www.4geniecivil.com

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail - Patrie

UNIVERSITE DE DOUALA

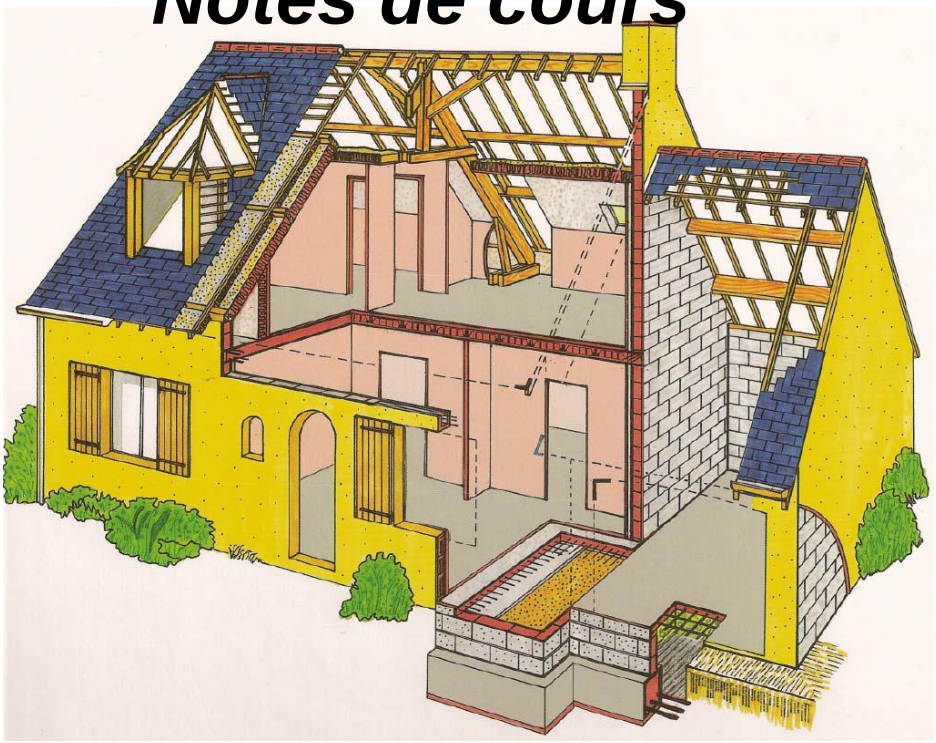
REPUBLIC OF CAMEROON
Peace - Work - Fatherland

THE UNIVERSITY OF DOUALA

INSTITUT UNIVERSITAIRE DE TECHNOLOGIE
THE UNIVERSITY INSTITUTE OF TECHNOLOGY
****
DEPARTEMENT GENIE CIVIL
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
BP: 8698 Douala - Tel: 3407485 - Fax: 3402482 - URL: www.iut-douala.cm

Gros Œuvre

Notes de cours



André Richard BEYEME OLINGA
Professeur de Génie Civil
beyemeolinga@yahoo.fr

UE IUT GCI13 : Technologie

GCI133 : Gros œuvre et second œuvre

Equipe Pédagogique : BEYEME OLINGA / BIKOUN J. CM : 26 TD : 00 TP : 10 TPE : 09

OBJECTIFS GENERAUX

- Nommer et distinguer les différents travaux de terrassement ;
- Définir et faire le choix d'une fondation ;
- Définir les fonctions d'une construction ;
- Maitriser les différends systèmes constructifs.

OBJECTIFS SPECIFIQUES

- Maitriser l'outillage et le matériel d'implantation ;
- Maîtriser l'outillage et le matériel de terrassements ;
- Définir et différentier les types de fondation ;
- Dimensionner une fondation ;
- Réaliser un mur.

SOURCES DOCUMENTAIRES

1. **et J. de VIGAN, Dicobat,** *Dictionnaire illustré du bâtiment***,** Ed Arcature
2. **Gérard Calvat**, *Initiation au dessin bâtiment*, 3ème et 4e édition, Eyrolles Paris, 2001 et 2015
3. **R. Delebecque,** *Bâtiment Tome 1***,** Edition Delagrave, Paris, 1997
4. **Sandrine Georges,** *Plan de maison*, Edition Eyrolles, Paris, 2016.
5. **V. Savary**, *Technologie de maçonnerie*, Dunod, Paris, 1976

SOMMAIRE

OBJECTIFS GENERAUX....1
SOURCES DOCUMENTAIRES....1
INTRODUCTION....4
Chapitre 1 : IMPLANTATION ET TERRASSEMENTS....5
1. lE DECAPAGE....5
2. L'IMPLANTATION....6
3. leS terrassementS....13
Chapitre 2 : Analyse fonctionnelle des constructions....28
I. introduction....28
1. les intervenants dans l'art de construire....28
2. Identification des fonctions d'une construction....29
II. les systemes constructifs....30
1. Exigences fonctionnelles....30
2. exigences techniques....31
3. Analyse structurelle d'un système constructif....32
4. Typologie des elements constitutifs d'un systeme constructif....35
4.1 Les fondations....35
4.2 Les murs en maçonnerie....68
Chapitre 3 : LES ECHAFAUDAGES....84
1. définition....84
2. tERMINOLOGIE D'UN ECHAFAUDAGE....85
3. Choix d'un échafaudage....87
4. Classification des echafaudages....88
5. les PRINCIPAUX RISQUES a eviter....93

INTRODUCTION

Le gros œuvre désigne l'ensemble des travaux qui soutiennent l'édifice en construction et qui lui assurent à la fois sa stabilité et sa solidité.

Le gros œuvre inclut non seulement les travaux portant sur la maison proprement dite (charpente, élévation des murs, toiture…) mais également ceux assurant la solidité de l'ouvrage par rapport au sol. Ceci inclut les travaux de soubassement, de terrassement, de fondations…

Le gros œuvre se divise ainsi en deux types de travaux : ceux qui portent sur l'attache de l'édifice au sol (soubassement, terrassement…) et ceux qui sont hors-sol, c'est-à-dire au-dessus du sol, à savoir l'élévation des murs, la charpente, la couverture...

Les travaux de gros œuvre comprennent les fondations, le soubassement, l'assainissement, l'élévation des murs, la toiture, la charpente,

Le gros œuvre en définitive, comprend la mise hors d'eau de la construction.

Dans cette partie du cours on s'attardera sur :

- **Implantation d'un ouvrage simple :** il est question de matérialiser son projet de construction d'une maison simple d'habitation, depuis le choix du terrain, la viabilisation complète du site, par le terrassement, jusqu'à l'implantation de la construction.

- **Analyse fonctionnelle :** il est question d'étudier l'ensemble des travaux de gros œuvre, qui comprennent l'infrastructure, l'enveloppe et la mise hors d'eau.

- **Réalisation d'un échafaudage :** cet ouvrage provisoire est très important pour la réalisation des travaux en hauteur, son étude et sa réalisation sont importantes pour la sécurité des ouvriers.

- **Installation d'un chantier de gros œuvre :** un chantier est une industrie hors atelier, dont l'organisation permet une meilleure mise en œuvre.

Chapitre 1 : IMPLANTATION ET TERRASSEMENTS

La réalisation de tout ouvrage de génie civil nécessite la maitrise de plusieurs opérations, faisant intervenir plusieurs spécialistes. Parmi ces spécialistes il y a le Maître d'œuvre, qui est la plaque tournante du projet. il doit obligatoirement connaitre non seulement toutes les opérations de l'art de construire en détails, mais aussi l'ordre chronologique où ces opérations interviennent.

Implanter un ouvrage comprendra globalement deux types d'opérations :

- La viabilisation du site (débroussaillage et le décapage)
- L'implantation proprement dite.
- Les terrassements

1. LE DECAPAGE

1.1. Définition

Le décapage est un terrassement dit en « *découverte* », qui consiste en l'enlèvement de la terre végétale sur une faible profondeur (environ 20 cm) et sur l'ensemble de l'emprise du bâtiment (figure 1).

Cette opération est généralement réalisée par un engin de terrassement, si l'endroit est trop encombré et surtout s'il s'agit des travaux routiers (Figure 2) ou de grande surface.

Il peut se faire aussi manuellement, s'il s'agit de petite construction.

Figure 1: Le décapage

Figure 2: décapage pour travaux routiers

1.2. Le matériel de décapage

En plus du matériel utilisé pour les grands chantiers, on utilise pour la construction des maisons individuelles :

- Matériel mécanique : Tractopelle
- Matériel du terrassier : Pelles, pioches, machettes, brouette, …

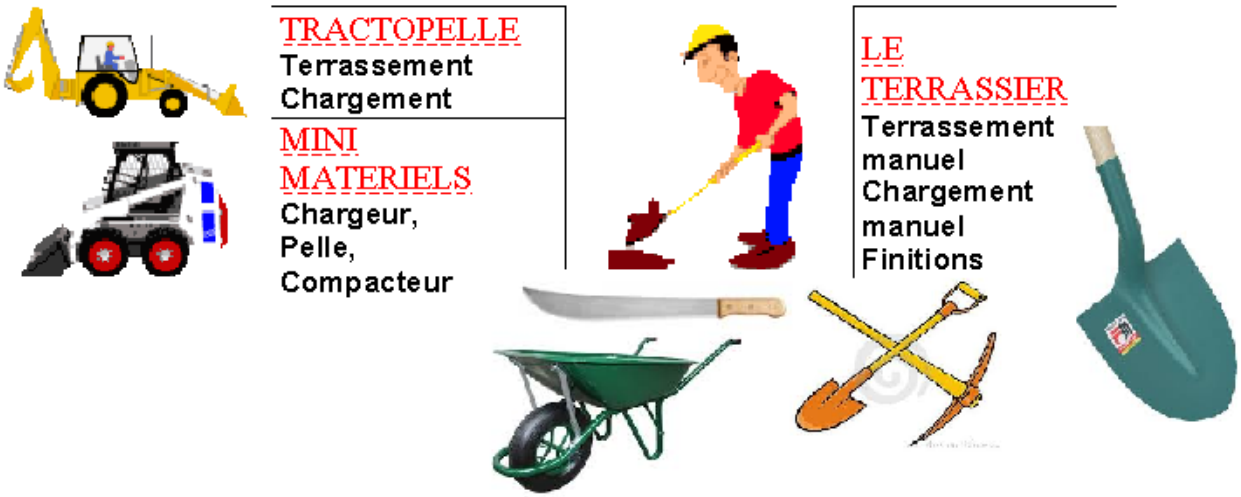


Figure 3: Matériel de décapage

2. L'IMPLANTATION

2.1. Définition

L'implantation est une opération qui consiste à matérialiser sur le terrain l'ensemble des tracés géométriques telles que :

- ☞ Les terrassements
- ☞ La délimitation des fouilles
- ☞ La position des ouvrages de fondation,
- ☞ Le passage des canalisations
- ☞ Le tracé des murs.

Par l'intermédiaire des chaises d'implantation reliées par des ficelles.
Son but est de déterminer l'emplacement du bâtiment et de situer les murs et les poteaux.

2.2. Documents nécessaires à la réalisation d'une implantation

Pour pouvoir réaliser une implantation, il est impératif de disposer de documents graphiques et écrits, tels que :

2.2.1. Documents graphiques

a) **Le plan de situation** : il localise le terrain à bâtir par rapport à des repères fixes tels que : routes, rues, lignes de transport électriques,…(Figure 5)
b) **Le plan de masse** : il localise le bâtiment projeté et ses abords immédiats tels que : les propriétés non bâties, les constructions voisine et limites mitoyennes, la zone de recul par rapport à la limite de la propriété publique ou privée (Figure 4).

c) **Le plan d'implantation** : il peut être un plan de masse reporté sur des relevés topographiques, pour mieux situer la nouvelle construction. Le plan topographique, qui donne l'allure altimétrique du terrain, permet d'apprécier si le terrain est plat ou accidenté. Pour des constructions simples, il va s'accompagner du plan de fondation. Pour des constructions plus complexes, il peut s'accompagné de pièces graphiques annexes telles que :

- ☞ Plan d'implantation des plateformes,
- ☞ Plan de situation des profils
- ☞ Les plans détaillés de profils en long et en travers (cotes de niveaux et cotes de projets)

Remarque : il arrive dans la plupart des cas que le plan d'implantation se réduise simplement au plan des fondations.

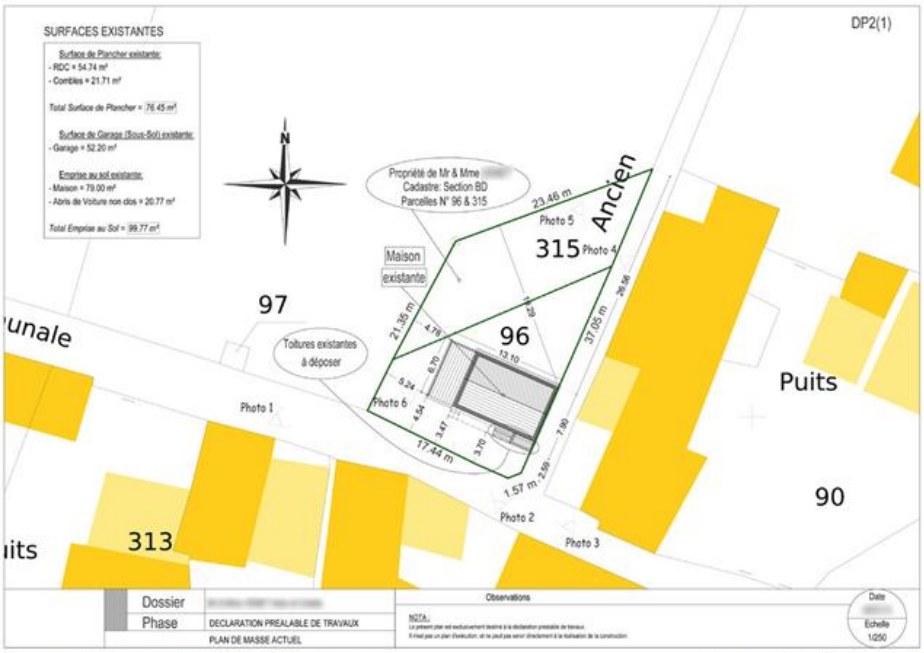


Figure 4: Exemple de plan de masse source: http://xiaran.cc/

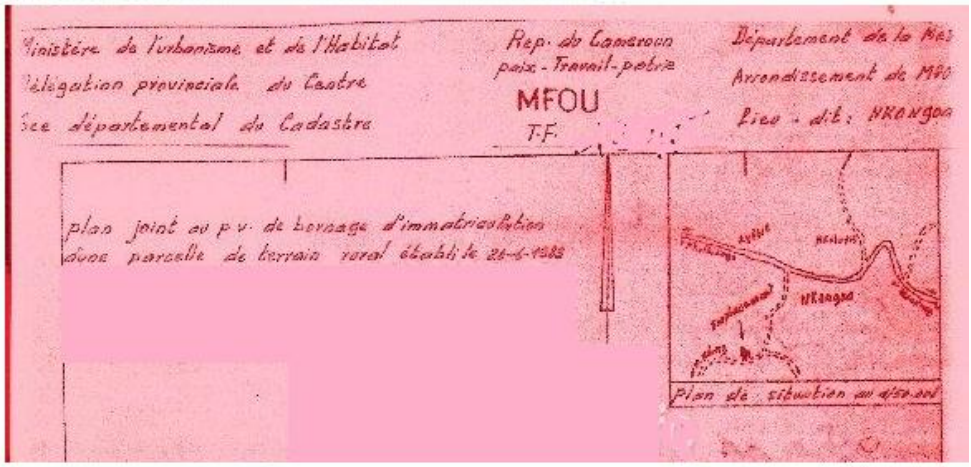


Figure 5: Exemple d'un extrait d'un PV de bornage contenant un plan de situation

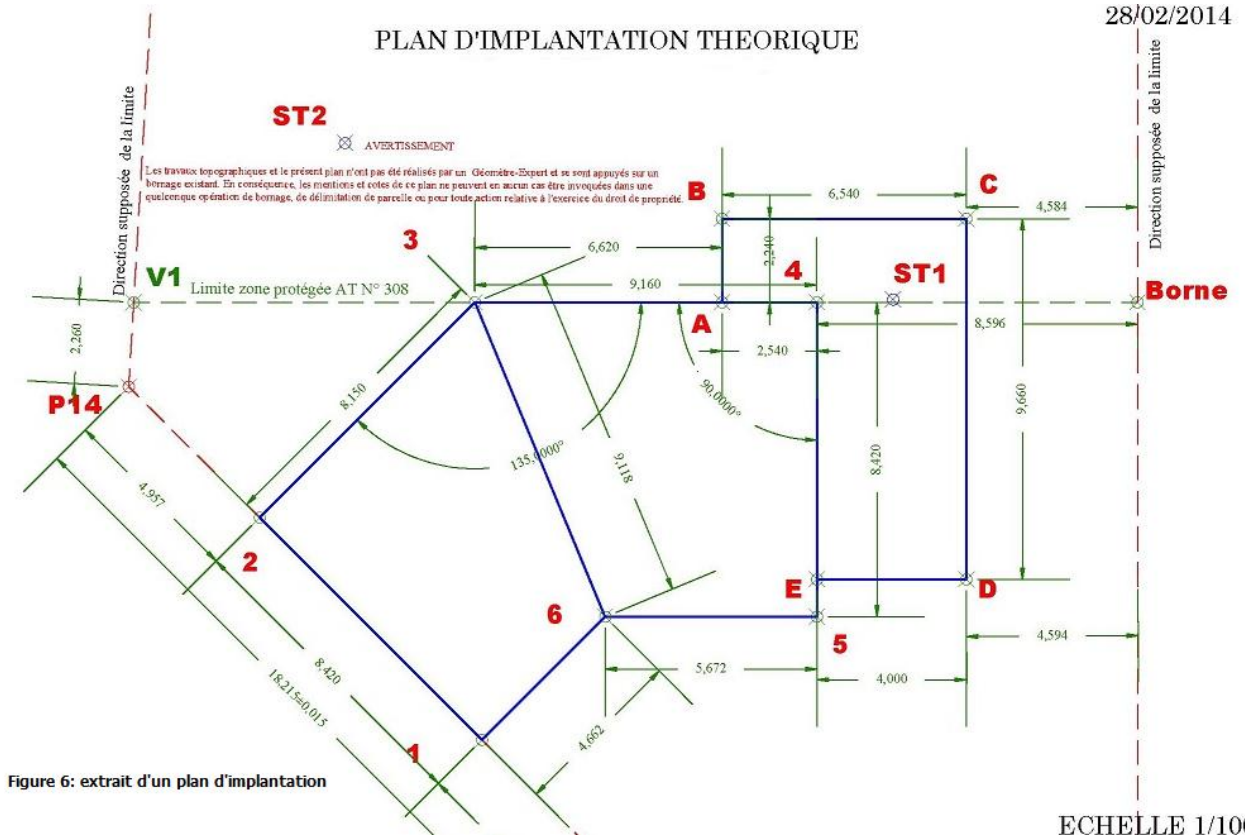


Figure 6: extrait d'un plan d'implantation

2.2.2. Documents écrits

L'exécutant peut aussi disposer des documents écrits tels que :

- ☞ Les devis descriptif (qui précise les différents travaux, les modes opératoires et les matériaux à utiliser) et quantitatif (qui définit quantitativement les surfaces, les cubatures de déblais et remblais…)

- ☞ Les Documents Techniques Unifiés (DTU) ainsi que les normes à utiliser.
- ☞ Les Cahiers de Prescriptions communes et spéciales (CPS, CPC).

2.3. Réalisation de l'implantation

2.3.1. Le matériel d'implantation

En fonction de l'importance du chantier on aura (Figure 7) :

- ☞ Une massette,
- ☞ Un marteau,
- ☞ Un cordeau,
- ☞ Des jalons,
- ☞ Le niveau à bulle d'air,
- ☞ Les pointes (70, 80, 90),
- ☞ Des appareils topographiques (Niveau de chantier, le théodolite, l'équerre, …)

Figure 7: Matériel d'implantation

2.3.2. Les éléments de base

Pour réaliser correctement une implantation d'un bâtiment, il est nécessaire de disposer d'un certain nombre d'éléments de base.

2.3.2.1. Alignement de référence

Toute construction neuve doit s'intégrer dans l'environnement bâti existant. Pour cela on doit choisir un alignement de référence qui peut être :

- Un axe de route,
- Une bordure de trottoir,
- L'alignement par rapport aux édifices existants.
- …

2.3.2.2. Repères d'alignement

L'alignement de la façade extérieure de l'ouvrage neuf n'est pas la seule exigence, il faut aussi que le niveau du sol fini soit en harmonie avec l'existant pour éviter des inondations ou des dénivellements inutiles. Pour répondre à cette exigence altimétrique ou de nivellement, on pourra prendre comme repère :

- Un point déterminé d'un niveau supérieur de la bordure d'un trottoir,
- Le tampon d'une bouche d'égout,
- …

Lorsque les éléments ci-dessus cité sont disponible, on peut procéder à l'implantation proprement dite.

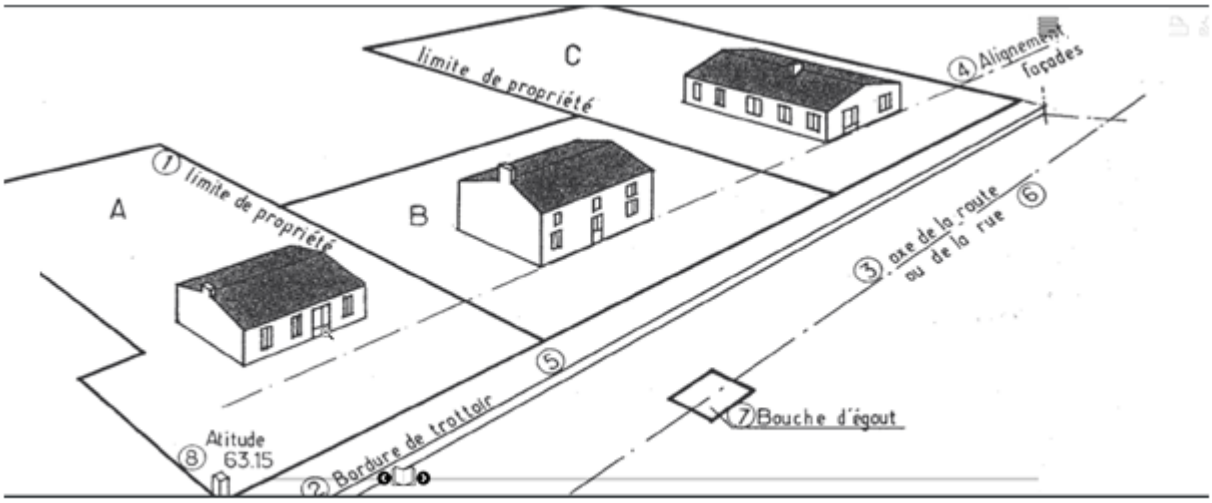


Figure 8: Exemple d'alignement de référence et de repère d'alignement

2.3.2.3. Mise en œuvre pratique de l'implantation

La mise en œuvre pratique de l'implantation se résume eu un certain nombre d'opérations, dont le but principal est de matérialiser l'ouvrage. Les plus importantes de ces opération sont les suivantes :

a) Mise en place des chaises d'implantation

Une chaise d'implantation est un ouvrage provisoire en bois, constitué de piquets en chevron de bois taillés (à enfoncer dans le sol) et d'une latte en bois horizontal (Figure 8).

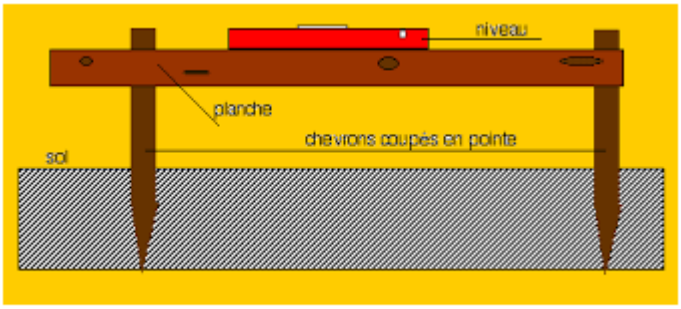


Figure9 : Chaise d'implantation

Une chaise d'implantation mère, solide et indéformable, est donc réalisée tout autour de l'emprise de la construction (environ 0.50 à 2.00 m des façades extérieures). Elle doit être alignée, Les angles doivent être d'équerre et de niveau sur elle-même et entre elles lorsqu'il y a plusieurs.

b) Report des lignes principales

Le report de la première ligne directrice peut s'effectuer soit avant la mise en place des chaises d'implantation, soit après. Il s'agit de matérialiser l'alignement de la façade à l'aide des jalons, ou directement sur les chaises d'implantation, en y fixant des pointes et en attachant le cordeau (directrice n°1), puis on déduit la directrice perpendiculaire à la première (Figure 9).

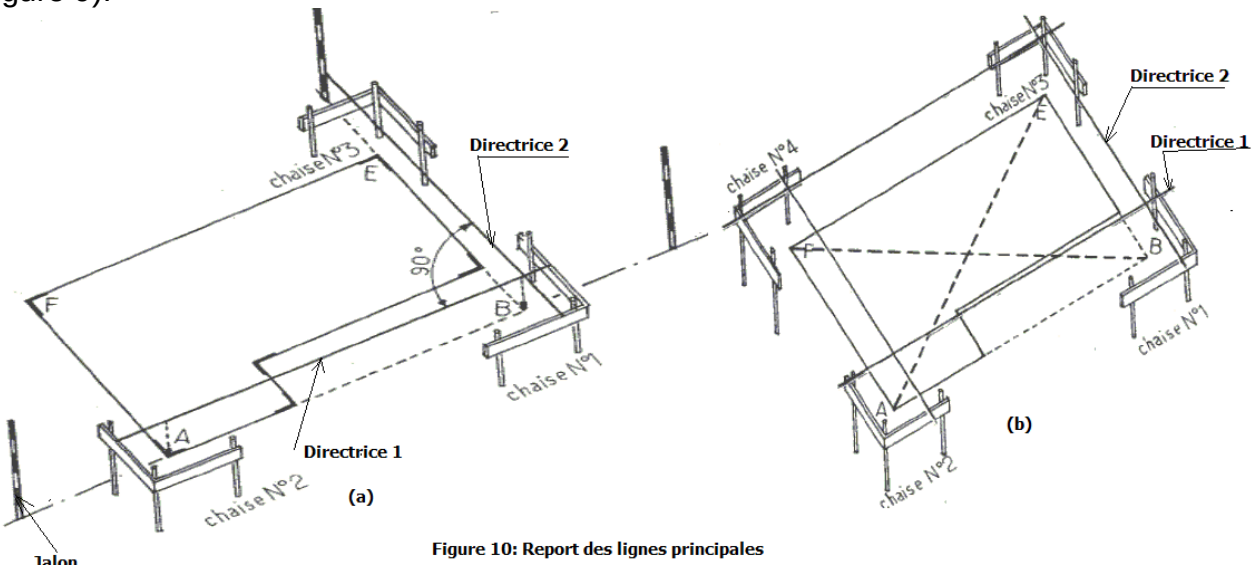


Figure 10: Report des lignes principales

A partir des deux premières directrices, on peut compléter les autres alignements. Nous relevons que les directrices ne sont pas un objectif d'implantation, mais un passage obligatoire, pour retrouver les axes des murs, des fondations ou des poteaux. Donc dès que la première directrice est matérialisée on peut déjà matérialiser sur la chaise l'axe du mur.
Le plus difficile à exécuter sur ces alignements ce sont des alignements perpendiculaires, qui demandent l'utilisation de l'équerre de maçon ou de l'équerre optique. On peut aussi utiliser le théodolite.

