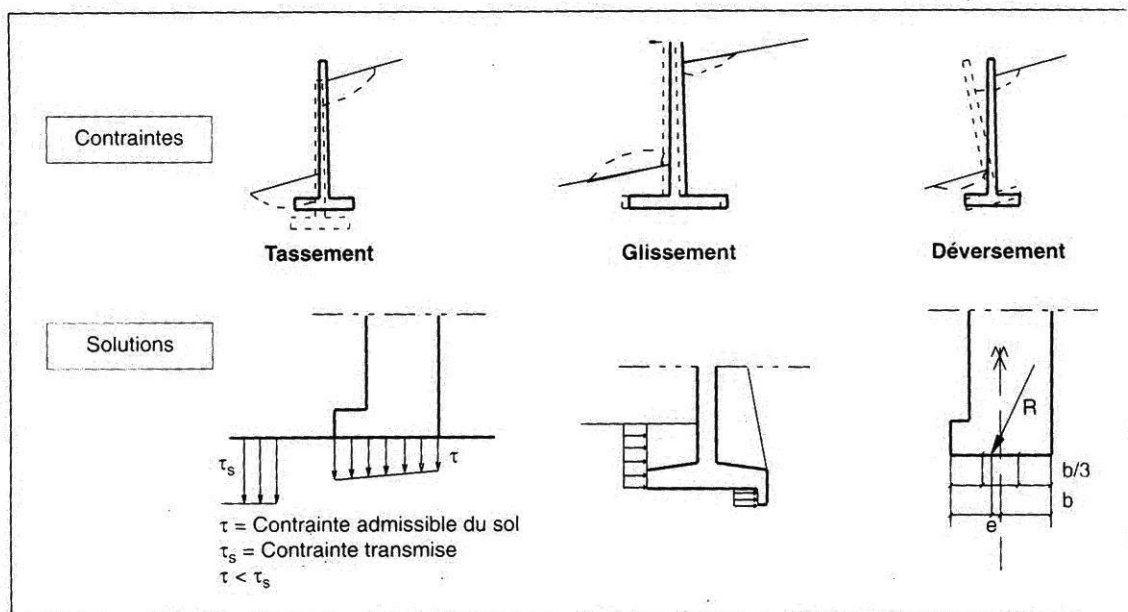


Fig. 3.10. : Paroi clouée

La présence d'eau modifie de manière fondamentale les caractéristiques

des sols et l'action des terres sur le mur de soutènement.

Une faible quantité d'eau produit des tensions capillaires et améliore l'attraction des grains, c'est-à-dire la tenue du terrain. À l'inverse, une quantité d'eau plus importante dégrade ces tensions capillaires, la cohésion C et l'angle de frottement interne φ . Il en résulte une aggravation de la poussée des terres T (fig. 3.24).

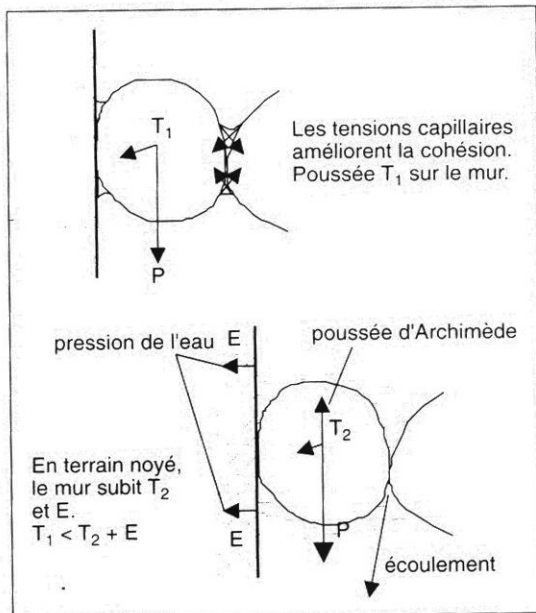


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Concernant le sol d'assise, la dégradation de la cohésion C entraîne une réduction de la force portante, d'où un risque de tassement ou de déversement.

Pour y remédier, il faut prendre un certain nombre de dispositions, à savoir:

- drainer efficacement les terrains en amont du mur de soutènement;
- placer en partie basse du mur un drain horizontal relié à un exutoire visitable ;
- placer des barbacanes dans la paroi permettant l'écoulement vers l'extérieur des eaux retenues accidentellement;
- éviter l'emploi de remblai de type argileux.

Enfin, l'assise du mur doit se trouver à une profondeur hors gel (fig. 3.25).

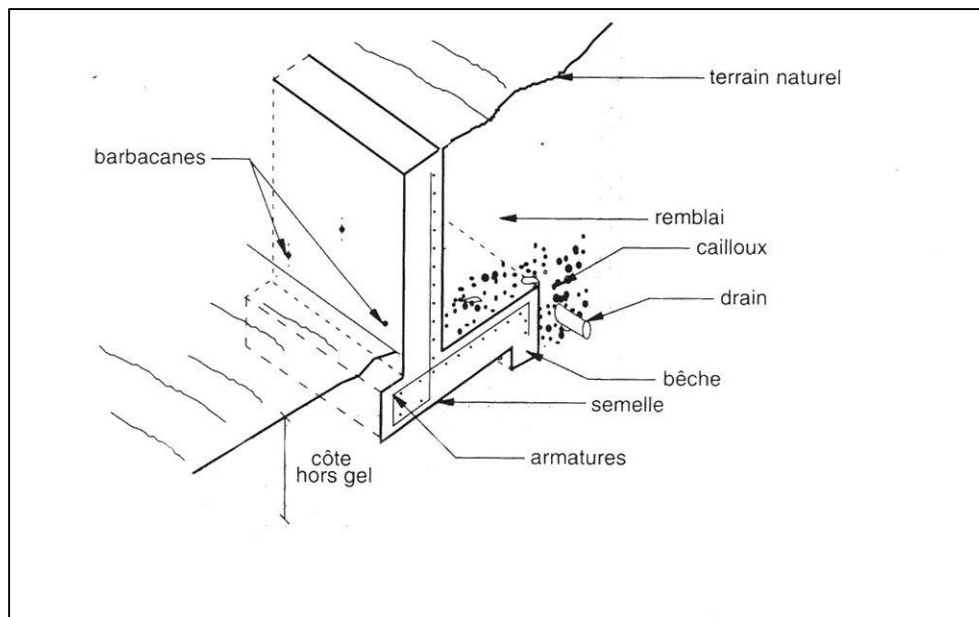


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Soutènement par massifs de terre armée

La terre armée est un procédé relativement récent (1960) mis au point et breveté par Henri Vidal. L'exécution des massifs de terre armée est simple.

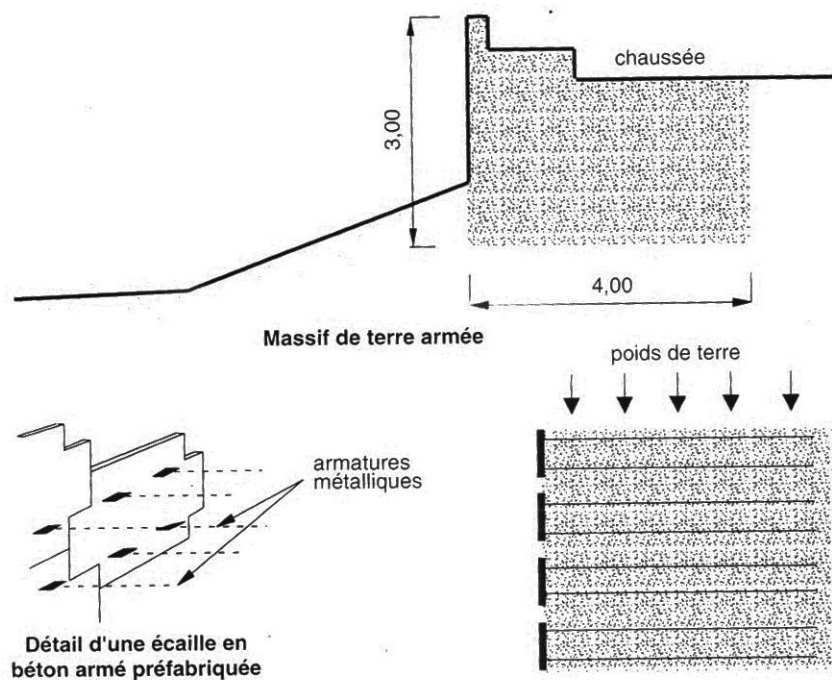


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Elle comprend les phases suivantes (fig. 3.26)

- la pose de plaques verticales métalliques ou en béton préfabriqué, constituant le parement (photo 3.15) ;
- la pose d'armatures métalliques, constituées de plats en acier galvanisé, solidaires des plaques de parement;
- le remblaiement avec un matériau de type pulvérulent, gravier ou sable (grosseur des grains $G < 0,25 \text{ ml}$, par couches de 0,25 m environ, convenablement compactées.

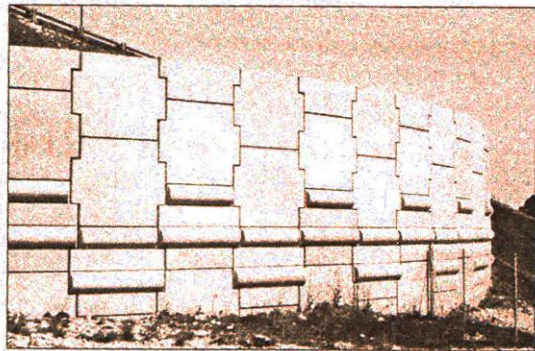


Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Au fur et à mesure de sa construction, le massif de terre armée est autostable. Il permet la circulation des engins d'approvisionnement ou de chantier.

Par rapport au mur de soutènement classique, mur poids ou voile, les massifs de terre armée présentent plusieurs avantages:

- une grande facilité de mise en œuvre;
- une grande souplesse du parement qui peut absorber de légères déformations;
- une meilleure répartition des contraintes sur le sol de fondation; ce procédé s'adapte bien au sol de faible portance.

Soutènement par gabions

Les gabions sont des structures modulaires en forme de parallélépipède rectangle fabriquées en grillage métallique galvanisé résistant qui enserrant des galets ou des pierres. Leurs dimensions sont de l'ordre de 1,00 x 1,00 x 2,00 à 4,00 m. Posés sur un massif de fondation ou sur un remblai en gravier tout venant compacté. Ils sont empilables les uns sur les autres et forment un ouvrage de soutènement poids auto drainant pouvant admettre de légères déformations.

La pérennité des gabions dépend de la qualité du treillis galvanisé et du soin apporté dans la mise en place des pierres. Facile à mettre en œuvre, les gabions sont souvent utilisés en pied de talus (photo 3.16).



Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

7.4. Murs de soutènement paysagés et préfabriqués

Constitués d'éléments préfabriqués en béton, ces murs assurent les deux fonctions de soutènement et de parement décoratif ou végétalisable.

Comme pour les murs de soutènement coulés en place, la fondation de ces murs doit être assise sur un sol de caractéristiques convenables, à une profondeur hors gel. Un drainage efficace doit être assuré.

Les hauteurs de soutènement admises peuvent atteindre 2,00 m ou plus, sous réserve de suivre les indications techniques du fabricant. Plusieurs modèles existent sur le marché.

7.4.1. Mur-voile préfabriqué

Le mur en L, en béton armé préfabriqué, est constitué d'une semelle dont les dimensions sont en rapport direct avec la hauteur du voile (fig. 3.27). Celle-ci peut varier de 0,45 à 2,00 m. L'épaisseur est de 0,10 ou 0,15m suivant les efforts à reprendre. Il est calculé pour supporter une surcharge complémentaire de 500 daN/m² environ correspondant à un véhicule de tourisme. le remblaiement se fait par couches successives convenablement compactées. Le parement visible subit un traitement de surface en usine.

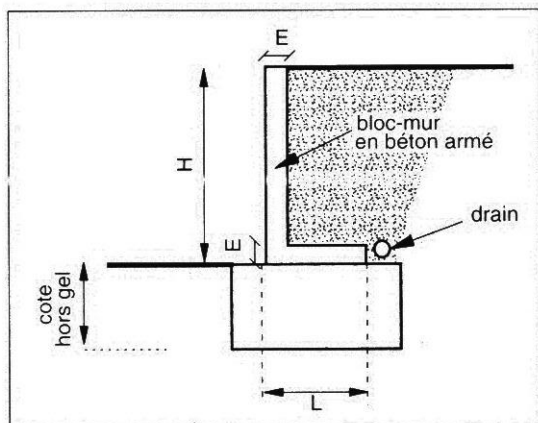


Fig. 3.10. : Paroi clouée

7.4.2. Mur par blocs préfabriqués assemblés

Ce type de mur peut présenter un léger fruit par rapport à la verticale, en fonction de la qualité des terrains retenus, des sols d'assise et de l'espace disponible.

Les blocs présentent un tenon ou un talon permettant le blocage des éléments les uns sur les autres. Ils sont posés à joints décalés. Chaque rang se trouve en retrait par rapport au rang précédent. Le premier rang repose sur une fondation.

Le bloc **Vauban** (fig. 3.28) a une face vue à parement décoratif éclaté de couleur. Ses dimensions sont 12,5 x 20 x 29,6 cm pour un poids de 16kg. À raison de 40 pièces au m² de parement, le poids du mur est de 640 kg/m².

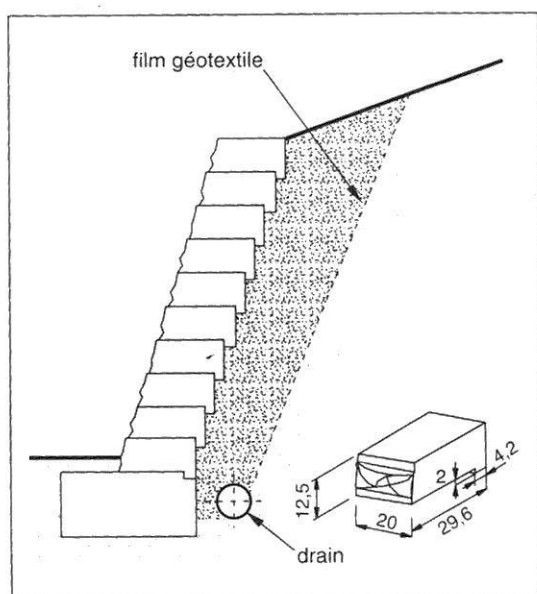


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Le bloc **Darmur** (fig. 3.29) a une face vue à parement décoratif éclaté de couleur gris ou ocre. Ses dimensions sont 12,5 x 20 x 49 cm, pour un poids de 26 kg. À raison de 40 pièces au m² de parement, le poids du mur est de 1 040 kg/m².

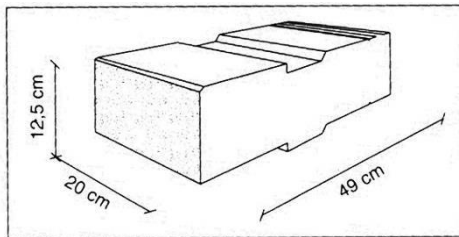


Fig. 3.10. : Paroi clouée

7.4.3. Mur végétalisable par blocs préfabriqués

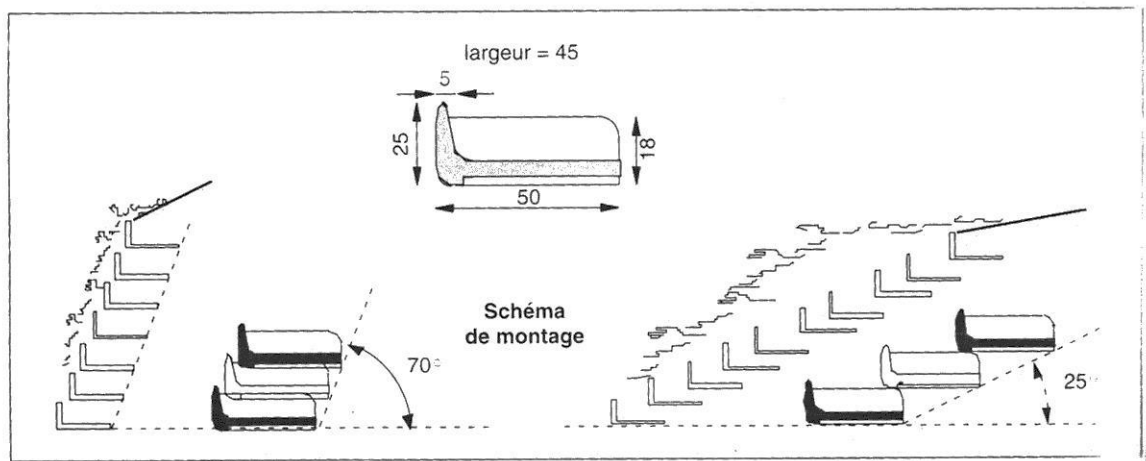


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Les pierres **Loffel** (fig. 3.30) sont des pièces pré-fabriquées en béton ayant la forme d'auget de dimensions 18 x 45 x 50 cm avec une face vue de 25 cm, d'un poids de 52 kg. La paroi de soutènement est constituée par la superposition de ces éléments placés en quinconce, chaque rang prenant appui sur le rang inférieur à raison de 8 à 9 éléments par m² de mur développé (photo 3.17).

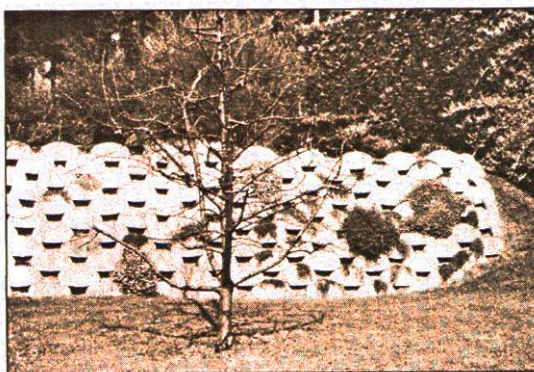


Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Le premier rang est ancré dans le terrain en place sur une fondation adaptée au sol d'assise. Le remblaiement et l'apport de terre végétale s'effectuent au fur et à mesure du montage de la paroi. La végétation viendra l'habiller ultérieurement.

Le fruit peut varier de 25° à 75°, selon le positionnement des pierres Loffel les unes par rapport aux autres.

8. Pathologie

Lors de leur exécution, les travaux de terrassement viennent perturber l'équilibre des terrains concernés. Les caractéristiques des différentes couches des sols sont souvent mal connues et peuvent varier dans le temps sous l'action de plusieurs facteurs.

C'est pourquoi, à défaut de précautions prises préalablement à l'exécution (reconnaissance des sols) ou en cours de travaux (évacuation des eaux de ruissellement ou d'infiltration, blindage des fouilles, protection des talus), des désordres peuvent affecter les travaux en cours ou leur voisinage immédiat.

8.1. Le glissement de terrain

Le glissement de terrain peut se produire :

- lors d'exécution d'excavation, accentuant la pente de talus et entraînant une modification des contraintes internes des sols (fig. 3.31);
- lors de travaux de remblaiement, sur un terrain en pente, par surcharge des terrains sous-jacents, entraînant un fluage des sous-couches.

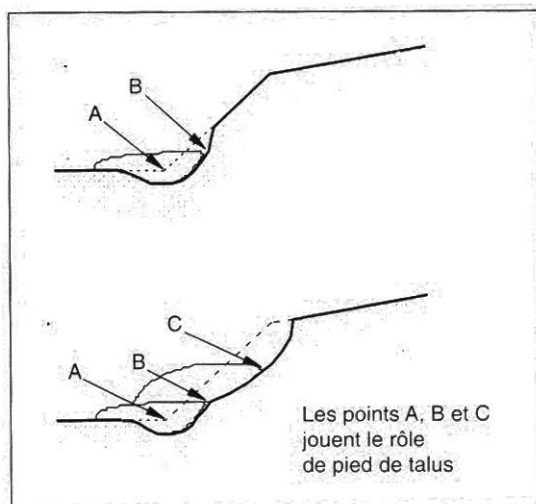


Fig. 3.10. : Paroi clouée

La présence d'eau - intempéries prolongées et importantes ou infiltrations - a une action complémentaire non négligeable sur certains types de sols pulvérulents (sables) (photo 3.18) ou à l'interface de couches argileuses en créant des plans de glissement.

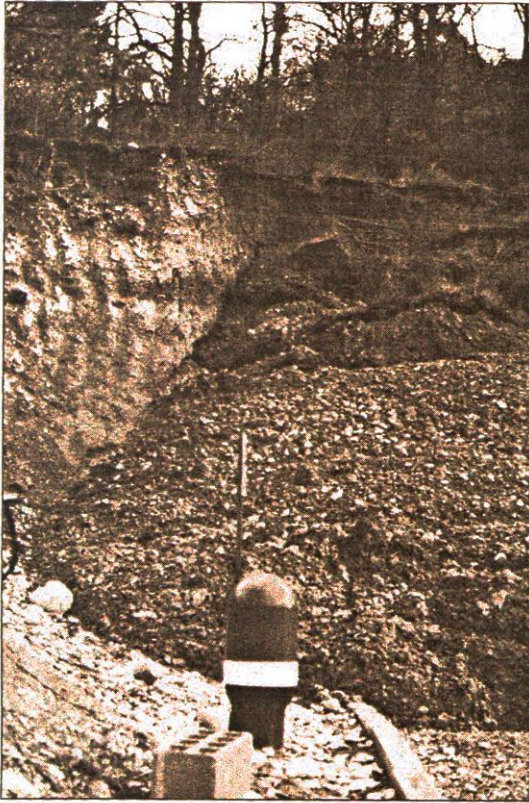


Photo 3.3. : Paroi clouée – Mise en place des barres d'ancrage

Un glissement de terrain doit être traité sans tarder pour éviter qu'il se propage en amont ou qu'il se transforme en coulée de boue difficile à contenir.

Pour ce faire, il faut procéder à diverses interventions (fig. 3.32).

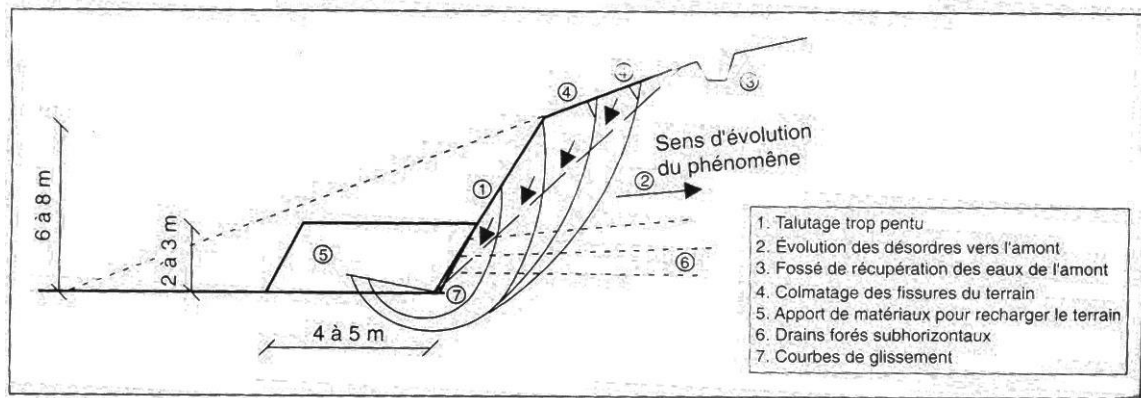


Fig. 3.10. : Paroi clouée

Une excavation ayant été réalisée avec un talutage trop pentu (repère 1), pour éviter une évolution du désordre vers l'amont (repère 2), il convient de :

- mettre en place des repères pour surveiller l'évolution du phénomène;
- décharger la tête de talus par évacuation des remblais qui ont pu être entreposés;
- récupérer les eaux de surface dans un fossé et les éloigner (repère 3) ;
- colmater avec un coulis de ciment les fissures qui ont pu se produire dans le terrain, afin d'éviter que les eaux ne s'infiltrant (repère 4);
- bloquer le pied de talus par apport de matériaux ou à l'aide de gabions (repère 5)
- procéder au drainage des eaux en profondeur, soit par tranchées drainantes, soit par des drains forés subhorizontaux (repère 6) ;
- rechercher un terrain non remanié comme assise des fondations de l'ouvrage projeté (repère 7) ;
- dès que possible, planter le talus: la végétation jouant un rôle important dans la tenue des terres.

8.2. Autres sinistres significatifs

Leurs conséquences peuvent être plus ou moins graves: mort d'homme, mise en péril et destruction d'ouvrages ou simples dégâts matériels. Ils ont pour cause des études incomplètes, une erreur d'exécution ou des mesures de sécurité insuffisantes telles que (fig. 3.33)

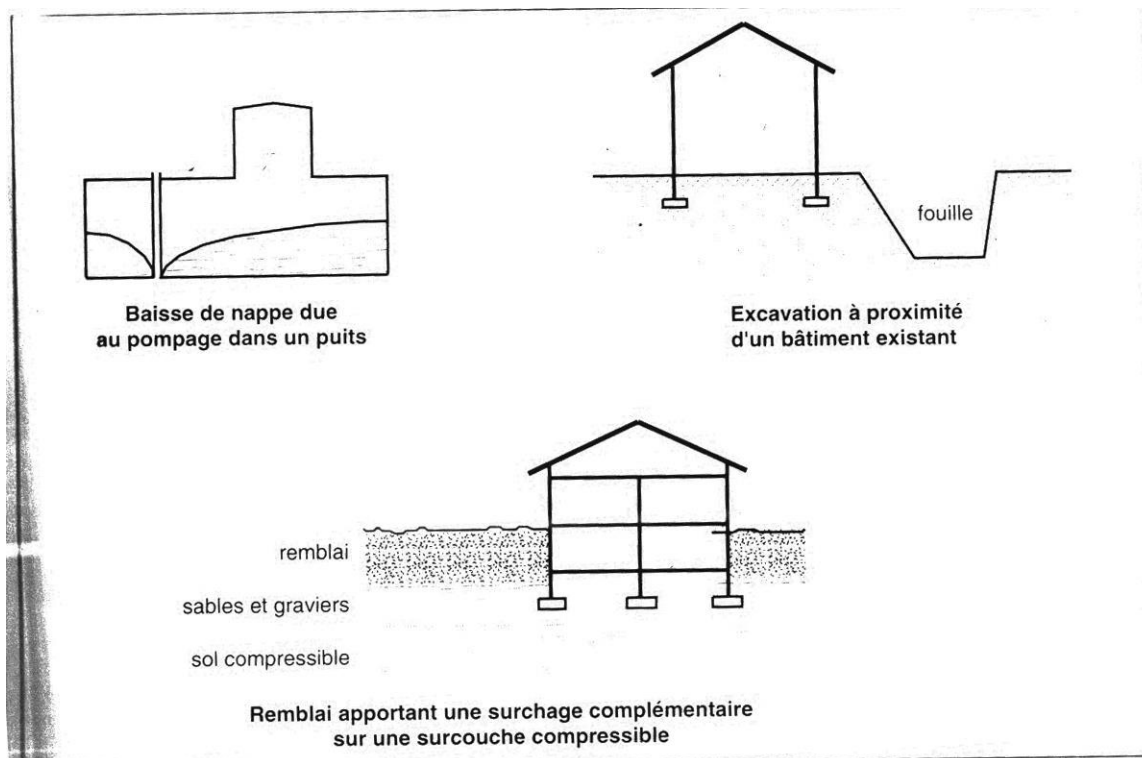


Fig. 3.10. : Paroi clouée

- tranchée ouverte à proximité d'ouvrages existants,
- excavation réalisée à proximité de bâtiments existants, à une profondeur située en dessous du niveau des fondations
- mauvais blindage d'une fouille,
- pompage intensif lors d'un rabattement de nappe,
- exécution de remblais sans précautions particulières, derrière un mur de résistance insuffisante,
- exécution de remblais importants amenant une surcharge sur un terrain compressible, à proximité d'un ouvrage léger,
- remblais insuffisamment compactés,
- omission des surcharges complémentaires dans le calcul d'un mur de soutènement,
- manque de drainage derrière un mur de soutènement,
- circulations d'eaux souterraines non maîtrisées

CHAPITRE II : LES FONDATIONS

I/ Généralités et conditions préalables

Dans une construction, les fondations assurent le transfert des efforts **(charges)** repris par l'ossature de la construction **(superstructure)** au terrain qui lui sert d'assise **(infrastructure)**. Par voie de conséquence, elles doivent être aptes à répondre aux forces de réaction du sol en place.

Les fondations ont donc pour objet d'assurer l'équilibre statique du bâtiment qui se traduit par des conditions de non- tassement, non pincement, non glissement.

La stabilité des murs et des planchers s'obtient par des armatures de liaisons horizontales et verticales prévues depuis les fondations par des chaînages en béton armé.

La capacité portante (contrainte admissible dépend de la nature du sol et de sa résistance aux charges afin de limiter des déformations et d'assurer la pérennité des ouvrages.

Les risques de construction entraînant des désordres sont à prendre en compte :

- Présence de points durs ou de couches d'argile molle sous les fondations ;
- Risque de gel en cas d'insuffisance de profondeur ;
- Incidence de la sécheresse surtout en terrain argileux ou à proximité d'arbres de grande taille ;
- Nuisances par des vibrations du sol dues à la circulation d'engins ;
- Sol avec argiles gonflantes sensibles à l'eau ;
- Risques sismiques suivant les zones ;
- Constructions voisines existantes ou à bâtir en contrebas.

Les sollicitations peuvent correspondre à :

- Une compression simple, verticale, dans le cas de charges verticales axées ou centrées ;

- Une compression oblique à composante verticale et horizontale, dans le cas d'appuis de pieds d'arcs ;
- Une traction verticale ou oblique, dans le cas d'ancrages ;
- Des moments, dans le cas d'encastres en pied de poteaux.

II/ Conditions d'équilibre des fondations

D'une manière générale, les fondations doivent répondre à la relation suivante :

$$\frac{\text{Poids total de l'ouvrage en fonctionnement}}{\text{Surface d'appui sur le sol}} \leq \text{Force portante du sol (contrainte admissible)}$$

Cette relation explique l'importance de la connaissance de la nature géotechnique du sol d'assise.

Les fondations dépendent de 3 éléments essentiels :

- La surcharge apportée par la construction,
- La force portante du sol,
- La typologie de la structure (dictée par la charge de la structure et la nature géotechnique du terrain).

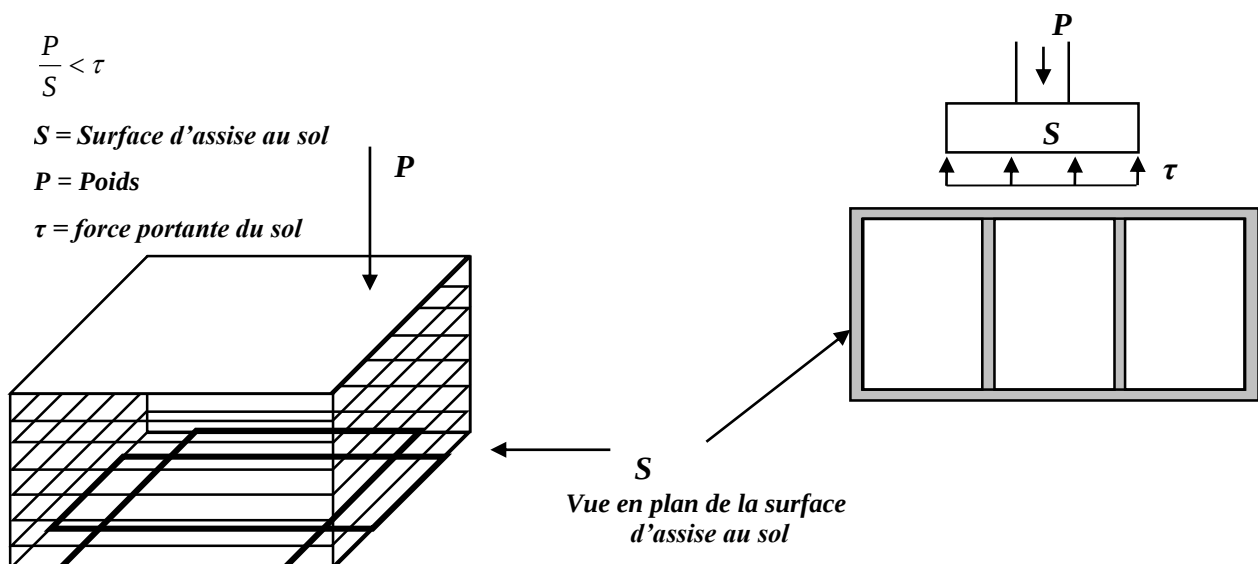


Fig. 3.1. Relation – poids de la construction – Taux de travail du sol d'assise

Recommandations :

Il est nécessaire d'encaisser suffisamment les fondations afin :

- ***D'ancrer la semelle dans le bon sol à l'abri du gel et de l'assise pour les murs extérieurs ;***
- ***De limiter les fluctuations de la teneur en eau, surtout en été, en période d'assèchement responsable de tassements ;***
- ***Une profondeur minimale de 1,00 m favorise la réduction des risques dus à la sécheresse (1,50 m recommandé).***

Il s'agit donc de sauvegarder, en terrain argileux sensible à la dessiccation et au retrait, la consistance du sol pour éviter l'affaissement du squelette solide démunie d'eau entre les grains.

III/ L'interaction entre la structure, les fondations et le sol d'assise

➤ Problème posé : Les tassements

Cette interaction intervient à plusieurs niveaux :

D'abord, il faut noter que le comportement de la structure et des fondations par rapport au sol d'assise peut donner lieu à différents comportements pour un même bâtiment, de même poids et de même volumétrie bien que leurs conditions de fondations soient semblables.

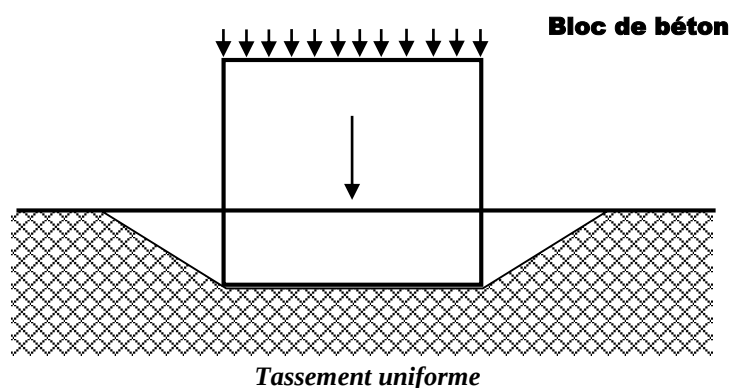


Fig. 3.2a – Interaction sol - structure

En effet, sous l'action des charges apportées, le sol subit une déformation plus ou moins grande, un tassement uniforme ou non, qui varie en fonction de la valeur et de leur surface d'application.

- Ici le tassement est uniforme, de faible amplitude, et sous réserve que la construction ait une certaine rigidité, ce mouvement n'est pas préjudiciable à l'ouvrage.

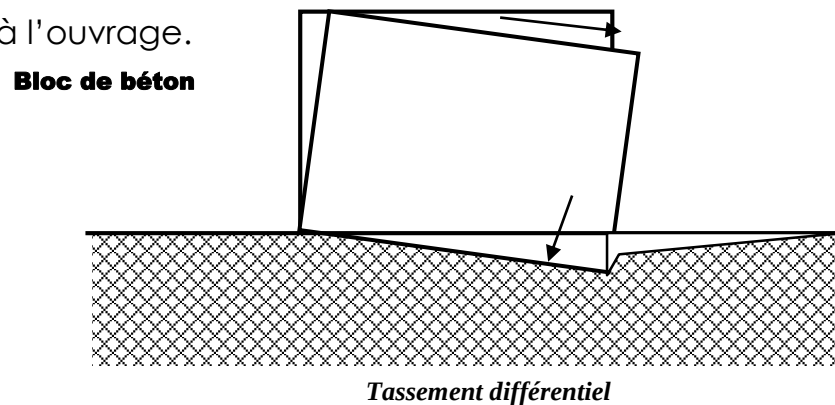


Fig. 3.2b – Interaction sol - structure

- A l'inverse, si le tassement n'est pas uniforme et que des dénivellations apparaissent entre différents points des fondations-tassements différentiels - des désordres peuvent se manifester dans l'ouvrage.

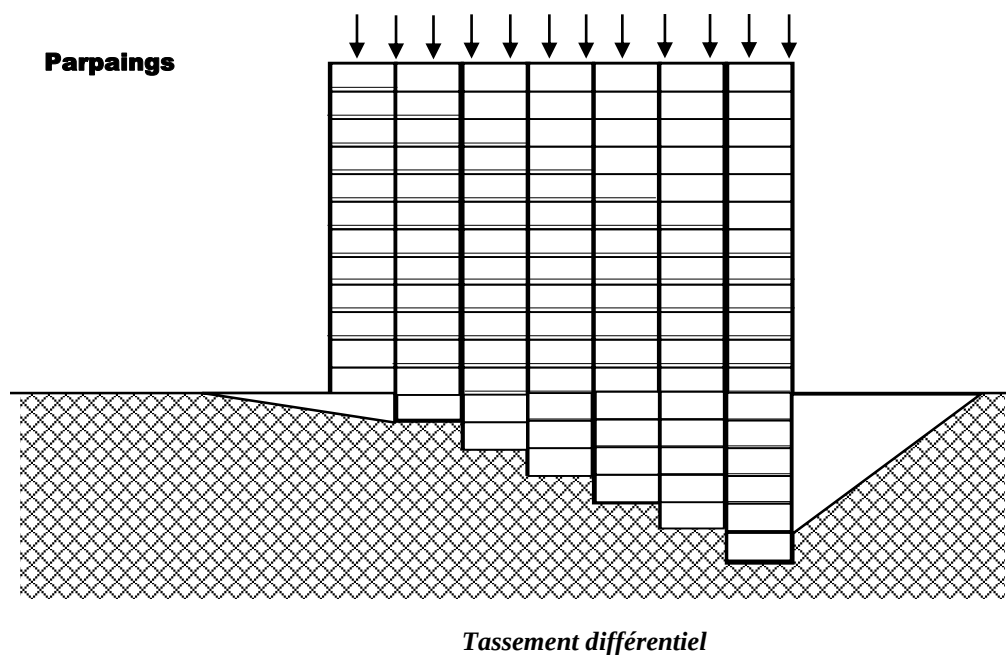


Fig. 3.2c – Interaction sol - structure

Ainsi, il faut donc étudier de façon conséquente le comportement de la structure face à ces tassements, uniformes et différentiels afin de se préserver de toute manifestation de nature préjudiciable.

*** Quelques résolutions éventuelles.**

- Sur un terrain peu consistant, des semelles de grande dimension et trop rapprochées peuvent conduire à préférer la solution d'une fondation unique, de type radier.
- L'ossature porteuse, par points ou par voiles, conduit à retenir des fondations ponctuelles ou des fondations par semelles filantes.
- Les fondations ponctuelles ou isolées peuvent être solidarisées par des longrines en béton armé (pour minimiser les tassements).

IV/ Répartition des contraintes dans le sol

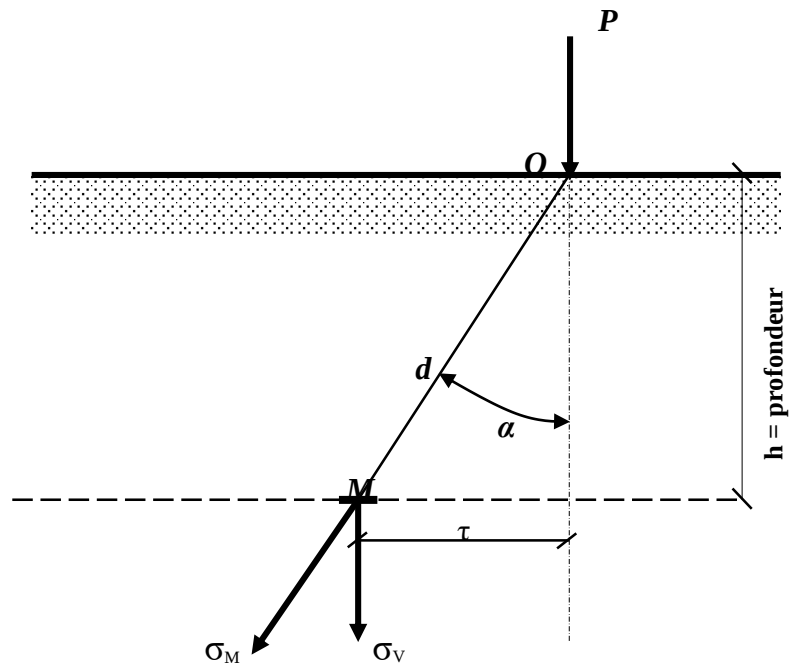
Une charge appliquée sur la surface du sol entraîne des contraintes dans les couches sous-jacentes jusqu'à une certaine profondeur. La connaissance de ces contraintes permet de vérifier qu'elles peuvent être reprises par les couches les moins résistantes et de calculer les tassements éventuels.

Ces contraintes sont calculées par les formules suivantes :

- Boussinesq : $\sigma_{MV} = \frac{3p}{2\pi h^2} \cos^5_\alpha$ ***P : charge ponctuelle***
 - Flôlich : $\sigma_{MV} = \frac{3p}{2\pi h^2} \cos^n_\alpha$ ***n : coefficient qui varie en fonction de la nature du sol.***
- avec $n = 3$ pour l'argile

Formule de Boussinesq

$$\sigma_v = \frac{3 p \cos^5 \alpha}{2 \pi h^2}$$



n = 4 sols sableux courants.

Fig. 3.3 – Répartition des contraintes dans le sol

Il se produit donc des bulbes de pressions qui sont constituées des courbes d'égale contrainte verticale correspondant à différentes valeurs.

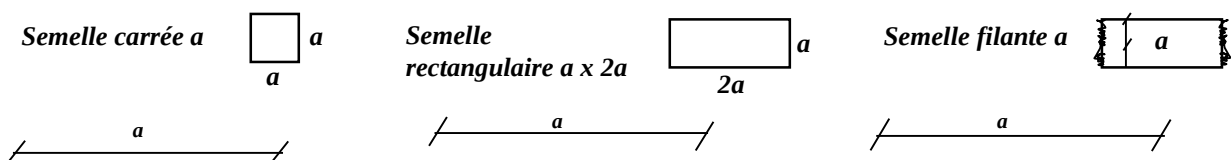
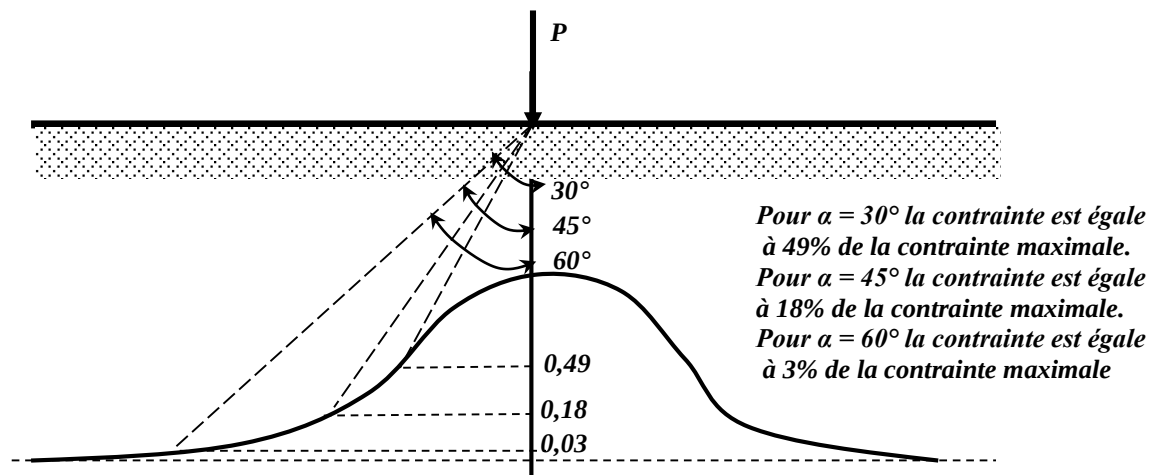


Fig. 3.4 – Contrainte dans un plan horizontal

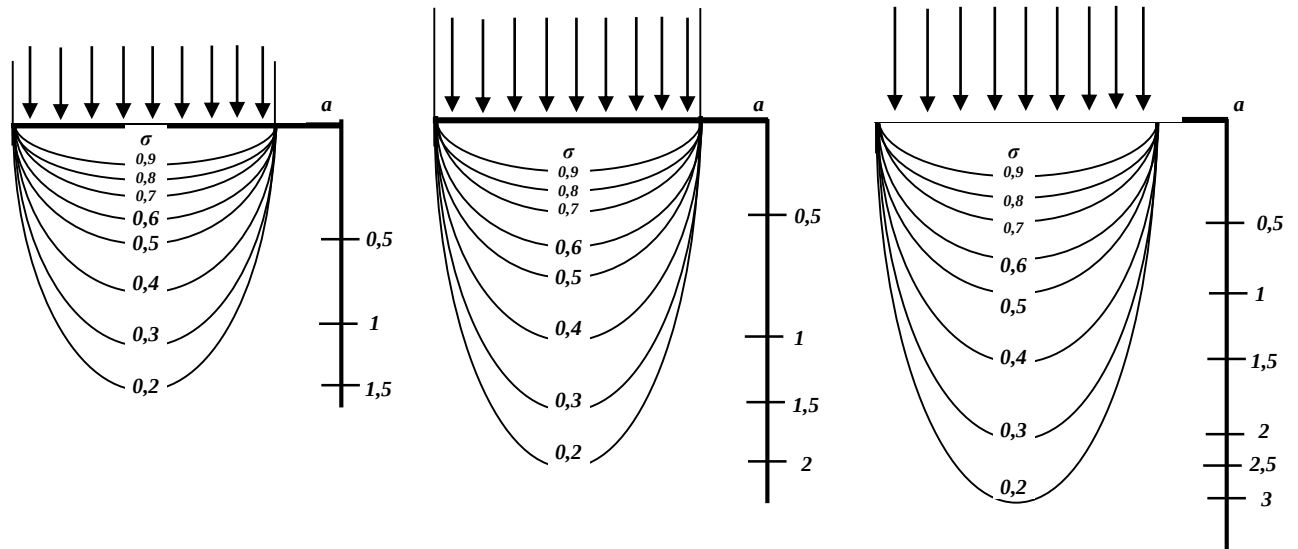


Fig. 3.5 – Bulles sous fondations de géométries différentes

V/ Typologie des fondations

D'une manière générale, les fondations sont classées selon leurs dimensionnements, leurs profondeurs et leurs objets ; travaux spécifiques ou non.

On admet donc les fondations superficielles si l'une des deux conditions est vérifiée :

$$\implies \text{Rapport : } \frac{\text{hauteur}}{\text{largeur}} < 6 \quad \text{ou} \quad \text{hauteur} < 3 \text{ m}$$

Dans le cas contraire, il s'agit de fondations dites profondes.

V.1 - Les fondations superficielles

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

➤ **Fonctions :**

Elles transmettent :

- des charges verticales axées ou excentrées, comme les semelles en rigole, les semelles filantes, les semelles ponctuelles ou isolées, les semelles excentrées et les radiers ;
- des efforts horizontaux ou inclinés, comme les massifs ou les culées ainsi que les bêtes, éléments complémentaires des semelles ou des radiers ;
- des moments comme les dés et les massifs ;
- des efforts de soulèvement repris par des massifs d'ancrage pour des tirants ou par des semelles, pour lesquelles ces efforts sont équilibrés par des charges verticales.

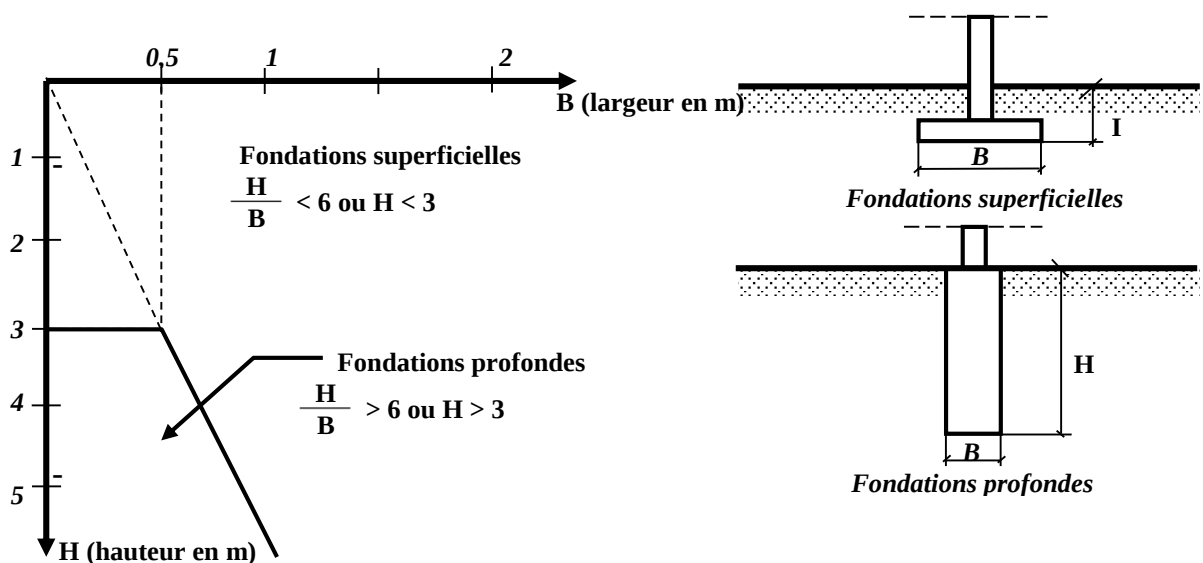


Fig. 3.6 – Fondations superficielles ou profondes

Remarque 1 : Mise hors gel des fondations

Les fondations exposées au gel, c'est-à-dire celles qui se trouvent en périphérie de l'ouvrage doivent être réalisées à une profondeur suffisante pour être hors gel (c'est-à-dire température de l'atmosphère extérieure

égale ou inférieure à zéro), de l'ordre de 80 à 90 cm lorsque la température atteint -5 à -8°C.

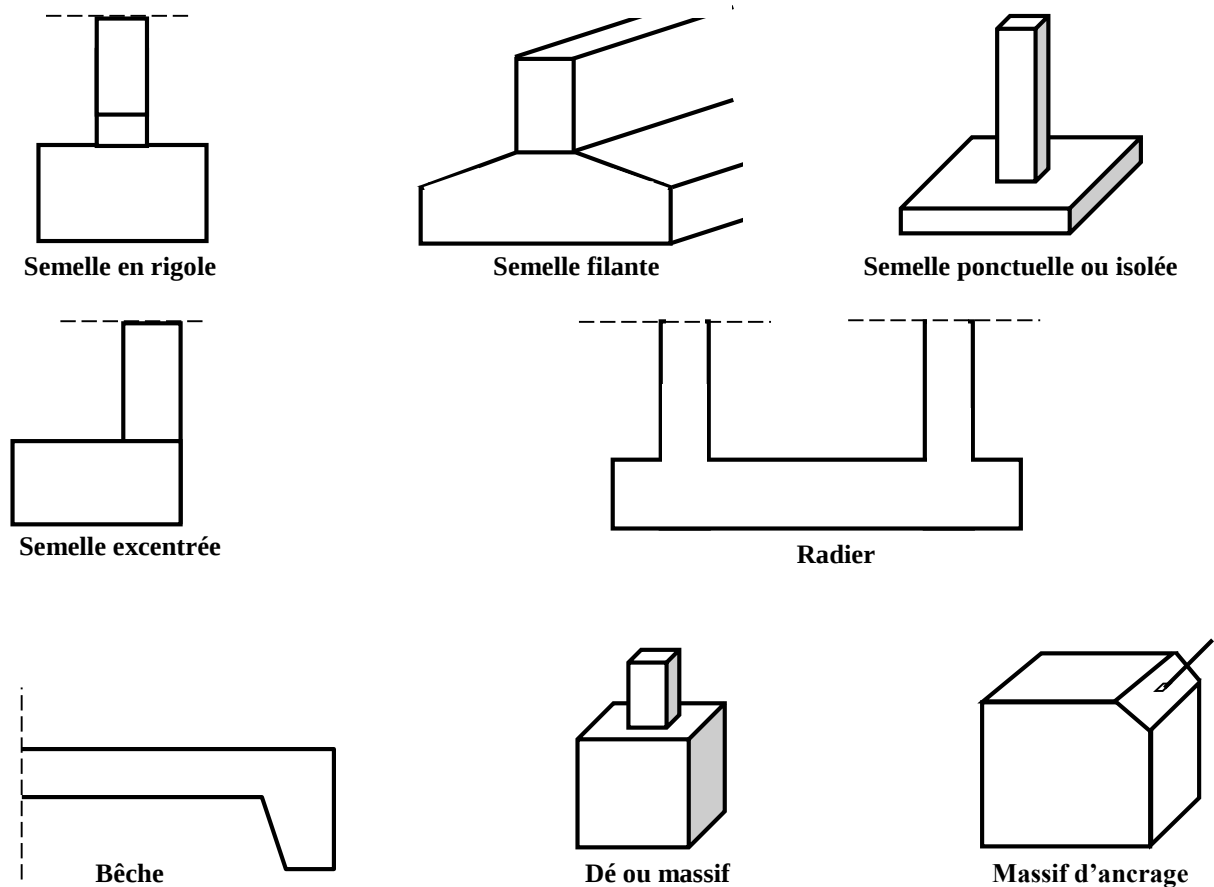


Fig. 3.7 – Typologie des fondations superficielles

V.2 - Les fondations profondes

Les fondations profondes permettent d'aller chercher la couche résistante à une profondeur adéquate, en traversant les couches de qualité moindre.

➤ Fonctions

Généralement ponctuelles, elles transmettent les mêmes types d'efforts que les fondations superficielles. C'est le cas des puits, des pieux et des barrettes.

Elles peuvent également reprendre des efforts de soulèvement comme les ancrages.

V.3 - Les fondations spéciales

Ce type de fondations répond à des objectifs spécifiques du fait de leur rôle dans la construction, de la nature des terrains et de la présence d'eau éventuelle sous forme de nappe phréatique.

Ce sont en général :

- des enceintes étanches ou non ;
- des reprises en sous œuvres ;
- des fondations anti-vibratiles ;
- des cuvelages ;
- des fondations en terrain minier, sur carrière ou fontis.

V.4 - Les Fondations superficielles

V4-1 - Fondations linéaires et ponctuelles

a) Les fondations en rigole

Les fondations en rigole sont des fondations en béton, dosé à 250 kg /m³ environ, coulé en pleine fouille correspondant à une surlargeur de l'embase du mur de sorte que la contrainte du sol soit inférieure au taux de travail admis.

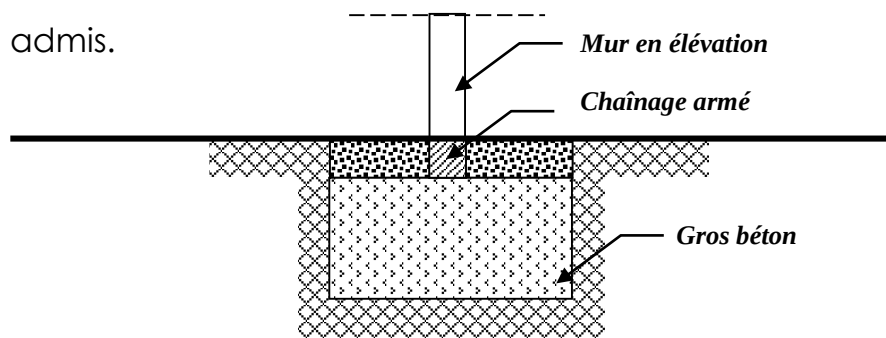


Fig. 3.8 – Fondations en rigole

La condition d'équilibre statique doit répondre à l'équation suivante :

$$L = \frac{p}{\sigma} \leq 1$$

$\overline{L}$

ou P est charge apportée par le mur σ le taux de travail admissible du sol et L, la largeur de la semelle

Les dimensions minimales admises sont :

- L = 40 cm, soit la largeur d'une pelle ;
- H = 30 à 40 cm, sous réserve d'un ancrage suffisant et d'être hors gel.

En général, la hauteur des fondations est au moins égale à la moitié de sa largeur, de telle manière que le béton ne travaille qu'à la compression. Considérée comme une semelle rigide, elle ne comporte aucune armature, hormis des aciers longitudinaux formant un chaînage, dont la section équivaut à 2 cm³ (aciers à haute adhérence).