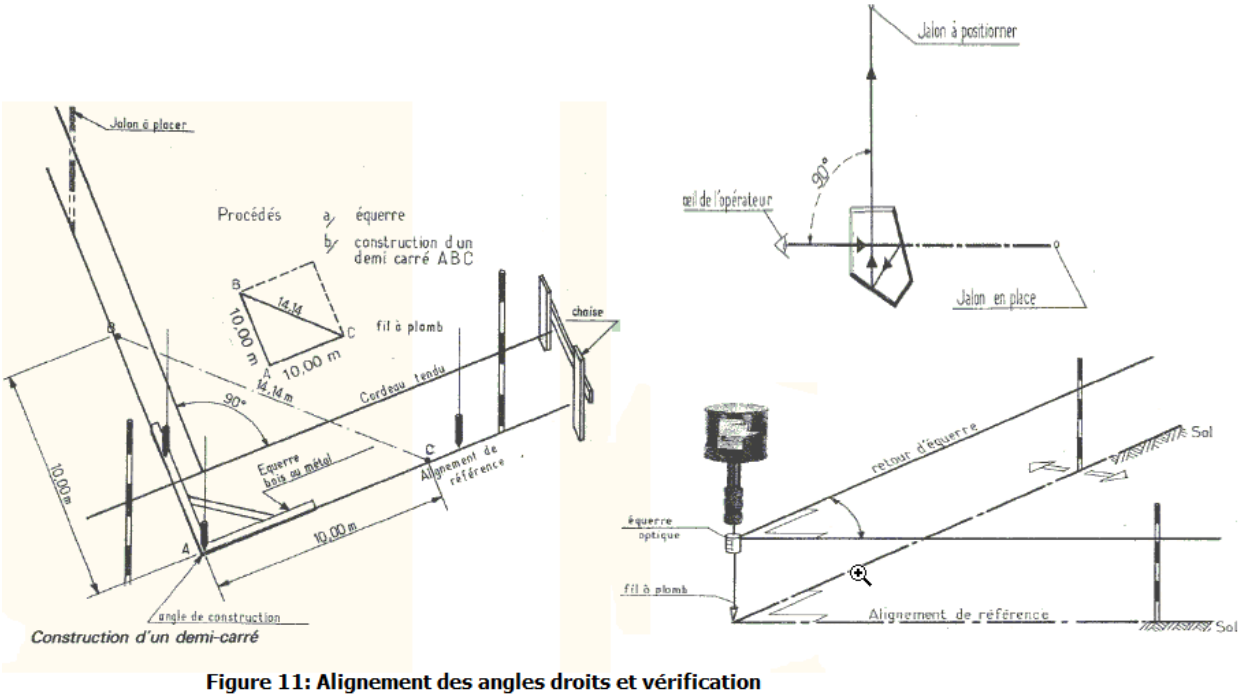


Figure 11: Alignement des angles droits et vérification

c) Report des axes des murs

Les quatre directrices extérieures sont les plus compliquées, c'est elles qui doivent répertorier l'exactitude des dimensions ainsi que l'équerrage de la construction, lorsqu'elles sont mises en place, on peut matérialiser les axes des murs intermédiaire et intérieures en appliquant la méthode des cotes cumulées.

Une fois l'implantation terminée, on repère au sol, à l'aide du sable ou de la poudre de chaux ou de plâtre, la position des différentes fouilles à exécuter (Figure 12).

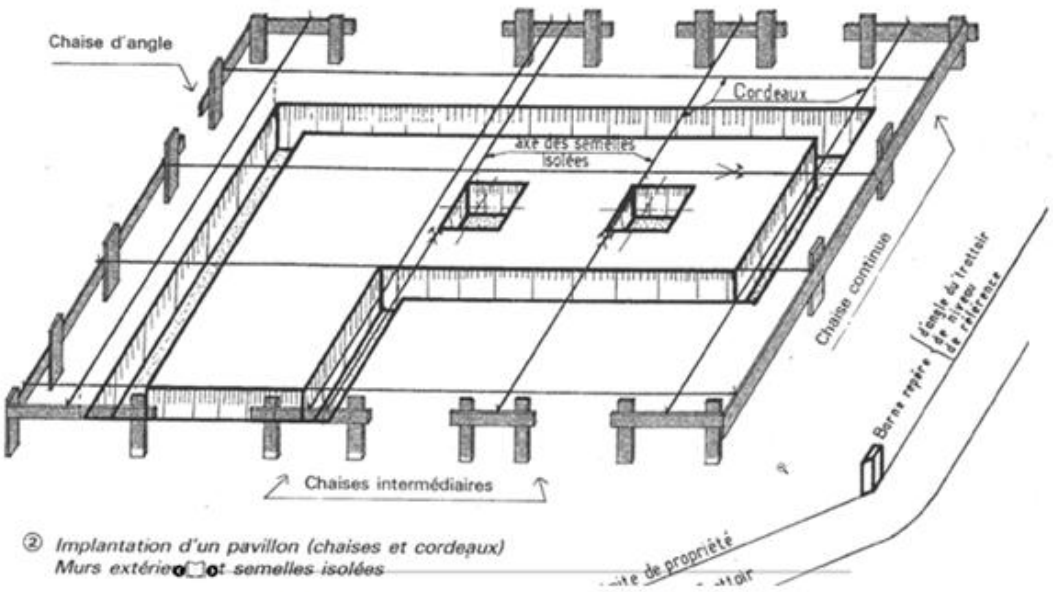


Figure 12 : Exemple d'implantation d'un pavillon

3. LES TERRASSEMENTS

Les terrassements modifient la topographie du terrain et lui donnent une forme et des caractéristiques déterminées, correspondant à la finalité des travaux (routes, barrages, bâtiments…
D'une manière générale, dans une opération de construction, les terrassements constituent un lot très important et peuvent dans certain cas engager des moyens très importants, même si l'ouvrage à réaliser reste modeste.

3.1 Définition

Le terrassement désigne l'ensemble des opérations de mise en forme d'un terrain liées à l'édification d'une construction (*nivellement* du sol, *fouille* pour l'exécution des *fondations*, *tranchée* pour la mise en place des canalisations…).
Creuser une fouille ou plus généralement modifier le relief d'un sol constitue en soi un terrassement.

3.2 Rôle

Le rôle principal des travaux de terrassement est soit :

- D'enlever des terres initialement en place (déblais) par l'exécution des fouilles;
- A mettre en place, en général par apport ou dépôts, les terres préalablement prélevées (remblais).

3.3 Opérations de terrassement

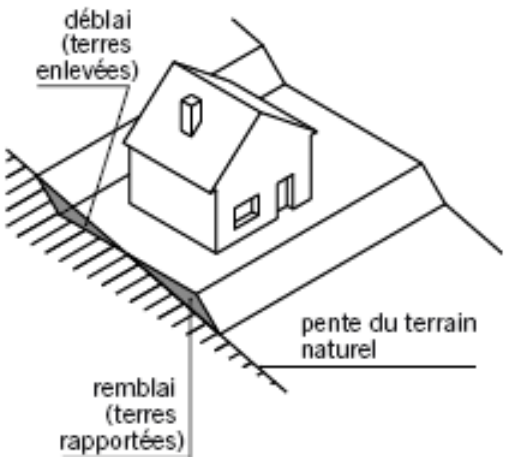
Les terrassements concernent deux opérations principales : les remblais et les déblais, ces opérations peuvent être manuelles ou mécaniques suivant l'importance du projet.

3.3.1 Les déblais

Ensemble des terres retirées du sol lors des divers travaux de terrassement. Les terres sont soit réutilisées sur le terrain sous forme de *remblais*, soit retirées du chantier et transportées vers un dépôt.

3.3.2 Les remblais

Ensemble des terres rapportées sur le terrain pour créer une plate-forme ou combler une cavité.



3.4 Les travaux de terrassements

Les travaux de terrassement visent à l'exécution :

- ☛ De la préparation des fondations ;

- D'ouvrages annexes aux bâtiments tels que tous les ouvrages de voieries (routes, aires de stationnement …)
- D'ouvrages d'infrastructure des réseaux enterrés (canalisations, regards…)

On distingue :

3.4.1 Le décapage

Terrassement dit « en découverte », il consiste à l'enlèvement des terres végétales, sur une profondeur inférieure à 20 cm.

3.4.2 Les fouilles

Une fouille est un terrassement réalisé dans le sol et destiné à recevoir des ouvrages de fondation (les semelles). Selon la forme géométrique, on distingue trois types de fouilles.

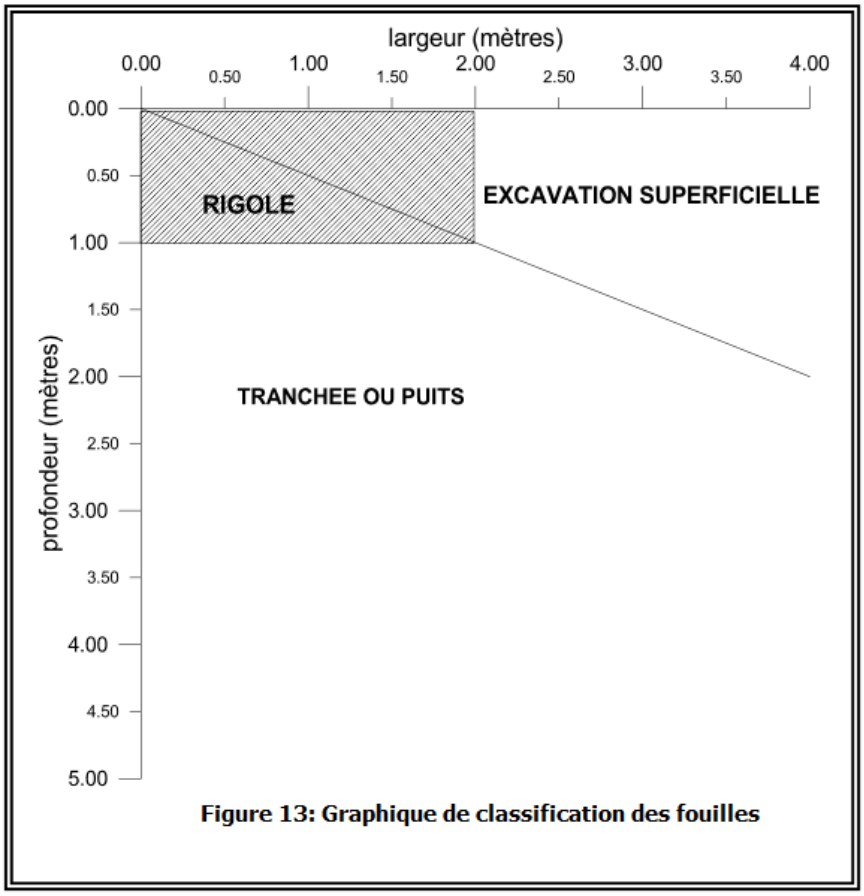


Figure 13: Graphique de classification des fouilles

a) Les fouilles en rigole

l ≤ 2 m et h ≤ 1 m ; fouille destinée à recevoir les *semelles filantes* de fondations.

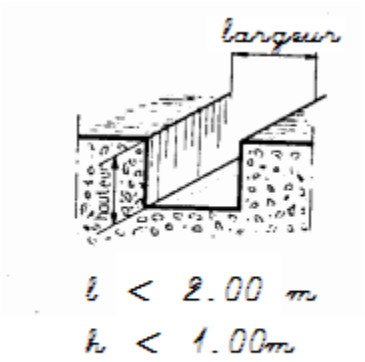


Figure 14: Fouille en rigole

b) Les fouilles en excavation

l ≥ 2 m et h ≤ ½ ; cavité, plus ou moins profonde, réalisée dans le sol lors de travaux de terrassement.

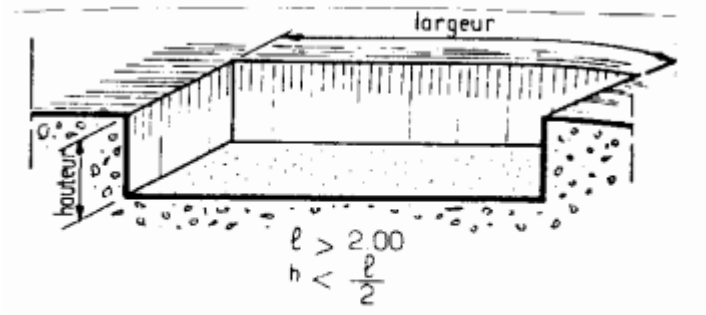


Figure 15: Fouille en exvavation

c) Les fouilles en trous ou puits

L = l ≤ 2 m et h > 1 m (L = l > 2 m et h > 1/2) ;
Elles correspondent aux semelles isolées des poteaux ou aux fouilles permettant la réalisation de fondations semi-profondes qui transmettent les charges de l'ouvrage sur un sol approprié.

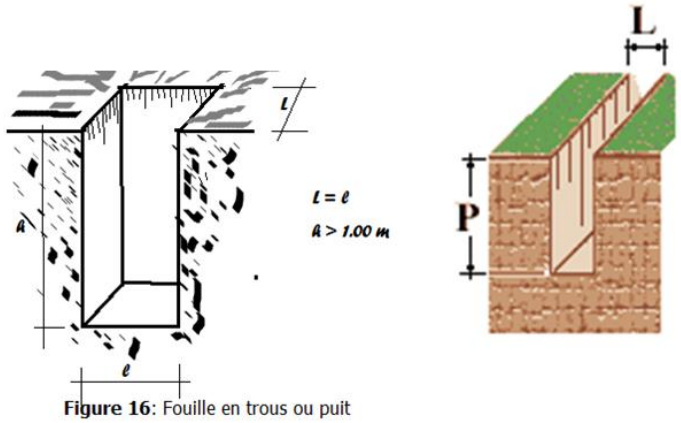


Figure 16: Fouille en trous ou puit

d) Fouille en tranchée

longue excavation, plus ou moins large, destinée à la mise en place de canalisations enterrées (conduites d'alimentation et d'évacuation, drains…) ou à la réalisation de fondations pour un mur de clôture. Elles sont aussi utilisées pour la réalisation des reprises en sous œuvre ou les fondations profondes.

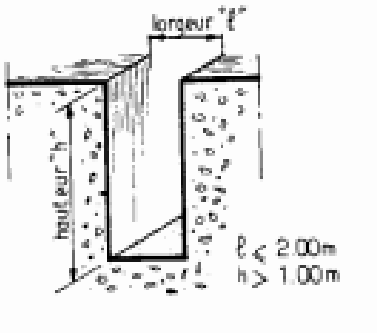


Figure 17: Fouille en tranchée

NB : la profondeur P, est dans tous les cas, mesurée à partir du niveau du sol naturel livré après terrassements généraux.

3.4.3 Exécution des fouilles

L'exécution des fouilles se fait soit manuellement soit mécaniquement. Quelque soit le mode d'exécution adopté on sera toujours confronté au type de sol, qui va soit facilité, soit rendre plus rude l'exécution des terrassements. Il est donc judicieux de connaitre à l'avance le type de sol, et de prendre des précautions pendant l'exécution des terrassements pour éviter les éboulements.

3.4.3.1 Classification des sols de terrassement

En dehors de la classification géologique des sols, il existe une classification liée à la facilité d'extraction. Deux grandes catégories peuvent être retenues.

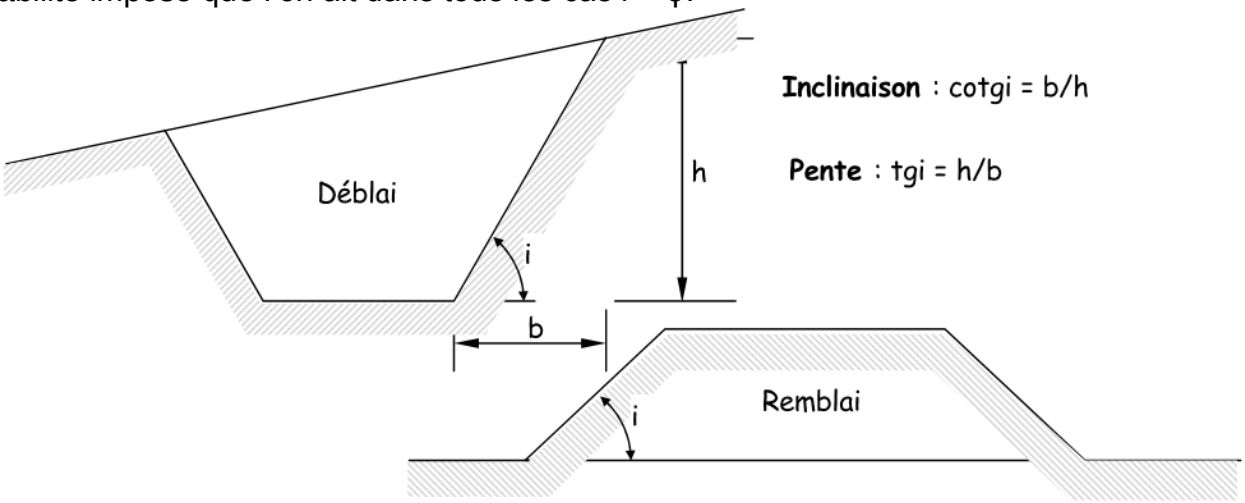
Catégorie	Type de terrain	Constitution	Classe	rendement
Les terrains meubles.	Ordinaire	Terre végétales, sables, graviers	A	100%
	Semi-compact	Argileux, caillouteux, tufs	B	80%
	Compact	Argiles compactes, marne, glaise, sables fortement consolidés	C	60%
	rocheux	Grès tendre	D	< 60%
Les terrains rocheux	Roches dures à très dures	Nécessitent une étude particulière		

3.4.3.2 Protection des bords de fouille

a) Talutage des bords de fouille

Les conditions de stabilité des talus, nécessaires pour la protection des fouilles, définissent un angle i du talus pris avec l'horizontal et déterminé par sa tangente, tel que sur le schéma ci – après. Cette tangente prend le nom de *pente*.

En définissant un angle φ comme *angle de talus naturel* du sol considéré ; la condition de stabilité impose que l'on ait dans tous les cas i < φ.



Notons que l'angle de talus naturel dépend de :

- La nature du sol (cohérent ou non),
- De la teneur en humidité (sol sec ou non)

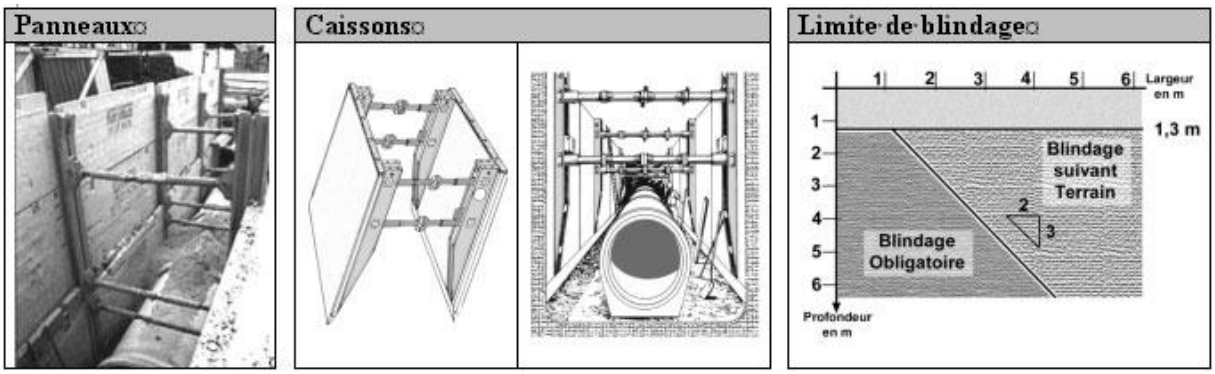
Le tableau suivant donne à titre indicatif, quelques valeurs d'angle de terrain naturel de quelques types de sols.

Nature du terrain	**Talus fouille**		
	Angle φ en °C (sol sec)	Pente H/V	Angle φ' en °C (sol immergé)
Rocher sain	90°	//	90°
Rocher fissuré	80°	1/5	80°
Terre végétale	45°	1/1	40°
Terre argileuse	40°		20°
Gravier, gros sable	35°	3/2	30°
Sable fin	30°	$\frac{\sqrt{3}}{3}$	20°

b) Le blindage

Le blindage est une technique qui consiste à retenir les terres verticalement, lors du terrassement, suivant des techniques traditionnelles ou modernes.
Les procédés anciens mettent en œuvre des planches, parfois renforcées par des supports métalliques, placées à la main au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

La modernisation des blindages les a transformées en de véritables ouvrages rigoureusement étanches pour résister à des infiltrations importantes, associant selon le cas, bois, métal, béton et utilisant parfois la précontrainte pour mieux les ancrer dans le sol. On distingue : les éléments simples, le blindage berlinois, les palplanches, les parois moulées.



Blindage des fouilles - Tableau récapitulatif

Type de blindage	Emploi	Observations
Platelage butonné	fouille en tranchée provisoire hors nappe	gêne dans les travaux de terrassement
Tubage	fouille en puits provisoire présence de nappe admise	
Parois berlinoises	pleine masse provisoire ou définitif hors nappe ou terrain drainable	emploi en site urbain ; coffrage de la paroi extérieure ; peu coûteux
Parois moulées	pleine masse définitif présence de nappe admise	emploi en site urbain ; s'intègre à la structure du bâtiment ; installation de chantier lourde et relativement coûteuse
Rideaux de palplanches	pleine masse provisoire présence de nappe ou définitif admise	nuisance pour les riverains ; récupération aléatoire
Parois clouées	pleine masseou provisoire hors nappe	talutage éventuel ; peu coûteux

Si toutes les précautions sont prises on peut réaliser les fouilles en toute quiétude soit : Manuellement ou mécaniquement.

3.4.3.3 Terrassement manuel

Il s'agit de creuser à la main des fouilles, tout en suivant le tracé laissé par l'implantation et en respect de la profondeur du bon sol recherché (Figure 12).
Le fond de fouille et les bords doivent être dressé et le niveau des fonds de fouille doit être identique, on se repèrera sur l'implantation.
Le matériel n'est pas important, il s'agit uniquement de pioches et de pelles.

Pioche et pelle

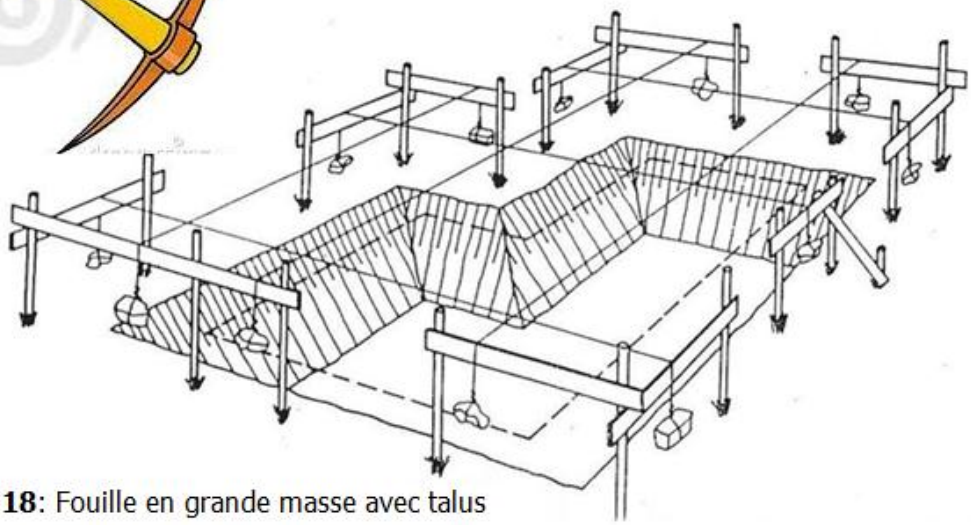


Figure 18: Fouille en grande masse avec talus

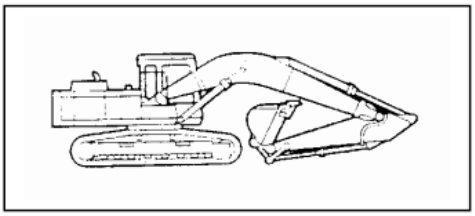
Figure 19: Exemple d'une fouille en rigole exécutée à la main

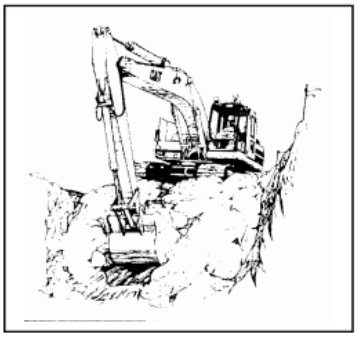
3.4.3.4 Les terrassements mécaniques

Ils sont exécutés mécaniquement par des engins adaptés. Cette forme est plus adoptée aux chantiers de grande importance.

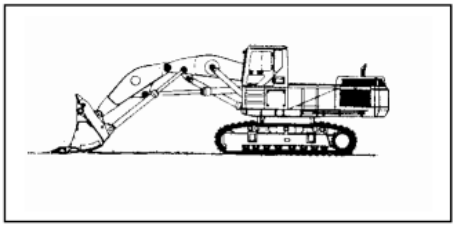
a) Engins de terrassement

- **Pelle hydraulique équipée en rétro.**

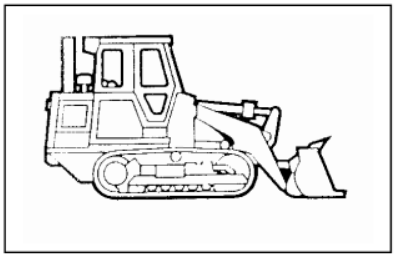


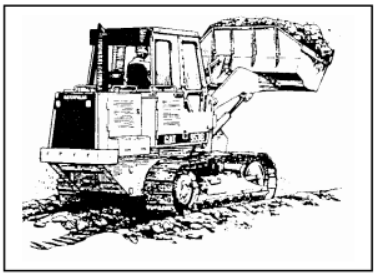


- **Pelle hydraulique équipée en buttée.**

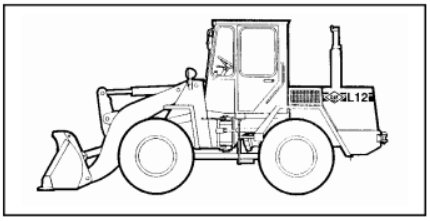


- **Chargeur à chenilles.**

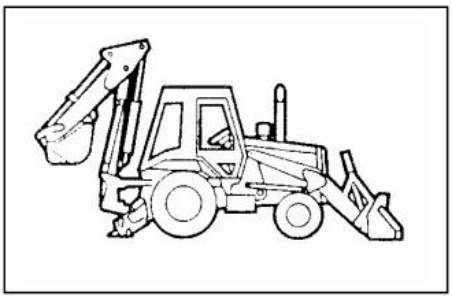




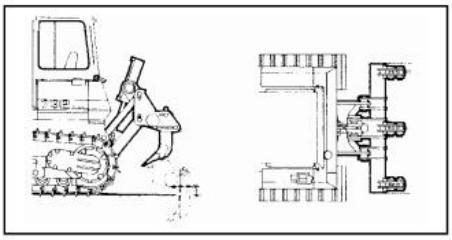
- **Chargeur à roues.**

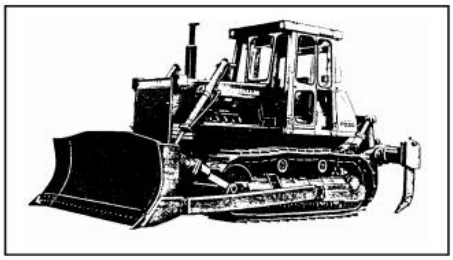


- Chargeuse pelleteuse (tracto-pelle).



- Scarificateur.

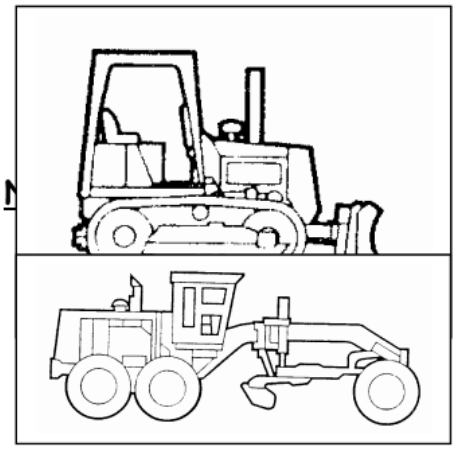


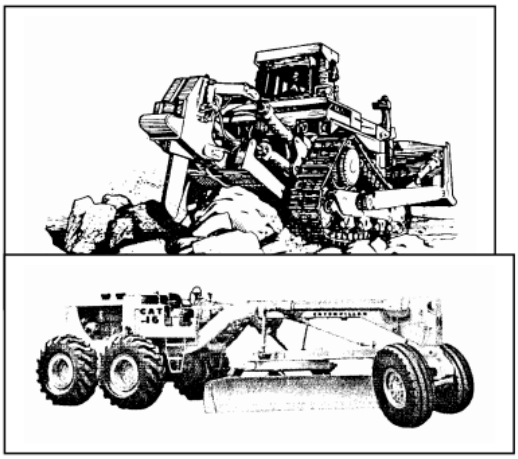


- Les engins de nivellement.

Ils assurent la mise en forme des terres. Les principaux engins sont les suivants :

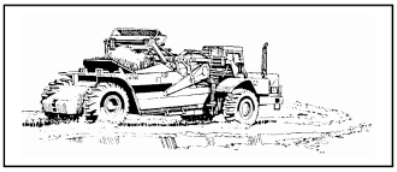
- Bouteur (bulldozer).équipé en ripper.

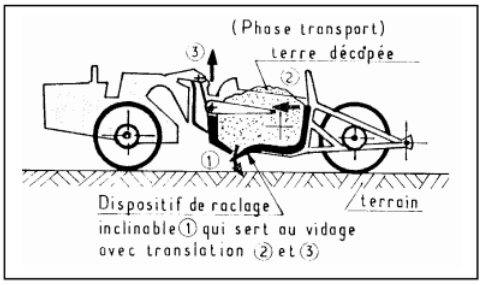




- N

- **Décapeuse.**





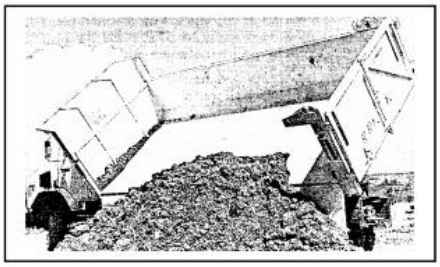
- **Les engins de transport.**

Ils assurent le transport des terres foisonnées du lieu d'excavation ou de reprise vers le site de dépôt. Les principaux engins sont :

- **Camions au gabarit routier.**

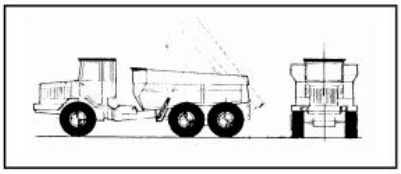
  - **Benne basculante.**

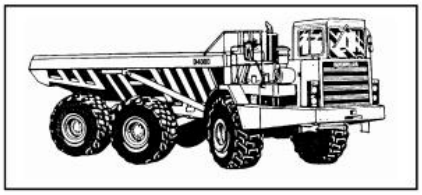
  - **Tribenne**



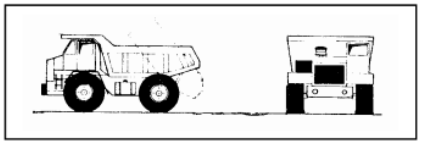
- **Tombereaux.**

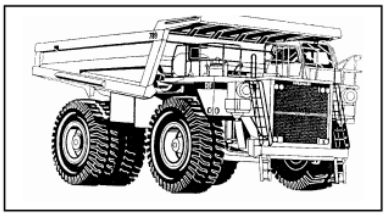
  - **Tombereau articulé**





➢ Tombereau rigide

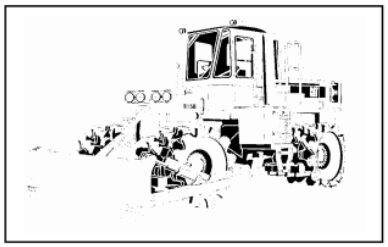


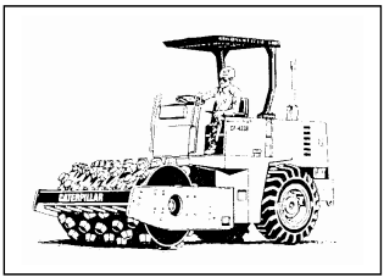


- **Les engins de compactage.**

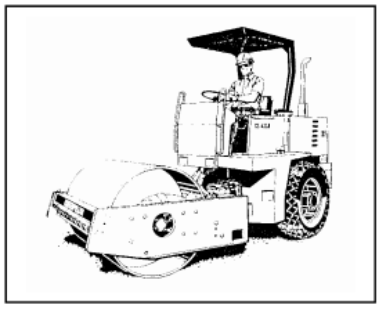
Ils permettent le compactage des terres pour permettre la reconstitution du sol. Les principaux engins sont :

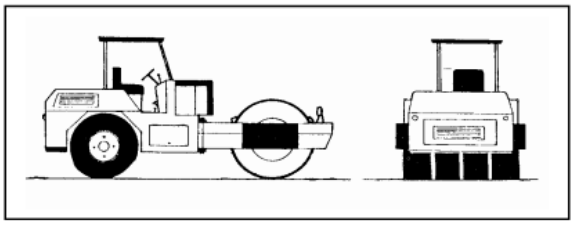
- Compacteur à pieds dameurs vibreur.



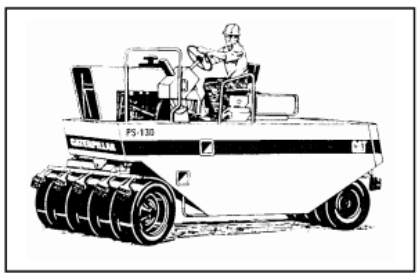


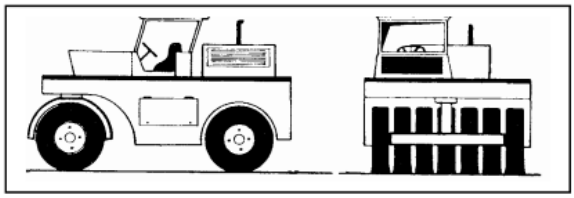
- Compacteur mono-cylindre.



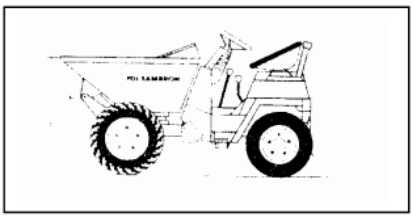
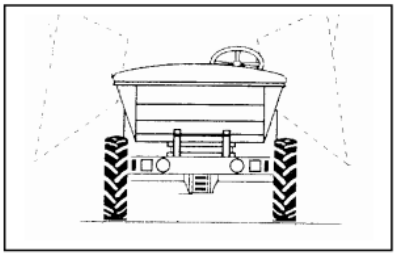
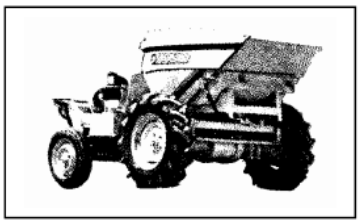


- Compacteur à pneus.

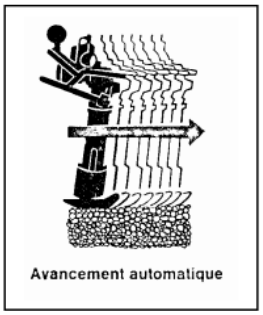




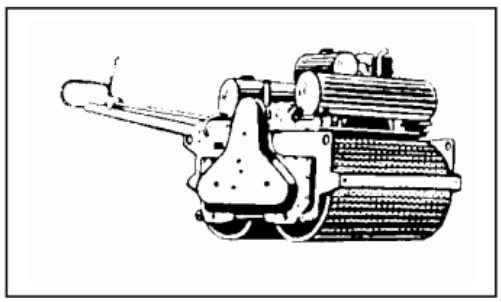
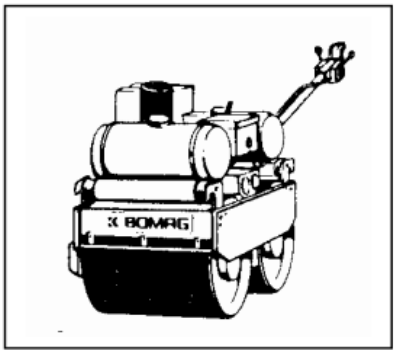
- **Les mini-engins.**
- **Moto-basculeur.**

- **Pilonneuse vibrante.**



- **Rouleau vibrant manuel.**

- **Chargeur compact.**

- **Mini-pelle.**

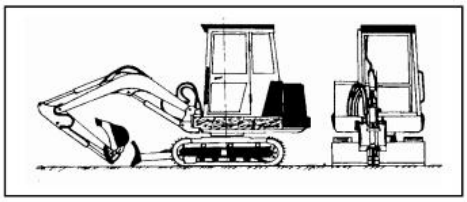


Figure 20: Exécution d'un terrassement mécanique avec une tracto pelle

3.5 Utilisation des terres excavées

Les terres excavées pendant les terrassements, représentent **les déblais**. Ces déblais sont soit envoyés vers une décharge soit réutilisé sur le même chantier pour compléter des trous et vides, on parle de **remblais.**

Ces deux opérations, dans des chantiers plus importants peuvent faire l'objet d'un lot à part. Les différents volumes de terre en déblais ou en remblais s'évaluent et font l'objet d'une taxation pendant l'évacuation vers la zone de remblais.

3.5.1 Calcul des volumes déblais et de remblais

3.5.1.1 Notion de foisonnement

Le foisonnement est l'augmentation du volume des terres provoquée par leur déplacement lors des travaux de terrassement. La terre extraite des fouilles perd sa cohésion initiale et se fragmente en petits morceaux indépendants qui occupent un volume apparent supérieur au volume de la terre en place.

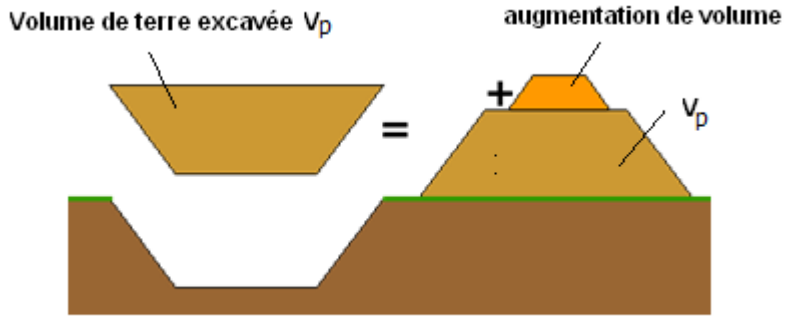


Figure 21: Foisonnement des terres

Le volume des terres extraite (V_f) est supérieur au volume de la fouille (V_P), dans laquelle elle a été extraite.

$V_f > V_p$ ou $V_f = V_p\left(1 + \frac{1}{M}\right)$; $C_f = 1 + \frac{1}{M}$ *est appelé indice de foisonnement*

Donc $\boldsymbol{V_f = V_p . C_f}$

D'un autre côté, lorsque le volume V_P est mise en remblai, il devient V_r, tel que $V_r < V_f$, ceci du fait que ce remblai aura tassé ou affaissé suite à son propre poids ou au compactage. On va donc distinguer les coefficients ou indices suivants :

- Le coefficient ou indice de foisonnement C_f
- Le coefficient de foisonnement résiduel C_{fr}
- Le coefficient de tassement ou de compactage C_c

$$\boldsymbol{V_r = volume\ reconstitué\ après\ compactage = V_f . C_c}$$
$$\boldsymbol{C_{fr} = C_f . C_c}$$
$$\boldsymbol{V_r = V_p . C_{fr}}$$

Quelques valeurs de ces coefficients vous sont données dans le tableau ci-après :

Nature du terrain	C_f	C_{fr}	C_c
Terre végétale, sable	10 à 15%	1 à 1.5%	8 à 12%

Graviers	15 à 20%	1.5 à 2%	12 à 15%
Terre argileuse	25 à 30%	4 à 6%	17 à 19%
Argiles, marnes	30 à 40%	6 à 8%	19 à 25%
Marnes très compacte	40 à 65%	8 à 15%	23 à 30
Eboulis roche tendre	30 à 40%	8 à 15%	17 à 18%
Rocher Compact	40 à 65%	25 à 40%	10 à 15%

Chapitre 2 : Analyse fonctionnelle des constructions

I. INTRODUCTION

La construction (bâtiment, route, ouvrage d'art, …) est le fait d'assembler plusieurs éléments, en utilisant des matériaux et des techniques appropriées.

Dans le cadre de ce cours, nous allons nous limiter au bâtiment (bien sûr en prenant des exemples sur l'ensemble des constructions, pour une bonne compréhension), qui est conçu et construit pour répondre à un ou plusieurs besoins. Il doit aussi s'adapter à son environnement (climat, localisation, …) et surtout aux contraintes qui lui sont imposées (froid, bruit, …).
Quatre principes doivent conduire le concepteur d'un bâtiment (selon l'Architecte contemporain Vitruve[1]) :

- **Le confort** (utilité) : Le bâtiment doit être confortable et fonctionnel, conforme aux besoins de l'usager.
- **La résistance** (solidité) : Il doit tenir debout, au besoin pendant longtemps.
- **L'Esthétique** (Beauté) : Il doit être beau, esthétiquement bien conçu.
- **Le contexte** (localisation) : il doit bien s'intégrer à son environnement.

1. LES INTERVENANTS DANS L'ART DE CONSTRUIRE

Trois composantes interviennent activement dans la construction : la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et l'entreprise de construction.

1.1 Le Maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage est la personne physique ou morale pour le compte de laquelle sont effectués les travaux de construction, en langage simple c'est le ***client*** ou ***le propriétaire du bâtiment construit***. Son rôle est de définir le programme de construction en fixant ses exigences en matière de délais et de qualité. C'est lui qui finance et à ce titre Il veille au bon déroulement de l'opération de construction et devra procéder à la réception de celle-ci, une fois terminée. Les maîtres d'ouvrage peuvent être des personnes morales de droit public (Etat, collectivités locales), des personnes privées, physiques ou morales (particuliers, société civile), des promoteurs immobiliers, qui font construire en vue de la revente.
Un maître d'ouvrage " délégué " est le mandataire du maître d'ouvrage. Il conduit l'opération de construction pour le compte de ce dernier.

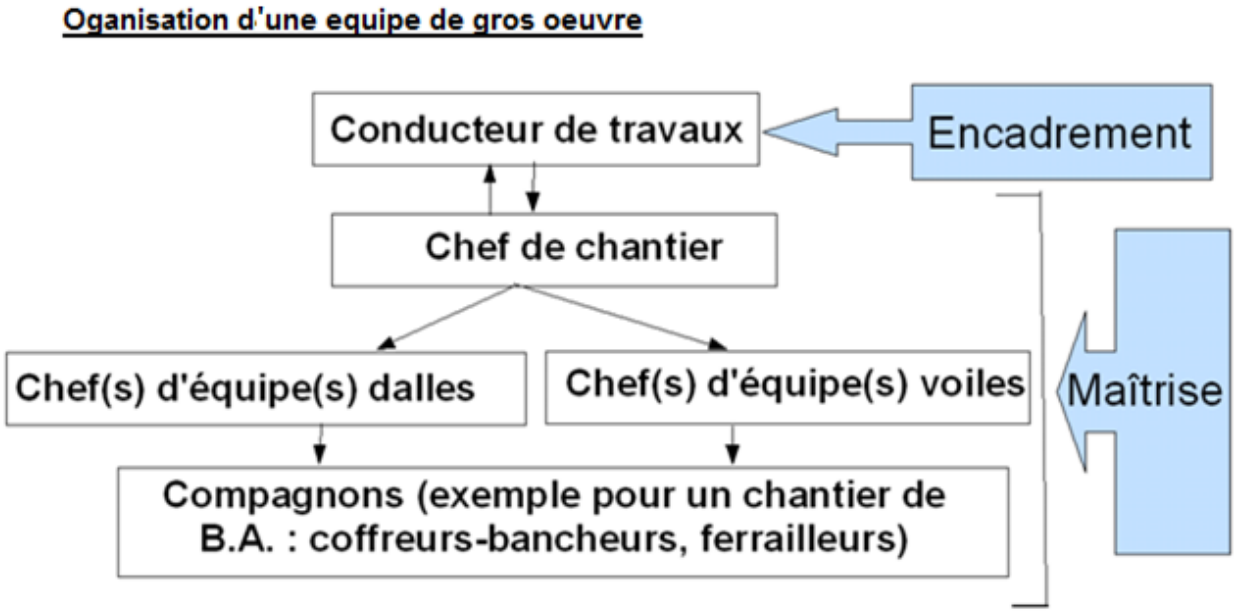
1.2 Le Maître d'œuvre

En fonction de la mission que lui confie le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre conçoit l'ouvrage, dirige et contrôle l'exécution des travaux. Il est chargé des fonctions architecturale, technique et économique. Il peut également assister le maître d'ouvrage lors de la réception des travaux. Les maîtres d'œuvre peuvent être des architectes, des ingénieurs-conseils, des bureaux d'études techniques, et tous autres techniciens…

[1] **Marcus Vitruvius Pollio**, connu sous le nom de **Vitruve,** Architecte romain qui vécut au 1er siècle av. J.-C. (on situe sa naissance aux alentours de 90 av. J.-C.et sa mort vers 20 av. J.-C. son Œuvre, *De Architectura.*

1.3 L'Entreprise

Elle construit l'ouvrage. Ce peut être une entreprise générale ou une entreprise titulaire d'un seul lot, voire une entreprise sous-traitante. La différence tient aux relations contractuelles qu'elles ont avec le maître d'ouvrage ou avec les autres intervenants : l'entreprise générale, titulaire d'un marché unique passé avec le maître d'ouvrage, est engagée pour la totalité des travaux ; l'entreprise titulaire d'un lot n'est engagée qu'à l'égard des travaux relevant de son lot (maçonnerie, peinture, électricité…) ; l'entreprise sous-traitante n'est pas liée contractuellement au maître d'ouvrage, elle est liée à l'entreprise qui lui sous-traite les travaux.



2. IDENTIFICATION DES FONCTIONS D'UNE CONSTRUCTION

Une fonction est l'action qu'assume un bâtiment construit dans un environnement précis, exprimée exclusivement en termes de finalité (par ce qu'il « fait »). Chaque fonction doit être exprimée formulée par un verbe à l'infinitif suivi d'un ou plusieurs compléments.

L'analyse fonctionnelle d'une construction permet de déceler trois grandes fonctions : une fonction principale, une fonction contrainte et une fonction complémentaire.

2.1 La fonction principale

Ou fonction d'usage, c'est la fonction pour laquelle la construction a été réalisée. Elle peut induire plusieurs fonctions élémentaires.
Par exemple : une maison d'habitation a pour fonction principale *héberger les occupants*, à cette fonction peuvent s'ajouter d'autres liées à l'hébergement (protéger contre les intempéries, dormir, …).

2.2 La fonction contrainte

Une contrainte est une condition que l'on doit absolument respecter. Le bâtiment construit doit impérativement la vérifier, sans que pour autant elle soit la raison pour laquelle celui-ci a été construit.
Par exemple : le respect des normes de construction, les normes de sécurité, …

2.3 La fonction complémentaire

C'est une fonction qui facilite, améliore ou complète la fonction principale de la construction. Elle peut ne pas être exigée par le client, ou être une contrainte. Elle permet juste de proposer au Maître d'ouvrage quelque chose de nouveau ou de mieux.

Par exemple :

- un bâtiment moderne peut être original en s'adaptant au modèle locale.
- Une chapelle peut héberger des fidèles.
- …

Le besoin (usage, réglementation …) peut évoluer au cours du cycle de vie de la construction et imposer de nouvelles fonctions, ou caractéristiques. Par exemple la grande durée de vie de certains bâtiments a fait qu'il soit possible de changer la fonction du bâtiment au cours de sa vie. Par exemple, des immeubles d'habitation peuvent devenir des bureaux, c'est le cas du Palais Présidentiel du Cameroun devenu le musée national (Figure 22).

En marge des fonctions ci-dessus énumérées, le Maître d'ouvrage via le maître d'œuvre, peuvent aussi dicter des fonctions et objectifs de performance qui seront donc définis dans un document qui prend le nom de ***Cahier des Charges***.

Figure 22: Le musée national du Cameroun

II. LES SYSTEMES CONSTRUCTIFS

Un bâtiment est une construction destinée à servir d'abri et à isoler les occupants de l'environnement.

Un bâtiment est un produit généralement unique (situation, contextes, usages, …), qui est un assemblage constitué des systèmes cohérents ayant des interactions avec les systèmes existants. Ces systèmes répondent à diverses fonctions du bâtiment selon les interdépendances entre exigences attendues selon leurs natures, leurs échelles et leurs durées.

1. EXIGENCES FONCTIONNELLES

1.1 Assurer la sécurité (Stabilité, feu et utilisation)

Résistance mécaniques et stabilité, sécurité incendie et sécurité d'utilisation (chutes, chocs, fluides).

1.2 Préserver la santé et assurer le confort: ("environnement intérieur", Aspects physiques et dynamiques)

Hygiène – santé – confort (aspect hygrothermiques, olfactifs, visuels, acoustiques); concept énergétiques des installations (chaleur, éclairage, ventilation, sanitaire); variations selon les rythmes jour, saisons; la tenue dans le temps, etc.).

1.3 Préserver l'environnement (extérieur):

Préserver les ressources (ressources énergétiques, épuisement de ressources solides, Eau), Réduire les pollutions (air, eau, déchets, pollutions, nuisances).

1.4 Assurer l'usage:

Commodités, utilisation, flexibilité locaux et équipements, sécurité, adaptabilité et flexibilité du bâtiment.

2. EXIGENCES TECHNIQUES

Chaque bâtiment est soumis à un système de charges et de contraintes propre. Ces charges peuvent être :

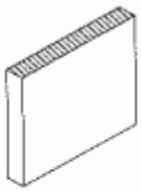
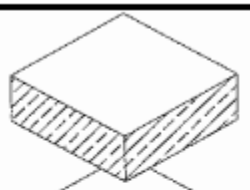
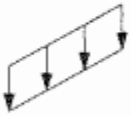
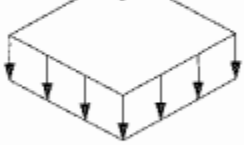
2.1 Statiques :

Charges permanentes (poids propre des ouvrages), charges d'exploitation (présence humaine, meuble, matériel de toute sorte, …).

2.2 Dynamiques

Ce sont les charges dont la valeur change rapidement, souvent même très brusquement, comme le vent, les tremblements de terre, …

En fonction des ouvrages, plusieurs types de charges peuvent être rencontrés : les charges ponctuelles, les charges linéaires, les charges surfaciques.

Type de charge	Charge ponctuelle	Charge linéaire	Charge surfacique
Exemple d'ouvrage			
Symbole			
Unité	kN	kN/m	kN/m²
Exemples	Poteau	Parois, Poutres, ...	Action du vent, dalle

Elles sont verticales (Figure 23) (poids propres des ouvrages, action des pluies ou de la neige, poids des équipements, …) ou horizontales (poussée du vent, poussée de la terre) ;

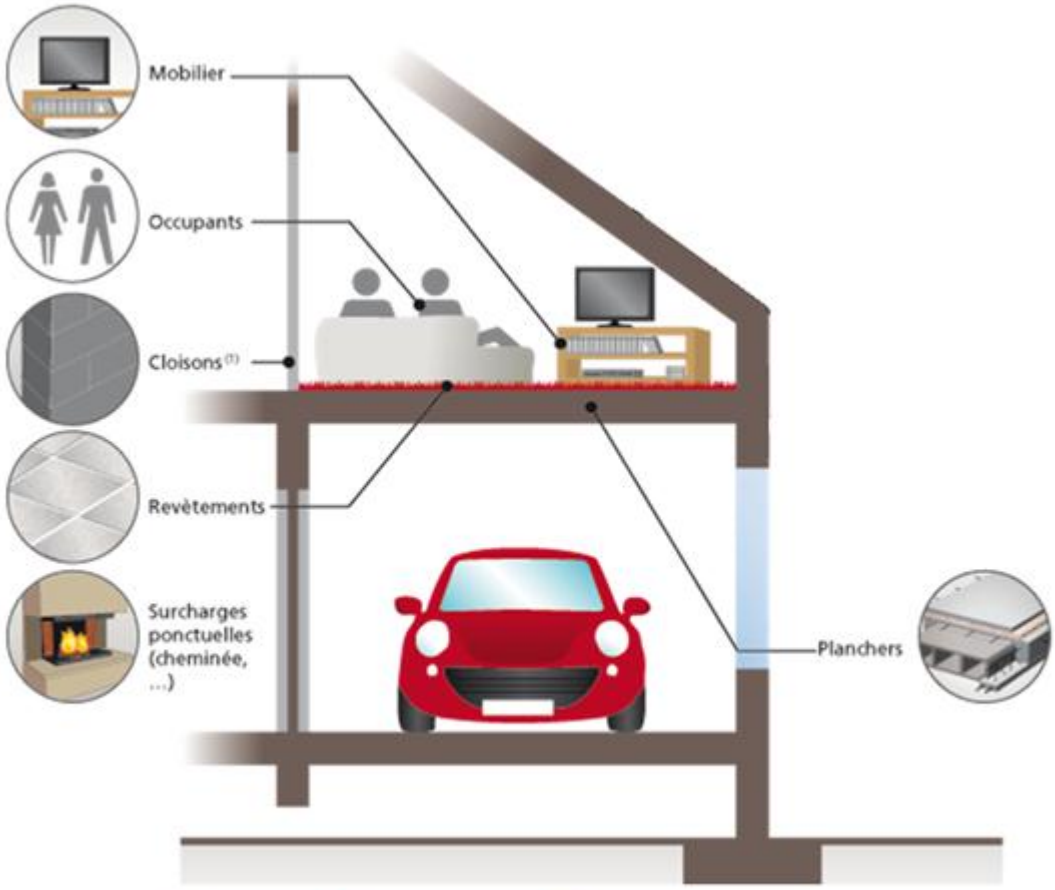


Figure 23: Exemple de charges verticales

Ces charges créent dans les ouvrages des sollicitations internes qui les font travailler en compression, en traction, en flexion, en torsion, en cisaillement.

3. ANALYSE STRUCTURELLE D'UN SYSTEME CONSTRUCTIF

On entend par structure d'un système constructif, l'agencement, entre eux, des éléments constitutifs d'un ensemble construit, qui fait de cet ensemble un tout cohérent et lui donne son aspect spécifique.
Dans le bâtiment on retrouve quatre grands systèmes constructifs :

3.1 Structure à enveloppe monolithique

Monolithique vient de monolithe qui, suivant l'architecture contemporaine, est une grande pièce de pierre taillée en un seul bloc. Ainsi, l'architecture monolithe (ou Monolithique) est un type de construction réalisée dans un bloc unique et donc composée d'un seul matériau, qui peut être la pierre (les pyramides d'Egypte, les églises monolithiques, …) ; les briques en terre cuites (les constructions Allemandes telles que les églises anciennes) ; l'argile pétrie (les boukarous du Nord Cameroun, ou les habitations de l'Ouest du Cameroun), en bois ou plus récent les bâtiments en béton armé.

Figure 25: Maison traditionnelle en banco rouge (Bamako)

3.2 Structure maçonnerie + remplissage

C'est une structure qui est constituée de piles et voutes et de remplissages en maçonnerie. C'est le modèle type des constructions anciennes. Cette structure est entièrement en maçonneries et les murs sont porteurs et épais.