Remarque 2 : L'assise doit être rigoureusement horizontale. Lorsqu'une pente ou des dénivellations existent, le rattrapage des niveaux se fait par des redans de hauteur appropriée.

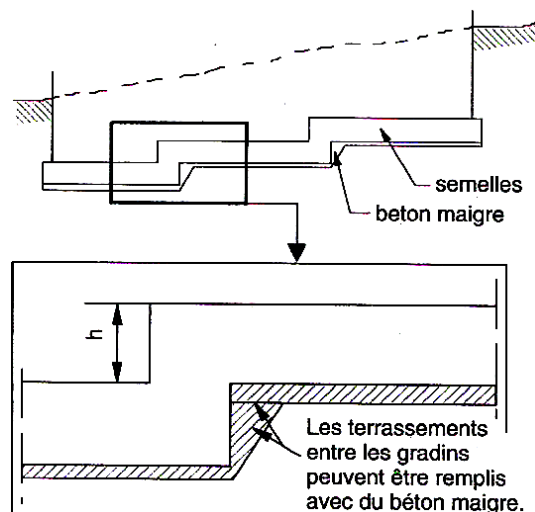


Fig. 3.9 – Fondation en redans

b) Les semelles filantes

Les semelles filantes sont en béton armé, au pied d'un mur ou sous une file de points porteurs, avec interposition d'un béton de propreté de 5 à 10 cm pour éviter le contact des armatures avec le terrain.

La semelle fonctionne comme une console inversée, créant des lignes de fracture partant à 30° depuis la base du mur.

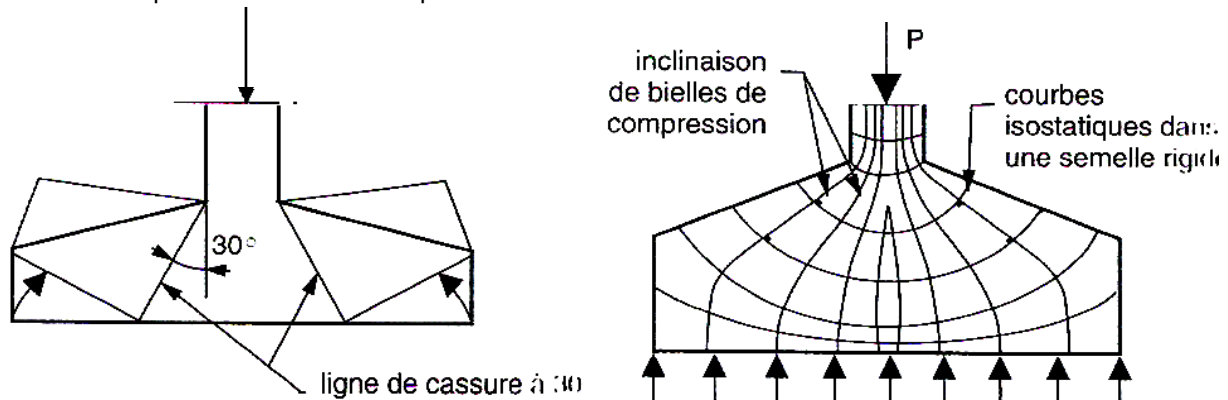


Fig. 3.10 – Fractionnement d'une semelle – principe des bielles

Les armatures transversales qui reprennent les efforts de traction sont déterminées en utilisant la méthode des bielles.

L'inclinaison de ces bielles (30°) permet de définir les efforts de traction au niveau de l'assise de la semelle et de calculer les armatures correspondantes.

Suivant sa hauteur, la semelle est considérée comme rigide ou flexible. Si la condition $H > (B - b) / 2$ est remplie, la semelle est considérée comme rigide ; l'effort tranchant n'apporte pas de contraintes excessives dans le béton. Si cette condition n'est pas remplie, la semelle est considérée comme flexible ; il est alors nécessaire de prévoir des armatures résistantes aux efforts tranchants.

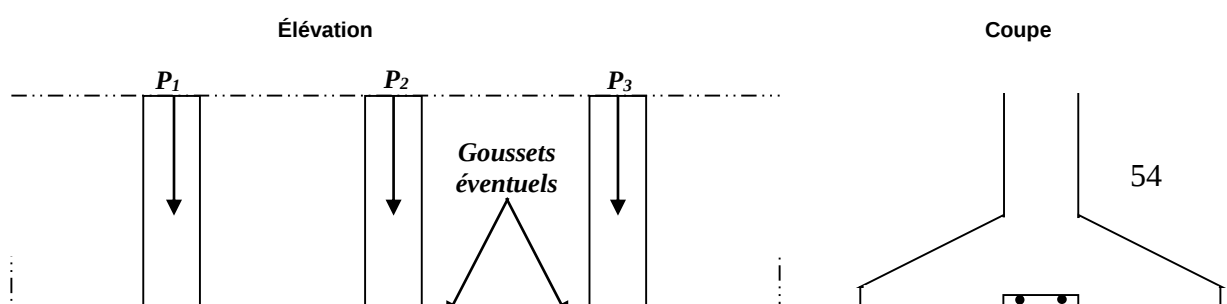


Fig. 3.11 – Semelle continue sous poteaux

C) Les semelles ponctuelles (isolées)

Réalisées en béton armé, les semelles ponctuelles transmettent au sol d'assise les charges amenées par des points porteurs isolés. Pour des raisons de commodités de coffrage, elles sont carrées ou rectangulaires ou rarement circulaires.

Les armatures des semelles rigides comportent deux nappes orthogonales de section sensiblement égales qui reprennent les efforts de traction dans les deux directions.

Les semelles de type flexible nécessitent des aciers complémentaires afin de compenser les efforts tranchants. Plus légères, elles présentent un intérêt lorsque le sol est de qualité médiocre.



Fig. 3.12 – Semelles isolées et ferrailage

d) Les semelles « couteau »

Les semelles « couteau » constituent un cas particulier des semelles isolées et assurent le transfert des charges ponctuelles sur un mur porteur continu : poteau en rez-de-chaussée reposant sur un mur en sous-sol.

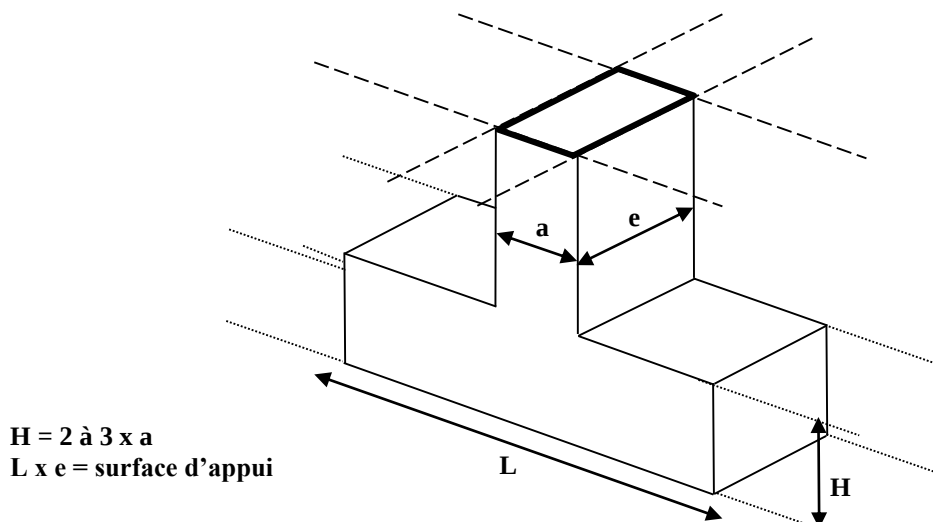


Fig. 3.13 – Semelle couteau

V.4-2 - Les semelles excentrées

Une semelle est dite excentrée lorsque la résultante des efforts verticaux ne coïncide pas ou ne passe pas par son centre de gravité.

En supposant le sol comme un milieu pseudo-élastique, il s'ensuit que la répartition des contraintes sur le terrain n'est pas uniforme.

De plus, seule la portion de semelle qui se trouve directement sous l'élément porteur intervient dans le report de charges.

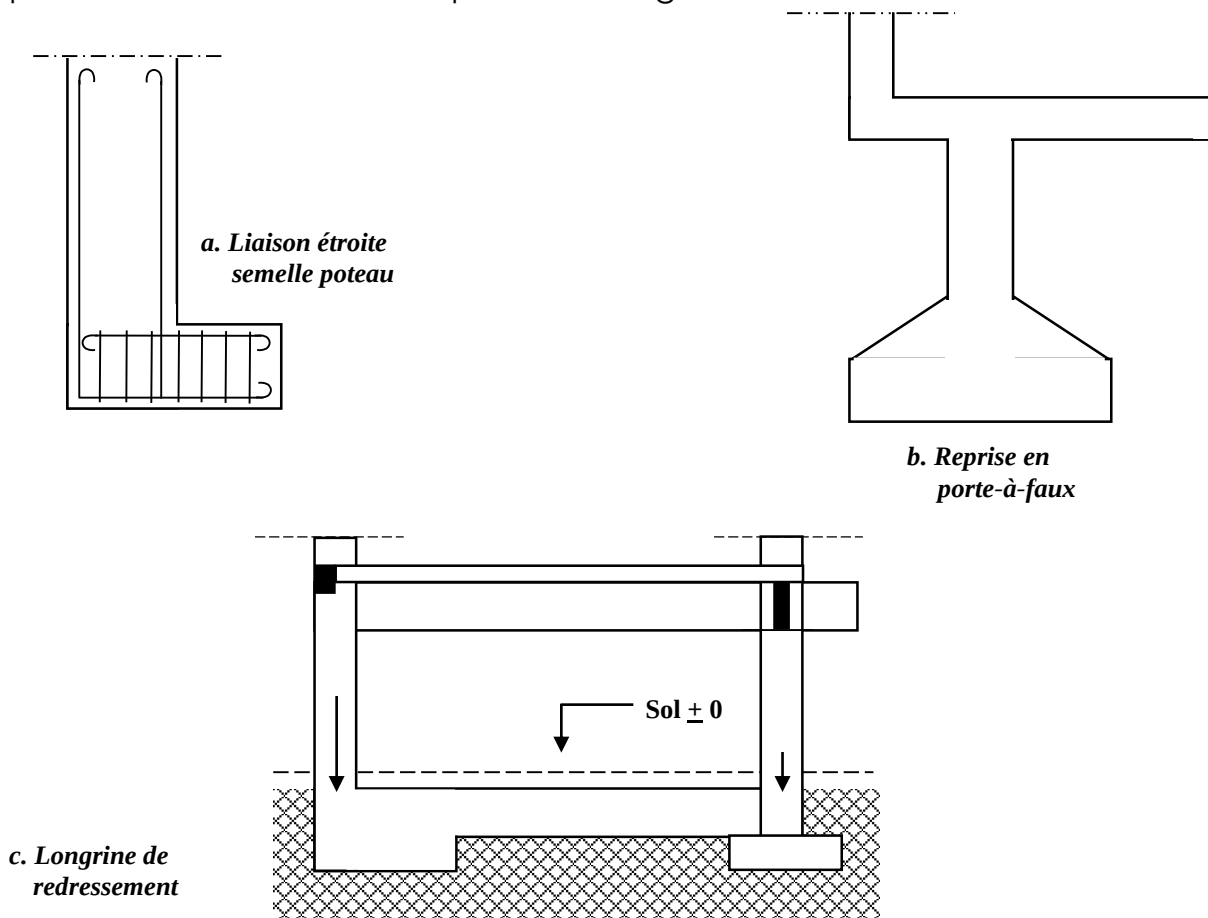


Fig. 3.14 – Semelles excentrées avec longrine de redressement

Pour réaliser l'équilibre de la semelle excentrée, plusieurs solutions sont envisageables.

- Réaliser un ensemble semelle - mur en béton armé capable de résister au moment de flexion dû à l'excentrement ;
- Relier la semelle à des longrines de redressement ;
- Créer un porte-à-faux au niveau du premier plancher.

VI.4-3 - Les Radiers

Lorsque le sol d'assise est de qualité médiocre, la dimension des semelles est telle que leur emprise est excessive par rapport à la surface de la construction.

Dans ce cas, il est recommandé de les relier entre elles, donc de réaliser un radier général

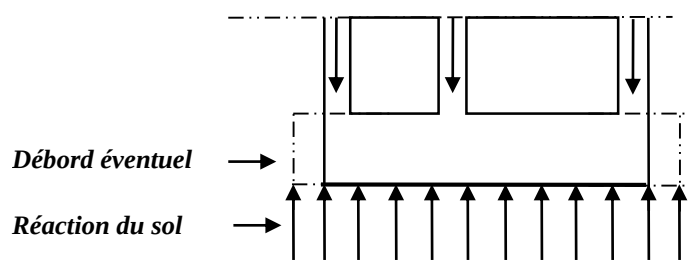


Fig. 3.15 – Radier général

Le radier, peut se comprendre comme un plateau en béton armé sur toute la surface d'emprise du bâtiment, afin d'assurer une meilleure répartition des contraintes sur le sol d'assise.

V.4-4 - Les dallages

Cas particulier des radiers, les dallages sur terre-plein sont utilisés pour des bâtiments légers amenant une surcharge faible sur le sol d'assise ou pour des bâtiments industriels.

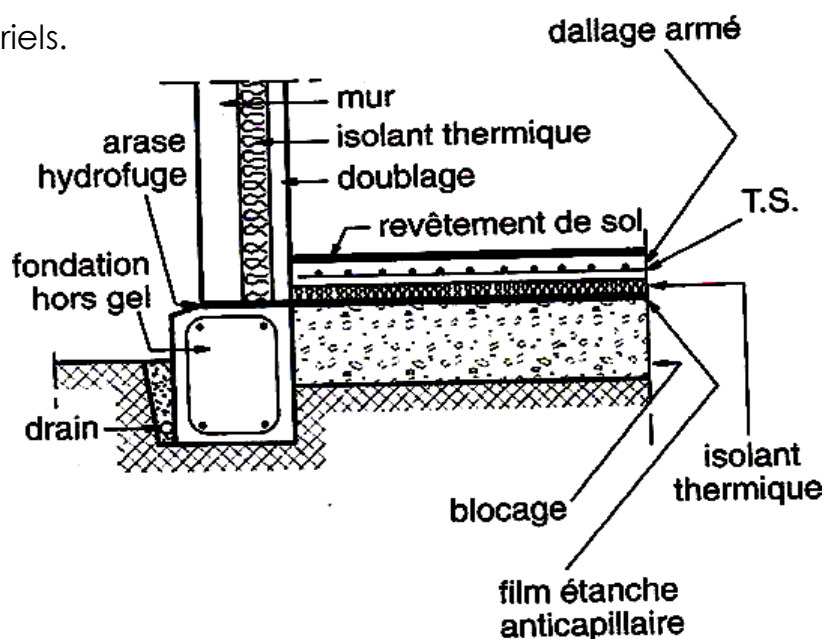


Fig. 3.16 – Dallage sur terre - plein

Sur le terrain décapé, est réalisé le complexe suivant :

- Une sous-couche ou forme, en pierres concassées ou en gravier tout venant compacté, qui constitue l'assise horizontale ;
- Le corps du dallage, coulé en béton armé par un treillis soudé, d'une épaisseur de l'ordre de 10 à 15 cm selon les charges transmises au sol, indépendant ou non des murs périphériques.

Suivant la nature du terrain, les risques d'humidité et la destination des locaux, les éléments suivants sont interposés :

- Une barrière étanche pour éviter les remontées d'humidité par capillarité ;
- Un isolant thermique.

En périphérie, une bêche anti-gel peut également servir d'assise pour les murs extérieurs.

V.4.5 - Les dés et les massifs

Généralement en béton armé, les dés et les massifs sont des éléments de fondation aptes à transmettre des efforts horizontaux ou inclinés, à reprendre des moments, voire des efforts de soulèvement.

VII/ Les Fondations profondes

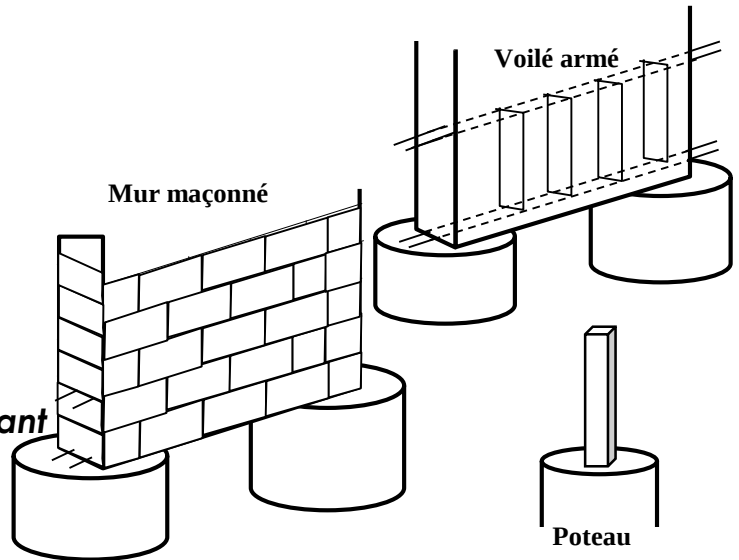
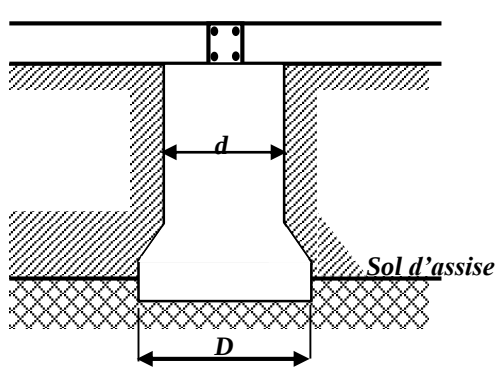
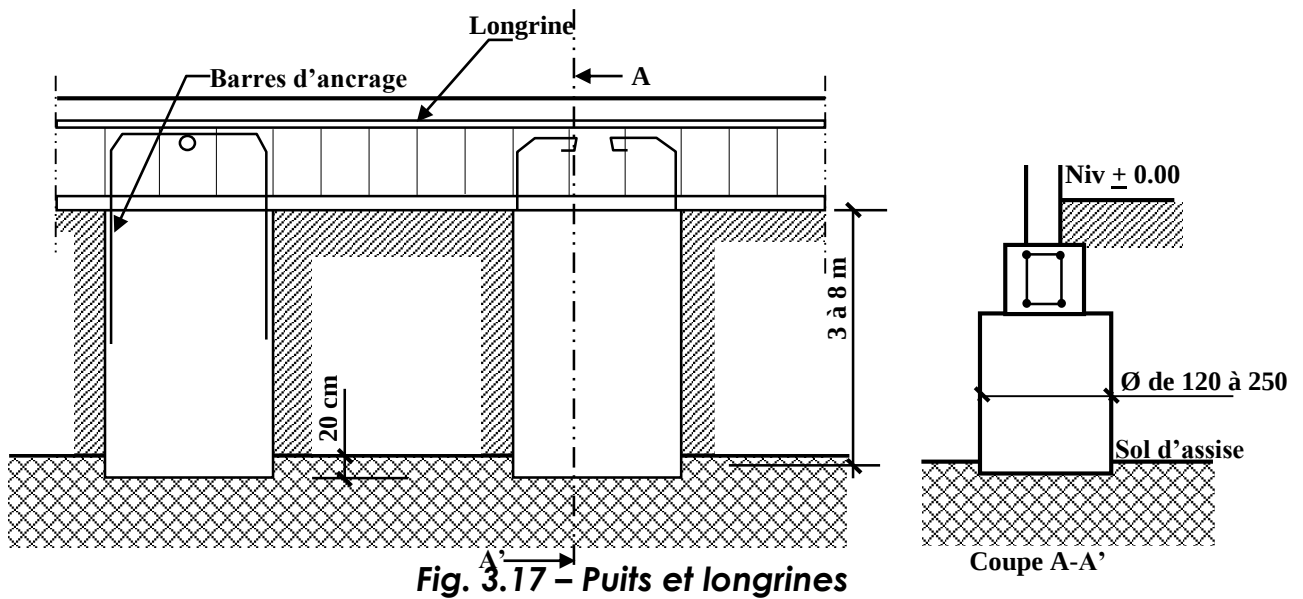
Les fondations profondes regroupent tous les types de fondation pour lesquelles le rapport H/B est supérieur à six ou prenant appui sur un sol d'assise situé à plus de trois mètres de niveau le plus bas de l'ouvrage.

VII₁ - Les Puits

Les puits sont des éléments de fondations qui permettent d'atteindre le sol d'assise lorsqu'il se trouve à une profondeur de l'ordre de 3,00 à 8,00 m.

Creusé à l'aide d'une pelle mécanique ou d'une benne preneuse, le réglage du fond nécessite une intervention manuelle.

La section des puits est circulaire et d'environ 1,20 m à 2,50 m, voire même carrée ou rectangulaire



VII₂- Les Pieux

Les Pieux sont des éléments ponctuels prenant appuis sur sol situé à une profondeur pouvant aller de 6,00 à 20,00 m, voire plus.

Suivant la méthode de fabrication et de mise en œuvre, il faut distinguer les pieux préfabriqués et les pieux exécutés sur le site.

VII_{2.1} - Pieux préfabriqués

Ces pieux sont d'un seul tenant, sans raccords. Leur longueur est fonction de la fiche probable pour la charge prévue. Ils sont mis en place par

battage et par vibro fonçage, verticalement ou inclinés. Ils sont réalisés en acier, en béton armé et en bois.

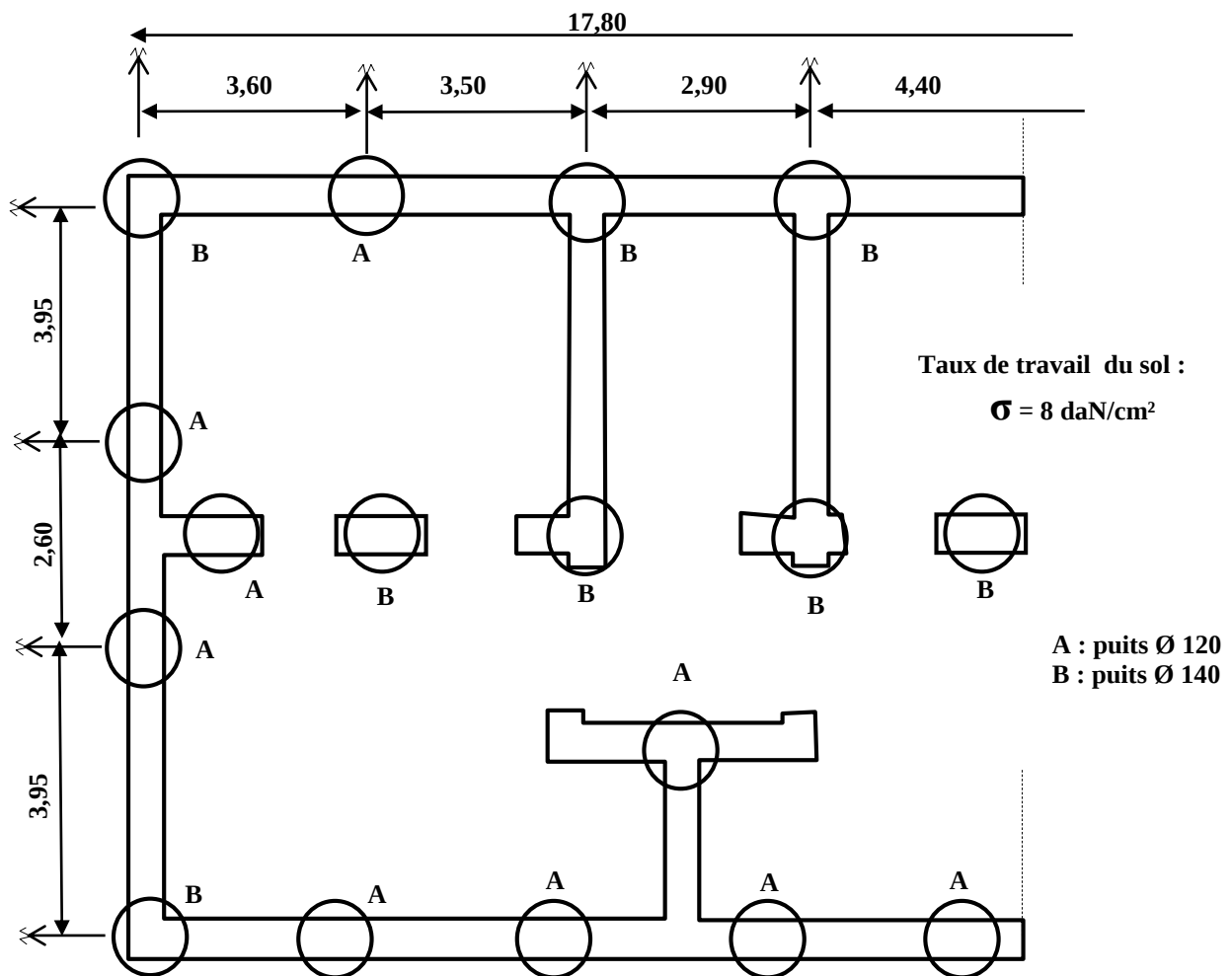


Fig. 3.19 – Exemple d'implantation des puits

a) L'acier

Le corps est constitué d'un profil en forme de H, de dimensions allant jusqu'à 50 cm, ou d'un tube de section circulaire ou polygonale de 30 à 60 cm de diamètre.

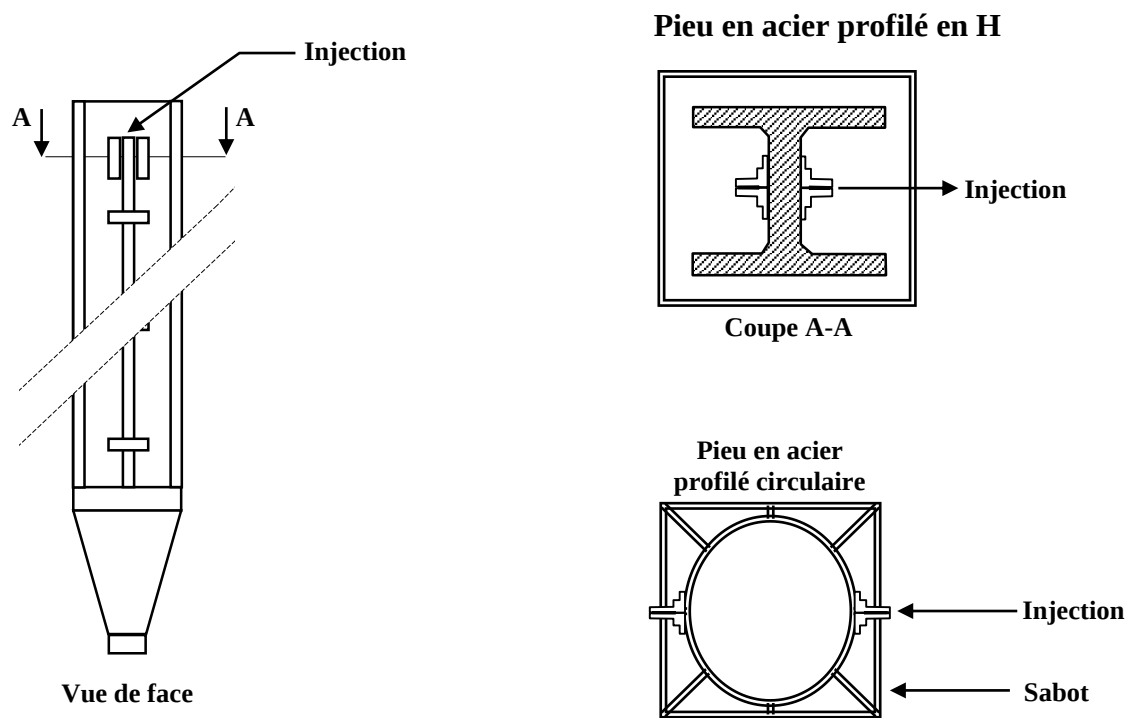


Fig. 3.19 – Exemple d'implantation des puits

Selon la nature du terrain et son degré d'agressivité, le fût métallique est protégé ou non, par injection de béton.

b) Le béton armé

Les pieux se composent de trois parties :

- Le sabot, pointe en acier ou en fonte qui assure la pénétration du pieu dans le terrain ;
- Le corps, dont la section est carrée, polygonale ou circulaire ($\varnothing$ de 30 à 60 cm environ), doté d'armatures longitudinales et transversales reprenant les contraintes de flexion en cours de levage, de transfert ou de remise en œuvre ;
- La tête réalisée en béton fretté pour résister aux contraintes du battage ; celui-ci n'est jamais effectué directement sur le pieu, mais par interposition d'un casque de battage métallique ou en bois afin de protéger sa tête.