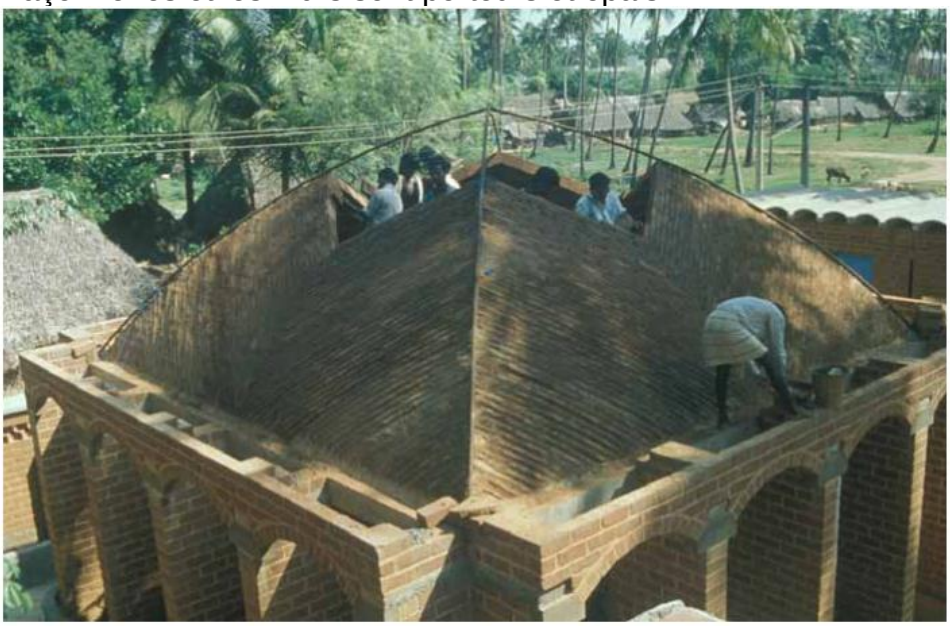


Figure 26: Structure en Maçonnerie(arcs, voutes) et remplissages

3.3 Structure autostable

Elle est constituée de mur en maçonneries légères (maçonnerie de petits éléments) chainées. C'est la formule actuellement utilisé pour les petites constructions. Les murs sont porteurs et les chainages (verticaux et horizontaux) permettent de renforcer leur rigidité.

Figure 27: construction à structure autostable

3.4 Les structures à ossature porteuse

Elles sont constituées d'une ossature (ou squelette) (figure 28) composé d'éléments porteurs et masquée par des remplissages.

On distingue deux types d'éléments porteurs :

- ☞ Les éléments porteurs verticaux :
  - ✓ voiles en béton ;
  - ✓ poteaux
- ☞ les éléments porteurs horizontaux:
  - ✓ Poutres (poutrelles)
  - ✓ Les planchers
- ☞ Les éléments porteurs à membres verticaux et horizontaux :
  - ✓ Les portiques

Ossature en bois

Ossature en béton armé

Ossature métallique

Figure 28: Types d'ossature

4. TYPOLOGIE DES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN SYSTEME CONSTRUCTIF

Quel que soit le système constructif adopté, un bâtiment comporte deux grandes parties :

- ☞ L'infrastructure : Partie enterrée constituée essentiellement des fondations ;
- ☞ La superstructure : Partie en élévation, composant le système constructif adopté et la toiture.

4.1 LES FONDATIONS

4.1.1 Définition

Les fondations d'un ouvrage sont les parties de l'ouvrage, situées en dessous de celui-ci, permettant de transmettre les charges et surcharges de cet ouvrage au sol.
Elles reportent les charges permanentes (**G** = poids propres) et les charges d'exploitation (**Q** = surcharges et autres) à un niveau convenable et les répartissent sur une couche de terrain plus ou moins étendue et de résistance adéquate (bon sol), en assurant la stabilité et la sécurité de la fondation.

La descente de charges, effectuée en bureau d'étude, permet d'évaluer les actions (**Nu**) de la structure sur les fondations, tandis que la mécanique des sols permet de connaître les caractéristiques du sol et, par conséquent, l'action du sol ($\overline{\sigma}$) sur les fondations (Figure 29).

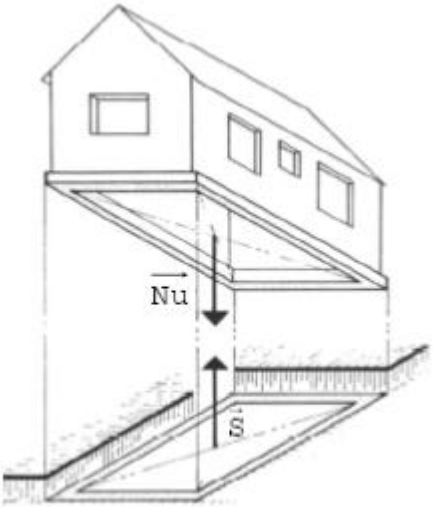


Figure 29: Transmission des charges au sol par les fondations

La reconnaissance du sol, qui permet de déterminer le « bon sol », s'effectue à l'aide de 2 types d'essais :

- Les essais en laboratoire : prélèvements d'échantillons de sols analysés ensuite en laboratoire.
- Les essais sur le terrain "*in situ"* : pénétromètre – pressiomètre, à la main.

Ces différents essais de reconnaissance des sols permettent de :

- Déterminer la couche d'assise : sa position (profondeur), sa contrainte admissible($\overline{\sigma}$), son comportement (tassement).
- Déterminer la position de la nappe phréatique (nappe d'eau).

4.1.2 Critères de choix d'une fondation

Le choix d'une fondation repose sur les critères suivants :

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

Ces trois critères permettent de porter son choix sur un mode de fondations adapté, limitant le tassement, principale cause des sinistres que connaissent les constructions.

4.1.3 Différents types de fondations

En fonction des critères ci-dessus, notre choix peut porter sur deux types de fondations :

- Les fondations superficielles,
- Les fondations profondes ou semi-profondes.

La différence entre fondations superficielles et profondes se situe au niveau de la valeur du rapport de la hauteur du sol d'assise (D) sur la largeur de la fondation (B). En effet lorsque le rapport B/D est supérieur à 1/6, on est dans le domaine des fondations profondes.

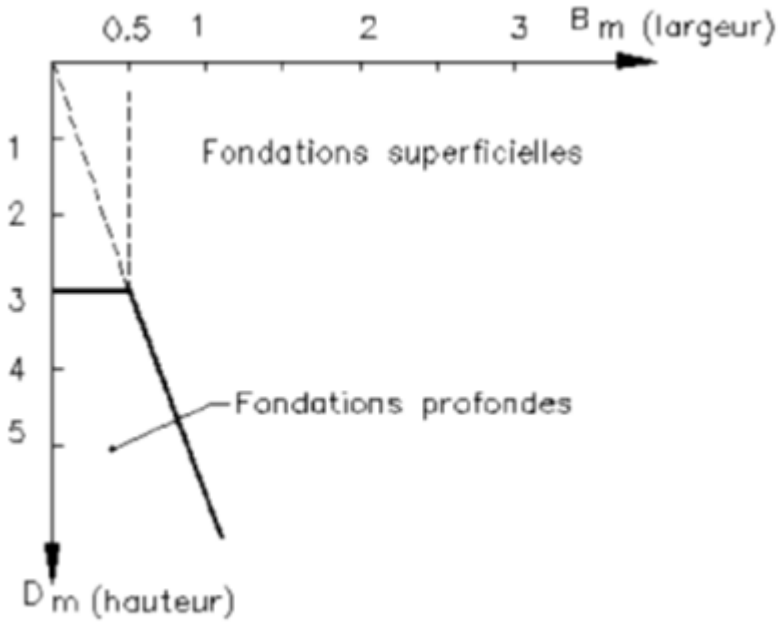


Figure 30: Classification des fondations

4.1.3.1 Les fondations superficielles

4.1.3.1.1 Définition

Les fondations superficielles appelées aussi **fondations ordinaires** : elles sont utilisées quand le « bon sol » est proche de la surface. Ce type de fondations comprend les *semelles*, les *longrines* et les *plots*. Lorsque la surface d'appui devient trop grande on réalise *un radier*.

Trois grands types sont retenus : les semelles filantes (en gros béton, en maçonneries, ou en béton armé), les semelles isolées (sous poteaux) et les radiers.

4.1.3.1.2 Terminologie

Une fondation comporte : le béton de propreté, une semelle, un soubassement et un chainage à sa partie supérieure, elle peut aussi comporter des drains dans le souci de protéger les fondations contre les eaux d'infiltrations.

- **La semelle** : élément de fondation en béton armé ou non. Il existe plusieurs types de semelles :

    - **La semelle filante** ou **semelle continue** (fig.-1 à 3) : elle est située sous tous les murs porteurs. Elle peut être en maçonneries, en gros béton ou en béton armé, renforcée par des armatures si les charges qu'elle reçoit sont importantes.
    - **La semelle à redans** (fig.-4) : ensemble de semelles filantes décalées en hauteur Ce type de semelle est utilisé sur les terrains en pente.

    - **La semelle isolée** ou **semelle ponctuelle** (fig.-5) : elle est en béton armé, dosé entre 300 et 400 Kg/m³ de ciment et placée sous un poteau. Lorsque toute la fondation ne repose que sur les semelles isolées, celle-ci sont reliées entre elles par des longrines on parle de fondation à plots et longrines.

- **Le béton de propreté** (fig.-2) : couche de béton maigre (faiblement dosé en ciment, dosage minimum 150 Kg/m³ de ciment), mis en place au fond de la fouille et destiné, une fois durci, à protéger le béton des semelles de fondations des risques de souillures occasionnées par des matières terreuses et végétales.

- **Le soubassement :** portion de mur bâtie sur les semelles de fondations et réalisée en béton banché ou en blocs de béton de gravillons. Le soubassement est totalement ou partiellement enterré

- **La longrine** : poutre préfabriquée en béton armé ou en béton précontraint placée sous un mur porteur et prenant appui sur des plots. On distingue deux types de longrines :

    - **La longrine de rive** établie sous les murs de façade (fig.-6). Elle est munie d'une partie saillante appelée **becquet**.

    - **La longrine intermédiaire** établie sous les murs de refend. Le principe de fondations par plots et longrines simplifie les travaux de terrassement, limités à l'exécution des fouilles isolées pour les plots et réduit les temps d'exécution par l'emploi parfois d'éléments préfabriqués.

- **Le plot** ou **le dé de fondation** (fig.-6) : bloc de béton parallélépipédique non armé ou peu armé sur lequel reposent les extrémités des *longrines*. Le plot transmet au sol de fondation le poids de la construction supporté par les longrines.

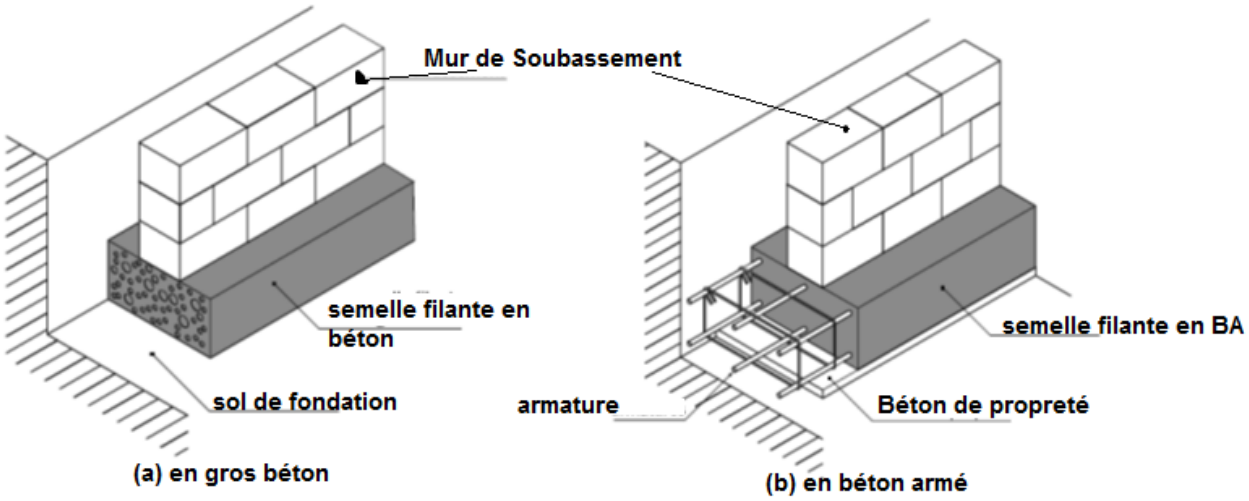


Figure 31: Fondations superficielles sur semelle filante

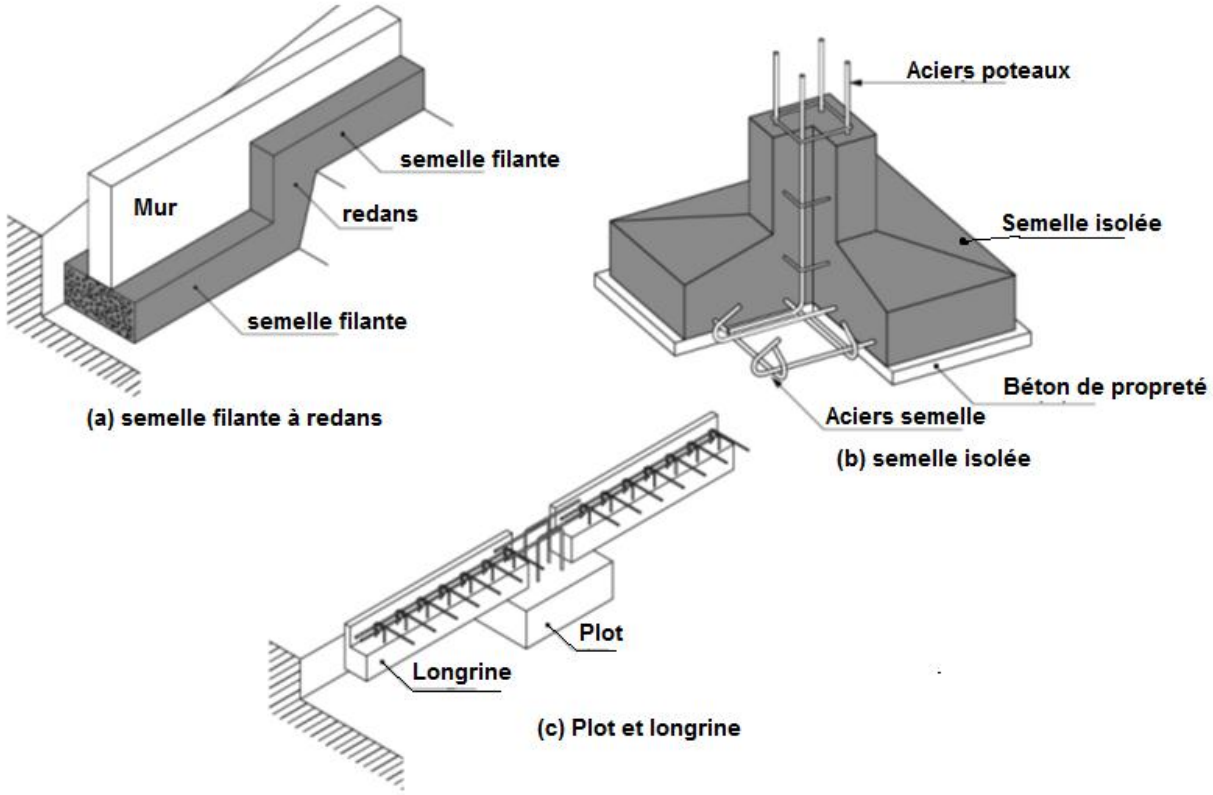


Figure 32: Fondations superficielles

4.1.3.1.3 Réalisation d'une fondation

A la lecture du plan de fondation et du plan d'implantation, le technicien doit pouvoir mettre en œuvre une fondation, en commençant par exécuter les fouilles (Cf chapitre 1). Les quatre étapes restantes concernent les travaux de maçonnerie :

a) Béton de propreté et pose ferraillage des semelles

C'est un béton maigre (dosage minimum de 150 kg/m³ de ciment. Son épaisseur est généralement prise à 5 cm et sa largeur supérieure, en général, à celle de la semelle. Il n'est jamais coffré. Il peut être remplacé par un film plastique (polyane) en fond de fouille.
Les armatures des semelles sont positionnées aussitôt que le béton de propreté fais prise, afin de respecter l'enrobage, les armatures sont positionnées sur le béton de propreté par l'intermédiaire de cales pour armatures (acier en barres) ou de distanciers ou écarteurs (treillis soudé).

Remarque : Le ferraillage arrive la plupart du temps sur le chantier sous forme de cage d'armatures pré façonnées en usine.

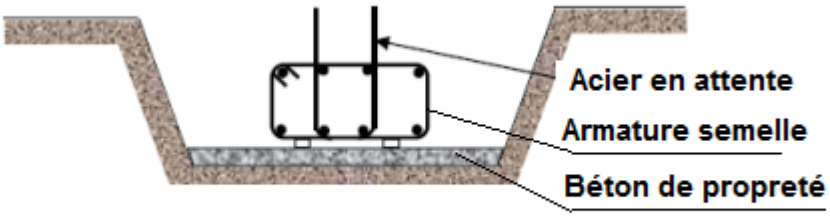


Figure 33: Béton de propreté et pose armature

b) Coffrage et bétonnage

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

(a) Semelle coffrée

(b) Semelle non coffrée, avec protection.

Figure 34: Bétonnage des semelles

NB : Dans les pays où il neige, le gel agit sur le sol en transformant l'eau incluse dans ce sol en glace, celle-ci occupant un volume plus important que l'eau, cela provoque un gonflement de la couche superficielle et des fissures dans le gros œuvre. Lors du dégel des vides vont se créer dans le sol entraînant un tassement du sol et de la fondation. Il est donc nécessaire que le sol d'assise de la fondation soit à une profondeur suffisante pour qu'il ne gèle pas. Le sol d'assise de la fondation doit donc mettre hors gel, pour cela on doit prévoir

une profondeur minimale appelée profondeur hors gel, elle varie suivant les régions et la nature du sol, elle est de l'ordre de 0,50 m sous climat océanique (par exemple en Bretagne) et peut dépasser 1 m en montagne.

4.1.3.1.4 Joints de rupture et de dilatation

a) Joint de rupture

Un joint de rupture doit être prévu entre 2 ouvrages voisins, lorsqu'ils subissent des différences importantes de charge, s'appuient sur des sols de natures différentes ou possèdent des fondations de natures différentes (cas d'un ouvrage à construire contre un ouvrage ancien). Ce type de joint est, la plupart du temps, réalisé à l'aide de polystyrène. Il sépare complètement les deux structures y compris les fondations.

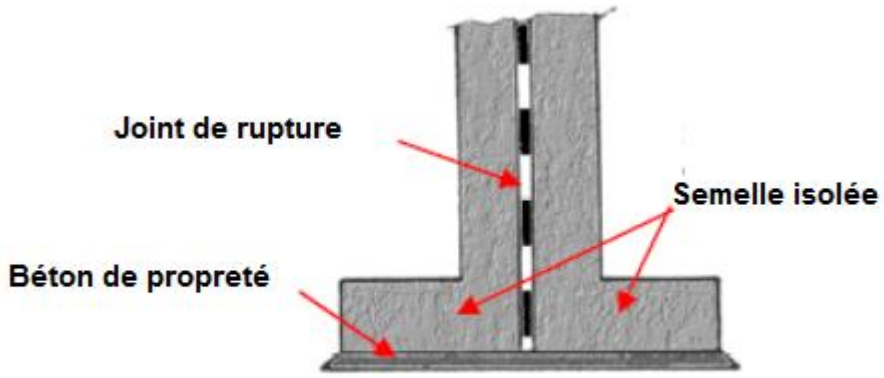


Figure 35: Joint de rupture d'un bâtiment

b) Joint de dilatation

Un ouvrage soumis à de grandes différences de température va subir des dilatations d'autant plus importantes que cet ouvrage est long. En régions tempérées il est donc prévu de disposer des joints de dilatation tous les 30 m. il ne sépare que les éléments verticaux et pas la semelle

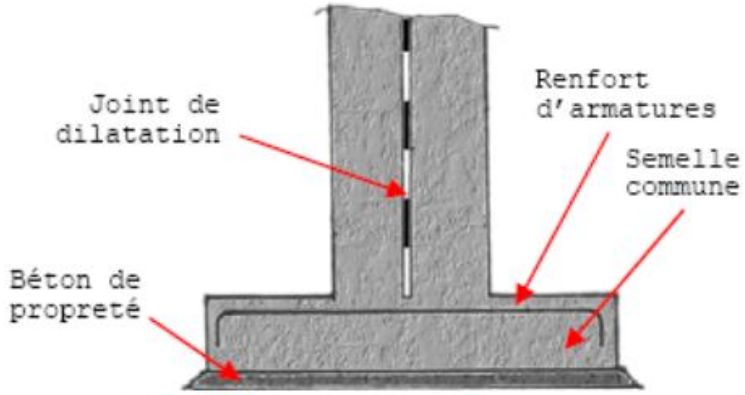


Figure 36: Joint de dilatation de deux bâtiments

4.1.3.1.5 Fondations en pente

Sur les terrains accidentés ou en pente, à défaut d'exécuter d'énormes terrassements, il est courant de réaliser des fondations en redans (figure 37). Lorsque les sont isolées et se trouvent à des niveaux différents, les semelles supérieures peuvent exercer une poussée sur les semelles inférieures qui ne sont pas dimensionnées en conséquence, ou risquent d'amorcer un glissement d'ensemble (figure 38).

Une solution à ce problème consiste :

- Soit respecter une pente de 2 pour 3 entre les 2 semelles (fig. 39).
- Soit, si cela s'avère impossible, exécuter des redans en gros béton (fig. 37).

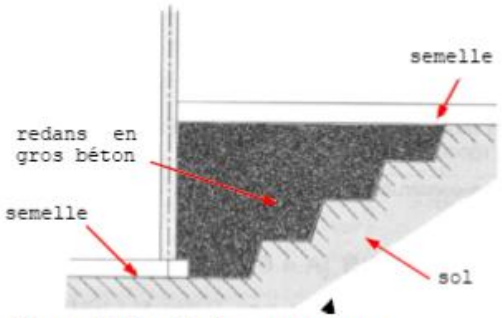


Figure 37: fondations en redans

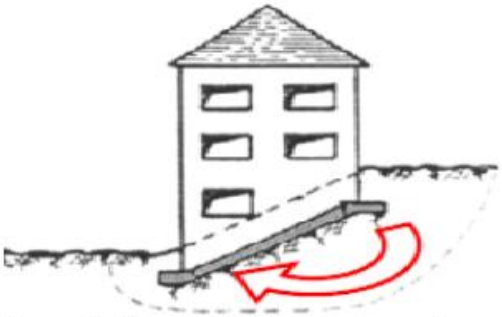


Figure 38: Risque de glissement terrain en pente

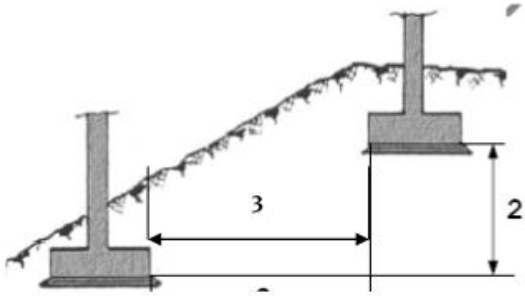


Figure 39: Disposition pratique pour semelles en terrain en pente

4.1.3.1.6 Protection des fondations contre l'humidité

Si le terrain de fondation est perméable (sables, graviers,...) et non immergé, les eaux de ruissellement s'infiltrent rapidement sans soumettre le mur périphérique à une importante humidité permanente ; par contre, si le terrain de fondation est peu perméable (argile, limon...), les eaux d'infiltration peuvent venir s'accumuler le long du mur enterré (figure 40).

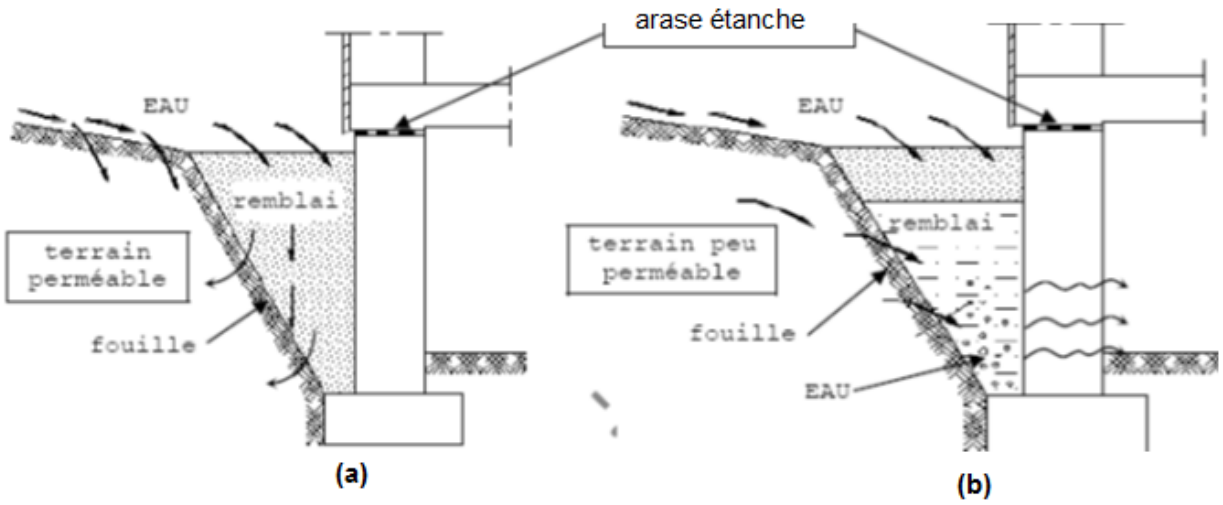


Figure 40: Comportement des eaux aux environs des fondations: (a) sol perméable, (b) sol peu perméable

Dans le premier cas il n'y a pas de précaution particulière à prendre, l'arase étanche réalisée entre le mur de soubassement et le plancher du rez-de-chaussée suffit.
Dans le deuxième cas la réalisation d'un drain périphérique est nécessaire (figure 41). Il entoure complètement la construction dans le cas d'un terrain plat ou, profitant de la pente, peut éviter un côté.

Conception générale :

Un drainage, qui est l'ensemble des ouvrages qui collectent et évacuent les eaux de ruissellement et les eaux souterraines. Ils sont situés à proximité des fondations d'une habitation ou d'un mur de soutènement. Le drainage comporte obligatoirement :

- Une tranchée drainante, remplie de matériaux perméables allant de la granulométrie la plus importante en bas (autour du drain) à la plus faible en haut.
- Un drain, tuyau en béton ou en PVC, posé avec une légère pente et comportant des fentes et des perforations en partie supérieure par lesquelles pénètrent les eaux en provenance de la tranchée filtrante.

- Des regards de visite (Figure 41) à chaque changement de direction et au point haut.

- Un dispositif d'évacuation des eaux recueillies par les drains.

- Un **géotextile** appelé aussi **feutre filtrant** (Figure 42) : matériau synthétique imputrescible non-tissé, enveloppant complètement le remplissage en cailloux et le drain ou recouvrant uniquement ce dernier. Son rôle est de laisser passer l'eau infiltrée dans le sol tout en arrêtant les fines particules de terre susceptibles de colmater les perforations du drain.

- **Un revêtement étanche** (Figure 42) appliqué sur la face extérieure du mur enterré et constitué d'un enduit au mortier de ciment et de plusieurs couches de produit bitumeux.

www.4geniecivil.com

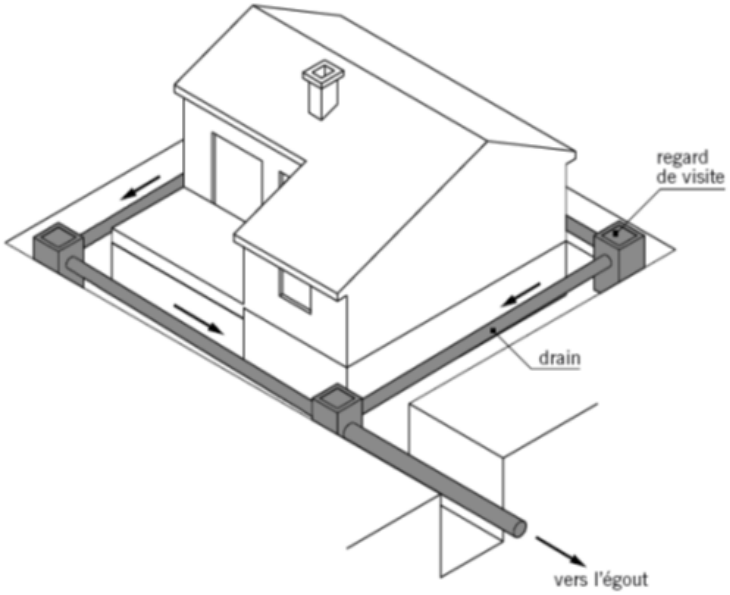


Figure 41: Dispositif de drainage

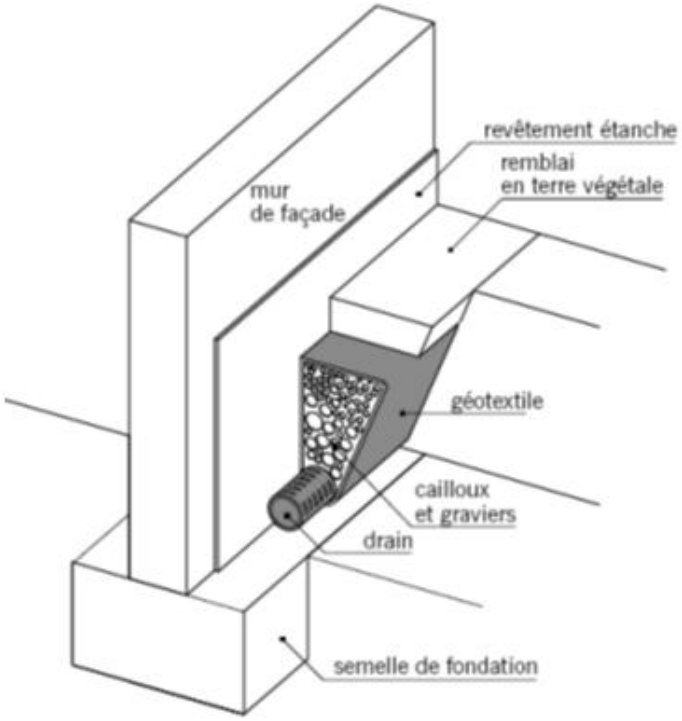


Figure 42: Terminologie d'un drain

4.1.3.1.7 Calcul des ouvrages de fondations superficielles

(Eurocode 7,D.T.U. 13.12, les fondations superficielles)

Les présentes règles de calcul ne traitent pas des fondations de certains ouvrages qui font l'objet de règles particulières. Il existe ainsi des règles professionnelles pour les cheminées, les châteaux d'eau, etc.

a) Contrainte de calcul du sol

Cette contrainte σ (contrainte verticale) est :

i. Soit déduite de l'expérience acquise

Sur les réalisations voisines ou sur des sols biens répertoriés suivant :

Nature géologique du sol	**σ (Mpa)**
Limon de plateaux	0.15 à 0.30
Terre à meulière	0.30 à 0.45
Marne verte, argile	0.07 à 0.45
Alluvions anciennes, sables et graviers	0.60 à 0.90
Craie	0.90 à 1.00
Marne + caillasse	0.75 à 1.50
Calcaire Grossier	1.80 à 4.50
Roches peu fissurées saines	0.75 à 4.5
Selon la carte géologique locale	
Terrain non cohérent de bonne compacité	0.35 à 0.75
Terrain non cohérent à moyenne compacité	0.20 à 0.40
Argile	0.03 à 0.30

ii. Soit déterminée à partir des essais mécaniques des sols

Qui permettent de définir la contrainte ultime $\boldsymbol{\sigma_u}$. La contrainte de calcul $\boldsymbol{\sigma}$ étant la plus petite des valeurs.

Dans la majorité des cas, on pourra prendre :

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{\sigma_u}{2}}$$

iii. Soit déterminée à partir des essais en laboratoire :

En général les essais de laboratoire ont conduit à la connaissance des 3 paramètres suivants :

- C : cohésion
- Φ : angle de frottement interne
- γ : masse volumique.

Les valeurs à prendre en compte pour Φ et C sont :

- pour l'équilibre à court terme $C_{uu}\ et\ \Phi_{uu}$
- pour l'équilibre à long terme $C'\ et\ \Phi'$.

Pour une semelle soumise à une charge verticale centrée de largeur B, de longueur L et d'encastrement D, on a :

$$\boldsymbol{\sigma_u = \frac{1}{2} S_\gamma \gamma B N_\gamma + S_q \gamma D N_q + S_c C N_c} \qquad \textbf{(1)}$$

S_γ, S_q, S_c Sont des coefficients de forme de la semelle et N_γ, N_q, N_c sont des paramètres fonction de φ.

Cette formule comporte trois termes :

- le premier est appelé terme de surface, il est proportionnel à B
- le deuxième est appelé terme de profondeur, il est proportionnel à D
- le troisième est appelé terme de cohésion, il est proportionnel à C

Pour une semelle filante, $S_\gamma = S_q = S_c = 1$ la formule (1) devient :

$$\boldsymbol{\sigma_u = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_q + C N_c} \quad (2)$$

Pour une semelle isolée :

$$\boldsymbol{S_c = 1 + 0.2\frac{B}{L};\quad S_\gamma = 1 - 0.2\frac{B}{L};\quad S_q = 1}$$

φ	N_γ	N_q	N_c
0	0	1	5.14
5	0.1	1.6	6.50
10	0.5	2.5	8.40
15	1.4	4	11.00
20	3.5	6.4	14.80
25	8.1	10.7	20.70
30	18.1	18.4	30.00
35	41.1	33.3	46.00
40	100	64.2	75.30
45	254	135	134.00

NB : les valeurs ci-dessus peuvent changer si :

- la charge est inclinée sur la semelle,
- la semelle est inclinée,
- le terrain est en pente.

Elles seront affectées, selon le cas, d'un coefficient correcteur.

- ✓ Dans le cas d'une charge inclinée de l'angle δ sur la verticale les 3 termes de la formule précédente sont chacun affectés d'un coefficient minorateur, à savoir :

$$\mathbf{i_c = i_q = \left(1 - \frac{2\delta}{\pi}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{i_\gamma = \left(1 - \frac{\delta}{\varphi}\right)}$$

- ✓ Dans le cas de charges excentrées d'excentrement e la largeur à prendre en compte en lieu et place de B est B' = B - 2^e

iv. Détermination à partir des essais pressiométriques:

Les essais pressiométriques permettent de déterminer à différents niveaux les 2 paramètres suivants :

- P_l: $pression\ limite$
- E_M : $module\ pressiométrique.$

On calcule ensuite, pour chaque niveau, la pression limite nette correspondante :

$$\mathbf{p_l^* = p_l - p_0}$$

Où P_0 est la contrainte totale horizontale dans le sol au niveau concerné et au moment où l'on fait l'essai.

Pour une semelle sous charge verticale centrée de largeur B, de longueur L et d'encastrement D, on a :

$$\boldsymbol{\sigma_u = k_p p_{le}^* + \gamma D}$$

Avec :

- γ est la masse volumique du sol, déjaugé partiellement le cas échéant.
- $\boldsymbol{p_{le}^*}$ est la pression limite nette équivalente calculée comme la valeur moyenne des pressions limites nettes existant sur une profondeur égale à 1.5 B située sous la semelle. Les pressions limites nettes étant toutefois plafonnées à 1,5 fois leur valeur minimale sur la profondeur envisagée.
- $\boldsymbol{k_p}$ est le facteur de portance qui dépend des dimensions de la fondation, de son encastrement relatif et de la nature du sol. Il est donné par l'abaque suivant :

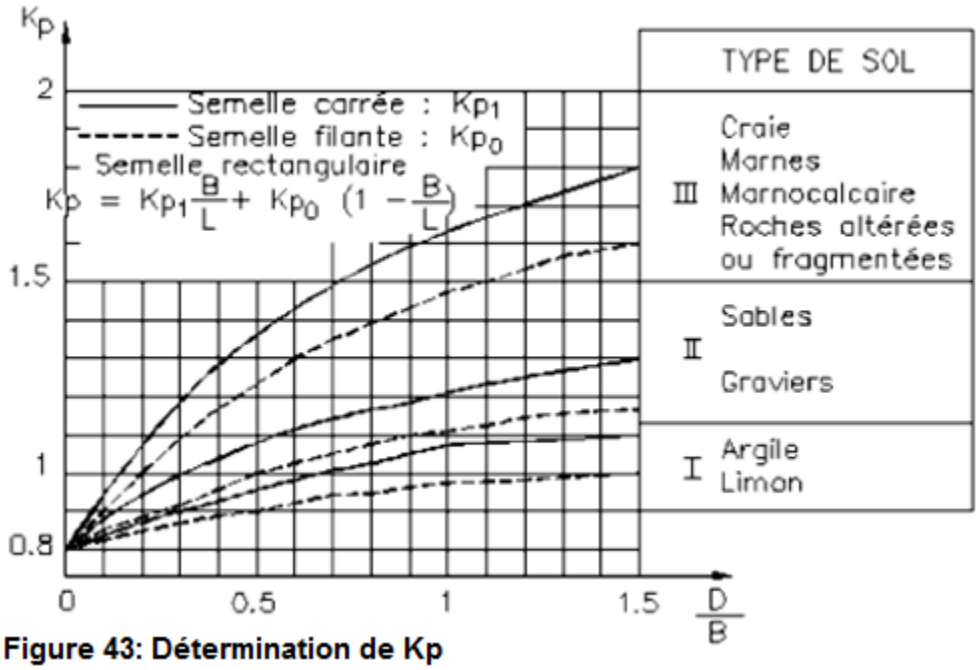


Figure 43: Détermination de Kp

Dans le cas d'une charge inclinée de l'angle δ sur la verticale, la valeur de k_p est affectée d'un coefficient minorateur i_δ qui tient compte de l'inclinaison, de la nature du sol et de l'encastrement relatif. Ce coefficient minorateur est donné par l'abaque suivant :

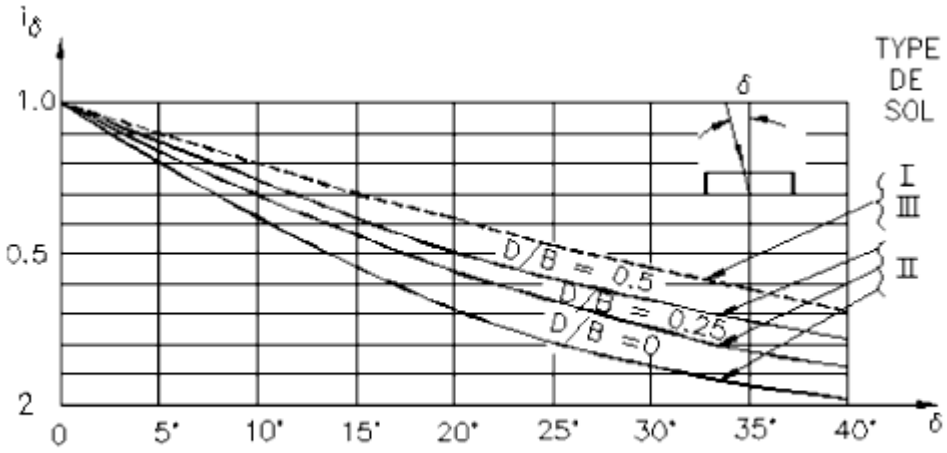


Figure 44: Choix de i_δ

Dans le cas de charges excentrées, d'excentrement e, la largeur à prendre en compte en lieu et place de B est : B' = B – 2e..

v. Essais au pénétromètre

- **Pénétromètre statique**

L'essai au pénétromètre statique permet de donner un profil continu de pénétration donnant la résistance de pointe R_p en fonction de la profondeur.

Pour une semelle soumise à une charge verticale centrée de largeur B, de longueur L et d'encastrement D, la valeur ultime $\boldsymbol{\sigma_u}$ est obtenue par la formule :

$$\boldsymbol{\sigma_u = k_c R_{pe} i_\delta + \gamma D}$$

- ✓ $\boldsymbol{i_\delta}$: coefficient minorateur tenant compte de l'inclinaison ;
- ✓ γ : masse volumique du sol, déjaugé partiellement le cas échéant ;
- ✓ $\boldsymbol{R_{pe}}$: résistance de pointe équivalente calculée comme la valeur moyenne des résistances de pointes nettes sur une profondeur égale à 1,5 B située sous la semelle.
- ✓ Les résistances des pointes nettes sont déduites des résistances de pointes mesurées en écrêtant les valeurs supérieures à 1,3 fois la moyenne calculée sur 1,5 B des résistances de pointe mesurées.

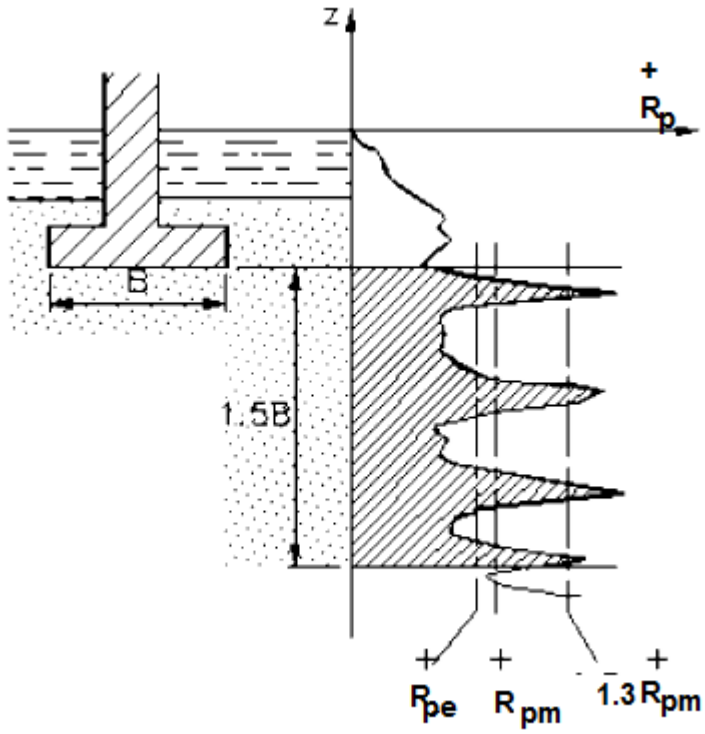


Figure 45: Essai au pénétromètre statique

Le cas de profils de pénétration qui fait apparaître dans la zone d'action des fondations de l'ouvrage des valeurs de $R_p < 0{,}5\ MPa$ doit faire l'objet d'une étude complémentaire avant de choisir le type de fondation et la contrainte $\boldsymbol{\sigma_u}$.

k_c : Facteur de portance qui dépend des dimensions de la fondation, de son encastrement relatif et de la nature du sol, est donné par l'abaque suivant :

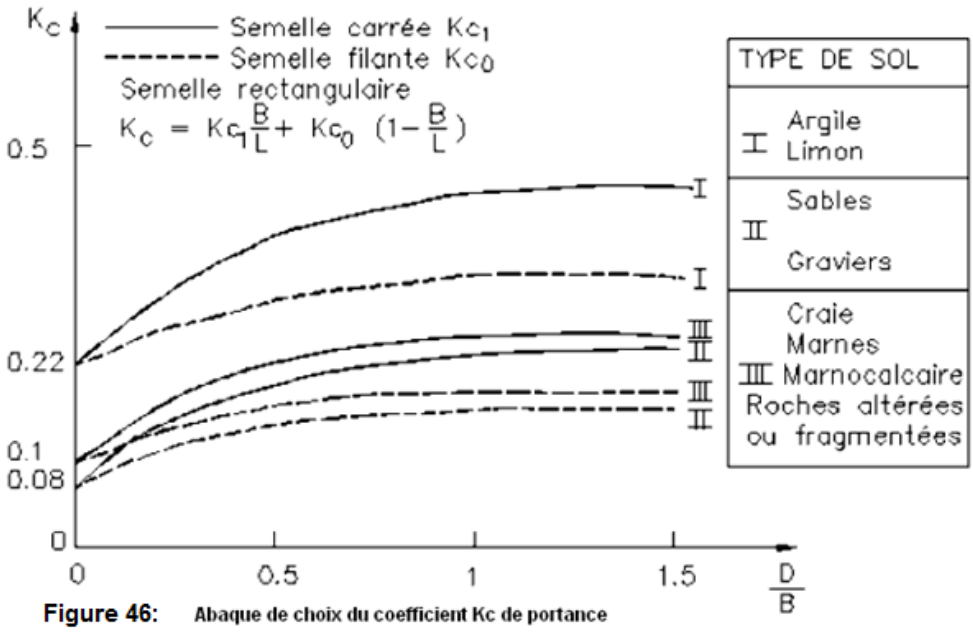


Figure 46: Abaque de choix du coefficient Kc de portance

Dans le cas de charges inclinées et excentrées, on effectue la rectification comme indiqué plus haut à l'Essai pressiométrique précédent.

- **Pénétromètre dynamique**

L'essai au pénétromètre dynamique permet d'obtenir un profil de pénétration donnant la résistance dynamique R_d en fonction de la profondeur.
Pour une semelle soumise à une charge verticale centrée de largeur B, de longueur L et d'encastrement D, la valeur ultime $\boldsymbol{\sigma_u}$ est obtenue par :

$$\boldsymbol{\sigma_u = \frac{R_d}{5 \text{ à } 7}}$$

Toutefois, l'interprétation des résultats obtenus avec cet appareil doit être faite avec une grande prudence, notamment dans le cas des sols argileux.

- **SPT (Standard Pénétration Test)**

L'utilisation du SPT doit être réservée aux sols pulvérulents. Cet essai permet de donner un profil du nombre de coups N pour enfoncer le carottier standard en fonction de la profondeur.

Le graphique figure 47 donne Φ, Nγ et Nq en fonction de N. On poursuit ensuite en déterminant comme avec les essais en laboratoire.

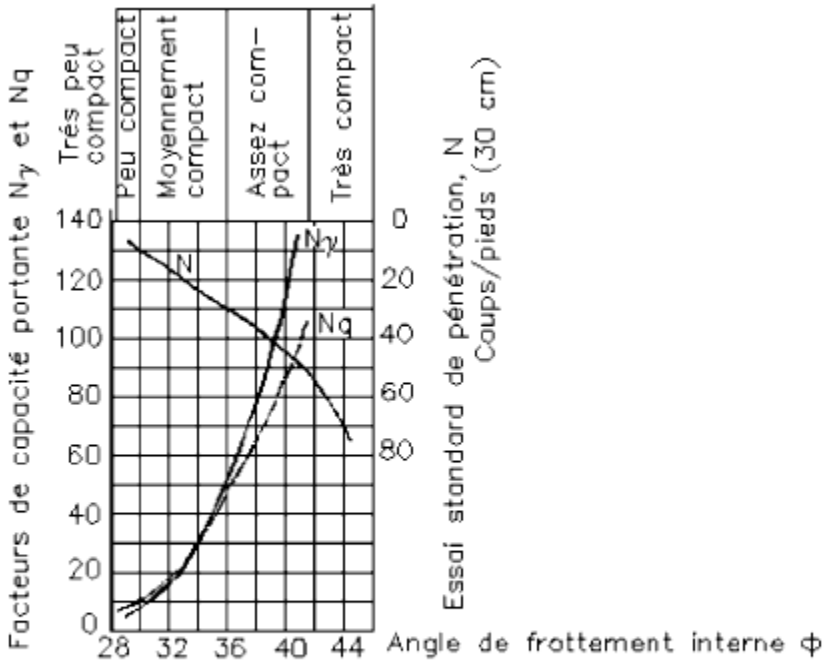


Figure 47: Courbes donnant la relation entre l'angle de frottement Φ, les facteurs de capacité portante et les valeurs de N de l'essai standard de pénétration

En résumé :

Au-delà de toutes ces méthodes de détermination de la contrainte limite ultime $\boldsymbol{\sigma_u}$, on déduit la contrainte de calcul $\boldsymbol{\sigma}$, qui permettra de justifier le dimensionnement de la semelle de fondation. Elle est en général de:

$$\boldsymbol{\sigma = \frac{\sigma_u}{2}}$$

Quelques valeurs retenues en fonction de la nature du sol, sont rassemblées dans le tableau ci-après :

Nature du sol	**q en MPa**
Roches peu fissurée saines, non désagrégées et de stratification favorable	0.75 à 4.5
Terrains non cohérents à bonne compacité	0.35 à 0.75
Terrains non cohérents à compacité moyenne	0.2 à 0.4
Argiles, sauf argiles très plastiques	0.1 à 0.3

b) Détermination de la valeur représentative de la contrainte normale au sol (σ_s)

Cette contrainte est déduite de la résultante générale des forces prises au niveau du plan de contact sol – semelle.

$$\sigma_s = \frac{\mathbf{N_u}}{\mathbf{B \times L}} ; pour\ une\ semelle\ filante\ L = 1.00\ m, charge\ centrée.$$

$$\sigma_M = \frac{N_u}{B.L} \mp \frac{6N_u e}{Lh^2} ; pour\ les\ semelles\ à\ charge\ excentrée.$$

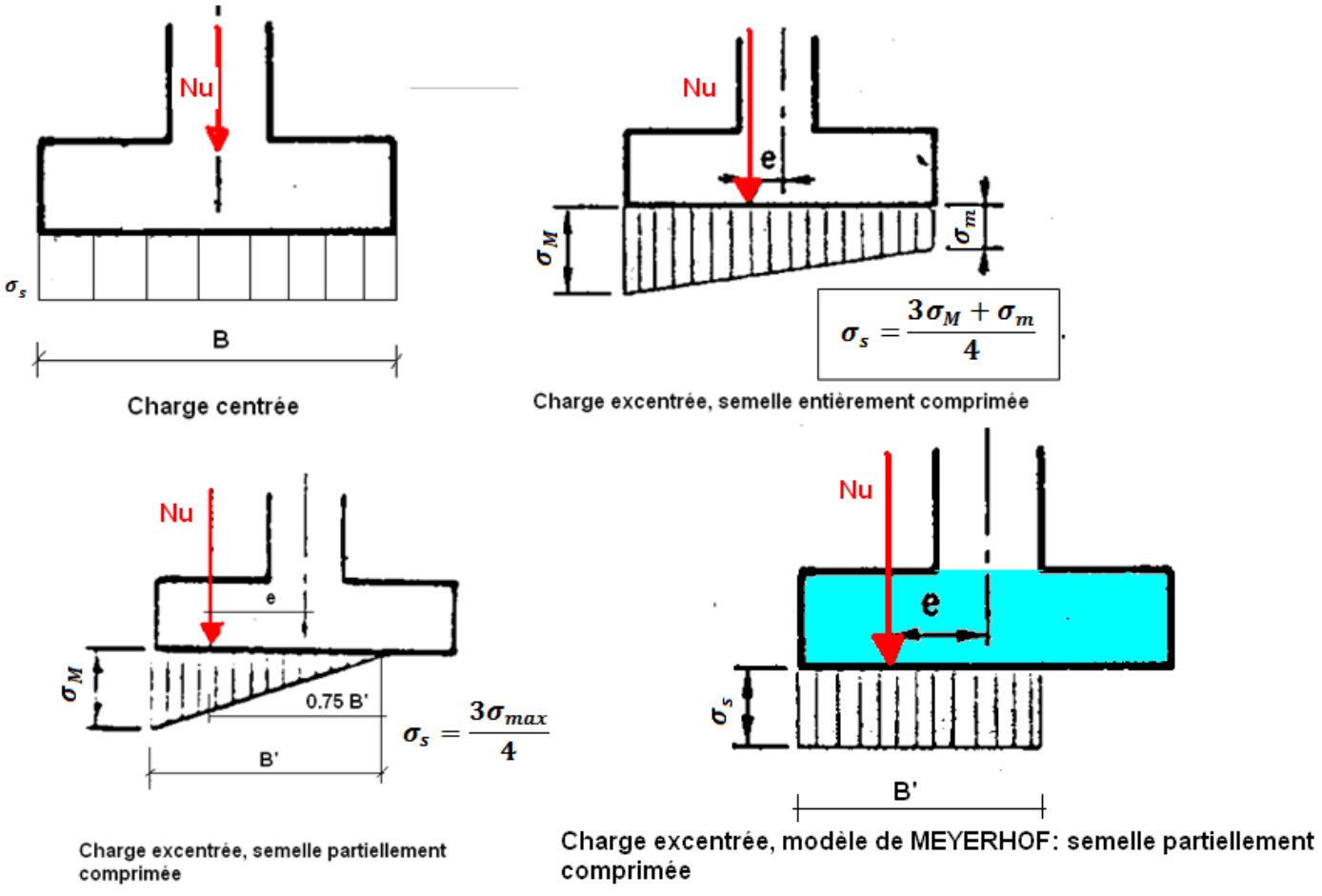


Figure 48: détermination de la contrainte au sol en fonction de la distribbution des contraintes

c) Justification d'une fondation superficielle

La justification d'une semelle de fondation est menée en considérant que les contraintes transmises au sol sont compatibles avec le risque de rupture de ce dernier, et que les tassements restent acceptables pour l'ouvrage.

Le DTU. 13. 12 propose une justification à l'E.L.U telle que :

$$\sigma_s \leq \sigma$$

d) Dimensionnement de la fondation

Le calcul va nous permettre de connaître les dimensions de la fondation en largeur (longueur dans le cas d'une semelle isolée) et hauteur, puis de déterminer les armatures à positionner dans cette fondation. Dans un premier temps nous devons disposer de la charge qui arrive sur cette fondation. C'est la charge Nu donnée par la descente de charges tel que:

Nu = 1,35 G + 1,5 Q + (1,35 * poids propre semelle)

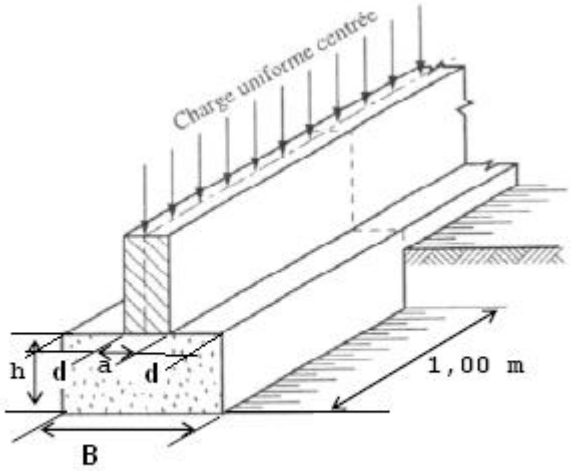
Les coefficients 1,35 et 1,5 sont des coefficients de sécurité donnés par la norme, ils servent à compenser les incertitudes sur le calcul des charges :

- 1,35 sur les charges permanentes, en général les poids propres qui sont, la plupart du temps, assez bien connus.
- 1,5 soit un coefficient plus important sur les charges d'exploitation ou charges liées à l'utilisation de l'ouvrage, qui sont moins bien connues et peuvent varier souvent et de manière très significative.

Quant au poids propre de la semelle c'est une inconnue au départ, mais il devra être pris en compte par la suite dans la vérification du sol.

i. Calcul des dimensions de la fondation

✓ **Semelle filante**



- $B = \frac{N_u}{\sigma_s}$
- $condition\ de\ rigidité$:

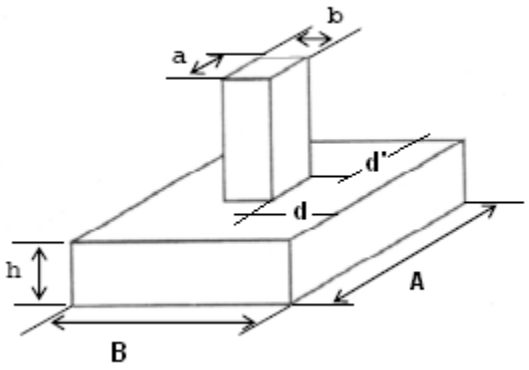
$$d \geq \frac{B - a}{4}$$

- **h= d + 0.05**
- **Vérification du sol**

$$\sigma_s{}' = \frac{N_u + 1.35\ p.p.semelle}{B} \leq \sigma$$

✓ **Semelle isolée**

- $S = A \times B = \frac{N_u}{\sigma_s}$
- $B = \sqrt{S\frac{a}{b}}\ et\ A = \sqrt{S\frac{b}{a}}$



Le choix de dimensions sera multiple de 0.05 m. les dimensions B et A retenues seront supérieures à celles calculées.