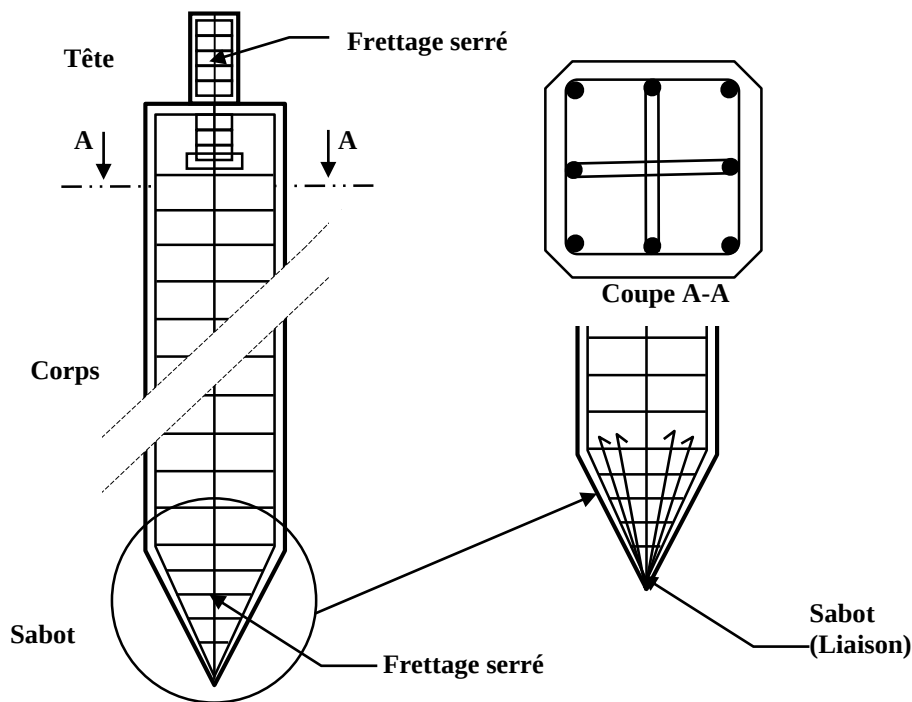


Fig. 3.19 – Pieu préfabriqué en béton armé

c) Bois

Très utilisé dans le passé comme pieu en fondation pour des ouvrages importants, ce matériau est remplacé maintenant par l'acier et le béton. De nos jours, le bois présente comme inconvénient majeur le danger de pourrissement lorsqu'il est soumis à une présence temporaire d'eau due à des variations du niveau de la nappe phréatique.

VII.2.1-1/ Pieux exécutés in situ

Les pieux exécutés in situ sont définis par cinq critères qui sont :

- ⇒ Le tubage, qui peut être ou non utilisé dans la réalisation des pieux, suivant la tenue du terrain. Muni d'un sabot métallique ou d'un bouchon en béton, il pénètre dans le sol. En principe, le tubage est retiré lors du bétonnage. Dans certains procédés, les terres sont maintenues en place à l'aide d'une boue "thixotropique".
- ⇒ Le mode de mise en place du tubage, qui se fait par battage sur la tête du tube, vibrofonçage, vérinage ou par rotation du tube.

- ⇒ Le forage, effectué par pilonnage et compression du sol ou par remontée des terres à l'aide d'une tarière ou d'une benne preneuse. Les sols rocheux sont brisés à l'aide d'un trépan. Éventuellement, une cavité peut être créée par explosion à la base du pieu.
- ⇒ Les armatures, nécessaires ou non suivant le mode de travail des pieux. Indispensables si les pieux sont soumis à des efforts de traction ou de cisaillement, elles sont constituées par des cages d'armatures cylindriques par des profilés ou des tubes métalliques enrobés, mis en place avant le bétonnage.
- ⇒ Le mode de bétonnage, c'est-à-dire, la mise en œuvre du béton, faite mécaniquement, par pilonnage du béton, sous pression ou par vibration.

En dehors des pieux battus pitonnés, le bétonnage doit se faire par la base du pieu à l'aide d'un tube plongeur.

*** Thixotropique : Caractéristique que présente certaines matières de passer de l'état de gel, au repos, à celui de liquide dès qu'elles subissent une agitation.**

L'intérêt de cette technique est double :

- Éviter la ségrégation du béton et maintenir la même couche de béton pollué en surface, permettant ainsi d'éliminer avant la réalisation des longrines ou des semelles.

Le diamètre du fût va de 400 à 650 mm pour des pieux battus ; il peut être supérieur à 600 mm pour les pieux forés.

Le choix du type de pieu dépend :

- de la nature des couches de terrain
- des surcharges et des efforts à reprendre
- de la technicité de l'entreprise
- de l'environnement du chantier
- du coût d'exécution.

Il existe les pieux pilonnés sans tubage et les pieux pilonnés à tube battu.

✓ Cas du pieu pilonné à tube battu

A sa base, le tubage est muni d'un bouchon de béton. Il est enfoncé par battage sur le bouchon jusqu'à la couche d'assise, en comprimant le sol avoisinant.

De consistance ferme, le béton est introduit dans le tube par petite quantité, puis pilonné et refoulé dans le terrain. Ceci augmente la rugosité du pieu et améliore la résistance ou frottement.

Parallèlement au bétonnage, s'effectue l'extraction du tube, en vérifiant que la longueur retirée reste inférieure à la hauteur du béton en place de manière que la surface de celui-ci ne soit jamais en contact avec le terrain.

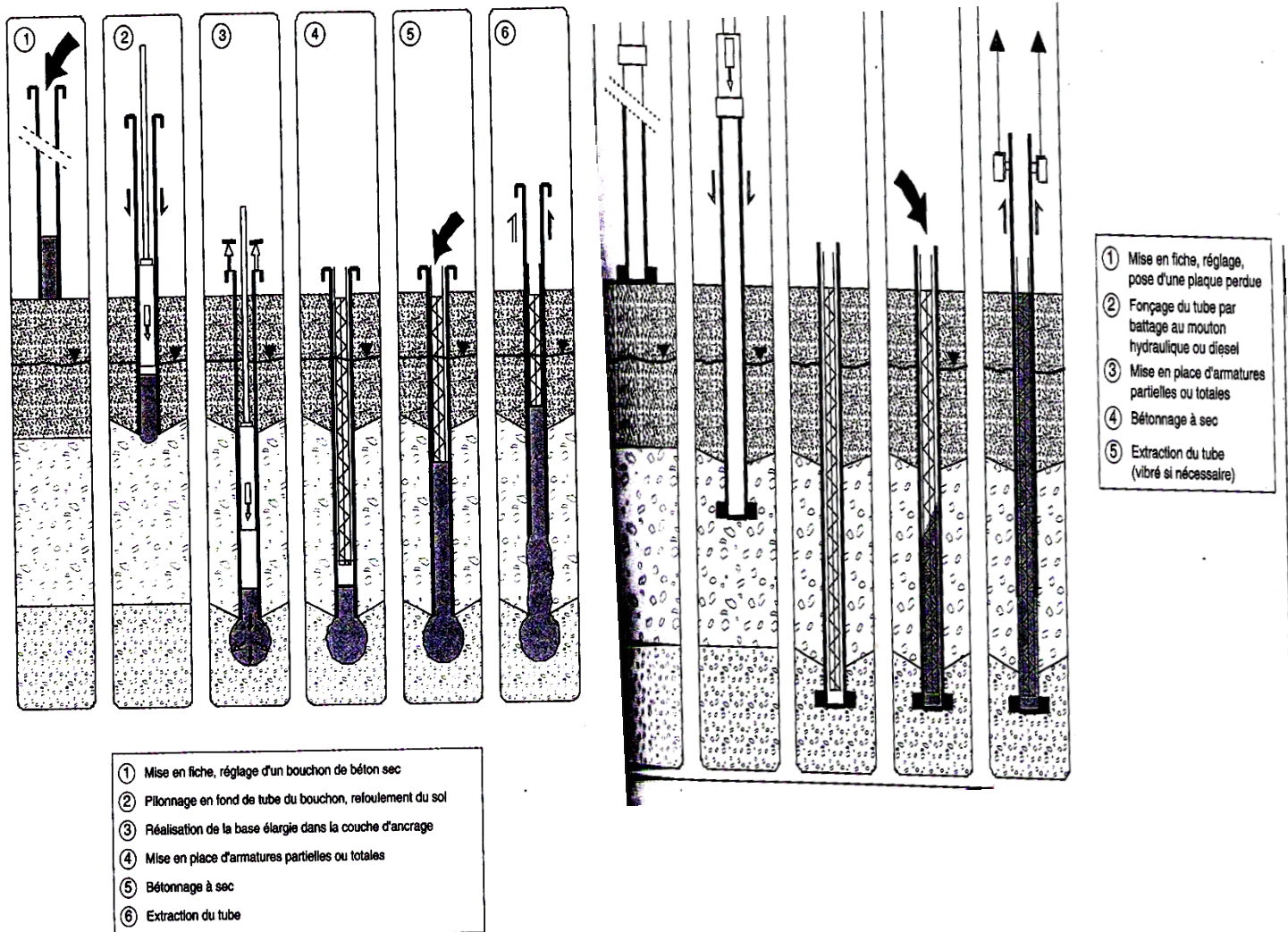
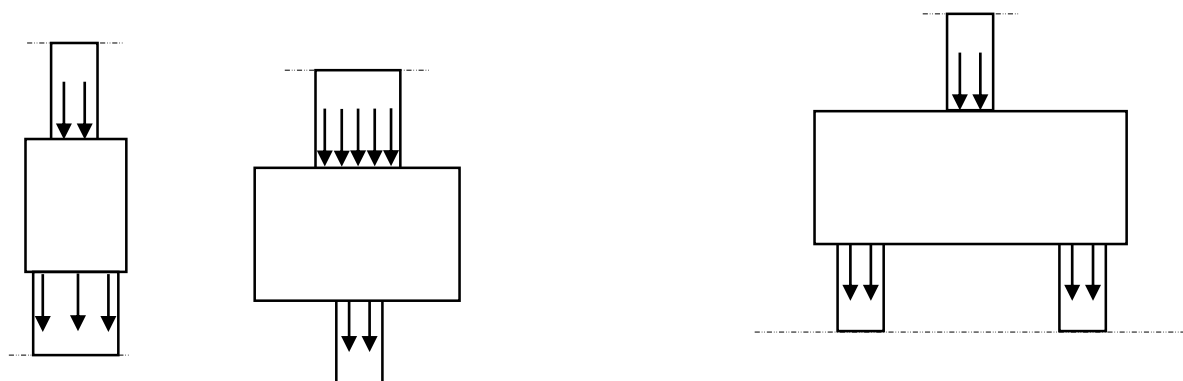


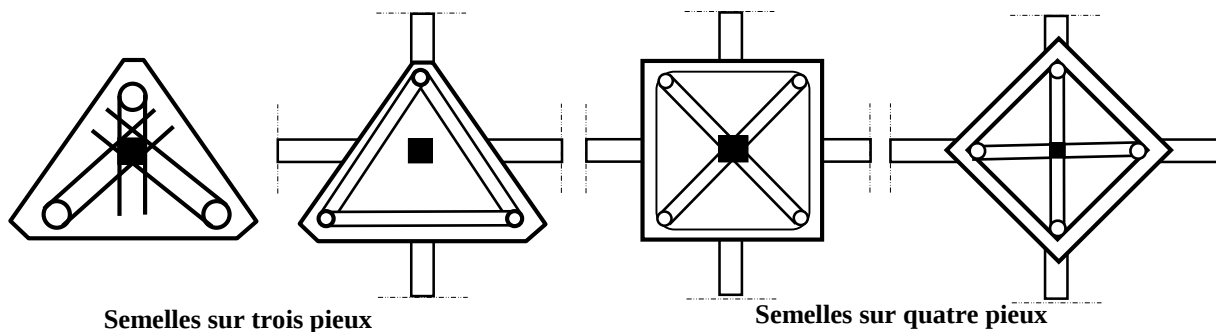
Fig. 3.20 – Exécution de pieux battus pilonnés (Système FRANKI)

Fig. 3.21 – Exécution de pieux moulés dans le sol à tube battu (Système FRANKI)



Semelles sur un pieu

Semelles sur deux pieux



Semelles sur trois pieux

Semelles sur quatre pieux

Fig. 3.19 – Exemple d'implantation des puits

VIII/ Avantages et Inconvénients des pieux

a) Les avantages

Les pieux présentent un certain nombre d'avantages suivant leurs modes d'exécution.

Ils permettent, entre autres :

- la recherche d'un sol d'assise à grande profondeur, suivant son pendage, suffisamment homogène pour bénéficier des efforts de frottement ;
- un travail facilité en terrain aquifère, sous réserve de quelques précautions ;
- une réalisation rapide des travaux et une grande facilité d'emploi en terrain aquifère lorsqu'ils sont préfabriqués ;
- la formation d'un bulbe et l'amélioration des effets de frottements dans les pieux pilonnés ;
- l'absence de vibrations lors de la réalisation de pieux forés, dont l'emploi est conseillé en tissu urbain ;
- une exécution par basse température sans gêne excessive.

b) Les inconvénients

- la difficulté du maintien de la verticalité ou de l'angle d'attaque du tubage, sans risque de dévoiement ;
- la continuité de bétonnage et le parfait enrobage des armatures qui sont délicats à obtenir ;
- le risque de délavage du béton en présence d'eau ;
- l'emploi du matériel spécifique qui entraîne des surcoûts non négligeables ;
- l'aire de travail importante pour la mise en œuvre de pieux préfabriqués, technique utilisable seulement si les pieux sont d'égale longueur ;

- l'analyse de l'agressivité du terrain, avant toute utilisation de pieux en acier
- les vibrations importantes occasionnées par le battage, créant une gêne non négligeable pour le voisinage ;
- l'emploi des ciments spéciaux en présence d'eau agressive.

IX/ Les Fondations Spéciales

Les fondations spéciales sont dites spéciales dès qu'elles ont un rôle particulier et complémentaire à jouer dans l'ouvrage : former une enceinte, être anti vibratiles, etc.....

IX₁- Les Parois moulées

Les procédés consistent à réaliser une paroi dans le sol, formant une enceinte, descendue à la profondeur souhaitée, en fonction du niveau le plus bas de la construction.

Le but cette enceinte est double :

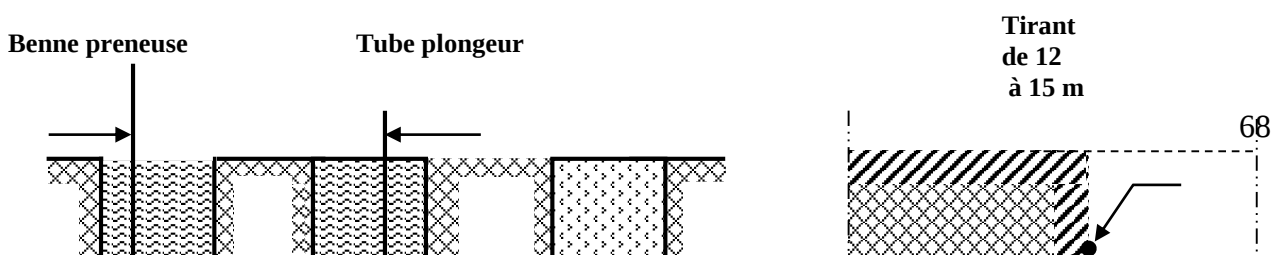
- d'une part, assurer le maintien des terres et des bâtiments voisins lors des travaux d'excavation ;
- d'autre part, constituer un élément pouvant jouer le rôle de fondation pour les éléments porteurs périphériques.

De plus, en présence d'eau, l'étanchéité de cette paroi permet l'exécution des travaux à l'intérieur de l'enceinte.

En béton armé, elle est construite à partir du niveau du sol naturel, sous blindage, ni coffrage.

La tranchée est creusée à l'aide d'un engin équipé d'une benne preneuse spéciale, dont la largeur correspond à l'épaisseur de la paroi, de l'ordre de 0,50 à 0,70 m.

Le positionnement du godet est obtenu par deux murets guides, de part et d'autre de la tranchée. La verticalité est vérifiée sur la tige de guidage. Les profondeurs atteintes peuvent être importantes, de 25 à 30 m, voire plus.



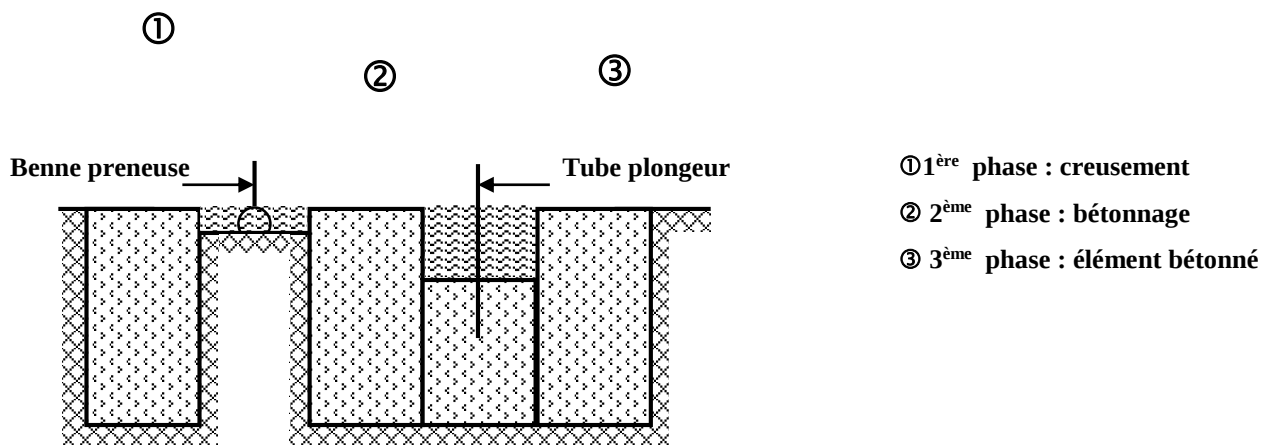


Fig. 3.22 – Parois moulée

Au fur et à mesure de son exécution, la tranchée est remplie d'une boue thixotropique, à base de bentonite (cette boue a la propriété d'être à l'état liquide lorsqu'elle est en mouvement et à l'état de gel au repos ; elle assure le maintien des terres.

On peut également citer un autre cas des parois moulées : "les parois berlinoise".

Ici, la différence est que les parois berlinoise sont constituées des pieux en béton armé régulièrement espacées et reliés en tête par des longrines et reportant ainsi les charges au sol d'assise.

Lorsqu'une construction est réalisée à proximité immédiatement de bâtiments existants, plusieurs précautions sont à prendre, telles que :

- contrôler le niveau des sous sols existants ;
- déterminer par des sondages le niveau des fondations ;
- vérifier que les fondations de la construction projetée soient sensiblement au même niveau que celles existants, afin d'éviter les poussées latérales sur les murs enterrés.

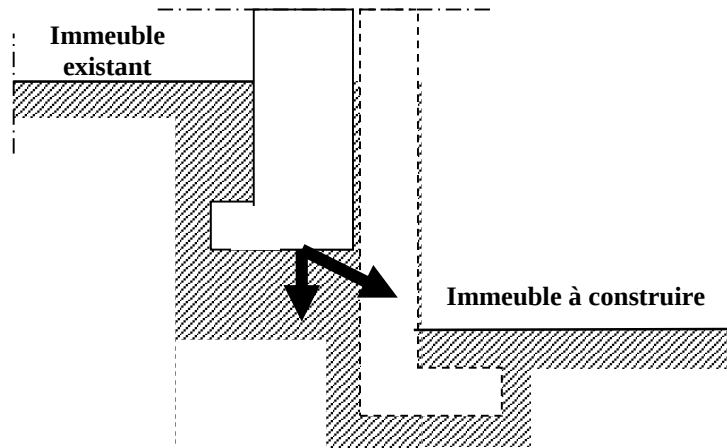


Fig. 3.23 – Incidences entre fondations voisines

Si ce n'est pas le cas, deux possibilités se présentent :

- soit les fondations du nouveau bâtiment sont à un niveau supérieur auquel cas, il suffira de les descendre au niveau des fondations existantes par un système approprié ;
- soit les fondations du nouveau bâtiment sont à un niveau inférieur : il faut procéder à des travaux de reprise en sous œuvre pour reporter les charges de l'existant au niveau des nouvelles fondations
- Solution envisageable :

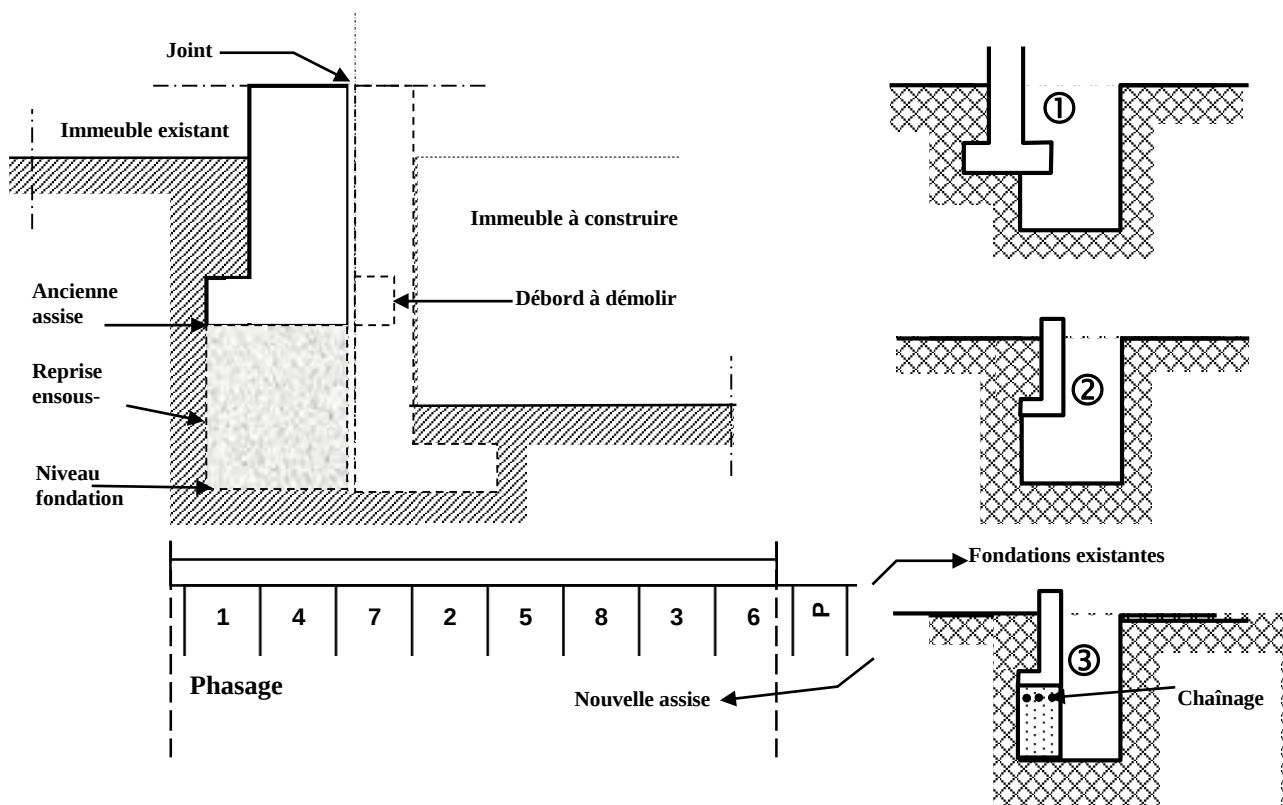


Fig. 3.23 semelle excentrée nouvelle

IV.3 - Les Fondations anti vibratiles

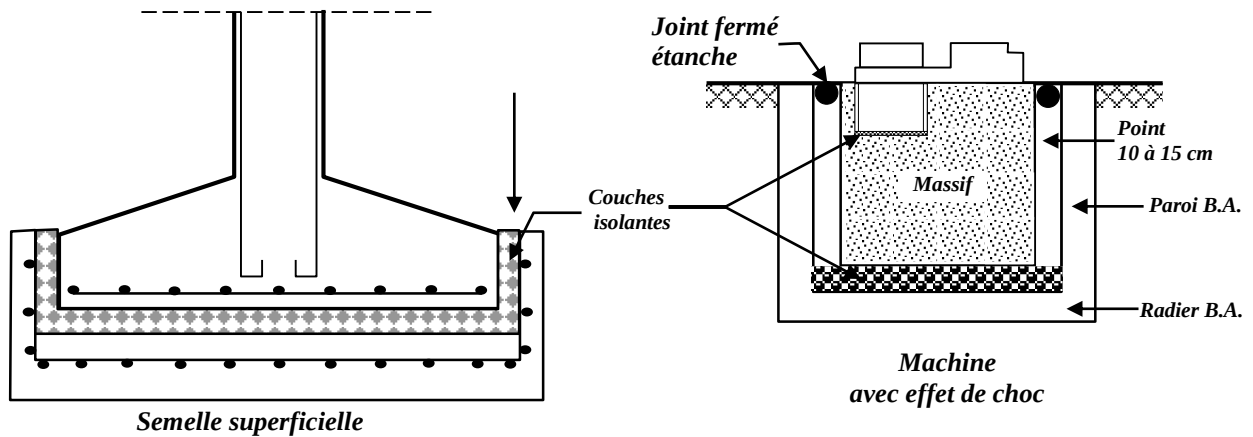
Elles sont mises en œuvre dès qu'il y a risque de transmission de vibrations dans un bâtiment.

Il convient de considérer deux cas de figure possibles :

- la réalisation de bâtiments abritant des laboratoires ou des machines de haute précision qui ne peuvent être perturbés par des vibrations extérieures, provenant de voies de circulation routière ou ferrée ;
- l'installation de machines-outils dans un atelier provoquant des effets de chocs ou des vibrations régulières qui ne doivent pas perturber l'environnement.

Somme toute, ces fondations ont pour objectif d'isoler les constructions des éléments perturbateurs.

A cet effet, il est nécessaire avant toute intervention, de faire une étude des phénomènes vibratoires puis, en cours de travaux d'en contrôler l'exécution.



IV-4/ Les Fondations en présence d'eau

La présence d'eau entraîne un certain nombre de dispositions à prendre lors de travaux de terrassement, au cours des travaux de fondation, et durant la vie de l'ouvrage, afin d'assurer un degré de protection compatible avec la destination des locaux inondables.

Ces dispositions sont arrêtées après avoir déterminé :

- la fréquence de la présence d'eau : permanente, cyclique ou accidentelle ;
- la qualité de l'eau et son agressivité ;
- la destination des bâtiments ;
- les conditions d'exploitation et d'entretien des bâtiments ;
- la nature du terrain ;
- le comportement prévisible de l'ouvrage et de ses fondations ;
- les conditions d'exécutions des fondations.

L'action de l'eau est due à la présence d'une nappe phréatique de niveau constant ou variable à des eaux de ruissellement ou d'infiltration ou à une crue.