- **Condition de rigidité**

$$d \geq \frac{B-b}{4}$$

$$d' \geq \frac{A-a}{4}$$

Vérification du sol

$$\sigma_s{}' = \frac{N_u + 1.35\ p.p.semelle}{S} \leq \sigma$$

ii. Ferraillage des semelles

Lorsque l'on charge un élément de fondation, Il se crée dans Le béton de la semelle de fondation, pris entre l'ouvrage et le sol, des bielles de béton qui vont s'écarter et créer la fissuration dans la fondation (Figure 49), Il est donc nécessaire de placer des aciers afin que les bielles de béton ne s'écartent pas et, ainsi, éviter la fissuration du béton de la fondation.

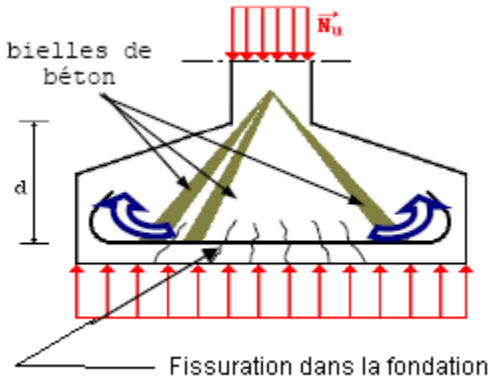


Figure 49: comportement d'une semelle chargée

La « méthode des bielles » d'usage courant dans certains pays (en France par exemple), permet de calculer la section d'acier de la plupart des semelles de fondations sur sol (ou sur pieux) rencontrées dans les structures des bâtiments.

Elle consiste à supposer que les charges *appliquées aux semelles par les points d'appui* (murs ou poteaux) sont transmises au sol (ou aux pieux) par les bielles obliques ; l'obliquité de ces bielles détermine à la base des semelles des efforts de traction qui doivent être

équilibrés par des armatures. Un ensemble de deux bielles symétriques fonctionne comme les deux arbalétriers d'une ferme chargée au sommet (Fig 49), les armatures inférieures constituant le tirant qui équilibre la poussée de la ferme. En toute rigueur, la méthode des bielles s'applique essentiellement aux semelles centrées assurant sur le sol une pression supposée uniforme (ou sur les pieux des charges égales). Sa validité a été établie dans ces cas par de nombreux essais systématiques.

Les aciers sont placés de façon à reprendre ces efforts de traction. On retrouve :

- Les aciers principaux porteurs : placés dans le sens de la largeur de la semelle.
- Les aciers de répartition : placés dans la *longueur* de la. Ils servent à maintenir les armatures principales et à réaliser un ceinturage (chaînage) bas de l'ouvrage.

Dans le cas d'une semelle isolée (figure 50) les aciers sont porteurs dans les deux sens.

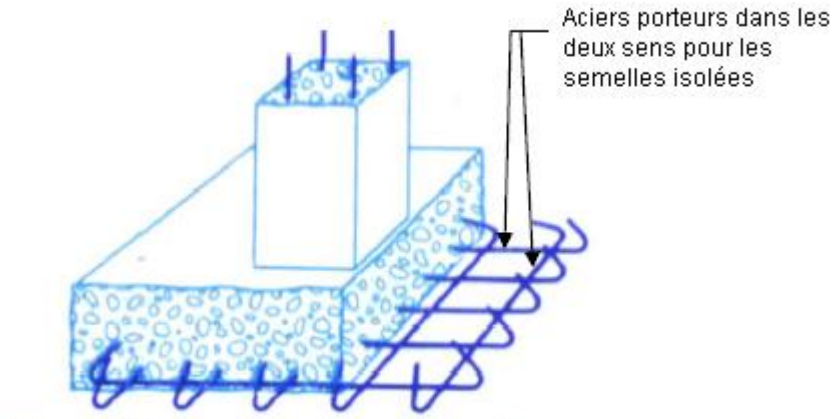


Figure 50: ferraillage semelle isolée

Lorsqu'il est prévu des aciers en attente comme amorce de ferraillage de poteaux ou murs, ces aciers sont à retourner en partie basse des fondations par retour d'équerre s'ils sont calculés pour équilibrer un moment fléchissant ou un effort normal de traction à la base du poteau ou du mur.

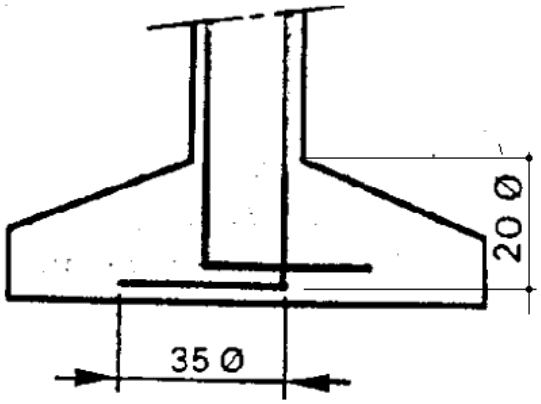


Figure 51: Positionnement des aciers en attente

➢ Calcul de la section d'armature pour Semelle continue

Les semelles continues sous murs peuvent ne pas comporter d'armatures perpendiculaires au plan moyen du mur si les conditions suivantes sont supposées remplies :

- ✓ le mur transmet à la semelle une charge verticale uniforme et centrée ;
- ✓ la hauteur totale h de la semelle est au moins égale au double du débord : h = 2 do

Avec : $\boldsymbol{d_0 = \frac{B-b}{2}}$

Soit Nu la valeur de la charge de calcul par unité de longueur (à l'état-limite ultime). L'application de la méthode des bielles implique les conditions (Fig. 27) :

$$\frac{d_0}{2} \leq d \leq 2d_0$$

$$\frac{B-b}{4} \leq d \leq B-b$$

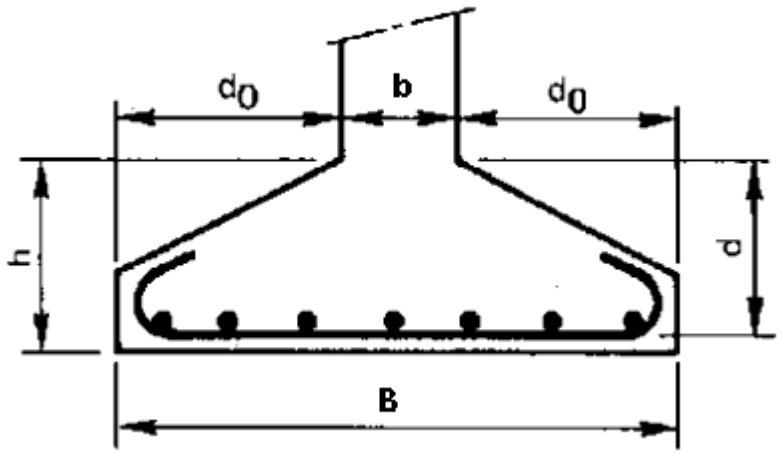


Figure 52: ferraillage semelle continue

La condition d > do /2 permet de considérer que, dans le cas général des semelles sur sol, il n'est pas nécessaire de procéder à des vérifications concernant l'effort tranchant et la contrainte de compression des bielles ; il n'y a pas lieu, en particulier, de prévoir des étriers ou des barres relevées.

L'aire de la section par unité de longueur de la semelle des armatures inférieures disposées transversalement à son plan moyen a pour valeur :

$$A_{st} \geq N_u \frac{d_0}{4d} \cdot \frac{\gamma_s}{f_e} \geq N_u \frac{B-b}{8d} \cdot \frac{\gamma_s}{f_e}$$

Sauf justifications, toutes les barres s'étendent sur la totalité de la dimension B de la semelle et sont terminées par des crochets normaux ou d'autres ancrages par courbure équivalents ; l'épaisseur de la semelle aux extrémités est au moins égale à 6 Ø + 6 cm, Ø étant le

diamètre des armatures en cm. En aucun cas la section d'aciers principaux ne devra être inférieure à la section minimum fixée à 2 cm² (4HA8) ; on prévoira des aciers de répartition dont la section sera :

$$\boldsymbol{A_r = \left(\frac{A_{st}}{4}; 2\ cm^2\right)}$$

Dans le cas de semelle sur sol correspondant à des contraintes de calcul du sol élevées, on doit justifier le comportement de la semelle au poinçonnement.

- **Calcul section d'armature pour Semelle à base carrée sous poteaux de section carrée** (Figure 53)

On ne considère ici que le cas où la charge est centrée et la pression sur le sol supposée uniforme.

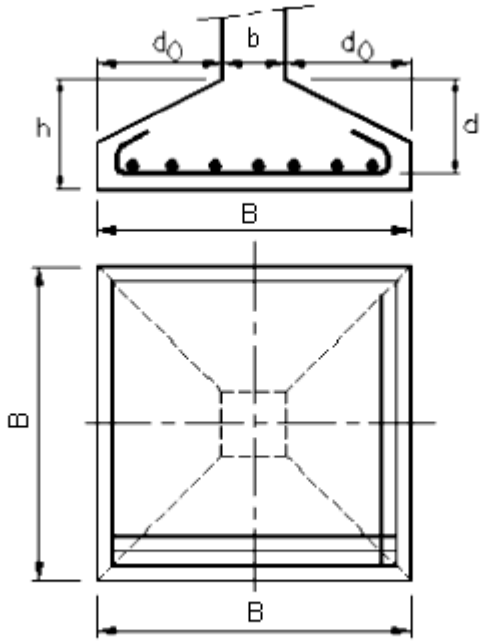


Figure 53: Ferraillage semelle isolée sous poteau

Les dispositions sont conformes à celles représentées sur la figure ci-dessus qui définit les notations.

Les armatures de la semelle sont constituées par un quadrillage de barres orthogonales en deux lits superposés, de même section dans chaque sens et disposées à espacement constant.

Si d est la hauteur utile moyenne des deux lits d'armatures.

Nu la charge de calcul (à l'état-limite ultime) transmises par le point d'appui à la semelle, l'application de la méthode des bielles implique les conditions

$$\frac{d_0}{2} \leq d \leq 2d_0$$

$$\frac{B-b}{4} \leq d \leq B-b$$

La section commune des barres de chacun des deux lits est donnée par la formule :

$$A_{st} = \frac{N_u(B-b)\gamma_s}{8df_e}$$

Sauf justifications, ces barres s'étendent dans chaque sens sur toute la dimension de la semelle et sont terminées par des crochets normaux ou par des ancrages courbes équivalents.

Dans le cas de semelle sur sol correspondant à des contraintes de calcul du sol élevées, on doit justifier le comportement de la semelle au poinçonnement.

- **Condition de non poinçonnement de la semelle**

Lorsque les conditions suivantes sont remplies :

- $h < 0.5\,(B-b)$;
- contrainte de calcul du sol très élevée : $\sigma > 0.6\,MPa$ (très bon sol).

Il convient de vérifier la condition de non poinçonnement de la semelle par la formule suivante :

$$N_u - \frac{N_u(b-2h)}{B} < 0.13h\frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

iii. Dispositions particulières

- **GLACIS :** Dans le cas de fondations très larges (B à partir de 1,50 m ou 2,00 m), on peut réaliser un glacis pour économiser du béton mais sa mise en œuvre est plus difficile. La hauteur de la semelle aux extrémités est au moins égale à **6 Ø + 6 cm**, **Ø** étant le diamètre des armatures en cm.

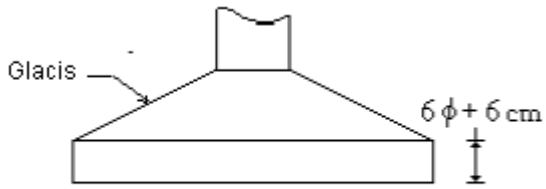


Figure 54: semelle avec glacis

- **Renfort d'armatures sous une ouverture**

Une semelle filante est sollicitée comme une poutre au droit des ouvertures dans le voile (cas d'une baie), il s'avère donc nécessaire de positionner une armature de renfort sous cette ouverture.

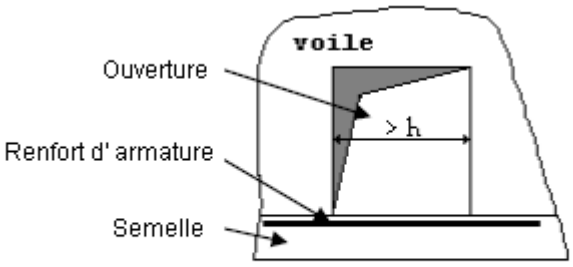


Figure 55: Renfort d'armature sous une ouverture

Largeur de la fondation en about de voile

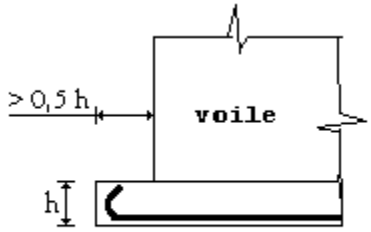


Figure 56: disposition constructive en bout de voile

Renforcement des fondations

Au droit des angles de l'ouvrage et des trumeaux les plus chargés, on élargit les fondations afin qu'elles résistent aux efforts importants résultants.

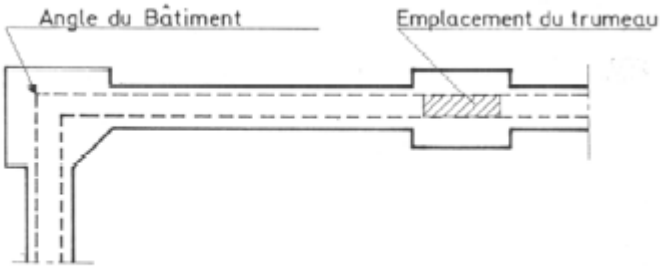


Figure 57: Renforcement des fondations

Semelle excentrée

Dans le cas de bâtiment construit contre un bâtiment existant, on ne peut pas créer de semelle symétrique car il est interdit d'empiéter sur le terrain voisin. Cette fondation risque donc de pivoter si on ne prend aucune précaution, d'où la mise en place d'un buton, bloquant cette rotation contre la semelle voisine.

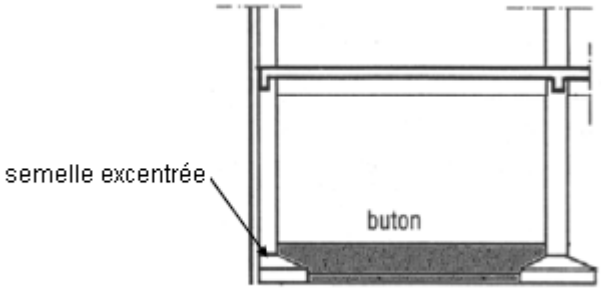


Figure 58: Renforcement des semelles excentrées

4.1.3.1.8 Les fondations sur plots et longrines

Dans ce type de fondations les voiles/murs reposent sur des poutres préfabriquées appelées longrines, qui reposent elles-mêmes sur le sol par l'intermédiaire de plots préfabriqués en béton armé.

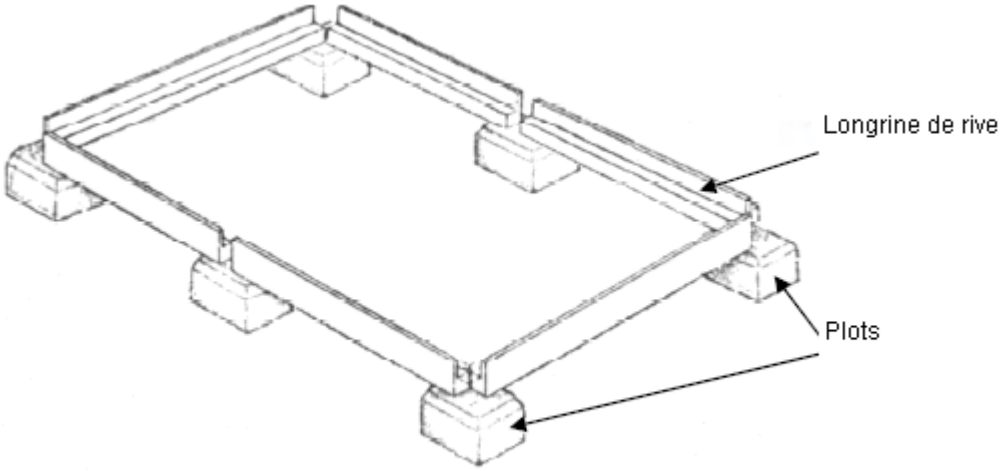


Figure 59: Fondations sur plots

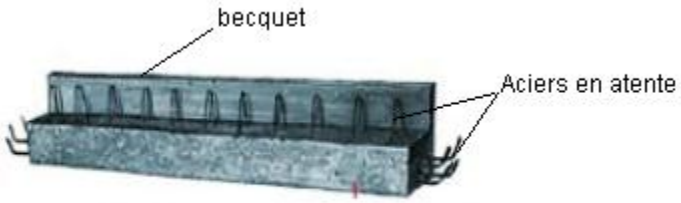


Figure 60:Longrine de rive

Exemple : la maison à ossature bois : Solution industrielle :

Les longrines préfabriquées ont une forme de L, elles sont posées sur les plots, le plancher du vide sanitaire venant reposer sur les béquets. On coule ensuite le plancher et les liaisons entre les longrines et les plots qui comprennent des armatures en attentes.

4.1.3.1.9 Le Radier

Un radier est une semelle située sous la totalité de l'emprise au sol de la construction. Il se comporte comme un plancher renversé.
Il est utilisé :

- Quand la contrainte admissible du sol d'assise est faible, la surface de semelles obtenue est supérieure à la moitié de la surface au sol du bâtiment.

- Quand le sol n'est pas homogène et risque de provoquer des tassements différentiels.

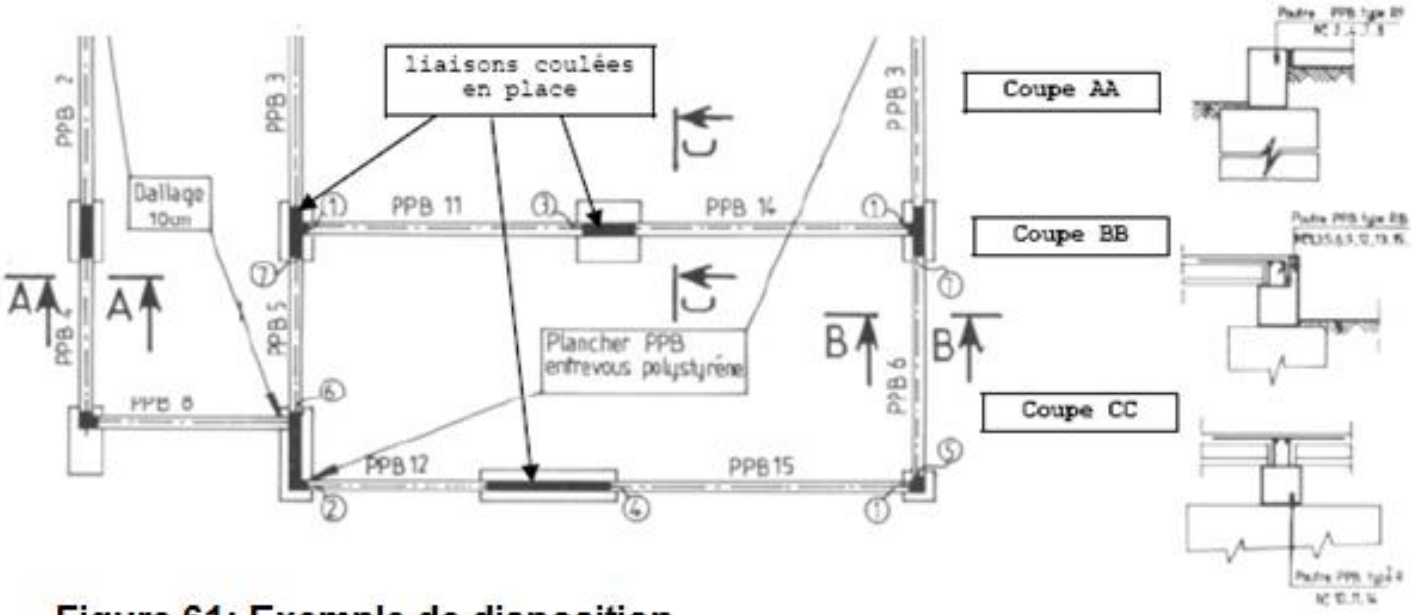


Figure 61: Exemple de disposition

- Le radier devient obligatoire lorsque le dernier niveau du sous-sol se situe en dessous du niveau des plus hautes eaux. Si ce niveau ne peut être inondé (local d'archives), il faut le rendre étanche : on réalise un cuvelage.

Le cuvelage étanche étant soumis aux sous-pressions (poussée d'Archimède), on peut ancrer le radier à une sous-couche stable par la mise en place de tirants d'ancrage scellés dans le sol.

Si le dernier niveau peut être provisoirement neutralisé (parkings), on peut prévoir de l'inonder par la mise en place d'ouverture disposée à une hauteur satisfaisante, afin d'éviter que le radier soit soumis aux sous-pressions exercées par la nappe.

Mais dans tous les cas le sol devra être homogène pour éviter tous risques de tassements différentiels.

On distingue deux types : les radiers plans épais et les radiers plans nervurés

a) Le radier plan épais

C'est une dalle d'épaisseur constante < 0,30 m, coffrée sur son pourtour, fortement armée, mais réservée à de petits bâtiments vu l'importance du béton qui surcharge la structure.

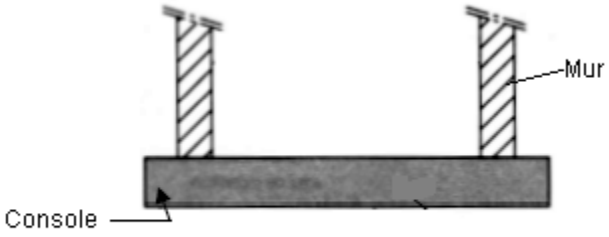


Figure 62: Radier plan épais.

a. Principe de fonctionnement

Un radier plan travaille comme un plancher très fortement chargé (tout le poids du bâtiment) mais à l'envers. D'où le principe de ferraillage suivant:

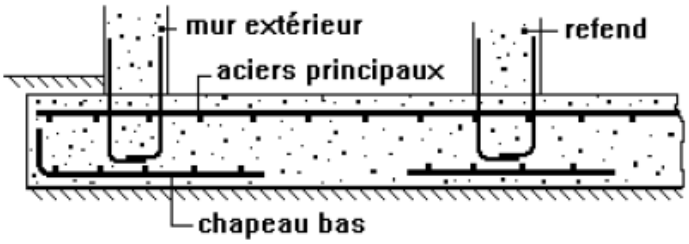


Figure 63: Ferraillage d'un radier plan

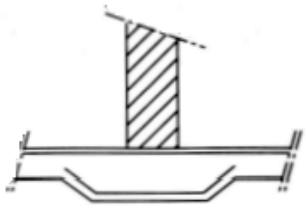


Figure 64: Renforcement sous mur

b) Le radier plan nervuré

C'est une dalle mince renforcée par des nervures et des poutres espacées de 2,50 à 3,50 m, son coffrage et son ferraillage sont compliqués et son coût est important, mais sa faible masse par rapport au précédent le réserve à des bâtiment plus importants.

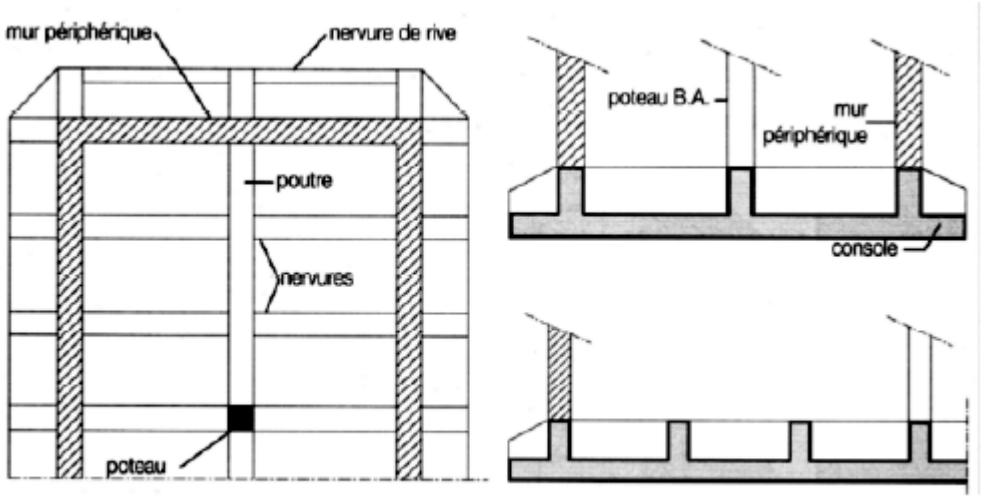


Figure 65: Radier plan nervuré

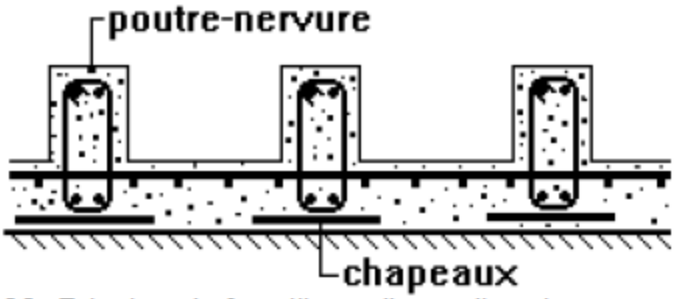


Figure 66: Principe de ferraillage d'un radier plan nervuré

c) Le radier vouté

Les voûtes permettent d'augmenter les portées (distance entre les éléments porteurs) sans augmenter sensiblement l'épaisseur du radier, la mise en œuvre est assez complexe mais les radiers voûtés sont minces (12 à 20 cm) car ils travaillent essentiellement en compression ; ils sont donc économiques en béton et en acier.

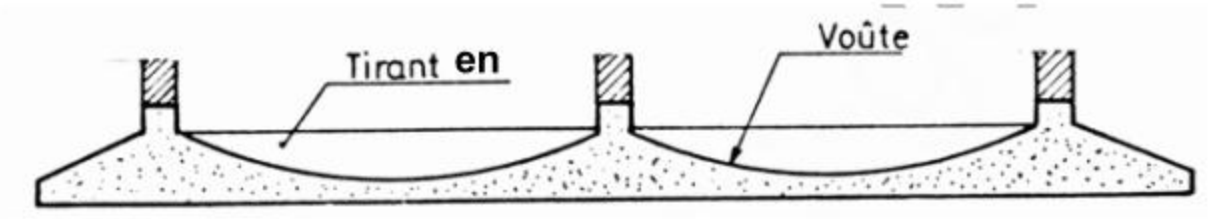


Figure 67: Radier vouté

4.1.3.2 Les fondations profondes

La solution des fondations profondes est adopté lorsque l'on ne peut pas fonder le bâtiment sur les couches superficielles, on va chercher à l'appuyer sur les couches plus profondes et donc plus résistantes par l'intermédiaire des éléments de fondations sous forme de poteaux.

Ces éléments sont soit directement appuyés sur le **substratum** et travaillent par effet de pointe (a), soit ne touchent pas le substratum et travaillent par frottement latéral (b).

Parmi ces fondations profondes, nous pouvons distinguer les **puits,** les **pieux préfabriqués,** les **pieux** exécutés sur place.

Au point de vue terminologique, un pieux a un diamètre inférieur à 80 cm alors qu'un puits a un diamètre supérieur à 80 cm.