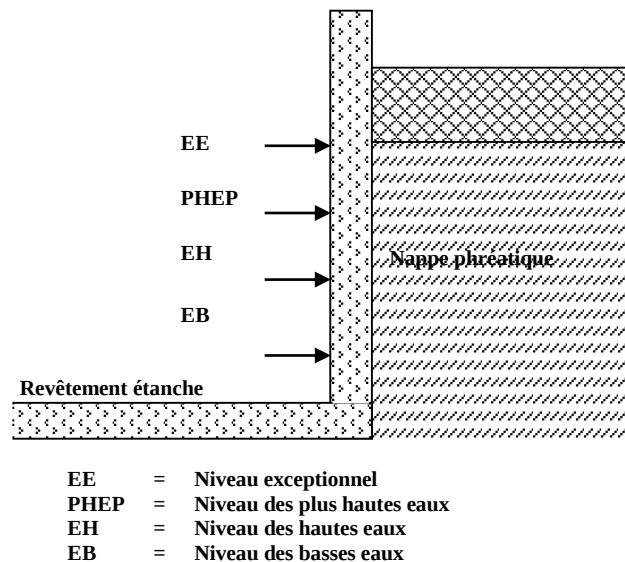


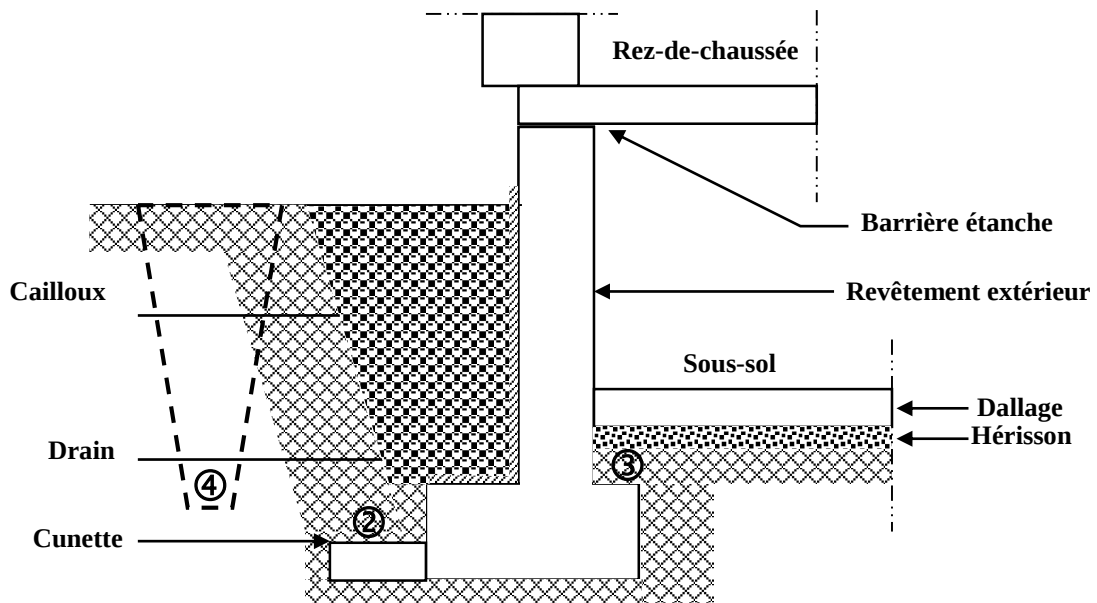
Fig. 3.24 – Les niveaux d'eau

IV_{4.1} - Travaux de drainage

Lorsque le terrain ne présente pas une perméabilité satisfaisante, il est nécessaire d'évacuer les eaux qui peuvent s'accumuler en fond de fouille en vue d'éviter quelques désagréments tels qu'une modification des caractéristiques des sols due à la présence d'eau, une humidité constante au niveau des fondations occasionnant des remontées d'humidité par capillarité dans les murs et dans les planchers.

A cet effet, un réseau de drainage est réalisé pour collecter les eaux de ruissellement et d'infiltration puis les rejeter dans le milieu naturel ou dans le collecteur public.

Le réseau est constitué par des tuyaux perforés en PVC, ciment ou terre cuite, les trains, posés sur une forme en mortier de ciment, la cunette, qui permet de leur donner une pente de l'ordre de 0,2 à 0,5%.



Les drains sont entourés d'une chemise de drainage, film non tissé synthétique, imputrescible, enveloppant un remplissage de cailloux calibrés.

Une autre solution consiste à recouvrir les drains par plusieurs couches de granulométrie différente, cailloux, gravillons et sables.

IV_{4.2} - Travaux de cuvelage

En présence d'une nappe phréatique, le drain ne peut suffire. Il convient alors de réaliser un cuvelage comprenant le support et le revêtement de cuvelage, étanchéité et imperméabilisation.

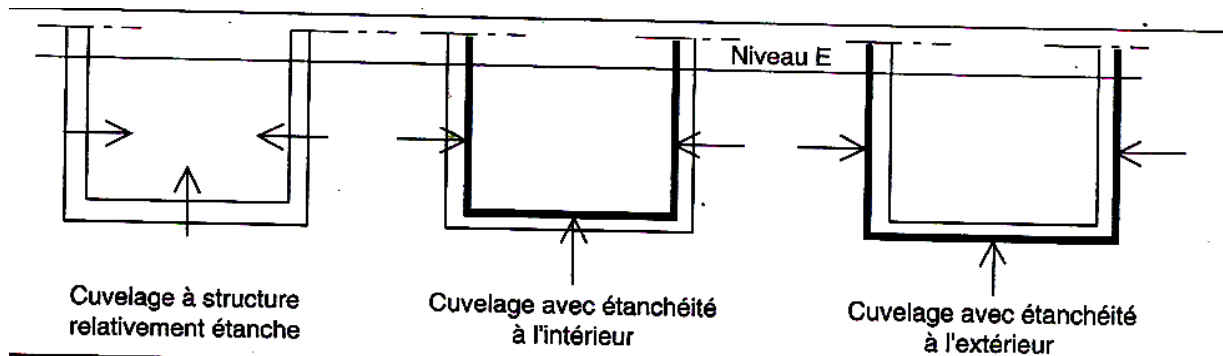


Fig. 3.25 – Types de cuvelage

Le support est constitué des deux éléments suivants :

- la périphérie, ou enveloppe, du niveau soumis à l'action de l'eau y compris tous les accidents de construction tels que rampes d'accès, cages, d'escaliers extérieurs, gaines techniques, etc.
- Les éléments de cuvelage liés à la paroi enveloppe : murs, poteaux et plancher.

*** Le Cuvelage avec revêtement d'étanchéité**

Le revêtement d'étanchéité est traditionnel de type multicouche ou de type asphalte - ou non traditionnel.

Ici, les caractéristiques des matériaux sont à préciser ; ce sont plastomères, élastomères ou membranes bitumineuses.

Il est toujours complété par un contre-cuvelage qui peut être :

- externe, comprenant un pré-radier et des voiles périphérique, réalisés avant le revêtement d'étanchéité, pouvant résister à la pression de l'eau ;
- interne, comprenant un radier et des voiles, réalisés après le revêtement d'étanchéité, dont le rôle est de résister à la pression de l'eau et d'assurer la protection du revêtement.

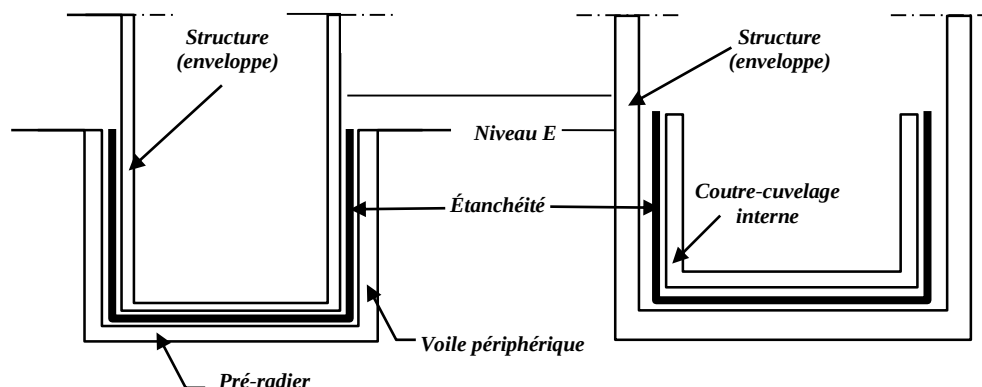
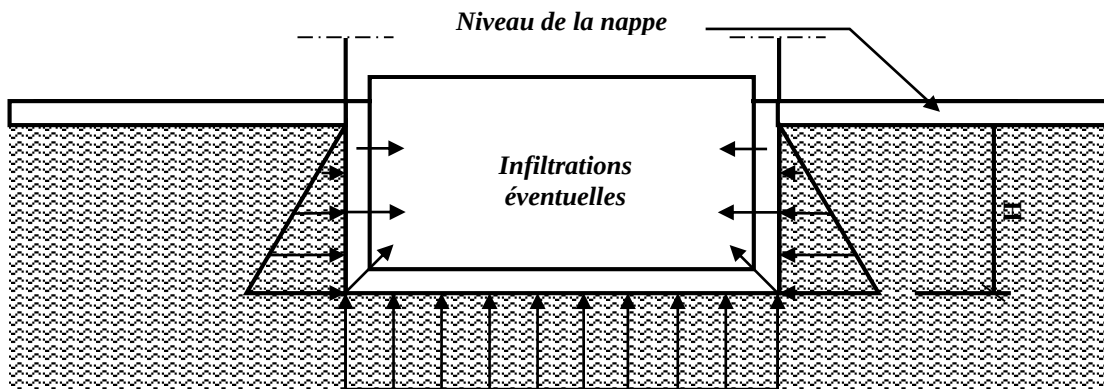


Fig. 3.26 – Contre-cuvelage



La sous-pression augmente avec la profondeur H . Elle a tendance à soulever l'ouvrage

Fig. 3.27– Effet de sous-pression

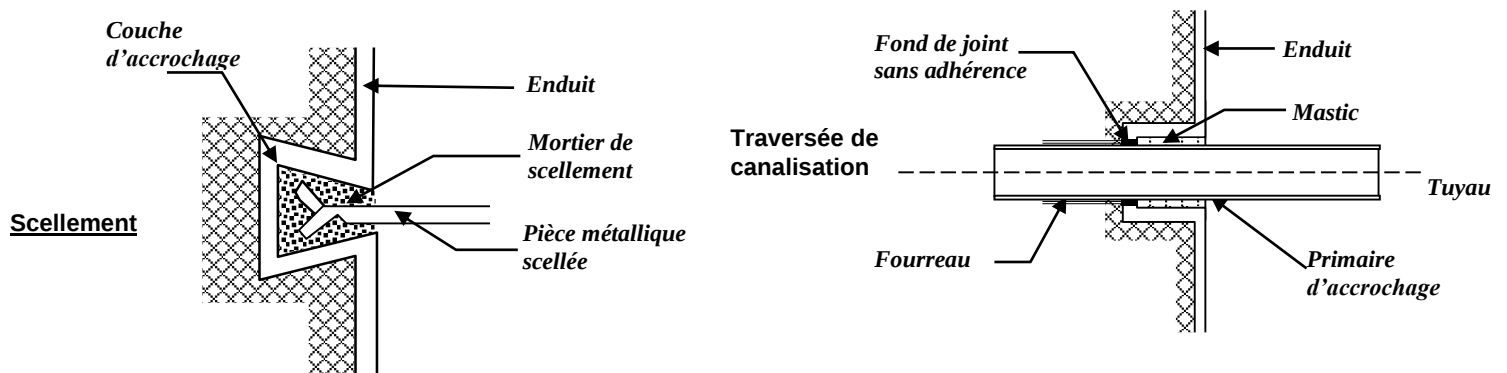
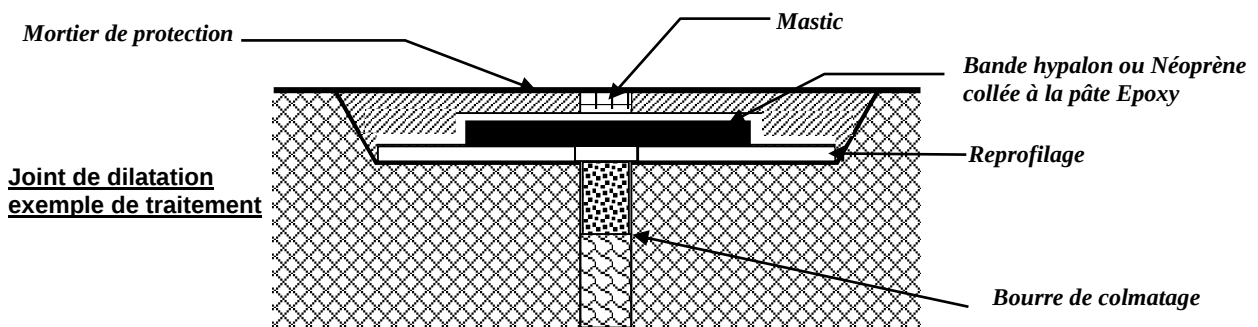
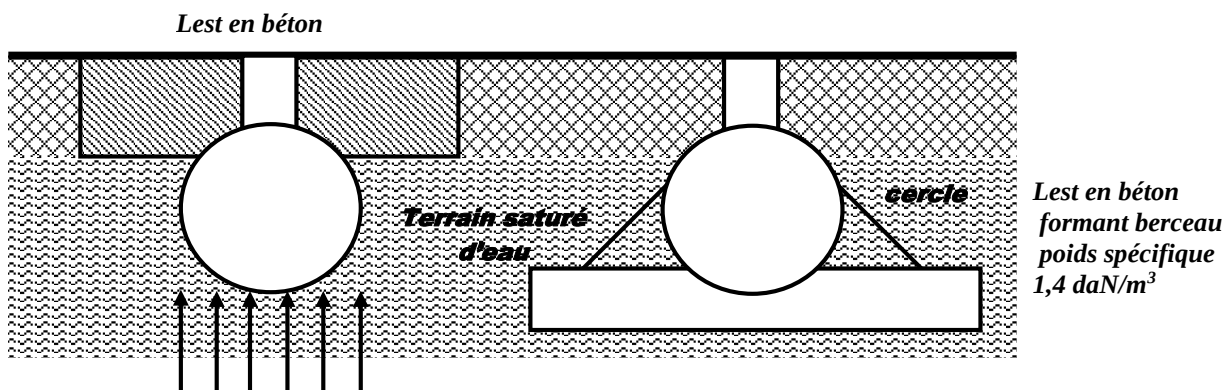


Fig. 3.29 – Point particulier

IV_{4.3} – Fondations en terrain minier ou sur carrière

Compte tenu du caractère particulier de ce type d'ouvrage, il nécessite une étude spécifique après une campagne détaillée de reconnaissance des carrières et des mines.

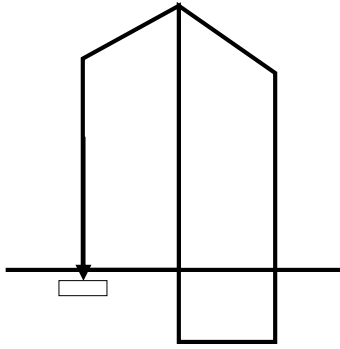
IV_{4.4} - Travaux de drainage

Les désordres au niveau des fondations sont dus en général à des problèmes très variés et d'origine diverse.

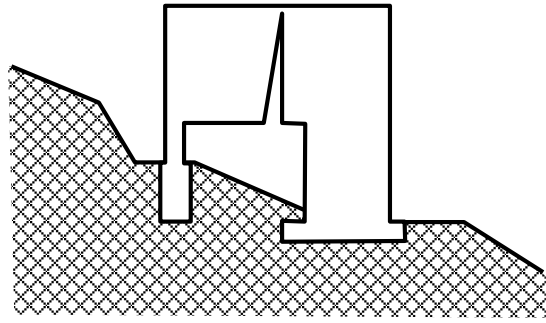
Leurs effets peuvent aller à la fissuration de la structure du bâtiment jusqu'à la mise en péril, c'est-à-dire son abandon pur et simple, la construction devenant impropre à sa destination initiale.

Leurs origines se trouvent dans :

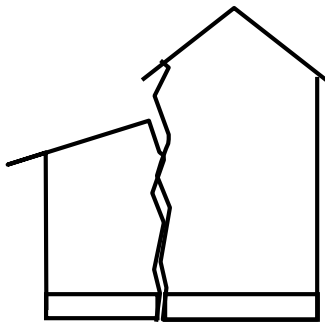
- une reconnaissance de sol incomplète : profondeur insuffisante, présence de cavité, nappe d'eau insoupçonnée, agressivité de l'eau ;
- une erreur de calcul ou de conception : fondations inadaptées et hétérogènes, efforts de cisaillement non pris en compte pour des fondations profondes ;
- une mauvaise exécution : hors gel non-conforme, terrain d'assise non homogène ou non expurgé, ferrailage mal positionné, béton délavé, bétonnage es pieux mal surveillé, absence de chaînage, mauvaise réalisation du cuvelage ;
- une cause extérieure : vibrations importantes lors du battage des pieux



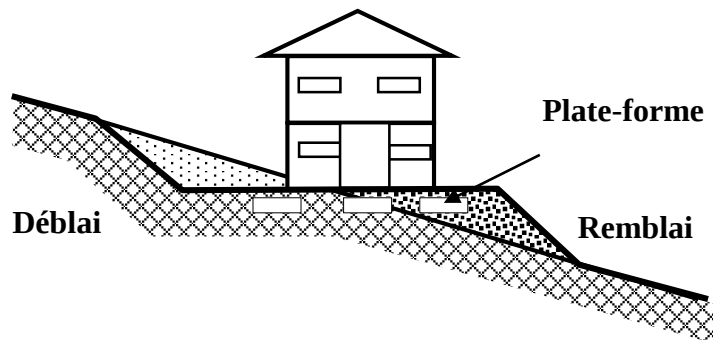
**Sous-sol partiel :
Charge non uniforme**



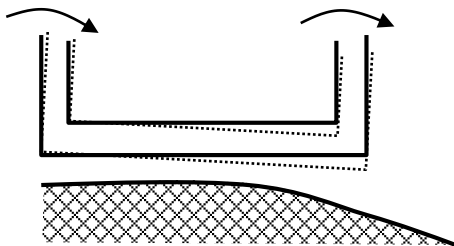
Fondation de type différent



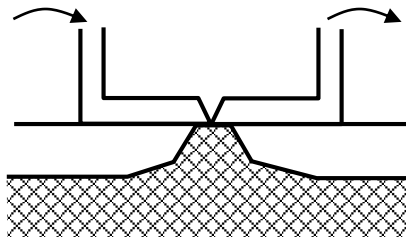
Radier chargé inégalement



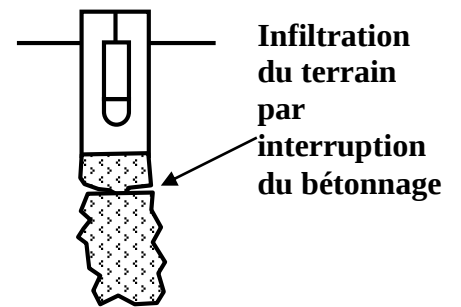
Terrain d'assise non homogène



**Sol compressible
d'épaisseur variable sous
radier**



**Point dur sous
radier**



**Incident de
bétonnage sur pieu**

6. Fondations par semelles et réalisation du dallage sur terre-plein

Procédé : fondations par semelles qui servent d'appui à des plots ou chandelles périphériques espacés de 1,50 à 2,00 m. Les chandelles sont constituées par des blocs perforés en béton plus résistants en compression que les blocs creux classiques.

Intérêt : coupure thermique en nez de dallage et sur la hauteur du mur de soubassement à la périphérie de la construction. Cette solution est conforme au confort d'été de la réglementation thermique, sans disposition d'isolant en polystyrène horizontal, car elle permet de bénéficier de l'inertie thermique du sol surtout en été.

► Fondations par semelles filantes à simple nappe d'armatures

Détail de la semelle	
Section du béton	55 x 25
Filants	4 HA 8
Recouvrement	50 cm pour continuité
Épingles	HA 6 tous les 25 cm

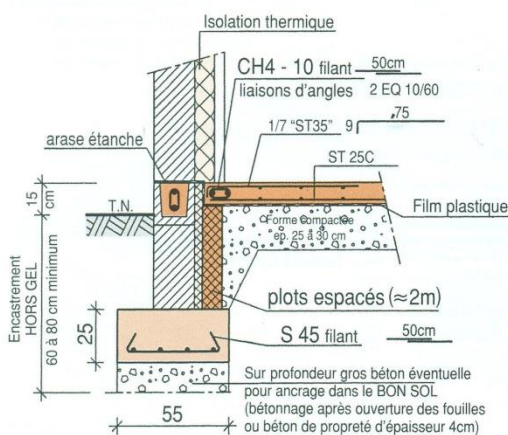


Fig. 26 : Semelle filante plate (1 nappe)

Semelles filantes plates ou renforcées

Type béton	Type BPS C25/30
Section minimale	Filants : $A_s = 1,6 \text{ cm}^2$
Enrobage aciers	4 cm mini.
Liaison aux angles : sortants rentrants façade/refend	2 équerres au moins par angle et par lit d'armatures : HA 8 et retour 50 cm

► Fondations par semelles filantes à double nappe d'armatures

Détail de la semelle	
Section du béton	45 x 25
Filants	6 HA 8
Recouvrement	50 cm pour continuité
Épingles	HA 6 tous les 25 cm

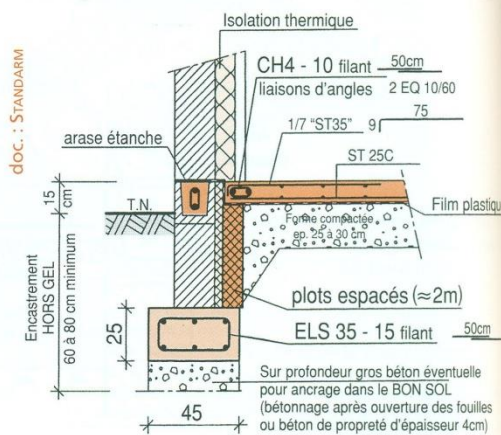


Fig. 27 : Semelle filante renforcée (2 nappes)

► Protection contre l'humidité

- enduit extérieur descendu jusqu'au niveau du dessus de la fondation
- matériaux perméables avec drain d'évacuation
- enveloppe en textile non tissé pour éviter le colmatage du drainage par les boues
- drain en PVC avec fond en cunette et perforations orientées vers le haut
- arase étanche d'ép. 5 cm en mortier hydrofugé

Une différence de niveau d'au moins 15 cm est prescrite entre le sol extérieur et le dessus de la dalle

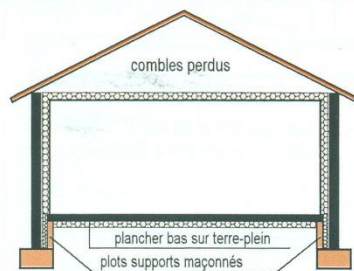


Fig. 28 : Schéma de principe du système porteur avec enveloppe d'isolation thermique

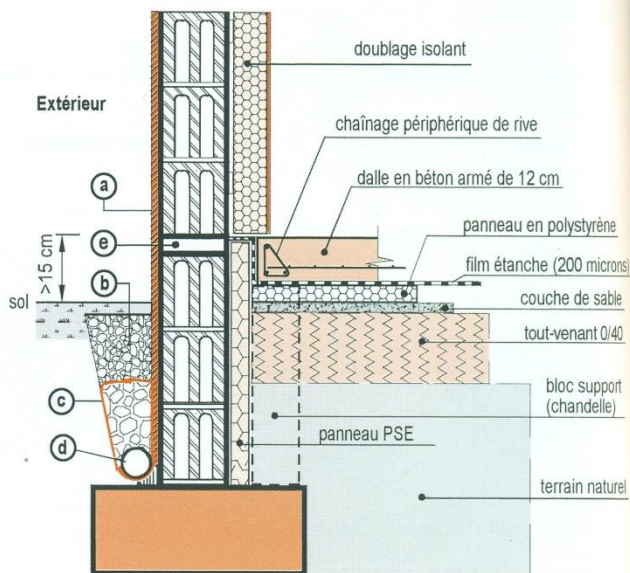


Fig. 29 : Pied de fondation et protection du mur enterré

7. Circuit de mise à la terre en maison individuelle

• Mode opératoire

Il consiste à dérouler un câble de cuivre nu de section 25 mm² en fond de fouille avec les extrémités du câble raccordées à une barrette de coupure.

• Conditions d'efficacité de la terre

La résistance de la prise de terre doit être au plus égale à 100 ohms.

Si le terrain ne le permet pas, il est nécessaire d'utiliser un dispositif à courant différentiel résiduel $I_{\Delta n}$ plus faible du disjoncteur de branchement.

Sensibilité du disjoncteur (milliampère mA)	Résistance maximale de la terre (ohm Ω)
500 mA	100 Ω
300 mA	167 Ω
100 mA	500 Ω

Afin de déterminer la résistance maximale de la terre pour assurer la sécurité, on fixe 2 critères :

- la tension limite admissible sur une masse en défaut, par exemple $U_f = 50$ volts ;
- la valeur du courant de fuite qui s'établit en cas de défaut à la terre. Cette valeur est limitée par la sensibilité du différentiel.

Exemple

On se fixe U_f max = 50 volts sur les masses en défaut et le disjoncteur indique une sensibilité de 500 mA.

La résistance maximale de la terre R_t ne doit pas dépasser :

$$R_t \leq \frac{50 \text{ volts}}{0,500 \text{ A}} = 100 \text{ ohms}$$

Le tableau suivant s'établit de même :

I_d (mA)	R_t (Ω)	R_t (Ω)
30 mA	830	1660
300 mA	83	166
500 mA	50	100
U limite $\rightarrow$	$U_f = 25 \text{ V}$	$U_f = 50 \text{ V}$

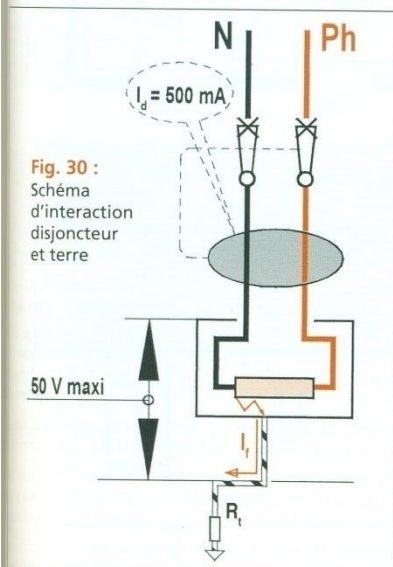


Fig. 30 : Schéma d'interaction disjoncteur et terre

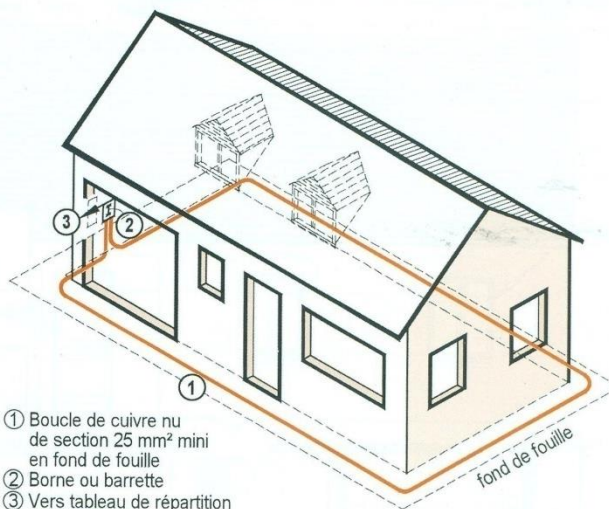


Fig. 31 : Boucle de cuivre nu en fond de fouille

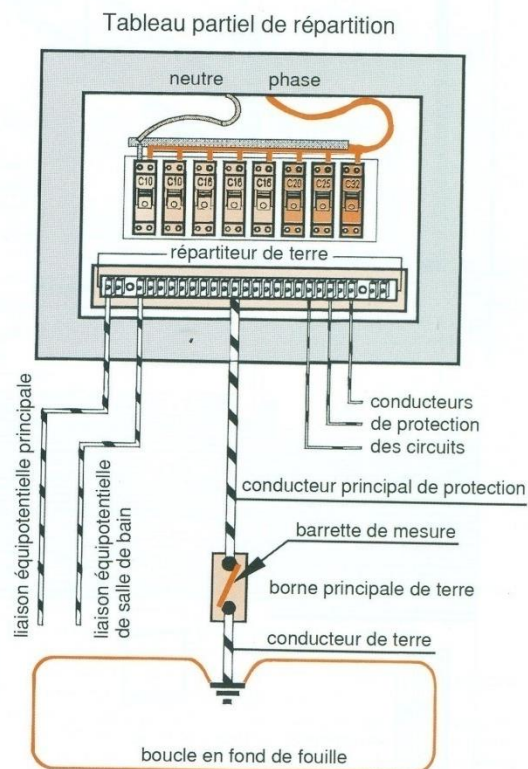


Fig. 32 : Arrivées et départs du circuit de terre

1. Le vide sanitaire en maison individuelle

Caractéristiques d'un vide sanitaire ventilé

Le vide sanitaire consiste à obtenir un matelas d'air, ventilé ou non, entre le sol décapé et le plancher bas.

Il est constitué par le volume compris entre la ceinture en murs maçonnés ou soubassement, le plancher à poutrelles précontraintes en partie supérieure et le dessus du sol (fig. 1).