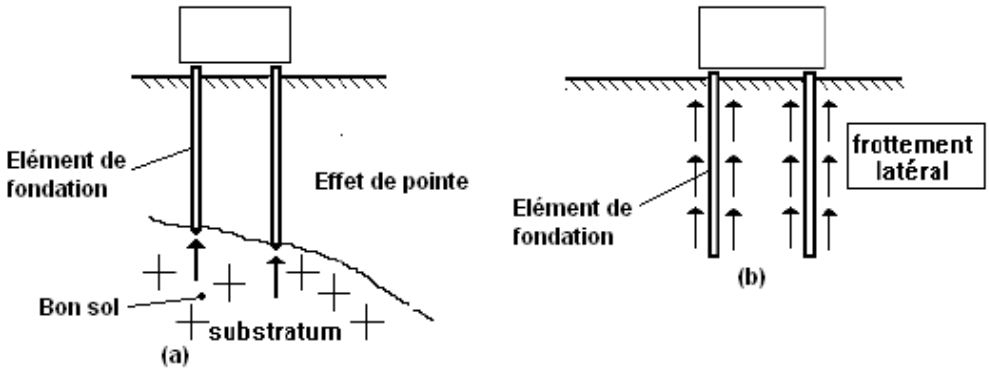


Figure 68: Fondations profondes, (a) travaillant en pointe, (b) travaillant par frottement latéral

4.1.3.2.1 Les puits

Les puits se placent en limite des deux domaines de fondations. Ils se rattachent, par le principe de réalisation, aux fondations profondes, mais sont généralement calculés suivants les règles des fondations superficielles. Il s'agit de la technique la plus ancienne de fondation profonde. Autrefois, la réalisation des puits était systématiquement manuelle (par des équipes de puisatiers). Couramment, les puits sont réalisés au tractopelle pour des profondeurs n'excédant pas 5 m (valeur extrême).

Ils sont bétonnés pleine fouille et ne comportent en général pas d'armature. La surface d'appui dépend du godet utilisé et varie en général de 60 x 120 à 120 x 140.

On retiendra que l'assise d'un puits est rarement plane du fait de l'action de rétro du godet et que le curage du fond du puits demeure un exercice quelque peu illusoire.
Compte tenu du mode de mise en œuvre et des profondeurs relativement faibles, le frottement latéral est généralement négligé. On ne considèrera que le terme de pointe.

Eléments techniques concernant les puits :

- Ils sont bien adaptés à des descentes de charges ponctuelles (poteaux, portiques...)
- Ils sont fréquemment reliés par un réseau de longrines BA qui supportent les murs et retransmettent les charges vers les puits.
- En zone sismique, ils doivent être butonnés dans les deux directions.
- Le curage du fond de fouille est très difficile : Il y a là un risque de tassement par interposition d'une zone de matériaux décomprimés sous l'assise.

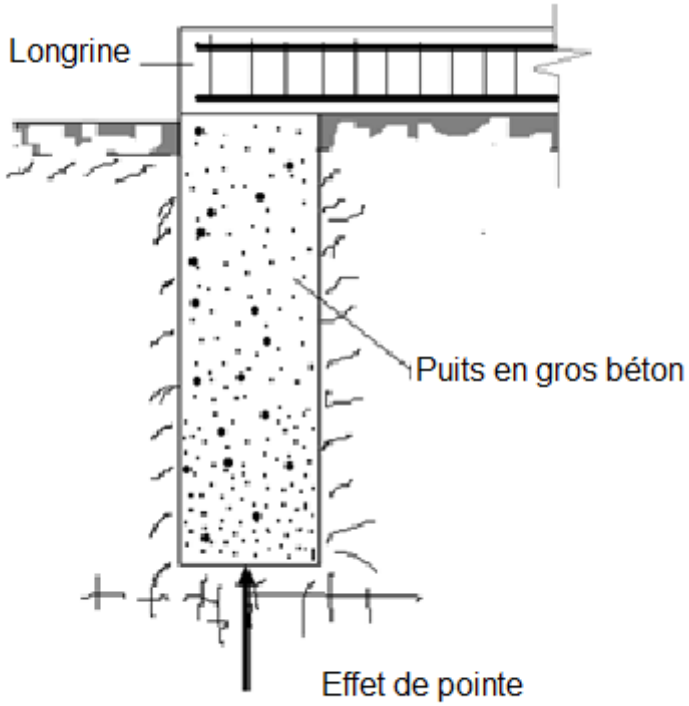


Figure 69: comportement mécanique des puits

- Le mode de bétonnage "pleine fouille" amène dans les cas difficiles des problèmes induits par l'apparition d'un frottement négatif sur le fût.
- La technique du puits est fréquemment employée, notamment dans le cadre de chantiers de faible à moyenne envergure.

Certaines entreprises ont développé des techniques spécifiques permettant de remplacer le béton des puits par du ballast compacté. Il s'agit alors de puits ballastés, fondés sur le principe de substitution du matériau « sol » incompétent par un matériau de meilleure qualité et compacté en place.

4.1.3.2.2 Les pieux

Le pieu est la réponse technique à l'éloignement en profondeur du sol porteur. Au-delà d'une certaine profondeur, leur mise en œuvre exige du matériel spécifique. La technique de pieux est plus adaptée que la technique des barrettes à des chantiers d'envergure moins importante. Cette technique s'appuie sur les forces de frottement latéral pour résister à l'effort à reprendre.

Le principe est de concentrer les charges sur des points singuliers, où l'on met en œuvre des ouvrages spéciaux, et de les transmettre vers le sol d'assise de bonne résistance. On note que la trame d'infrastructure doit être en accord avec l'organisation de l'ossature en élévation, afin que les points de descente de charges coïncident avec les lieux d'implantation

des pieux (les murs chargés et les poteaux doivent reposer directement sur une infrastructure (sommier) capable de transmettre les charges aux fondations.
C'est la technologie de mise en œuvre qui détermine les différentes catégories de pieux et leur mode de fonctionnement.

On retiendra deux catégories principales de pieux : les pieux battus et les pieux forés

a) Les pieux battus

Ce sont des éléments préfabriqués en bois, en béton armé, en béton précontraint ou en acier. Ils sont enfoncés dans le sol par battage ou par vérin.
Le battage est poursuivi jusqu'à obtention d'un couple de valeurs (enfoncement, énergie) correspondant à la résistance recherchée.

Les plus courants sont les pieux en béton armé. Ils sont équipés d'une pointe en acier pour faciliter l'enfoncement. De plus, leur tête est munie d'un casque de battage en acier qui empêche le béton d'éclater sous l'action des coups. Une fois en place, la tête du pieu qui a encaissé les coups (et qui est donc traumatisée) est cassée: c'est le *recépage*.

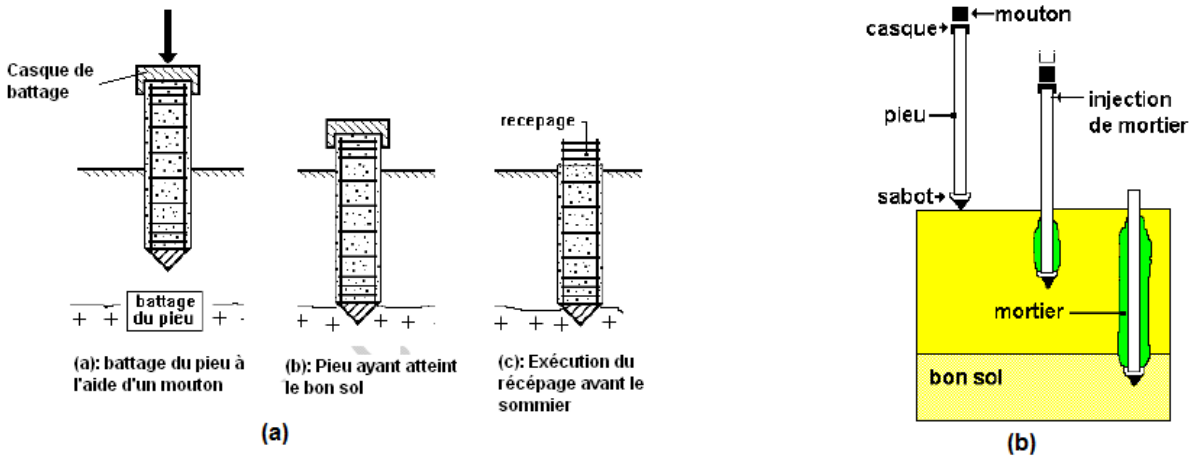


Figure 70: (a) Principe de mise en oeuvre des pieux battus, (b) *Pieu battu enrobé "TRINDEL",âme métallique (tube en acier de diamètre compris entre 150 et 500 mm, profilé en H, palplanche, …) enrobé de mortier dosé au moins à 500 Kg/m³*

b) Les pieux forés:

Ce sont des ouvrages mis en place à l'intérieur d'un trou réalisé préalablement par technique de forage.
La technique de forage constitue la partie la plus spectaculaire de la phase de réalisation des pieux. Les machines utilisables sont multiples et varient suivant le terrain à perforer.
Les plus employées sont, soit des tarières (destinées aux sols relativement tendres, soit des machines à *roto percussion* (destinées aux terrains rocheux).

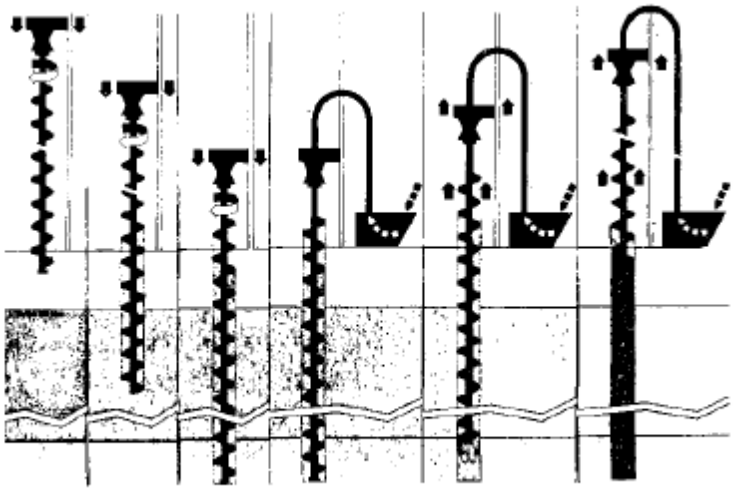


Figure 71: ***Pieux à la tarière creuse ou continue.***

Dans ce système le forage est réalisé en vissant dans le sol une mèche hélicoïdale cylindrique. La longueur de la mèche est égale à la longueur du pieu à exécuter. Le vissage se fait sans déplacement vertical du sol. La tarière comporte un axe creux à l'intérieur duquel est injecté le ciment en fin de vissage. Lors de l'injection du ciment, la tarière remonte progressivement.

Le diamètre du pieu est égal au diamètre de la vis hélicoïdale. Le béton injecté est dosé à 350 kg/m3. L'alimentation du béton est fournie en continu pendant l'extraction de la tarière.

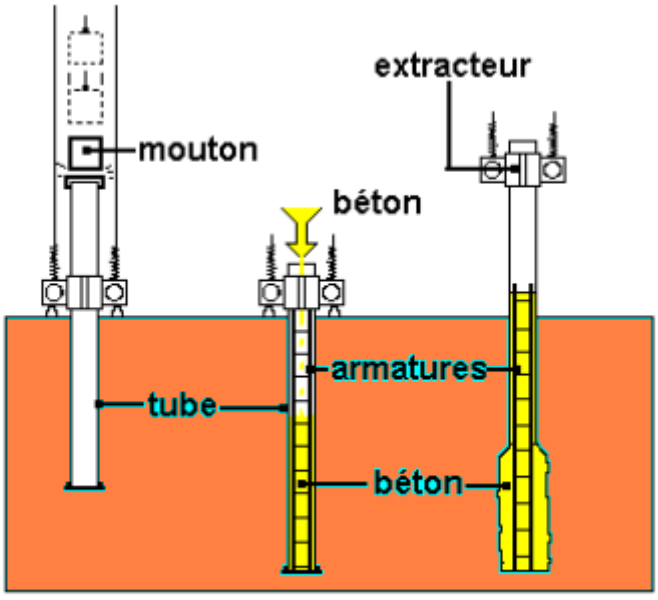


Figure 72: ***Le pieu "Battu moulé"***

Il consiste en un tube obturé à sa base par un bouchon en béton et qui est enfoncé dans le sol à l'aide d'un mouton frappant soit sur le bouchon, soit en tête du tube par l'intermédiaire d'un casque de battage.

Après battage, le bouchon est cassé, on met en place la cage d'armature et le tube est rempli totalement de béton puis extrait. Ce pieu peut supporter une charge admissible de 5,5 à 7,2 MPa.

c) Liaison avec la structure du bâtiment:

Les pieux, servant de fondation, doivent être reliés à la structure porteuse.

Sur les têtes de pieux recépées on réalise des sommiers qui sont reliées par des longrines en béton armé sur lesquelles vont reposer les poteaux et les murs.

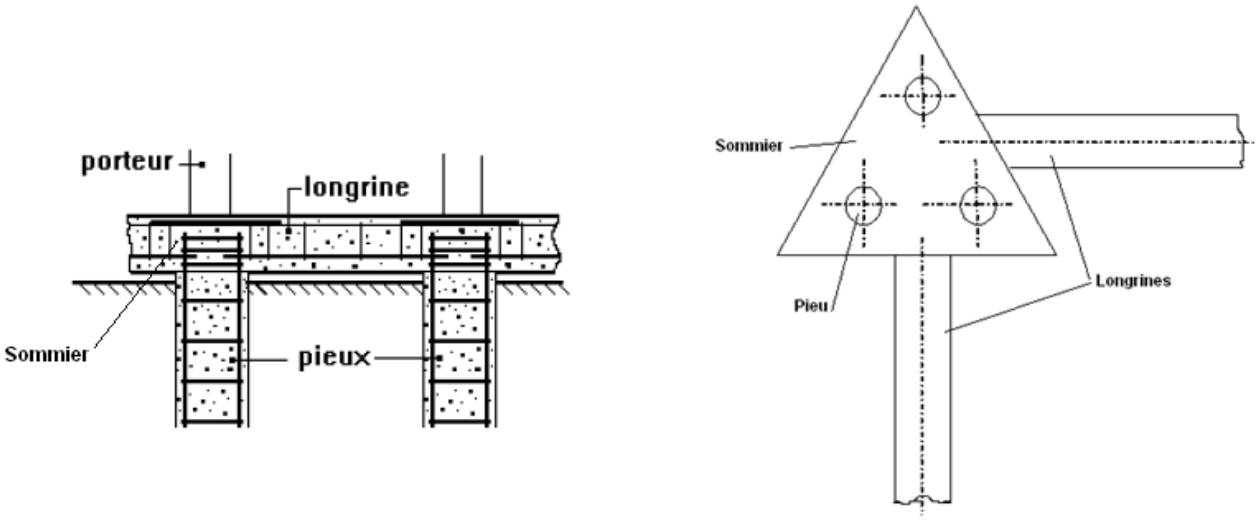


Figure 73: Détail de liaison des pieux en tête

4.2 LES MURS EN MAÇONNERIE

4.2.1 Définition

Dans la construction, un mur est une paroi verticale en maçonneries, destinée à clore ou diviser l'espace intérieur d'un bâtiment.

Ils se divisent en deux grands groupes :

- ☞ Les murs porteurs, qui reprennent les efforts de la construction,
- ☞ Les murs non porteurs, permettant le remplissage des vides laissés par la structure porteuse et les divisions intérieures du bâtiment.

4.2.2 Les murs porteurs

Un **mur porteur** est une structure solide qui sépare ou délimite une construction ou deux espaces.

En plus de définir l'espace intérieur du bâtiment, leur utilité est en règle générale de recevoir le poids des planchers, de la charpente, de la couverture ainsi que les charges horizontales dues au vent ou les charges appliquées.

En superstructure on trouve les murs de façade, les murs pignons et les murs de refend et en infrastructure, les murs de soubassement et les murs de cave.

Le mur est techniquement efficace, c'est-à-dire qu'il doit remplir la fonction qu'on lui assigne. Certains murs ont fait les frais de ce qu'ils n'étaient plus techniquement efficaces: par exemple les fortifications successives de nos villes qui ont dû s'adapter aux progrès de l'artillerie.

Dans les sociétés dites « développées » et de par les objectif environnementaux que se sont fixés les états dans le cadre du Protocole de Kyoto, le mur devient un objet technique et marketing sophistiqué, composite, qui en plus d'assurer la stabilité du bâtiment doit isoler thermiquement, acoustiquement, assurer l'étanchéité à l'humidité, voir l'étanchéité à l'air dans le cas d'une ventilation mécanique contrôlée.

Une bonne conception dès le départ, la prise en compte de la nature du sol, de l'exposition du mur aux intempéries, le soin apporté au choix des matériaux, aux techniques mises en œuvres, à la finition des surfaces, l'entretien apporté au cours des ans, le soin apporté aux rénovations et aménagements successifs sont déterminants pour la bonne tenue du mur dans le temps.

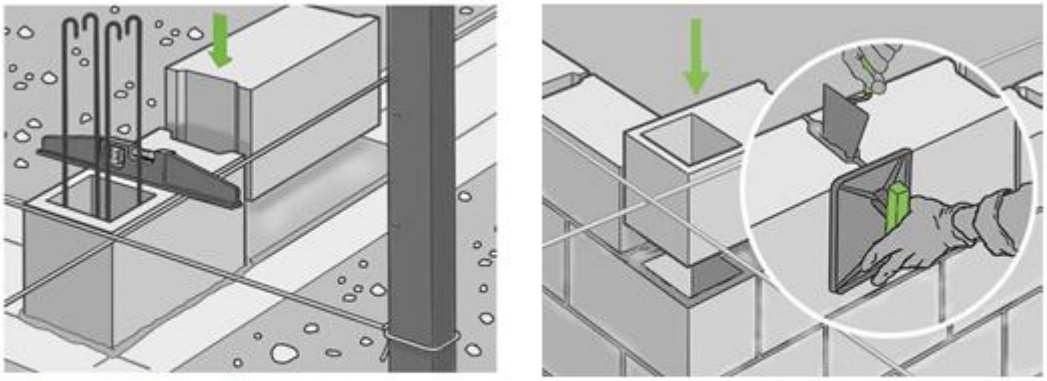
4.2.2.1 Composition des murs porteurs

Les principaux matériaux dont on dispose pour la construction des murs sont : la pierre naturelle, les agglomérés de béton, la brique d'argile cuite (Figure 74). A part quelques pierres naturelles, tous les matériaux utilisés pour la construction des murs sont *anisotropes*, ce qui signifie qu'ils possèdent des caractéristiques différentes selon la direction des sollicitations. Les agglomérés de béton et la brique d'argile cuite sont fabriqués dans un sens bien défini.

Figure 74: les matériaux constitutifs des murs porteurs

Bien que les matériaux employés possèdent des caractéristiques technologiques différentes, les principes généraux d'empilage restent identiques. Ces principes peuvent être résumés comme suit :

- ☞ Les matériaux doivent être posés de manière à recevoir les forces qu'ils supportent perpendiculairement au lit de leur structure.
- ☞ Les joints doivent être correctement exécutés pour permettre le transfert des efforts (Figure 75, 76).
- ☞ La composition d'un mur, est décidée généralement par la disponibilité en matériaux (pierres, briques de terre cuite ou non, Agglomérés de ciment), le niveau de technique (mur banché), la fonction, l'environnement, etc.



Pose des agglomérés Garnissage des joints

Figure 75: Montage des murs en agglomérés de béton

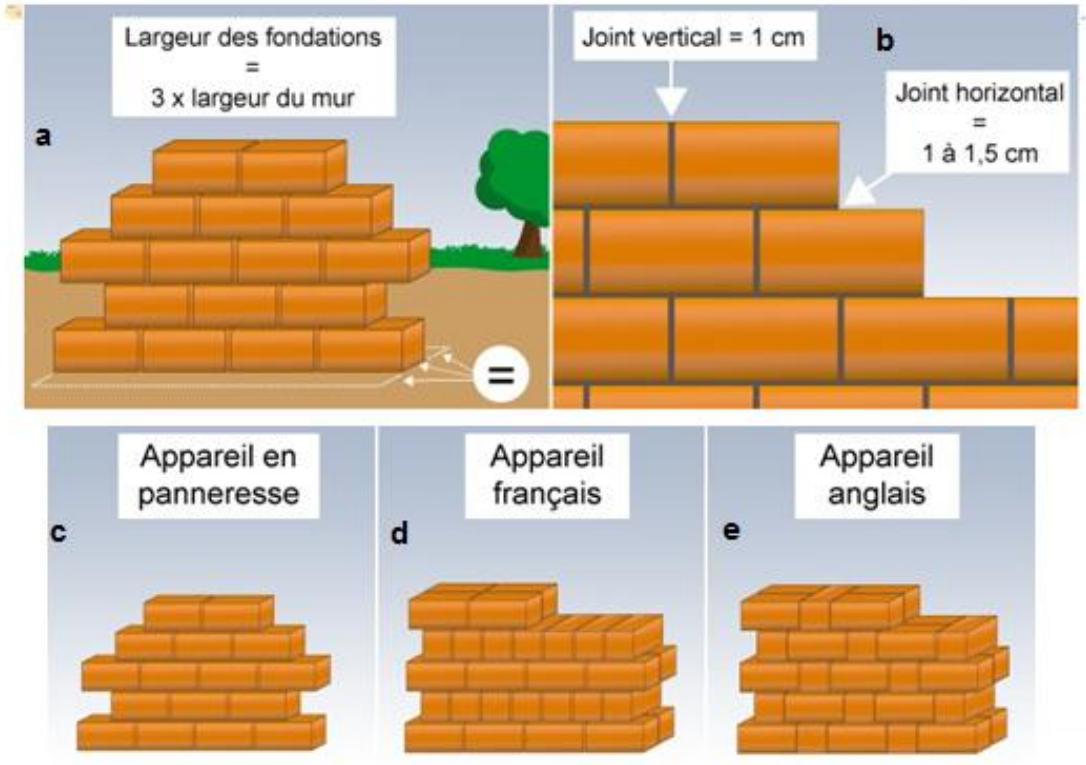


Figure 76: Empilage et joints (a,b); Type d'appareillage maçonneries en briques (c,d,e)

4.2.2.2 Structure des murs porteurs

Trois structures de murs porteurs sont rencontrées : les murs simples, les murs composites et les murs à double paroi.

a) Les murs simples :

Ils comportent une seule paroi enduite ou non, constituée d'un seul matériau principal ;

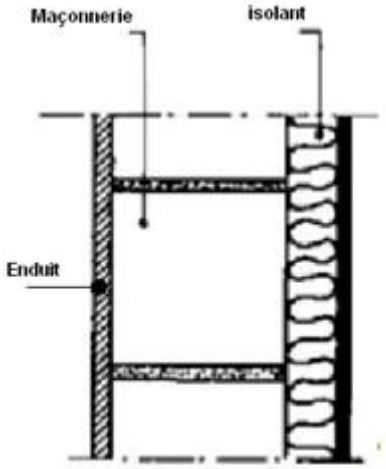


Figure 77: Mur simple

b) Les murs composites :

Ils sont composés, dans le sens de l'épaisseur, de plusieurs matériaux solidarisés au mortier ou au béton ;

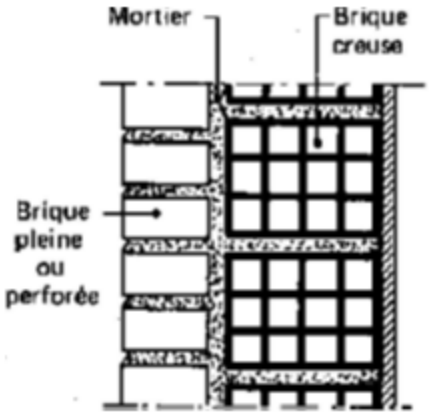


Figure 78: Mur composite

c) Les murs à double paroi :

Ils sont constitués de deux parois distinctes, d'épaisseurs sensiblement égales ou différentes, généralement séparées par une lame d'air ou un isolant quelconque.

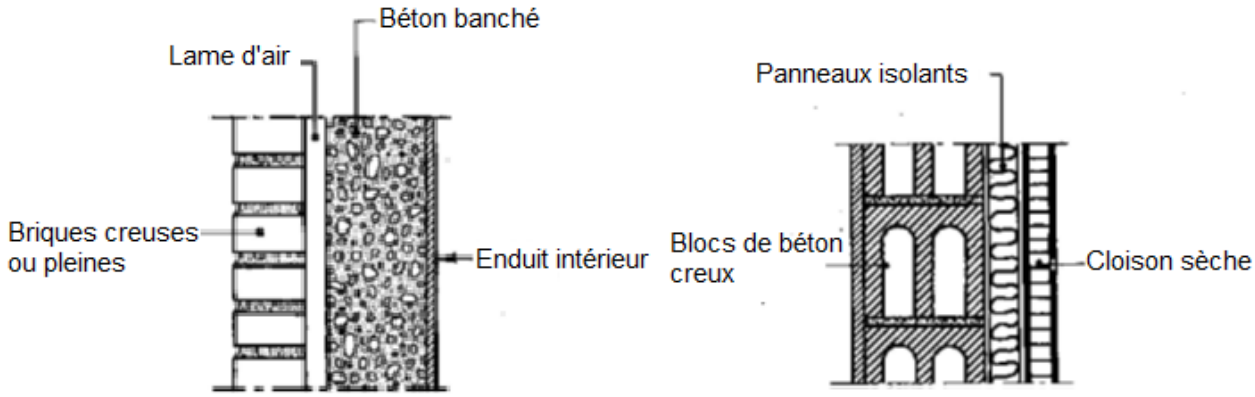


Figure 79: Mur à double parois

4.2.2.3 Qualités recherchées pour un mur porteur.

Les murs porteurs des bâtiments doivent répondre aux exigences suivantes :

- La stabilité mécanique : résister à l'écrasement, au renversement, au glissement et au tassement sous l'effet des sollicitations extérieures,
- La sécurité à l'incendie,
- L'étanchéité à l'eau de pluie ;
- L'isolation thermique et acoustique,
- L'aspect des parements extérieurs et intérieurs,
- L'économie vis-à-vis de la construction, la réparation et l'entretien.

a) Stabilité et liaison des murs.

i. Stabilité

La stabilité des murs en élévations permet d'assurer la stabilité de la construction. Ceux-ci sont stables s'ils reposent sur des fondations établies sur un sol suffisamment résistant.
Le mur restera d'autant plus stable que l'arête de basculement est éloignée et le centre de gravité bas.
Le principe fondamental de la stabilité des murs : *la résistance à la traction est négligée. Les maçonneries ne doivent subir que la compression.* Or la charge verticale appliquée au mur est rarement centrée, par conséquent l'excentricité du point de passage de la résultante dans une section donne à la fois :

- Un effort normal de compression et,
- Un moment de flexion.

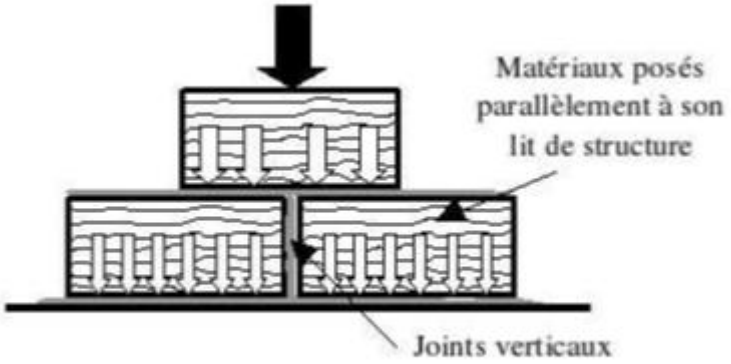


Figure 80: Stabilité du mur

ii. Contraintes admissibles dans les parois porteuses sous l'effet de charges verticales

La contrainte de compression **σ** (supposée uniforme) admissible en partie courante d'une paroi porteuse vaut :

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

Avec :

- ☞ R : la résistance nominale à l'écrasement du matériau élémentaire qui constitue le mur
- ☞ N : appelé coefficient global de réduction, variant suivant le type de maçonnerie, le cas de chargement mais également selon la valeur de l'élancement λ.