Le soubassement extérieur porteur du plancher peut aussi se réaliser avec des longrines préfabriquées (fig. 10).

Il est caractérisé par :

- l'accessibilité en cas de passage de canalisations;
- la ventilation pour tenir compte de l'humidité du sol;
- la prise en compte de l'isolation thermique du plancher bas (fig. 15 à 19).

Fonctions essentielles du VS

Un vide sanitaire protège l'habitation :

- des risques d'humidité. Le sol n'est pas en contact direct avec la sous-face de plancher habitable;
- des variations de niveau d'eau en terrain inondable;
- des mouvements de sol. Les tassements de sol ne sont pas à craindre comme pour un dallage sur terre-plein.

Il est généralement ventilé :

- pour des raisons de salubrité en renouvelant l'air humidifié;
- pour réduire les condensations sur les parois froides.

Vide sanitaire ventilé et accessible

- La hauteur du vide sanitaire ventilé est d'au moins 60 cm, ce qui correspond à trois rangées de blocs maçonnés. La hauteur dépend aussi du site, de l'environnement immédiat, du terrain et de sa topographie, des niveaux par rapport aux voies et des écoulements à prévoir par gravité pour les réseaux. Enfin, elle dépend de l'aménagement ou non d'une cave.

- Une trappe d'accès est nécessaire, soit (fig. 1) :
 - placée à l'intérieur, en horizontale dans un garage;
 - placée côté extérieur, en horizontale ou en verticale.
 La trappe est limitée à la hauteur de 60 cm pour la petite dimension, mais la surface d'ouverture de la trappe doit atteindre 0,60 m².

- Le sol doit être exempt de tous dépôts ou matières combustibles ou capables d'engendrer des moisissures.
 - Il est décapé et aplani en surface afin de développer une membrane étanche (film) pour réduire les échanges d'humidité.
 - Une mince couche (5 à 6 cm) de mortier maigre est également préconisée pour recouvrir le film étanche, mais le sol est souvent laissé nu ou avec une couche de sable ou de gravillons.

Orifices de ventilation

La section totale des orifices de ventilation exprimée en cm² est au moins égale à 5 fois la surface du plancher en m².

Exemple :

- surface du plancher de 100 m²;
- surface des orifices de ventilation doit être ≥ 500 cm².

Cette prescription est impérative en cas de passage de canalisations de gaz (fig. 1).

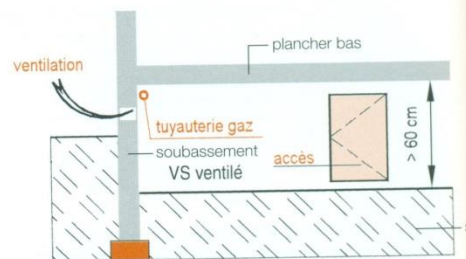


Fig. 1 : Vide sanitaire ventilé

Vide sanitaire non accessible et/ou non ventilé

- La hauteur est inférieure à 60 cm pour un VS non accessible. Cependant il est souhaitable de prévoir un passage et un accès suffisant pour des contrôles visuels.
- Le passage des canalisations d'évacuation (eaux vannes, usées, pluviales) est permis.
- Les canalisations d'eau froide sanitaire sont admises à condition de ne pas comporter d'assemblages mécaniques ou d'accessoires (raccords, bagues d'étanchéité, etc.).
- Le passage d'une canalisation de gaz est autorisé si les deux conditions suivantes sont respectées simultanément :
 - sa longueur est inférieure à 2 m;
 - la tuyauterie gaz est placée sous un fourreau étanche au gaz avec l'extrémité de l'espace annulaire bouchée du côté intérieur et à l'air libre à l'autre extrémité (fig. 2).

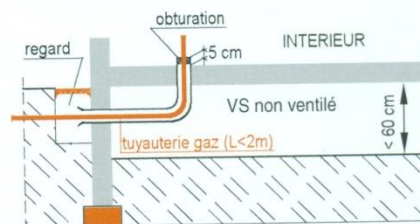


Fig. 2 : Vide sanitaire non accessible et/ou non ventilé

Techniques d'isolation du plancher bas

L'isolation thermique est maîtrisée par les performances des isolants pour constituer une barrière thermique efficace.

- 1^{re} solution (fig. 12: Entrevous isolants à languette) : Les composants isolants sont intégrés dans l'épaisseur du plancher bas sous forme d'entrevous à languette en polystyrène.
- 2^e solution (fig. 8: Isolant sous dalle flottante) : Les panneaux isolants sont disposés en continuité à la face supérieure du plancher, surmontés d'une dalle flottante de 5 cm d'épaisseur.

Des panneaux isolants spécifiques à tenons et mortaises peuvent être munis de plots-guides avec pontets de fixation de tubes en PER (polyéthylène réticulé) pour un plancher chauffant à basse température.

2. Conception du système porteur en VS

Les solutions techniques pour la réalisation du système porteur

Les solutions techniques dépendent :

- de la **capacité portante** du sol à faible profondeur ou à une profondeur nécessitant des puits bétonnés ;
- de la **topographie** du terrain, plat, en pente faible, à forte déclivité, surélevé ou encaissé par rapport à la voie ;
- de l'**implantation** du bâtiment en rectangle allongé, en forme de L, de V, de T ou en U, etc. ;
- des **murs éventuels de refend** à supporter en cas d'étage et de plancher haut ;
- du **sens de la portée** des poutrelles pour les murs ou poutres supports intermédiaires en sous-bassement.

1^{er} procédé : technique traditionnelle de construction du VS par semelles filantes (fig. 3 à 8)

Fondations par semelles filantes pour les murs périphériques et pour le mur de refend, soit longitudinal soit transversal, en sous-bassement sur la hauteur du vide sanitaire.

Exemple :

Maison implantée en rectangle avec prévision des chaînages verticaux ancrés dans les semelles (fig. 8).

2^e procédé : fondations par semelles filantes et par plots bétonnés (exemples fig. 10 et 12)

- Semelles filantes pour supporter les murs extérieurs.
- Plots ou puits intermédiaires de fondation.
- Poutres intérieures prenant appui sur les murs et sur les plots.

Exemple :

Poutrelles du plancher sur VS appuyées sur les murs extérieurs et sur les poutres reposant sur les murs et les plots à l'intérieur.

3^e procédé : réalisation de plots ou de puits de fondation

Les fondations sont constituées par des plots ou des puits implantés aux angles du bâtiment ou en position intermédiaire. Ils sont distants pour réduire les portées des longrines de rive ou intérieures qui porteront le plancher.

Exemple (fig. 10) :

Les longrines sont assemblées par des nœuds bétonnés assurant les jonctions et la continuité.

Les longrines de rive peuvent être à becquet : cela évite de coffrer les rives du plancher à poutrelles (fig. 11).

4^e procédé : sous-bassement intérieur mixte (fig. 12)

Sous-bassement réalisé avec des solutions mixtes :

- partie en maçonnerie de blocs sur semelles filantes ;
- poutres en béton armé réalisées sur place ou plus souvent préfabriquées ;
- poteaux, sur semelles isolées, porteurs des poutres qui vont porter les poutrelles du plancher.

Exemples justifiant une partie maçonnerie en refend :

- Réalisation d'une cave partielle, dans le vide sanitaire, limitée par des murs avec blocs creux de béton.
- Présence d'un mur de refend au-dessus du plancher bas, prenant appui sur le sous-bassement maçonné du vide sanitaire.

Les atouts du vide sanitaire ventilé et accessible

- Il permet le passage en apparent de tous les fluides :
 - l'évacuation des eaux vannes et usées à la sous-face du plancher des différents appareils sanitaires ;
 - l'alimentation en eau potable du réseau et la desserte des appareils sanitaires du rez-de-chaussée ;
 - le passage des tuyauteries de gaz et des canalisations électriques suivant les prescriptions d'usage.
- Il simplifie les interventions ultérieures pour les réparations ou les extensions de réseaux.
- Il est propice à la réalisation d'une cave sous réserve d'un accès rationnel.

Fig. 3 :
Terrain horizontal
en surélévation
par rapport à la rue

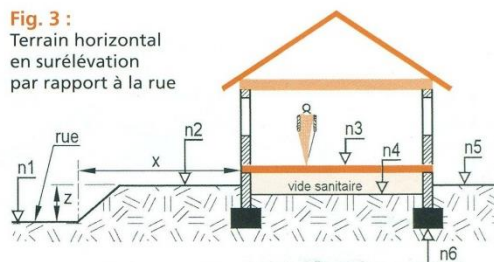


Fig. 4 :
Terrain en pente
incliné vers la rue



Fig. 5 :
Terrain en pente
incliné vers le jardin

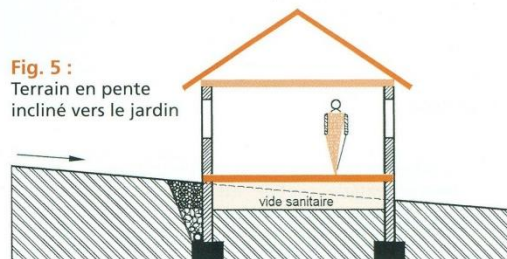


Fig. 6 :
Terrain
horizontal
en contrebas

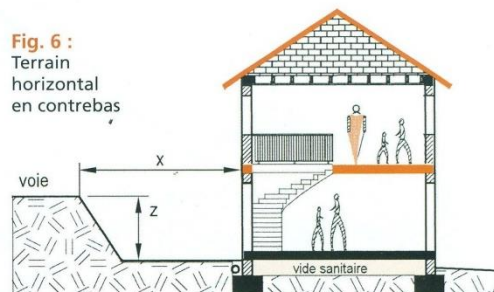
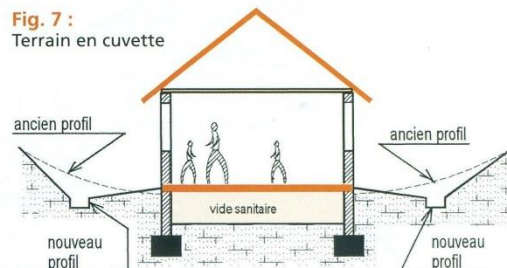


Fig. 7 :
Terrain en cuvette



Procédé traditionnel de construction du VS

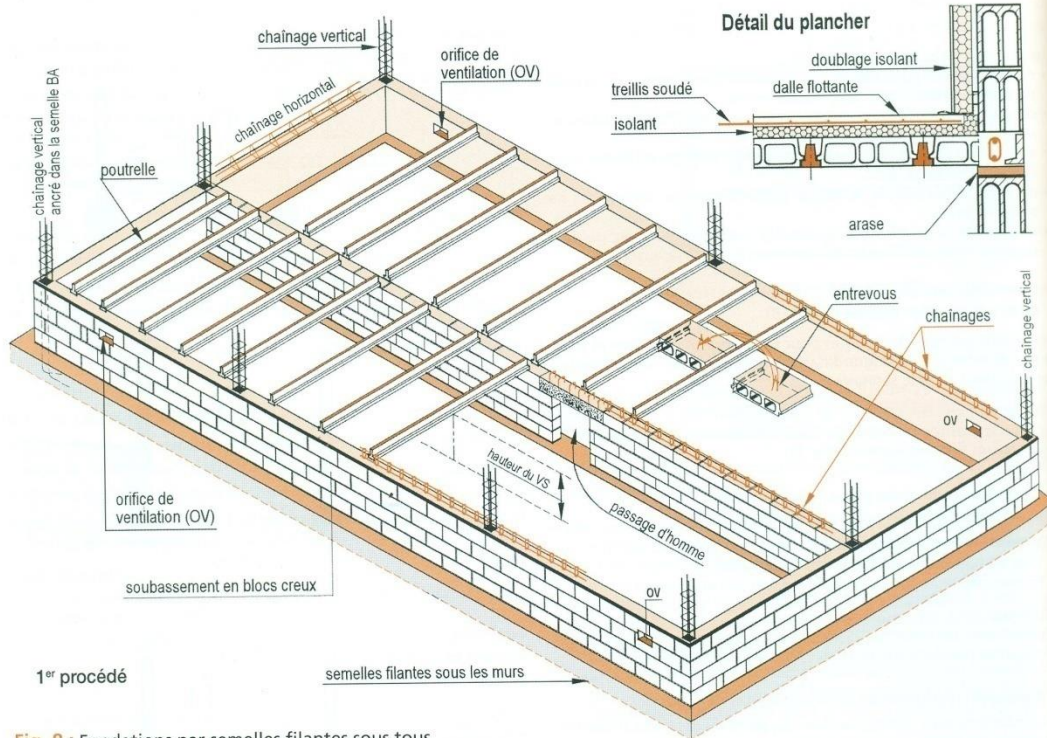


Fig. 8 : Fondations par semelles filantes sous tous les murs extérieurs et de refend

Murs extérieurs, plots intérieurs et poutres préfabriquées

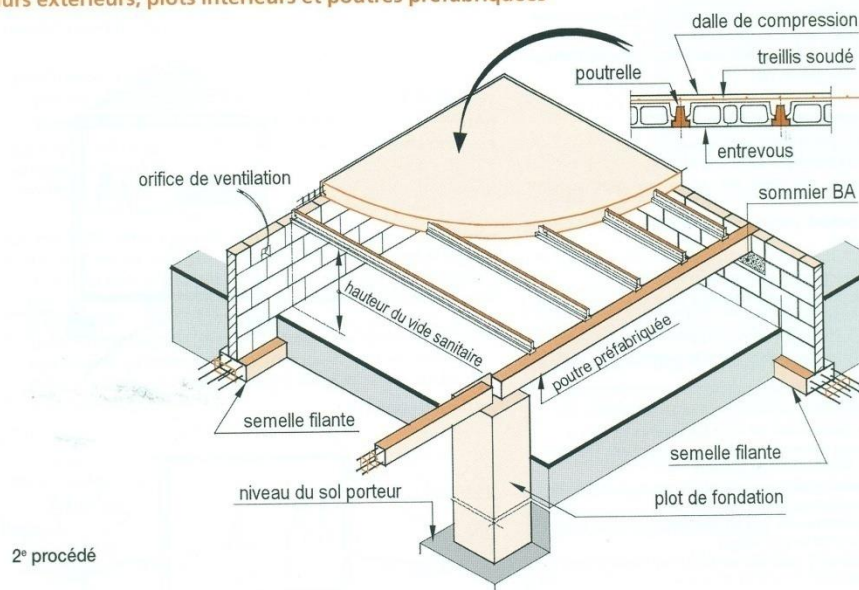


Fig. 9 : Poutres préfabriquées qui s'appuient sur les murs de rive et sur les plots

Procédé par plots ou puits et longrines préfabriquées

- La solution technique consiste :
 - à réaliser des plots de fondation judicieusement implantés en fonction des murs de façade et de refend éventuels;
 - à positionner les longrines de rive et les poutres préfabriquées intérieures.
- Les longrines de rive sont munies d'un becquet qui permet le coffrage périphérique du plancher et autorise la mise en place d'un placage isolant pour réduire le pont thermique;
- à effectuer les nœuds bétonnés entre les longrines, aux angles, ou aux intersections longrines-poutres;
 - à mettre en œuvre le plancher à poutrelles.

Cas d'utilisation

Ce procédé est valable pour tous les terrains à bâtir : plats, en pente, rocailloux, humides.

Il est très adapté à la maison individuelle si le sol de fondation est à une profondeur $> 1,00$ m.

Le coût de réalisation est voisin de celui d'une dalle portée sur un terre-plein traditionnel :

- économie de terrassement de fouilles;
- utilisation de composants standards en béton précontraint;
- rapidité de mise en œuvre.

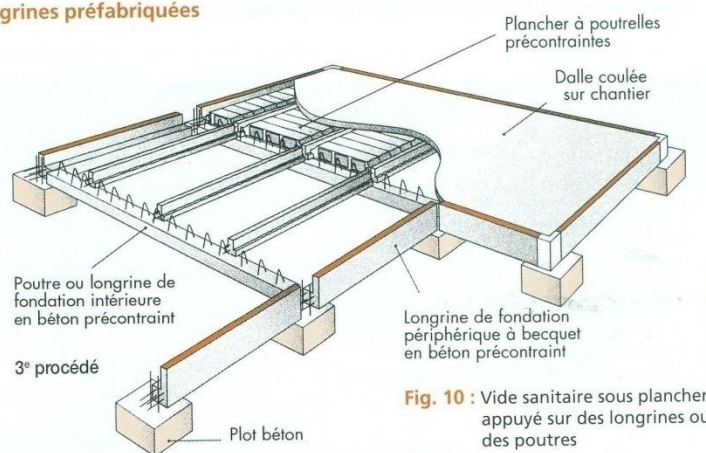


Fig. 10 : Vite sanitaire sous plancher appuyé sur des longrines ou des poutres

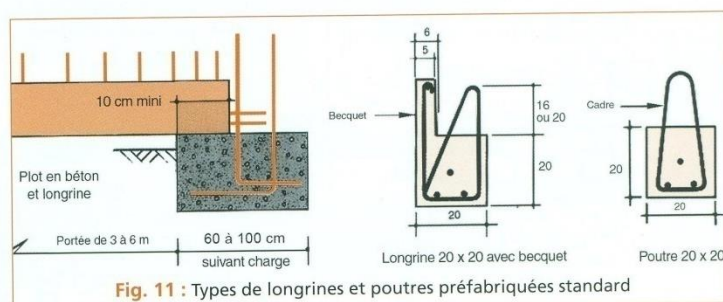


Fig. 11 : Types de longrines et poutres préfabriquées standard

Solution en refend avec mur partiel et poutres

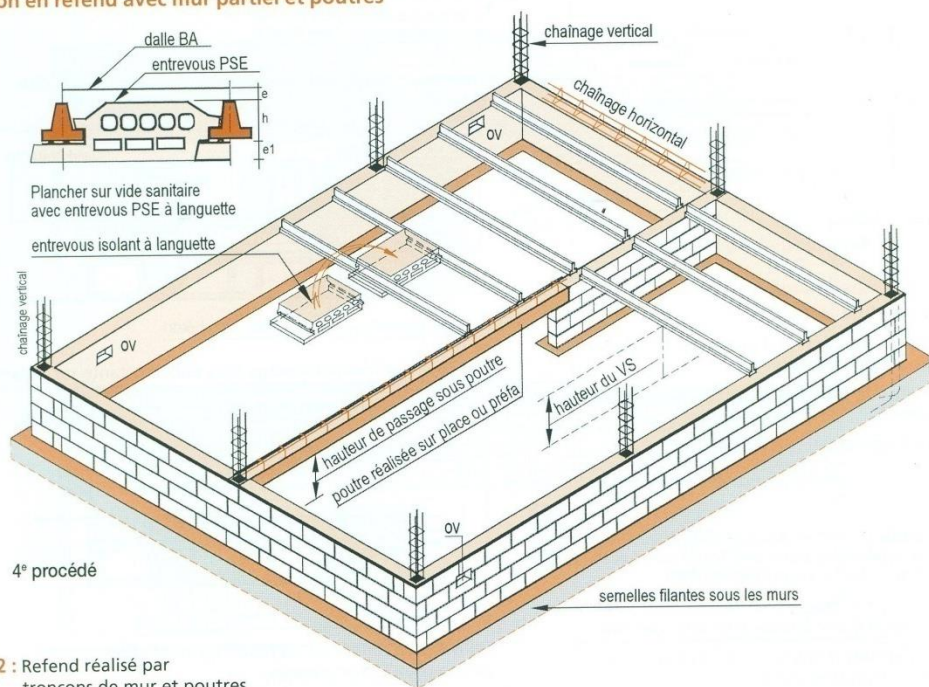


Fig. 12 : Refend réalisé par tronçons de mur et poutres

8. Réseau d'eaux vannes et usées

Implantation des canalisations

Elle s'effectue à partir des indications du plan de repérage (fig. 32 et 33).

Il s'agit de positionner les émergences qui traversent le plancher en fonction de la position des appareils sanitaires : WC, baignoire, lavabo, douche, évier, chauffe-eau, etc.

Le concepteur tient compte de l'implantation des poutrelles précontraintes pour préciser le passage des émergences pour les évacuations ou les arrivées et départs de l'eau froide sanitaire (EFS) ou de l'eau chaude sanitaire (ECS).

Exemple : évacuation des WC et arrivée d'eau froide

- Diamètre de la chute en PVC en qualité assainissement : 100 mm
- Diamètre de la gaine pour l'arrivée d'EFS : 80 mm

Les trajectoires des conduites et gaines sont simplement schématisées pour l'entreprise qui assure la mise en œuvre, avec les cotes d'implantation des sorties de plancher (fig. 32 et détails fig. 35 à 38).

L'espacement maximal des colliers de fixation des tubes est indiqué dans les prescriptions de pose, § 9 « Tableau des espacements en fonction des diamètres ».

Les pentes minimales des eaux vannes sont de 3 cm/m.

La maintenance des évacuations dans le vide sanitaire est à prévoir (bouchons de dégorgement, regards, etc.).

Ventilation primaire des chutes

La ventilation avec sortie au-dessus du toit est obligatoire. Elle s'effectue généralement avec les diamètres de 80 mm et de 100 mm (fig. 34).

Elle a pour effet d'éviter :

- la mise en pression de l'installation d'assainissement ;
- la mise en dépression des appareils sanitaires qui vide les siphons avec amenées d'odeurs.

Les sorties de toit doivent être protégées des entrées d'insectes ou d'oiseaux. Les sorties de ventilation sont interdites dans les combles perdus, mais les clapets éventuels d'aération sont admis.

Vérification des raccordements

Les services de l'assainissement procèdent à des tests d'écoulement validant ou non l'installation d'évacuation des eaux vannes et pluviales.

La procédure mise en œuvre est la suivante : les tests consistent à verser de l'eau additionnée de produit colorant dans toutes les installations sanitaires (lavabos, baignoire, WC, etc.) et dans tous les points de collecte d'eaux pluviales pour vérifier ensuite les écoulements dans le réseau public souvent séparatif.

Les tests à la fumée peuvent être réalisés et permettent lors du contrôle de détecter les éventuelles connexions entre les eaux usées et pluviales.

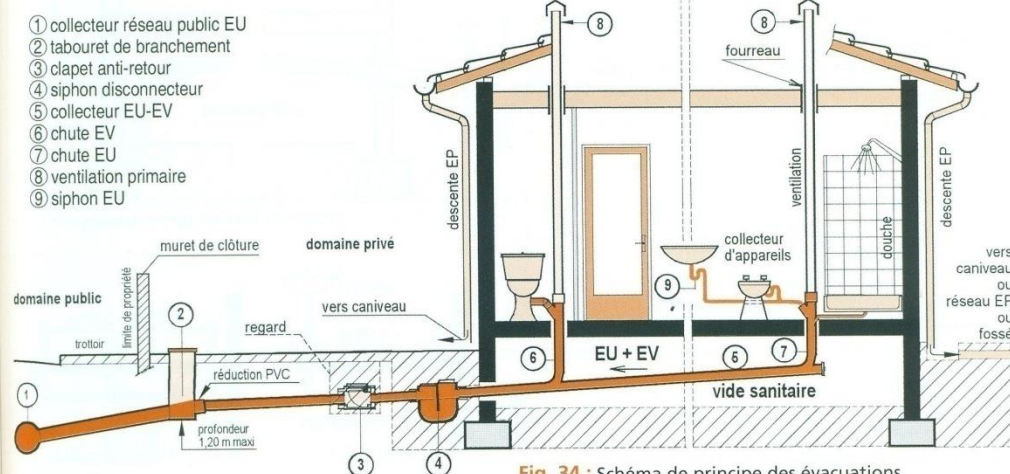


Fig. 34 : Schéma de principe des évacuations des eaux vannes et usées

Intérêt des documents graphiques des réseaux enterrés

La nature, le diamètre, la pente et l'implantation des canalisations enterrées sont requis, et la commune peut demander des plans de récolement intérieur et extérieur à l'intéressé pour le contrôle et la validation.

Les distances réglementaires minimales entre canalisations voisines (gaz, électricité, eau) doivent être respectées.

Les cotes de niveau des croisements de réseaux sont à indiquer car elles sont utiles en cas de réparation et de terrassement.

Les grillages plastiques avertisseurs sont placés à ≈ 20 cm au-dessus de la canalisation suivant une couleur conventionnelle.

Canalisation	Couleur
Électrique	Rouge
Gaz	Jaune
Eau potable	Bleu
Égout	Marron
PTT	Vert

3. Principe de construction et cas de fondations

Éléments de descente de charges

- ① toiture : charpente et couverture
- ② plancher haut
- ③ mur de façade
- ④ plancher bas
- ⑤ longrine
- ⑥ plot ou puits

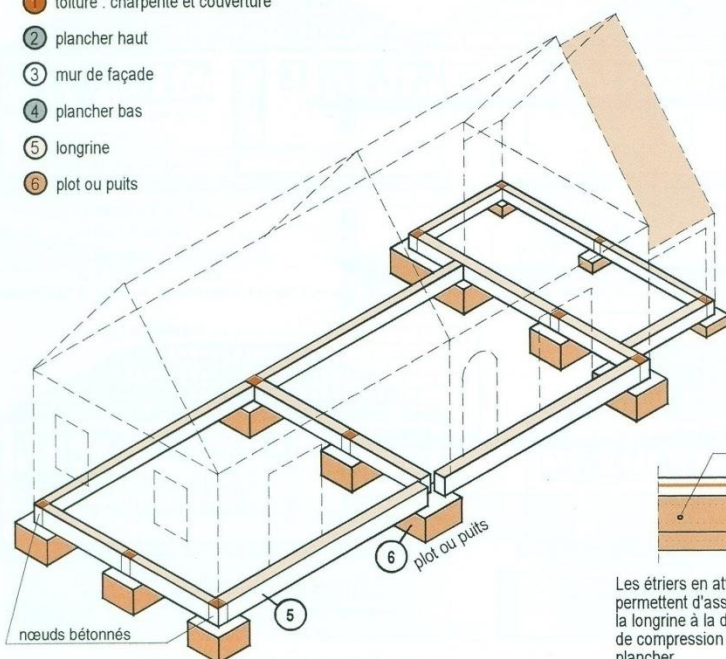


Fig. 4 : Schéma perspectif des fondations par plots, longrines préfabriquées en rive et de refend

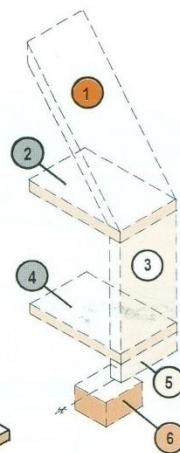


Fig. 5 : Plot ou puits, longrine et plancher

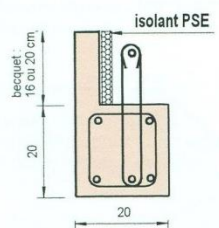
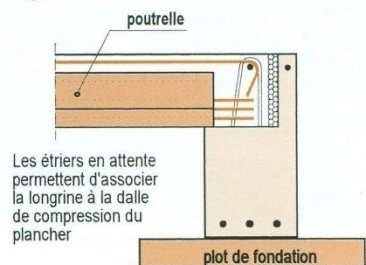


Fig. 6 : Longrine de rive avec becquet

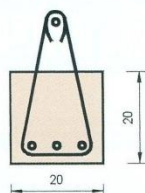


Fig. 7 : Longrine intérieure

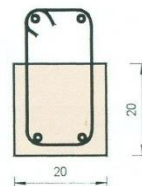


Fig. 8 : Armature avec cadres

Terrassement d'un plot



Longrine de rive

Plot ou puits

Une couche de mortier sert d'interposition lors de la mise en œuvre.
Pour réduire les risques de remontées capillaires, une couche bitumineuse est appliquée sur le dessus du plot (ou un fil étanche résistant au poinçonnement)

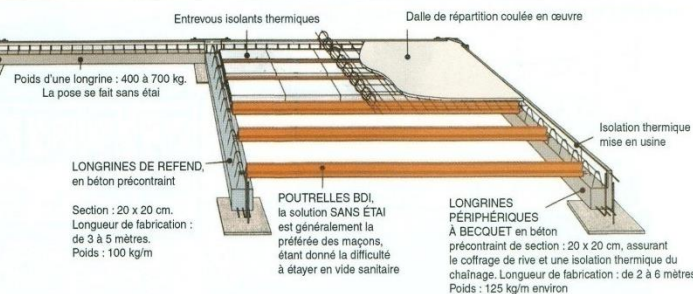


Fig. 9 : Vue d'ensemble du plancher sur vide sanitaire

4. Tâches de mise en œuvre sur le terrain à bâtir

Implantation des plots ou des puits

- Le plan de masse sert à l'implantation de la maison.
- Le géomètre a préalablement mis en place les bornes du rectangle enveloppe de la maison s'il s'agit d'un lot viabilisé.
- Le bureau d'études précise les données par un plan de repérage (fig. 34) qui sert pour les travaux :
 - de terrassement des points d'appui;
 - de bétonnage du gros béton des puits et de la cote d'arase;
 - de positionnement des longrines par les cotations et les niveaux. Les plots sont implantés suivant leurs axes.
- La section des puits est déterminée par la descente de charges et par la pression admise sur le sol, entre 0,1 et 0,25 MPa en général pour les sols homogènes.
- Les distances entre axes des puits dépendent de la portée maximale de la longrine pour une charge donnée par mètre (cf. exemple traité au paragraphe suivant n° 5).
- Les axes des puits sont repérés par des piquets repères.
- Le contour du plot ou du puits est tracé à la bombe de couleur sur le sol décapé pour le travail de l'engin de terrassement avec godet ou tarière suivant la section du puits.

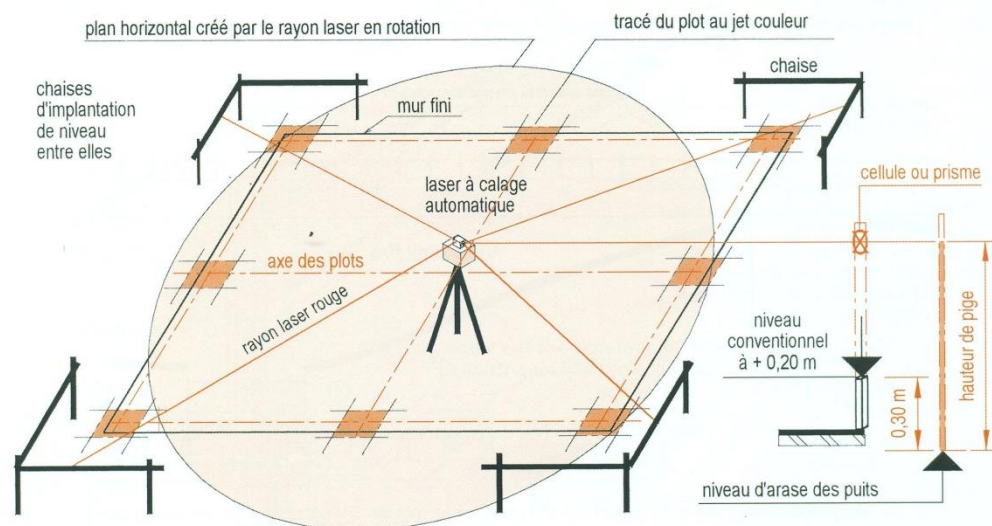


Fig. 28a : Laser tournant à rayon infrarouge qui génère un plan horizontal

Arase des puits pour l'assise des longrines

- Le niveau d'assise est défini à partir d'une borne repère de niveau et en tenant compte du niveau fini du rez-de-chaussée qui doit être surélevé de 0,15 m au moins du sol extérieur.
- Le choix du niveau d'arase des puits permet d'obtenir :
 - soit des longrines partiellement enterrées par rapport aux abords de la maison;
 - soit des longrines complètement apparentes.
- Le niveau laser tournant détermine un plan horizontal qui sert de référence pour le niveau d'arase des têtes de puits comme représenté à la figure 28a.
 - En terrain sensiblement plat, l'arase se situe environ entre 5 et 20 cm en contrebas du sol décapé pour éviter tout coffrage.
 - En terrain en pente, les puits coulés en gros béton s'arrêtent au niveau du sol et sont surélevés par un plot coffré ou un poteau greffé en cas de pente accentuée.

Bétonnage des puits ou des plots

On utilise un gros béton de type BPS (béton à propriétés spécifiées) :

- classe d'exposition de type XC2 (terrain humide);
- granulats de diamètre 22,4 mm;
- ciment dosé à 300 kg de ciment par m³ en vue d'une résistance de l'ordre de 20 MPa très suffisante en compression;
- classe d'affaïssement S2 de 50 à 90 mm au cône d'essai.

En cas de pieux et béton acheminé à la pompe, les granulats sont fonction du bon écoulement du béton dans les conduites.

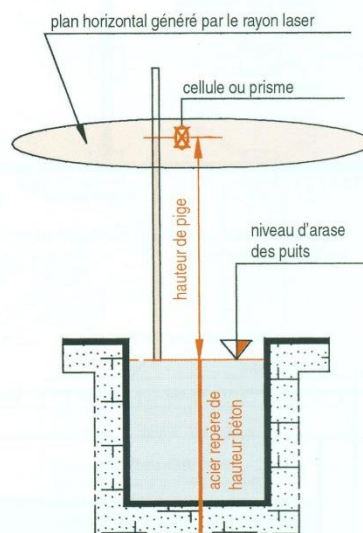


Fig. 28b : Hauteur d'arase des massifs et des plots

Cas de chargement de longrines

[illegible]

Détermination du massif n° 2 avec son poids propre négligé

- longueur nécessaire :
 $8000 / (50 \times 2) = 80 \text{ cm}$

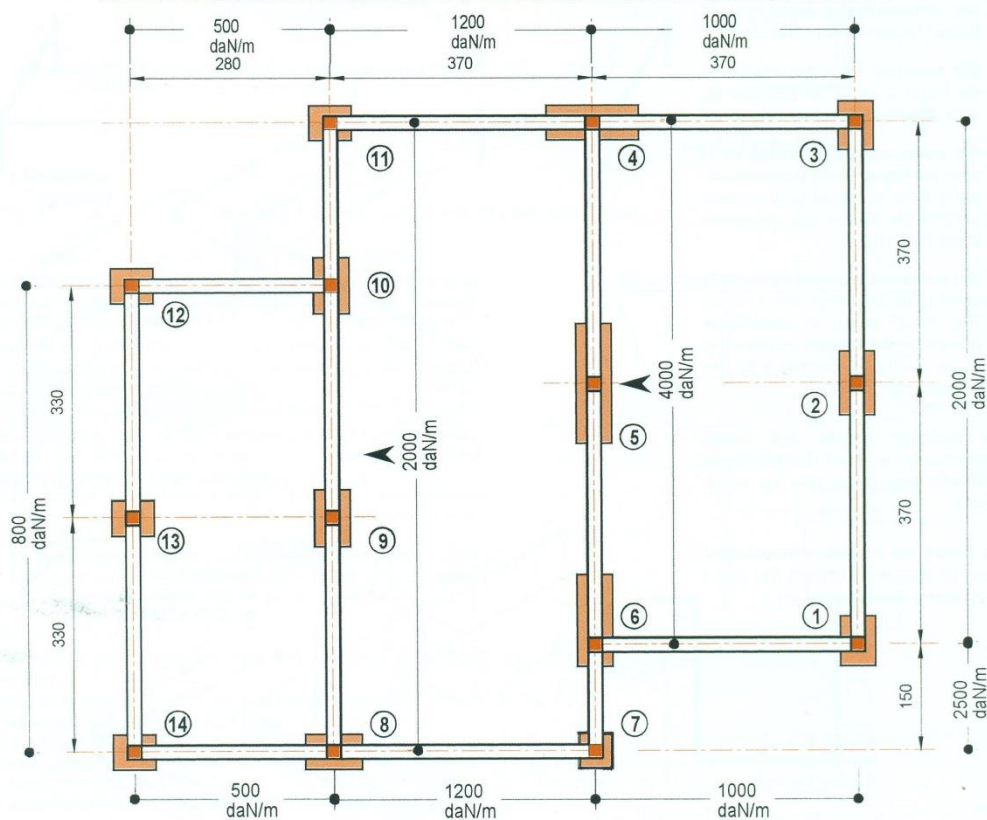


Fig. 34 : Plan de repérage des massifs implantés suivant leurs axes, et des charges appliquées par mètre de longrine

11. Terrassement des puits et des plots

Procédés de terrassement

• Terrassement des plots et massifs à la pelle hydraulique

Types d'équipement :

- en benne

Elle peut être placée dans l'orientation souhaitée.

Les coquilles armées de dents permettent de terrasser et d'extraire les déblais.

La pelle peut se placer à cheval, en position oblique ou perpendiculairement au massif à terrasser.

- en rétro

L'engin est positionné en ligne et assure la rotation pour déposer les déblais.

Le choix du godet est adapté au terrain à excaver et aux travaux de tranchées, de creusage léger ou de défonçage de roches.

• Terrassement des puits à la tarière classique

Elle permet d'extraire les terres et de racler les parois avec utilisation d'accessoires spécifiques en fond et en latéral.

Elle est adaptée aux terrains consistants pour éviter le blindage de la paroi et les risques d'éboulement.

Forage à la tarière

Utilisation en terrain argileux et sans roches

La consistance de l'argile permet souvent d'extraire sans fourreau

Par précaution, on place en tête de puits une protection contre les chutes (tube ou fourreau, buse en ciment ou coffrage cerclé)

Le bétonnage est réalisé aussitôt pour éviter les éboulements

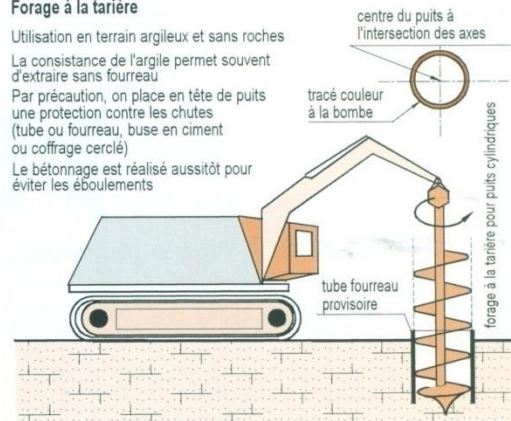


Fig. 51 : Forage du puits à la tarière

Principe de réalisation d'un puits ou d'un mini pieu en terrain difficile

Phases d'exécution forage et bétonnage (fig. 52)

1. Forage en rotation avec tarière et tube plongeur qui tournent et forent ensemble.
2. Forage terminé, le tube plongeur est bloqué en position.
3. La tarière extérieure remonte en dégagant deux lumières sur la paroi du tube plongeur pour la sortie du béton acheminé par le tube.
4. Bétonnage à la base et remontée de la tarière.
5. Suite des opérations jusqu'à la sortie du tube plongeur.
6. Dégagement des déblais collés à l'hélice de la tarière par un racleur.
7. Mise en place d'une armature par battage sur la hauteur ou seulement en tête de puits.
8. Achèvement du pieu.

Avantages du procédé

- Diamètres usuels : 0,40 à 1,00 m.
- Tarière et tube sont munis d'outils de coupe.
- Pas de tubage.
- Aucun risque d'éboulement de terrain.
- Béton coulé à la pompe par le tube plongeur.
- Cages d'armatures introduites après bétonnage.
- Contrôles assurés par des capteurs en fonction de la profondeur :
 - vitesse de forage ;
 - couple de forage ;
 - profil du puits ;
 - pression du béton.

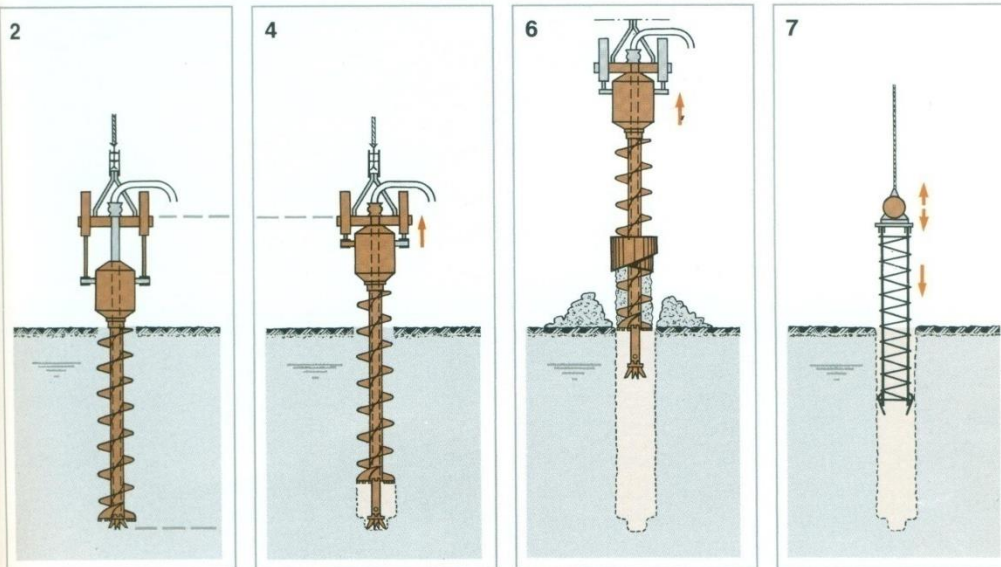


Fig. 52 : Principales phases d'exécution

3. Nature du sol de fondation et pression admise

Nature du sol	Pression admise (MPa)
Limons et argiles limoneuses	0,06 à 0,12
Remblais anciens stabilisés (sol instable sauf étude)	< 0,08
Argiles (sol fin cohérent) :	
• Sèche	0,15 à 0,30
• Humide	0,15 à 0,30
• Plastique	0,15 à 0,30
• Sèche sableuse	0,30 à 0,45
• Gravelleuse humide	0,15 à 0,22
• Sèche compacte	0,45 à 0,75
Sable (sol grenu pulvérulent)	0,30 à 1,20
Gravier (sol grenu)	0,45 à 1,20
Marne (argile + calcaire)	
• Compacte	0,06 à 0,10
• Très compacte	0,75 à 1,20
Craie	0,45 à 1,20
Tourbe et vase (sol organique non porteur à forte rétention d'eau)	0,008 à 0,022
Roche en formation stratifiée favorablement (schistes essentiellement)	1,50 à 2,25
Roches dures : granit, calcaires, grès, gneiss, basalte	3,00 à 4,50

Cas des semelles de fondations	(DTU 13.12)
Ordre de grandeur des contraintes de calcul q en MPa	
• Argiles sauf argiles très plastiques	0,1 à 0,3
• Terrains non cohérents à compacité moyenne	0,2 à 0,4
• Terrains non cohérents à bonne compacité	0,35 à 0,75
• Roches peu fissurées saines, non désagrégées et de stratification favorable	0,75 à 4,5

- Les roches dures ou très dures, telles que les granits, les calcaires, les gneiss et les schistes, sont concernées par la mécanique des roches.
 - Les roches sédimentaires de formation alluvionnaire comprennent surtout les argiles, les marnes, les sables et graviers, les limons et les vases.
- Elles sont les plus répandues pour servir à l'assise des fondations superficielles des maisons, après avoir effectué la reconnaissance des sols par des sondages ou autres procédés et essais en laboratoire. L'étude de leurs propriétés et de leurs caractéristiques physiques et mécaniques fait partie de la mécanique des sols.

4. Caractéristiques fondamentales des sols

- Un sol est formé d'un ensemble constitué par :
- des grains ou particules solides (squelette) ;
 - des vides remplis d'air ou d'eau.

L'étude d'un sol consiste en l'étude du complexe :

sol - air - eau

L'eau du sol existe sous trois formes :

- eau de circulation qui peut se déplacer dans les vides compris entre les grains solides, par canaux continus très fins appelés filets liquides.
- Le coefficient de perméabilité est donné par la formule de Darcy.

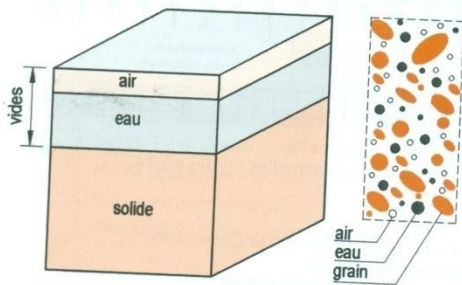


Fig. 5 : Volumes air, eau et solide

- eau adsorbée qui constitue une pellicule extrêmement mince entourant chaque grain. Elle joue un très grand rôle dans la formation de cohésion (fig. 6).
- eau de constitution qui entre dans la composition chimique du terrain ou eau de cristallisation par exemple pour le gypse.

Définitions élémentaires

Notation	Définition et expression
Volume des vides: v	Volume de sol non constitué de grains solides. Il englobe { air + eau }
Porosité: n	Rapport des vides au volume total V . $n = v/V$ ou en pourcentage $n \% = (100 \cdot v) / V$
Indice des vides: e	Rapport du volume des vides v au volume des grains. $e = \frac{v}{(V - v)}$
Teneur en eau: w	Rapport en pourcentage du poids de l'eau au poids des grains: $w \%$

Exemples	porosité $n \%$	indice des vides e	teneur en eau $w \%$	densité sèche kN/m^3	densité humide kN/m^3
Argile molle	45	0,85	32	14,30	18,95
Argile raide	34	0,50	19	17,50	20,80

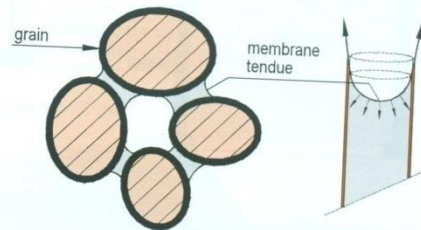


Fig. 6 : Cohésion par les ménisques d'eau qui exercent des forces capillaires entre les grains

5. Paramètres et facteurs de capacité portante d'un sol

► Paramètres principaux

La détermination de la pression ultime s'effectue à partir d'essais en laboratoire avec sélection de trois paramètres principaux :

- la cohésion C ;
- l'angle de frottement interne ϕ ;
- la masse volumique γ .

La cohésion d'un sol résulte des forces de capillarité qui s'exercent entre les grains reliés entre eux par une mince pellicule d'eau ou membrane.

Un sable sec par exemple n'a pas de cohésion, il est classé en sol pulvérulent.

L'argile humide présente une forte valeur de cohésion, d'où l'appellation de sol cohérent.

L'angle de frottement interne est déterminé en cisailant le sol sur lui-même par un essai de cisaillement. L'angle de frottement interne dépend essentiellement de la compacité du matériau et accessoirement de la forme des grains.

La masse volumique dépend de la nature du sol et de sa compacité.

► Facteurs de capacité portante

• Hypothèses

- Semelle filante
- Sol homogène horizontal
- Charge verticale uniformément répartie

• Notations

- Largeur de semelle: B
- Profondeur de fondation: D
- Charge verticale par mètre: P (jusqu'à équilibre plastique)
- Angle de frottement: ϕ

• Constats (voir aussi fig. 11)

- Formation d'un coin triangulaire AOA', solidaire de la semelle.
- Sol comprimé de part et d'autre du coin.
- Parois OA et OA' agissent comme des écrans de butée par frottement du terrain sur lui-même (sol/sol).
- Butée avec force de cohésion C et force de frottement Pp.
- L'équilibre du coin permet de déterminer la pression ultime à ne pas dépasser.

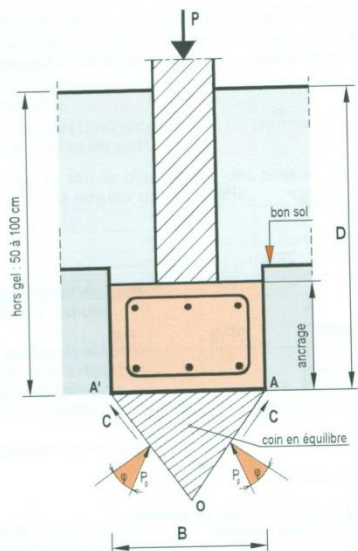


Fig. 7 : Notations et équilibre du coin de terre (voir également fig. 11)

• Expression de la valeur de la pression ultime q_u

Elle est mentionnée dans le DTU des règles de calcul des fondations superficielles.

Elle utilise les trois coefficients N_γ , N_q et N_c qui ne dépendent que de l'angle de frottement φ . Ces coefficients, sans dimension, sont dénommés facteurs de capacité portante :

- N_γ est le terme incluant le poids des terres et le frottement sous la semelle ;
- N_q est le terme relatif à l'ancrage et à la profondeur de fondation ;
- N_c est le terme de la mobilisation de la cohésion du sol sous la fondation.

• Tableau des facteurs de capacité portante

φ	N_γ	N_q	N_c	φ	N_γ	N_q	N_c
0	0	1,00	5,14	25	8,10	10,70	20,70
5	0,10	1,60	6,50	30	18,10	18,40	30,00
10	0,50	2,50	8,40	35	41,10	33,30	46,00
15	1,40	4,00	11,00	40	100,00	64,20	75,30
20	3,50	6,40	14,80	45	254,00	135,00	134,00

On remarque que les valeurs N_γ , N_q , N_c varient rapidement pour $\varphi > 30^\circ$.

• Expression de la valeur ultime q_u

Cas d'une semelle continue de longueur L, de largeur B et d'encastrement D.

Coefficients de forme (se reporter fig. 7 pour les notations) :

$s_\gamma = 1 - 0,2 B/L$	$s_q = 1$	$s_c = 1 + 0,2 B/L$
affecté à N_γ	affecté à N_q	affecté à N_c

D'après le DTU P11-711, on a pour la valeur ultime :

$$q_u = \frac{1}{2} s_\gamma \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma + s_q \cdot \gamma \cdot D \cdot N_q + s_c \cdot C \cdot N_c$$

La valeur de la pression limite ultime est affectée d'un coefficient de sécurité de l'ordre de 3 ou 4.
Pression admise = $q_u/3$ ou $q_u/4$ suivant la nature du sol.

6. Détermination de la cohésion et de l'angle de frottement interne

• Essai de cisaillement direct

Il s'effectue en laboratoire et on distingue 2 modes opératoires :

- l'essai non consolidé et non drainé ;
- l'essai consolidé et drainé.

• Principe de l'essai

L'échantillon de sol est placé entre deux demi-boîtes de section carrée et de côté 100 mm, section S (fig. 8).

La demi-boîte supérieure est fixe et la demi-boîte inférieure mobile.

On exerce à la fois sur l'échantillon :

- un effort de cisaillement T dans le plan horizontal ;
- un effort de compression N dans le sens vertical.

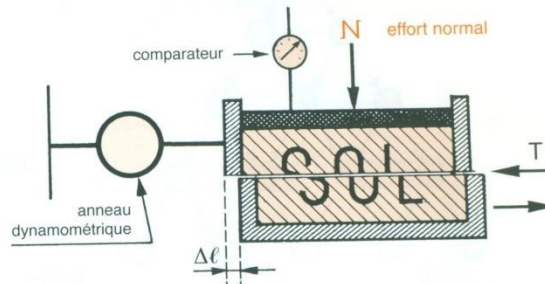


Fig. 8 : Schéma de l'essai de cisaillement

• Mesures et résultats

- Effort normal N sur la section S
- Effort de cisaillement T
- Temps de déplacement à vitesse contrôlée
- Valeur du déplacement relatif Δl

On effectue plusieurs mesures avec N variable

- Contrainte normale :

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

- Contrainte de cisaillement :

$$\tau = \frac{T}{S}$$

• Détermination des paramètres C et φ

Le report sur un graphique des contraintes normales et de cisaillement permet, dans le cas de sol à perméabilité élevée, de tracer la droite de Coulomb et d'obtenir des valeurs de la cohésion et de l'angle de frottement interne (fig. 9).

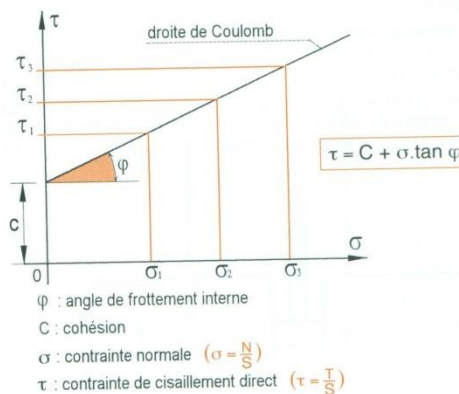


Fig. 9 : Cohésion et angle de frottement

7. Transmission des charges au sol

- **Mode de transmission d'une charge P dans un sol granuleux**
Il permet une approche de la répartition des pressions dans les couches de terrain.

Il aide à la détermination de la valeur des pressions verticales exercées par les charges, et à la compréhension du bulbe des pressions (fig. 12 et 44).

Il permet de connaître la portance du sol à différentes profondeurs afin de déterminer la profondeur minimale des fondations et le choix à effectuer, par semelles filantes, plots ou puits.

- **Aspect théorique et schématique de la transmission**

On utilise une couche granulaire non liée, les grains constitutifs restent indépendants les uns des autres.

Sous l'action d'une charge, cette couche travaille uniquement en compression en transmettant au sol sous-jacent la totalité de la charge mais d'une façon non uniforme.

Pour schématiser, on conçoit un empilement de granulats identiques (billes sphériques) soumis au sommet à une charge P. Le détail du mode de transmission fait l'objet de la figure 10.

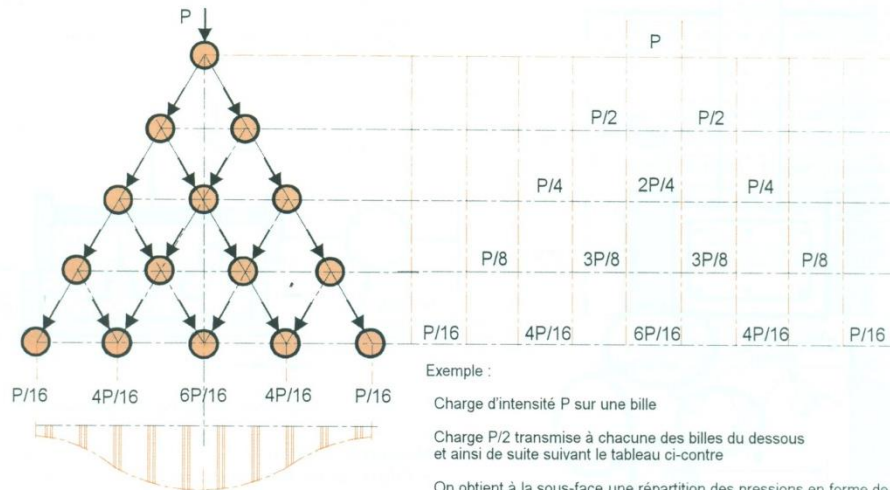


Fig. 10 : Répartition des pressions verticales

Semelle chargée et réaction du sol

La charge transmise sur la semelle a tendance à poinçonner le terrain en comprimant fortement le sol sur la largeur de la semelle.

On constate la formation d'un coin triangulaire AO'A' solidaire de la fondation dans la pénétration au sein du massif. Ce coin formé exerce un effort de cisaillement sur les terres bordant la semelle de part et d'autre.

L'équilibre dépend alors :

- des actions de la semelle chargée ;
- de la résistance au cisaillement du sol ;
- du poids du terrain de chaque côté de la semelle ancrée.

Si la déformation à caractère plastique est minime, la semelle ne s'enfoncera pas dans le sol et le tassement n'est pas à craindre.

La règle pratique mise en application par les constructeurs consiste à réaliser un ancrage de hauteur suffisante (> 0,30 m) dans le sol porteur (fig. 7).

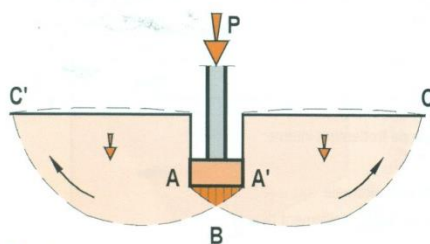


Fig. 11 : Théorie du coin de terre sous la semelle

Notion de bulbe représentatif de courbes d'égale pression

- Sous l'assise de la semelle, la valeur de la pression est celle calculée lors de la descente de charge.
- Au sein du massif, la pression normale diminue en fonction de la profondeur sous semelle (fig. 12).
- Dans un plan horizontal au sein du massif, la courbe des pressions affecte la forme d'une cloche avec pression maximale au droit de la charge appliquée.
- Les bulbes peuvent interférer entre eux et être à l'origine d'un tassement en cas de limon ou de poche d'argile.

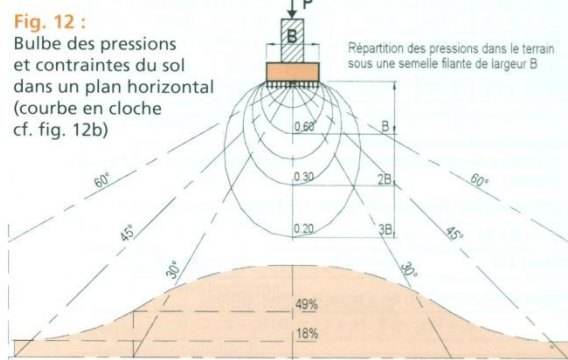


Fig. 12b : Distribution de la pression normale à un plan horizontal à l'intérieur d'un massif

9. Principales causes des tassements et visualisation des désordres

Fondations hors gel mais à faible profondeur.

La teneur en eau du sol se modifie par évaporation naturelle et le squelette du sol a tendance à s'affaisser sous la charge.

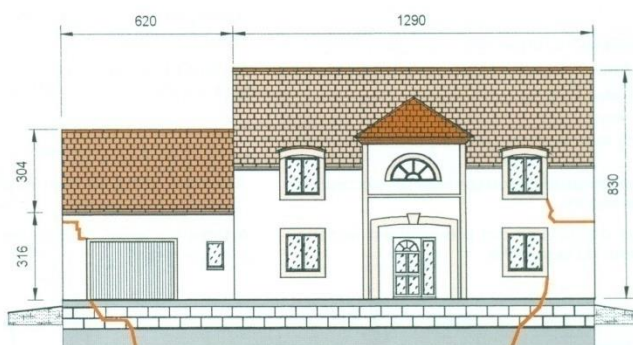


Fig. 19 : Fissuration en zones fragiles, voisinage de baies et allèges

Présence d'arbres trop proches des fondations. Les racines absorbent l'eau et la structure du sol se trouve modifiée.

Le niveau naturel de la nappe d'eau varie.

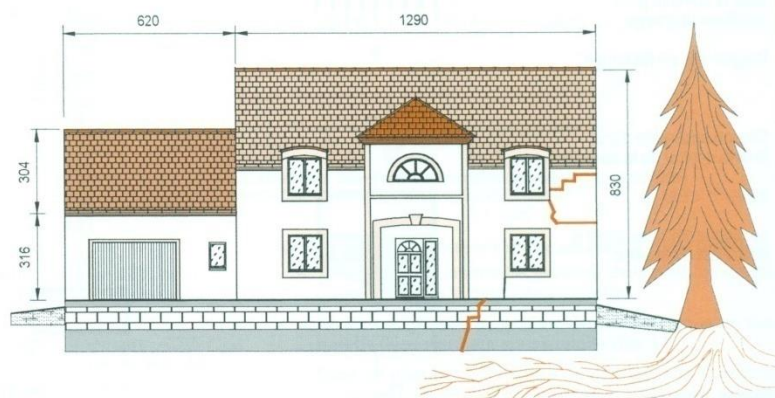


Fig. 20 : Les arbres de haute taille doivent être éloignés d'une distance au moins égale à leur hauteur

Affouillement du sol de fondation par :

- un drainage mal positionné ;
- une rupture de canalisation EP ou EU ;
- des eaux souterraines en terrain en pente.

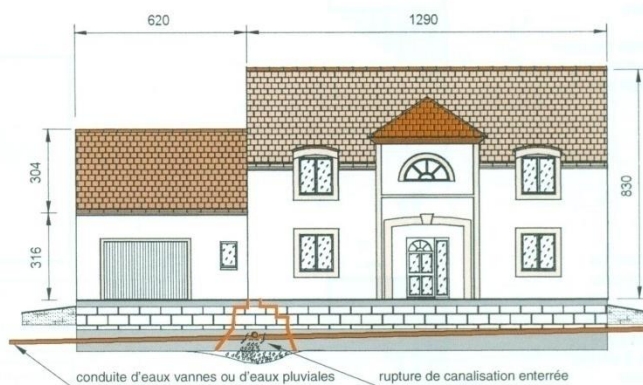


Fig. 21 : La portance du sol est modifiée par détrempe en terrain argileux

Présence de cave ou de sous-sol partiel. Les murs de sous-sol constituent des points durs vis-à-vis d'une semelle filante.

Le sol d'assise des fondations est différent en raison des profondeurs.

Les charges ne sont pas uniformément réparties.

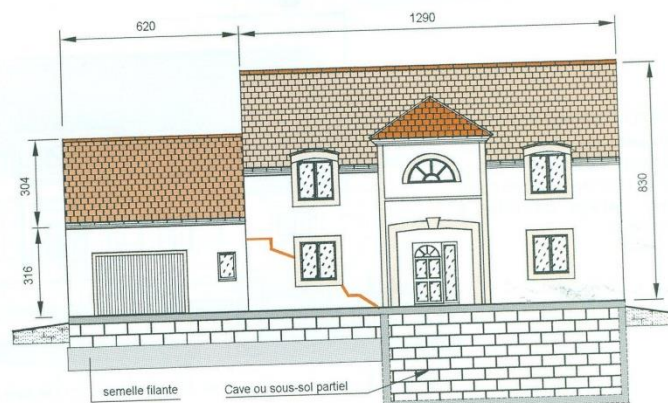


Fig. 22 : Les charges et les actions ascendantes du sol sont distinctes pour chaque zone portante de fondations

Excavation contre la fondation d'un pignon. La décompression du sol peut provoquer des dommages à la construction voisine.

Le mode opératoire se doit d'éviter tout litige par un constat avant et après travaux de fondation.

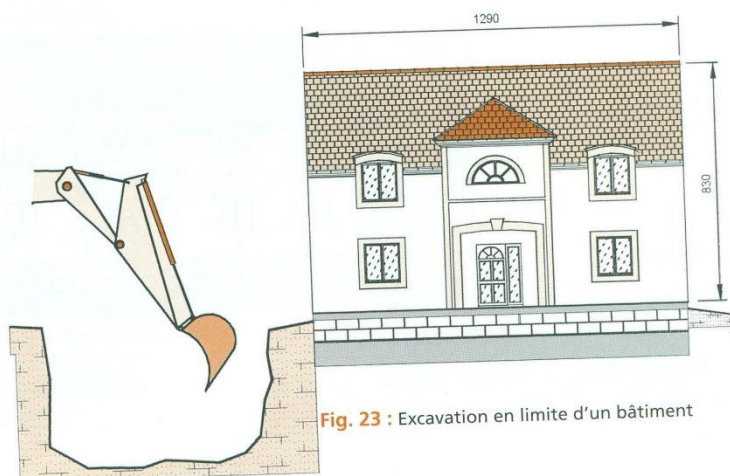


Fig. 23 : Excavation en limite d'un bâtiment

Terrain hétérogène.

Les tassements à craindre orientent vers une fondation par puits et longrines.

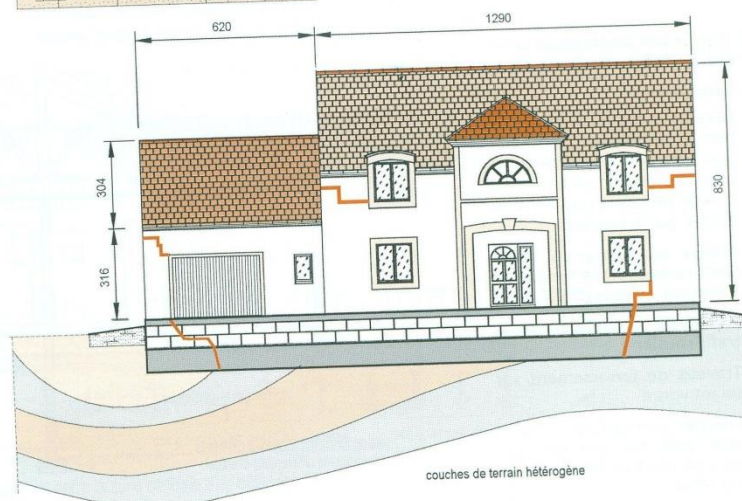


Fig. 24 : Les semelles filantes sont *a priori* déconseillées en raison de l'assise des fondations

Cas d'un garage enterré.
Un joint de tassement est prescrit pour différencier la partie de construction avec garage de celle à sa droite.

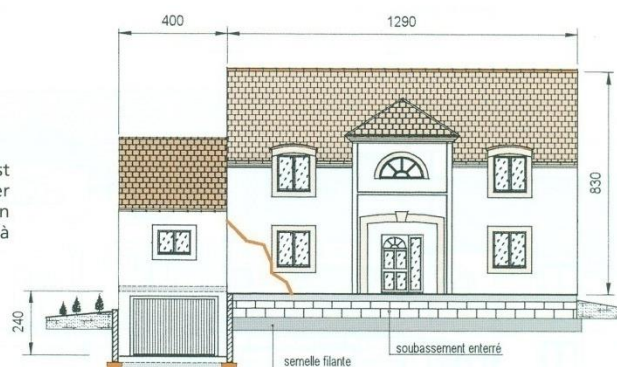


Fig. 25 : Les charges appliquées et les profondeurs de semelles sont différentes

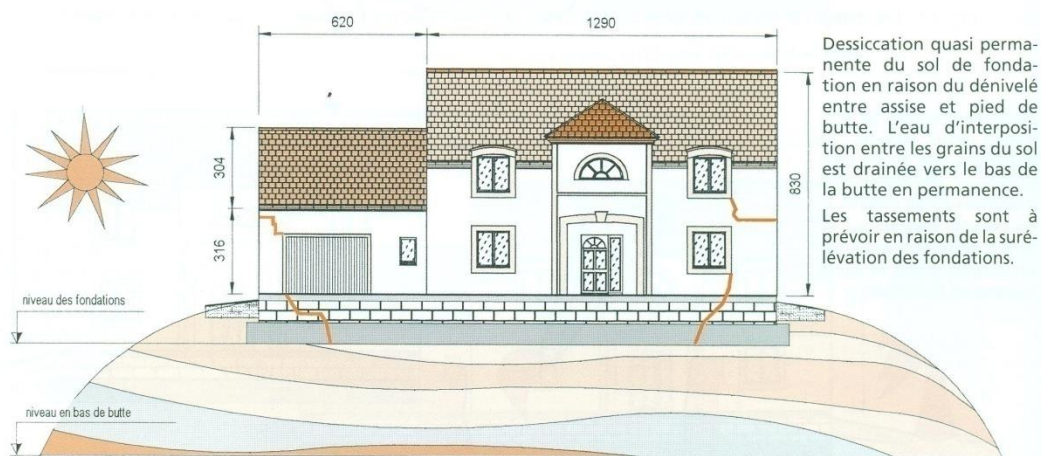


Fig. 26 : Maison située en butte

Autres causes possibles de tassement ou de fissuration :

- Remblais
Le remblai rapporté contre un mur enterré peut constituer une charge supplémentaire pour les fondations avec la charge propre d'une terrasse portée par le remblai.
- Modes de fondation différents sur des sols de fondation à niveaux décalés (fig. 27)
- Vibrations produites par le trafic routier
- Travaux de terrassement sur un lot voisin
- Charges concentrées sur un mur amenées par des appuis de poutres porteuses de plancher

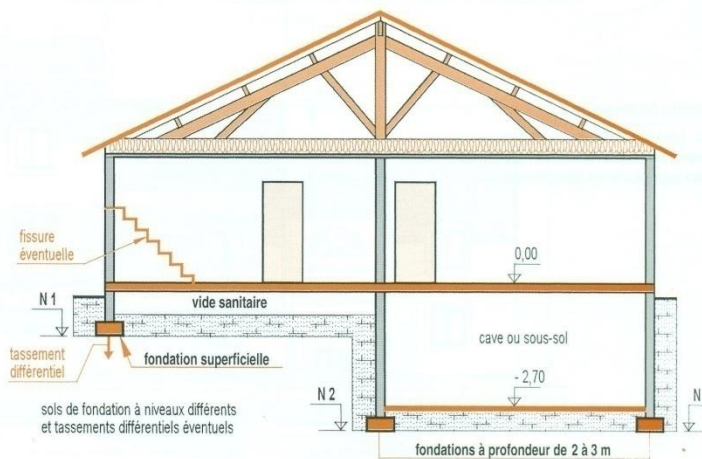


Fig. 27 : Cas d'un vide sanitaire et d'un sous-sol

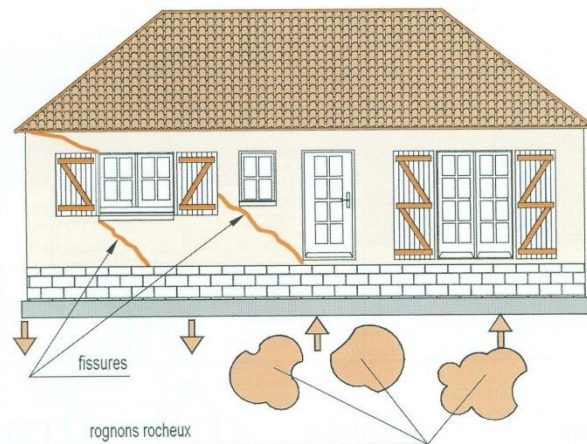


Fig. 28 : Présence de rognons rocheux constituant des points durs

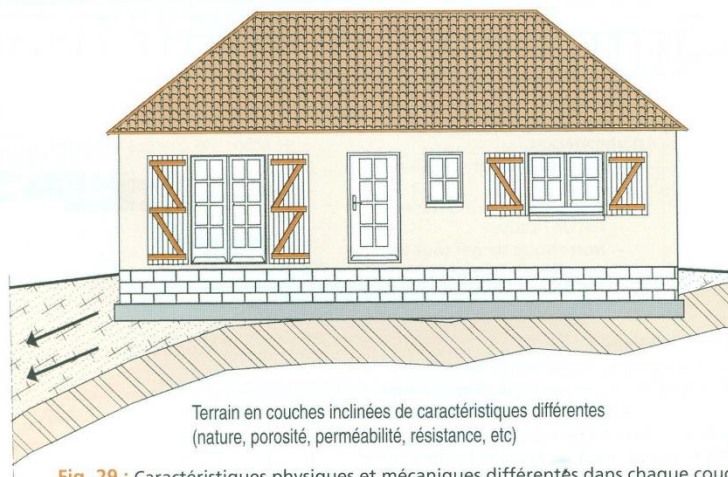
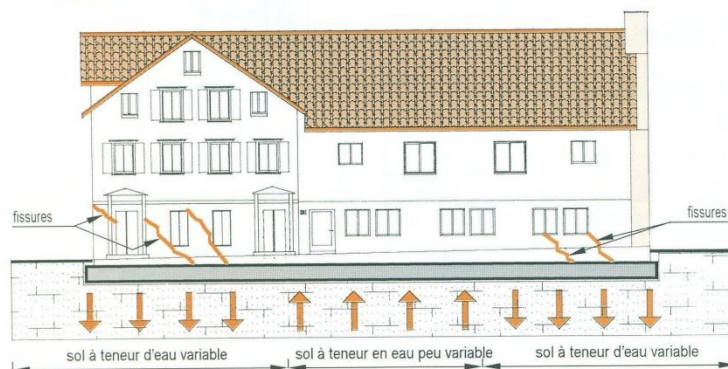


Fig. 29 : Caractéristiques physiques et mécaniques différentes dans chaque couche inclinée



Tassements différentiels entre la zone centrale d'un bâtiment formant écran et sa périphérie soumise à l'évaporation de l'eau du sol

Fig. 30 : Fissures consécutives à la variation de la teneur en eau

12. Schémas d'illustration de désordres par tassement de sol

sol en rive et en angle de bâtiment soumis à un taux variable d'humidité

dessèchement du sol extérieur en été
→ moins d'eau entre grains du sol
et variation de volume par retrait

excès d'eau à la saison des pluies
→ variation de volume par gonflement

le tassement différentiel se traduit souvent aux angles du bâtiment par des fissures en diagonale produites très lentement au fil des ans et au cours des saisons sèches

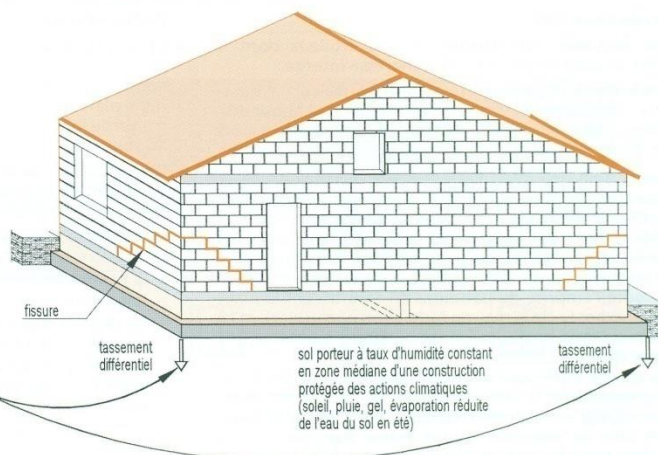


Fig. 35 : Cas de sol homogène mais semelles de fondation à trop faible profondeur, même si hors gel

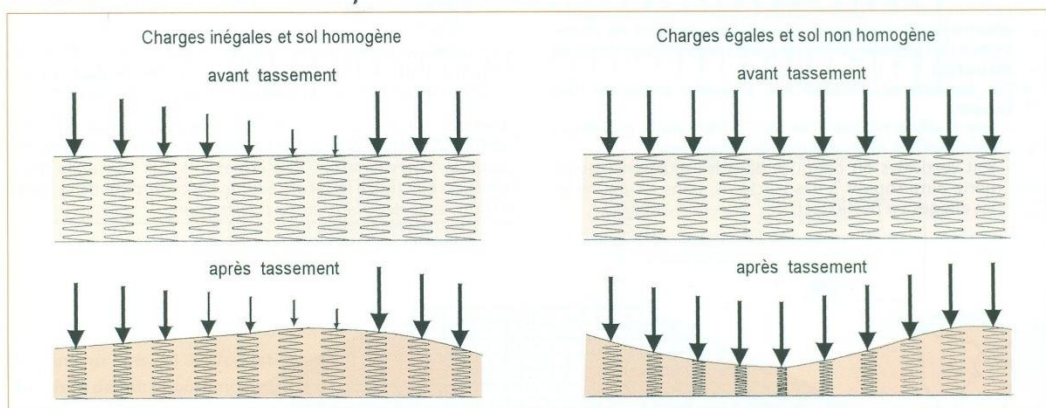


Fig. 36 : Schémas de principe, causes et conséquences

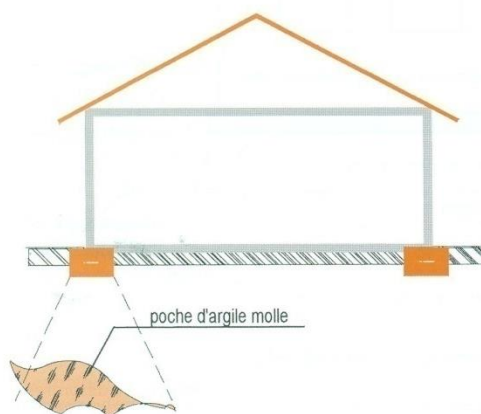


Fig. 37 : Cas de poche d'argile en profondeur et tassement localisé à craindre

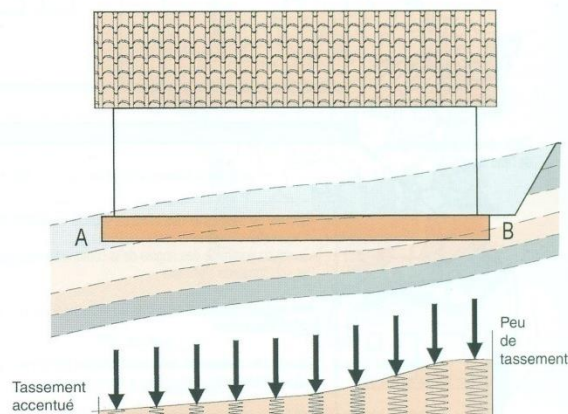


Fig. 38 : Charges uniformes et réparties mais terrain en pente. Risque de tassement différentiel et de fissuration

13. Cas de fondations avec plots, puits et longrines

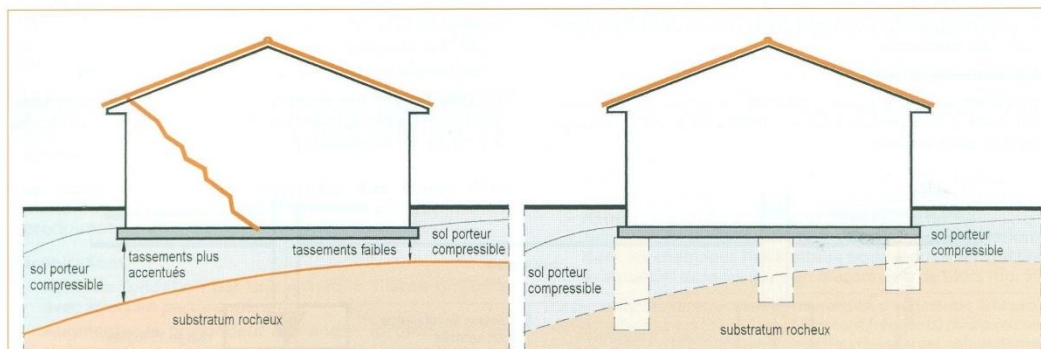
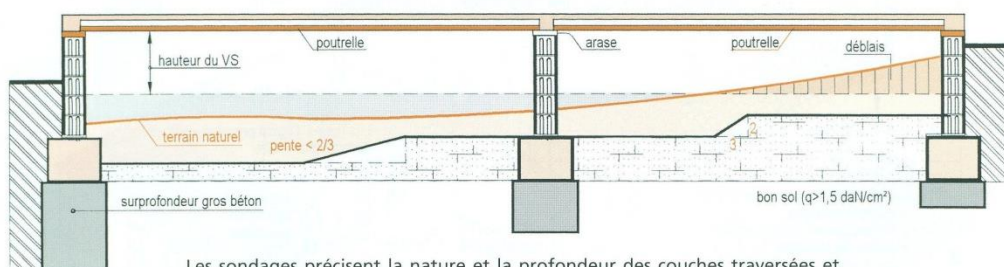


Fig. 39 : Sol porteur compressible hétérogène en épaisseur

Fig. 40 : Solution par puits et longrines



Les sondages précisent la nature et la profondeur des couches traversées et facilitent la conception des fondations et la détermination du niveau fini et du volume des déblais et remblais.

Fig. 41 : Fondation et soubassement pour vide sanitaire sur terrain en pente

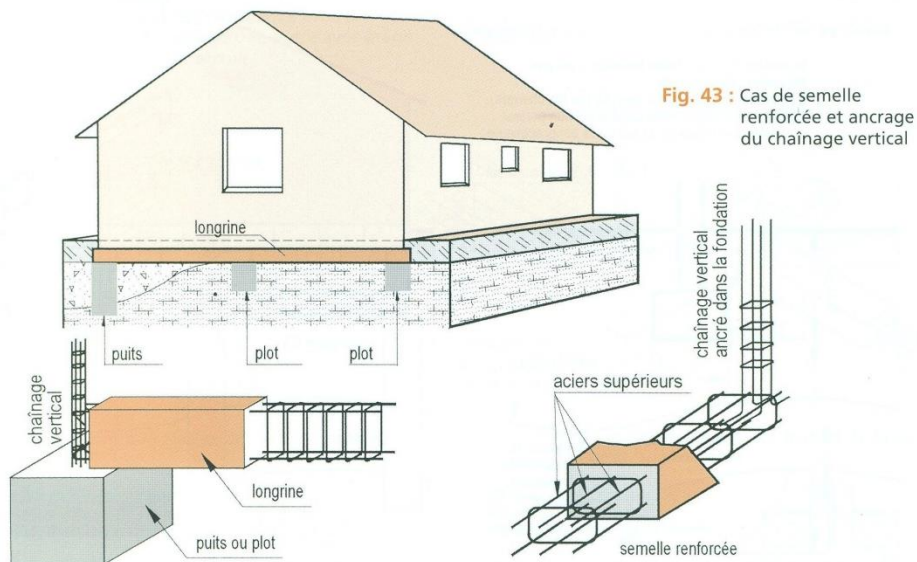


Fig. 42 : Fondation sur puits ou plot, longrine et chaînage vertical

Fig. 43 : Cas de semelle renforcée et ancrage du chaînage vertical

► Bulbe des pressions

Il s'établit en considérant l'effet des charges à différents niveaux dans le sol et en évaluant la pression verticale.

Les lignes d'égale pression verticale dessinent un bulbe appelé « bulbe des pressions ».

Cas des semelles filantes

On constate que la pression verticale transmise est pratiquement nulle à une profondeur sensiblement égale à 3 fois la largeur B de la semelle.

Cas des semelles isolées carrées

La pression dans le sol s'évalue également en fonction :

- de la largeur de semelle;
- de la profondeur;
- de l'angle d'inclinaison par rapport à la verticale.

La distribution des pressions verticales sur un plan horizontal affecte la forme d'un chapeau de gendarme (courbe en cloche de Boussinesq).

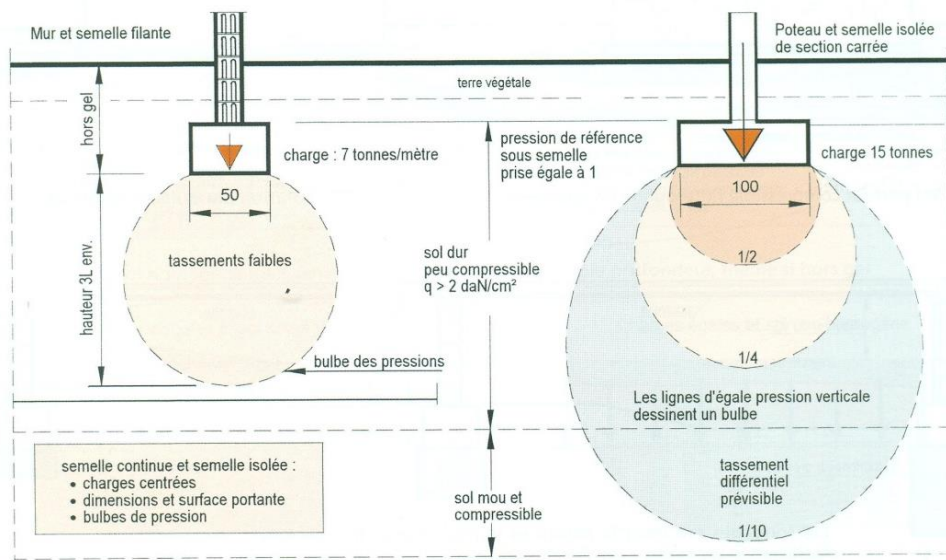


Fig. 44 : Sol compressible en profondeur et bulbes des pressions différents suivant charges et dimensions de semelle

► Exemple: choix de fondation après étude de sol

Solution par semelle filante non adaptée en raison du sol hétérogène

- la couche de sol de faible portance n'est pas décelable sans sondage
- la pression en profondeur exercée par les charges provoque des tassements dans le sol non porteur
- la solution par des puits et longrines est préconisée

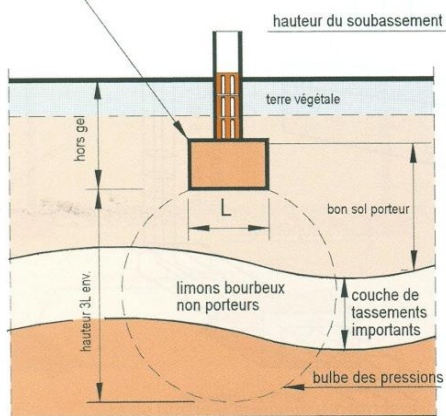


Fig. 45 : Sol porteur surmontant une couche de limon

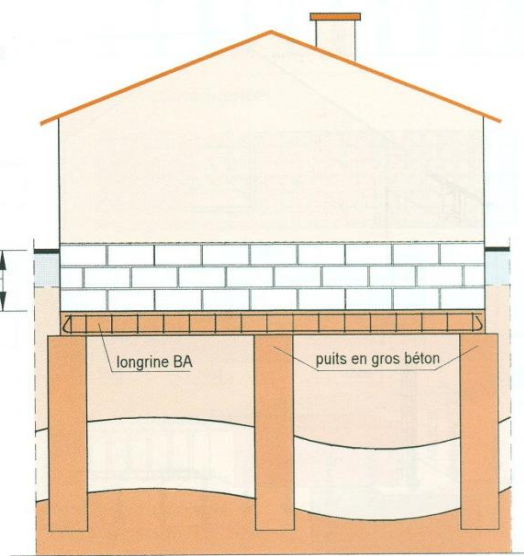


Fig. 46 : Solution par puits en gros béton et longrine en béton armé