L'élancement pour les murs porteurs

$$\lambda = \frac{H}{e}$$

- ☞ *H :* hauteur libre entre planchers
- ☞ *e:* épaisseur brute du mur porteur.

Remarque : L'application du coefficient global de réduction N, permet de calculer la contrainte **σ** de compression admissible en partie courante d'une paroi porteuse, ce qui ne dispense pas de vérifier que les contraintes localisées restent admissibles.

iii. Evaluation des efforts sollicitant les parois

Les seuls efforts pris en compte dans le calcul sont les suivants :

- forces verticales : celles qui résultent de l'action de la pesanteur (charges permanentes, charges d'exploitation, charges de neige) ;
- forces horizontales : celles qui résultent de l'action directe du vent sur les façades.

Il n'est pas tenu compte des efforts résultant des retraits et dilatations. De plus respecter les dispositions constructives minimales (fractionnement des murs par des joints de dilatation et de retrait nécessaires dans les maçonneries de grande surface) permet de négliger les effets du retrait et de la dilatation.

➢ **Dispositions constructives :**

⇒ Le point de passage de la résultante doit se trouver dans le tiers central de la section de manière à ce que cette section soit entièrement comprimée ;

⇒ La largeur minimal d'appui des planchers sur les parois porteuses est au moins égale au $\frac{2}{3}$ de l'épaisseur brute du mur ;

⇒ Le rapport entre l'épaisseur du mur et sa hauteur est limité à $\frac{1}{15}$;

⇒ Prévoir des joints de dilatations et de retrait dans la construction des façades porteuses ;

⇒ Ceinturer les bâtiments par des chaînages et par des murs de refend jouant le rôle de raidisseurs en reliant les façades.

4.2.2.4 Liaison des murs

La stabilité de la construction est entièrement assurée, si les murs forment un ensemble rigide ; donc ils doivent être parfaitement liés et cette liaison n'est possible que si les murs sont liés :

- Par un bon enchevêtrement des matériaux dans l'épaisseur du mur surtout aux angles et à la liaison avec les refends,
- Par des chaînages en béton armé,
- Par des tirants en acier munis d'un dispositif de serrage (cas de consolidation).

a) Liaison interne aux angles et aux refends.

On recherche pour les angles et les intersections des murs un enchevêtrement croisé pour avoir, en considérant une face : panneresse, boutisse, panneresse, boutisse ... ce type de liaison est dit en besaces (2). Elle peut aussi être remplacée par des poteaux coulés en béton ou par un chaînage vertical.

4.2.3 Les chaînages

Les chaînages sont des ceintures horizontales et verticales en béton armé, appuyées sur des murs, dont le rôle principal est de compléter la liaison de ceux-ci.
Les armatures des chaînages horizontaux, qui travaillent en général en traction, doivent respecter les règles de bonne construction du B-A (Règles BAEL 91).
Lorsque les murs porteurs sont en maçonnerie légère et les planchers en B-A, au lieu d'une liaison en besace, on peut faire des chaînages verticaux à base des blocs spéciaux dit blocs d'angles (Figure 81), remplis au B-A, ceux-ci ne sont pas des poteaux.

4.2.3.1 Chainage horizontal

Les chaînages horizontaux se trouvent au niveau de chaque plancher ainsi qu'en couronnement de la construction. Ils permettent d'assurer une stabilité en ceinturant

[2] **Besace** : Rencontre de deux pans de maçonnerie dont les éléments sont liés d'une assise à l'autre

l'ensemble du bâtiment au niveau de chaque plancher. Ils permettent de plus d'assurer une bonne répartition des contraintes entre les étages supérieurs et l'étage directement inférieur, en reliant les murs de façades entre eux et aux murs de refend. Ainsi, il est primordial d'assurer leur continuité sur l'ensemble du bâtiment.

4.2.3.2 Chainage vertical

Les chaînages verticaux servent essentiellement à assurer la stabilité des murs sous l'action des charges, notamment au voisinage des angles. Ils doivent obligatoirement être réalisés dans les angles saillants et rentrants, au niveau des intersections avec les murs de refend ainsi que de part et d'autre des joints de fractionnement du bâtiment. Contrairement à leurs homologues horizontaux, l'utilisation des chaînages verticaux n'est pas systématique, en effet, en toute rigueur, elle n'est obligatoire que dans le cas où le plancher haut de l'étage considéré est en béton armé ou en béton précontraint.
Enfin, il est impératif d'ancrer les chaînages verticaux par des retours d'équerre, afin d'assurer une liaison mécanique avec les chaînages horizontaux.

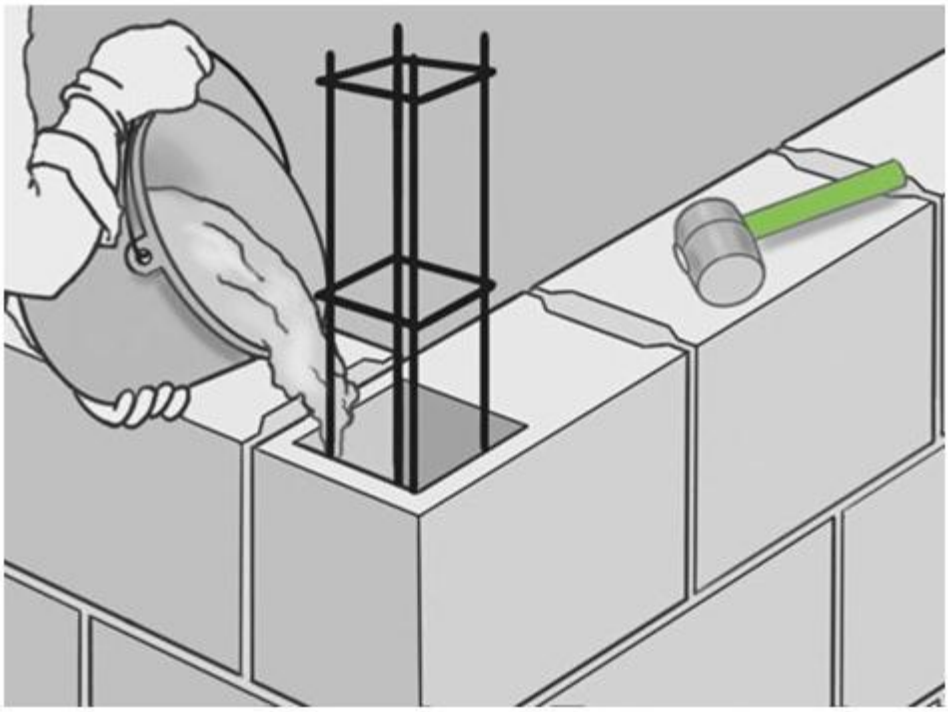


Figure 81: Chainage vertical

4.2.4 Les murs non porteurs

Les murs non porteurs sont des parois verticales permettant soit de cacher l'ossature, soit de diviser l'espace intérieur des bâtiments. On distingue deux grands groupes : les cloisons et les remplissages.

4.2.4.1 Les cloisons

Les cloisons sont des ouvrages verticaux non porteurs dont la fonction principale est de cloisonner, séparer et redistribuer l'espace des locaux. Ces cloisons ont des rôles multiples :

- ☞ Séparer les différentes fonctions d'un logement (chambres, cuisine, toilettes…).
- ☞ Isoler phonétiquement.
- ☞ Protéger et préserver l'intimité.
- ☞ Éviter les courants d'air froid (entrée...) ou pollués (toilettes, cuisine...).
- ☞ Empêcher la lumière de passer (chambres...).

On peut classer les cloisons soit suivant la destination soit suivant les matériaux

4.2.4.1.1 Différents types de cloisons

a) Suivant la destination fonctionnelle

On distingue 3 types de cloisons:

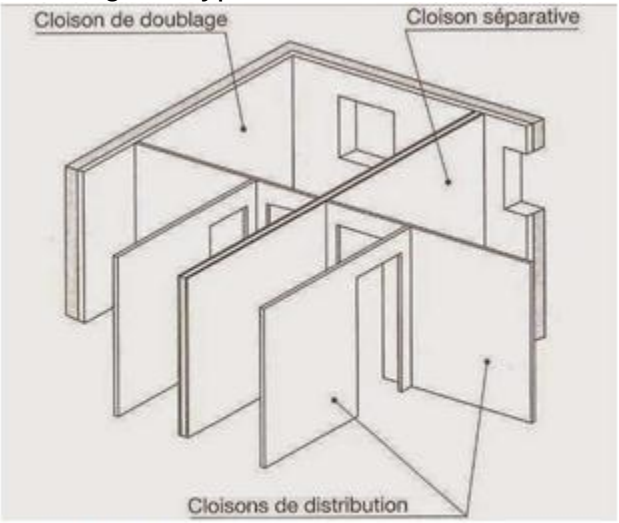


Figure 82: Différents types de cloisons

i. Les cloisons de doublage

Elles sont destinées à l'isolation thermique et acoustique des parois verticales.
Pour chaque type de cloisons, on observe une très grande gamme de produits. Les doublages isolants, sont constitués de plaques contre collées en usine sur un isolant: polystyrène expansé ou extrudé, polyuréthane, laine de roche volcanique.
Leur mise en œuvre se fait par collage ou par vissage sur une ossature intermédiaire. L'isolation acoustique et thermique sont obtenues par l'intégration de panneaux semi-rigides de laine minérale, sans limitation d'épaisseur.

✓ **Rôle des cloisons de doublages:**

- Isolation thermique, vis-à-vis de l'extérieur.
- Isolation acoustique intérieure et extérieure.
- Protection au feu des structures.

✓ **Les avantages des cloisons de doublage:**

- Une très grande gamme de produits (Placolaine, Placomur, Placotherm, Placostil, …).
- Facilité de raccordement aux menuiseries extérieures.
- Compatibilité avec tous les types de parois.
- Choix de finition (peinture, revêtements,…).

- Garantie des performances.

✓ **Dimensions:**
Longueur disponible standard: 250 et 260 cm.
Sur commande spéciale: 280 et 300 cm.

✓ **Principe de pose:**

De nos jours, on observe 3 types de pose pour les cloisons de doublage:

- Le panneau isolant est directement collé ou visser au mur.
- Préparer une ossature métallique où seront fixées les plaques de plâtres seules et un isolant sera placé entre les deux plaques.
- Une contre cloison comprenant une plaque de plâtre entre le mur et la contre cloison.

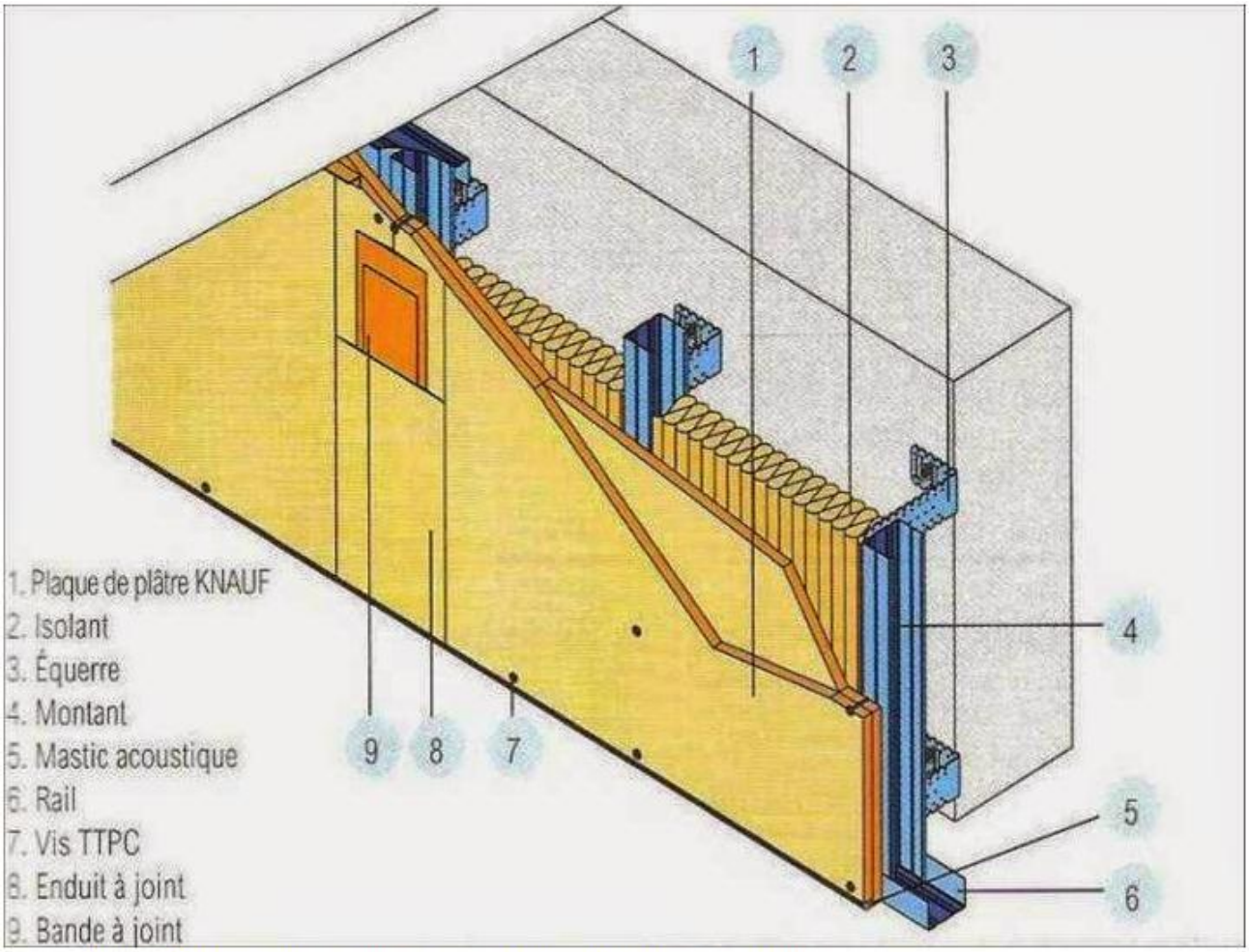


Figure 83: Exemple de cloison de doublage à structure métallique

ii. Les cloisons de distribution

Elles ont pour fonction de délimiter les espaces au sein du logement. Elles permettent aussi de filtrer les bruits de la maison. Les cloisons de distribution ont une épaisseur comprise entre 5 et 10 cm, ce qui présente quelques contraintes comme:

- Solidité et possibilité d'accrochage d'objets ou de meubles lourds.

- Épaisseur, rigidité, masse par mètre.
- Masse et capacité à isoler du bruit.
- Isolation thermique.

Les fonctions d'une cloison de distribution sont :

- Séparer les différents compartiments d'un logement (chambres, cuisines, toilettes…)
- Isoler phoniquement
- Protéger et préserver l'intimité
- Éviter les courants d'air froid (entrée...) ou pollués (toilettes, cuisine...)
- Empêcher la lumière de passer (chambres...)

iii. Les cloisons séparatives

Elles permettent la séparation entre logement ou entre logement et partie commune. Les cloisons séparative sont de 15 et 20 cm d'épaisseur environs et présentent des performances acoustiques élevées afin d'assurer un bon isolement phonique.

Les cloisons de distributions et séparatives peuvent être réalisées à l'aide de petits éléments (briques plâtrières, carreaux de plâtre) ou de grands éléments (plaques de plâtres). Les cloisons de doublages sont construites avec de grands éléments qui se présentent sous forme de complexe de hauteur d'étage.

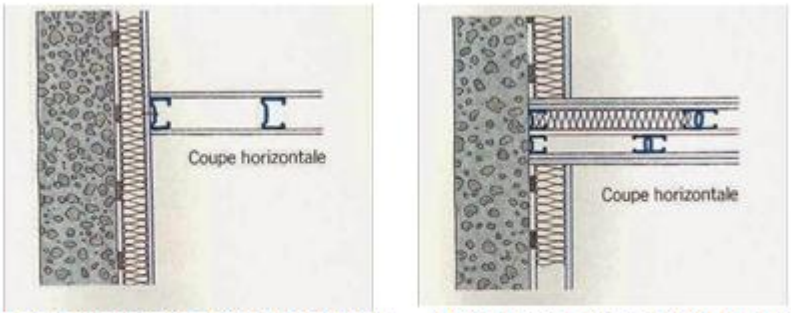
4.2.4.1.2 Raccordement des différentes cloisons:

✓ **Cloison de distribution/doublage:**

La cloison de distribution vient se fixer sur le doublage (Figure 84 (a)).

✓ **Cloison séparative/doublage:**

La cloison séparative inséré dans le doublage afin de diminuer sa rigidité (Figure 84 (b)).



(a) Cloisons de distribution/ doublage 'b) Cloisons séparatives/doublage

Figure 84: Raccordement des cloisons

4.2.4.1.3 Les matériaux pour cloison

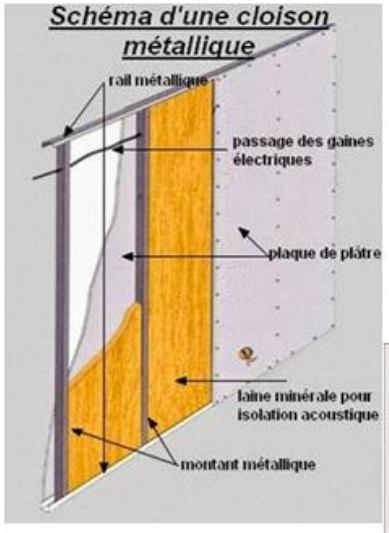
De la technique traditionnelle à la technique moderne, les cloisons sont essentiellement édifiées :

- ✓ Murs maçonnés de faible épaisseur : il s'agit de briques en terre cuite évidée, à monter avec du plâtre.
- ✓ Bloc de béton cellulaire.
- ✓ Panneaux de particules (bois reconstitué) montés sur des ossatures de bois ou de métal.
- ✓ Plaques de plâtre séparées par du carton alvéolé sur une ossature métallique : ce dernier procédé a l'avantage de pouvoir créer des cloisons courbes, par humidification des plaques. (Ce procédé est surtout utilisé pour les cloisons de distributions).

Plaque de platre

Panneau alvéolaire

Bloc de béton cellulaire



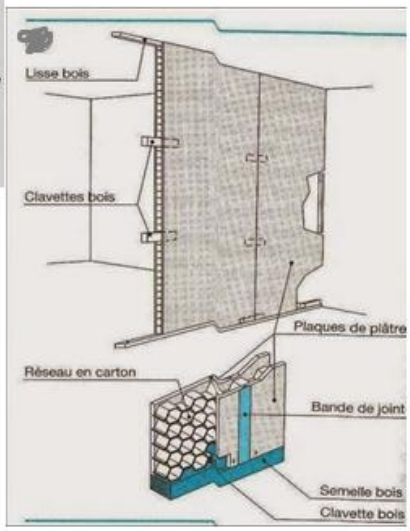


Figure 85: Matériaux et exemple de pose des cloisons

4.2.4.2 Les murs de remplissage

4.2.4.2.1 Définition

Les remplissages sont des éléments de construction permettant d'occuper ou de boucher les espaces vides laissés par la structure porteuse d'une construction. Ils constituent aussi des techniques d'habillage des constructions à ossature porteuse (Poteaux – poutres – plancher ; voile – plancher).
Ils sont situés sur les façades et ont un poids inférieur à 100 Kg/m².
Pour des raisons économiques et esthétiques, ils prennent de plus en plus une place importante dans la construction. On distingue deux types : les panneaux de façade et les murs rideaux, les bardages.

4.2.4.2.2 Fonctions

Ils ont pour fonctions :

- ☞ Diminuer considérablement le poids de la construction, le volume et l'espace ;
- ☞ Diminuer le coût de la construction ;
- ☞ Remplir les vides entre les éléments porteurs tout en permettant une amélioration architecturale de la construction ;
- ☞ Permettre une organisation et une réorganisation possible et adaptée aux besoins de l'heure sans porter préjudice à la structure porteuse ;
- ☞ Assurer la protection et l'isolation acoustique et thermique de la construction.

4.2.4.3 Les différents types

4.2.4.3.1 Les murs panneaux

Ce sont des éléments plans, préfabriqués, que l'on interpose entre l'ossature porteuse pour constituer le remplissage. Leur rôle principal est de boucher les vides laissés par l'ossature du bâtiment.
Ils sont soient portés, soient suspendus et peuvent être dans des cas particuliers porteurs. Ils ne cachent pas l'ossature et permettent, sur le plan de l'esthétique, de laisser apparaitre soit une dominante horizontale, soit une dominante verticale, soit les deux à la fois (Figure 86).

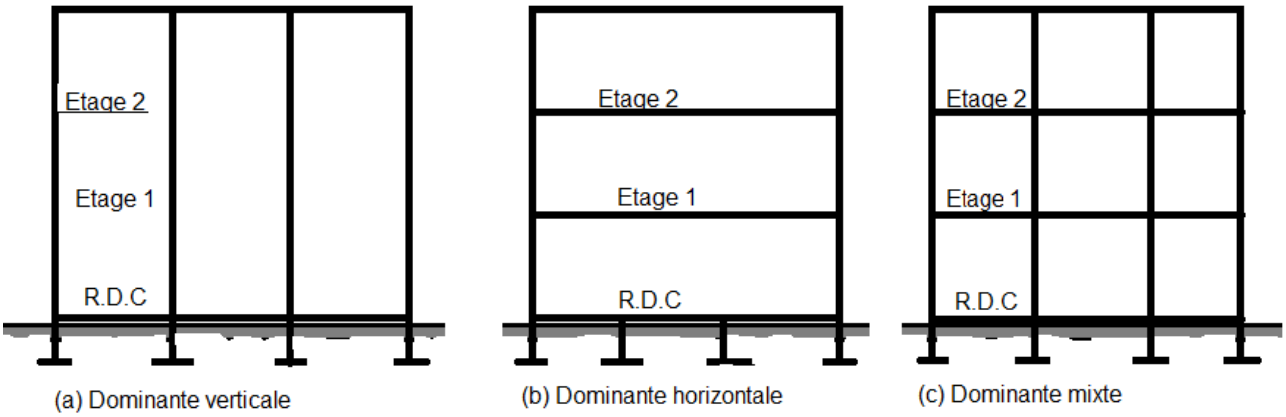


Figure 86: Apparence extérieure du bâtiment après pose des panneaux de façade

On distingue les panneaux – portes, les panneaux- fenêtres (Figure 87), les panneaux – pleins.

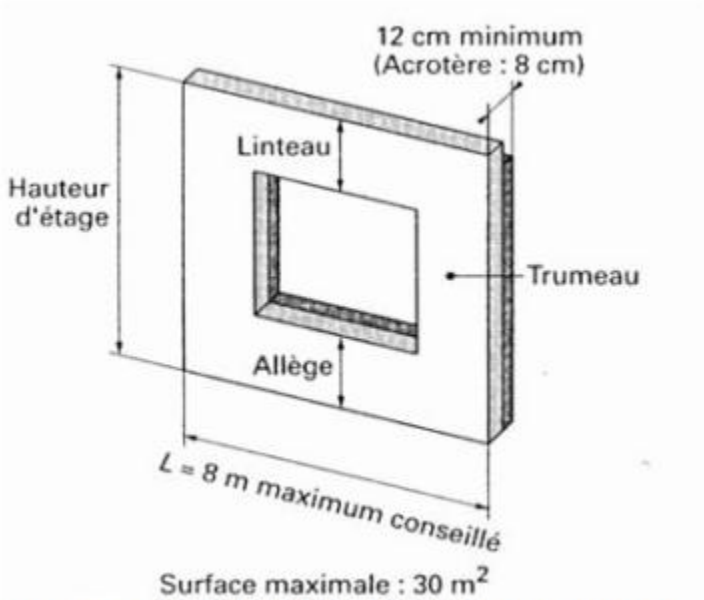


Figure 87 : Exemple de panneau de façade plein

Deux méthodes de mise en œuvre sont adoptées :

- ☞ Par pré-assemblage : Eléments posés complets (revêtements + isolants) ;
- ☞ Assemblage élément brut : Les divers éléments constitutifs sont mis en œuvres successivement.

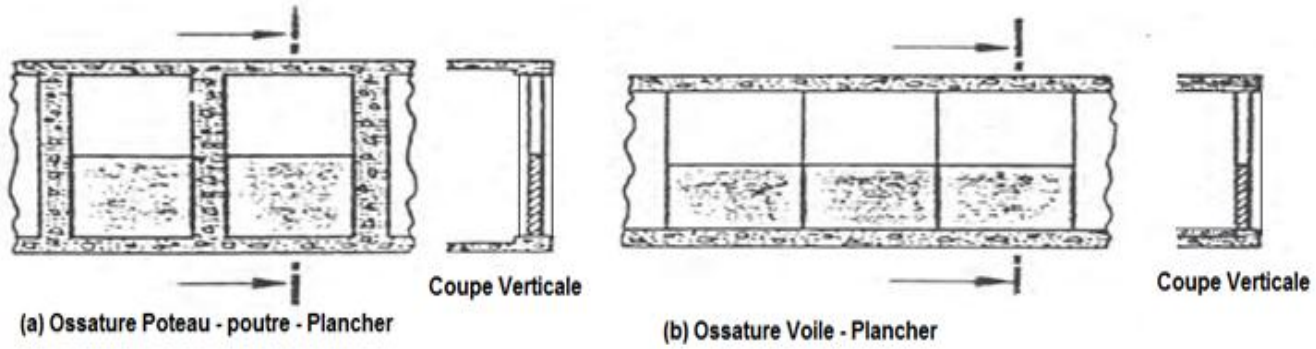


Figure 88 : Disposition des Panneaux de façade

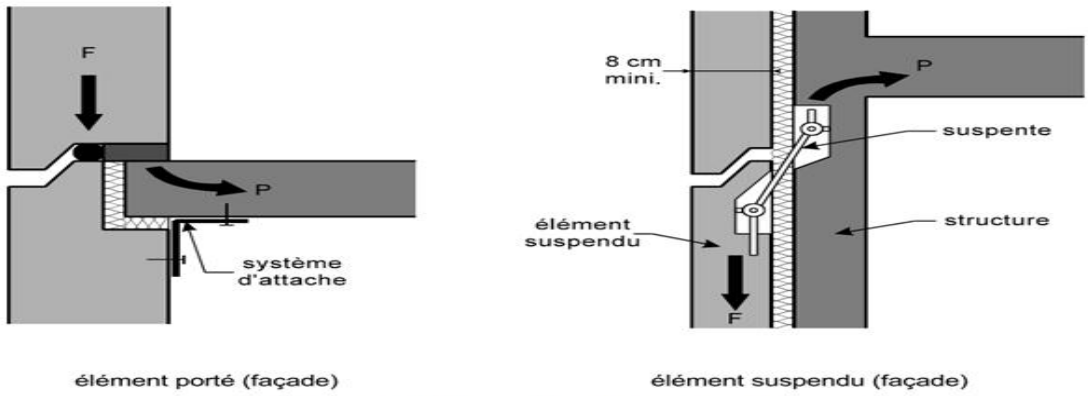


Figure 89: Assemblage avec les éléments porteurs

4.2.4.3.2 Les rideaux de façade

Ce sont des pellicules planes, sans rôle mécanique propre, utilisées dans le cas des bâtiments à ossature porteuse, sur laquelle ils sont accrochés.
Les rideaux de façade sont accrochés et jamais portés, ils ne peuvent en aucun cas être porteurs. Leur fonction est d'abriter, protéger et faire écran ; ils peuvent même être utilisés comment revêtement décoratif.
On distingue :

- **Les revêtements décoratifs** : composés de panneaux minces, leur rôle est d'habiller la maçonnerie et l'ossature.
- **Le mur complet** : Il comporte à la fois le revêtement extérieur et intérieur entre lesquels est placé un isolant.
- **Les grilles et panneaux** : Ils assurent une pratique répartition des parties opaques et transparentes.

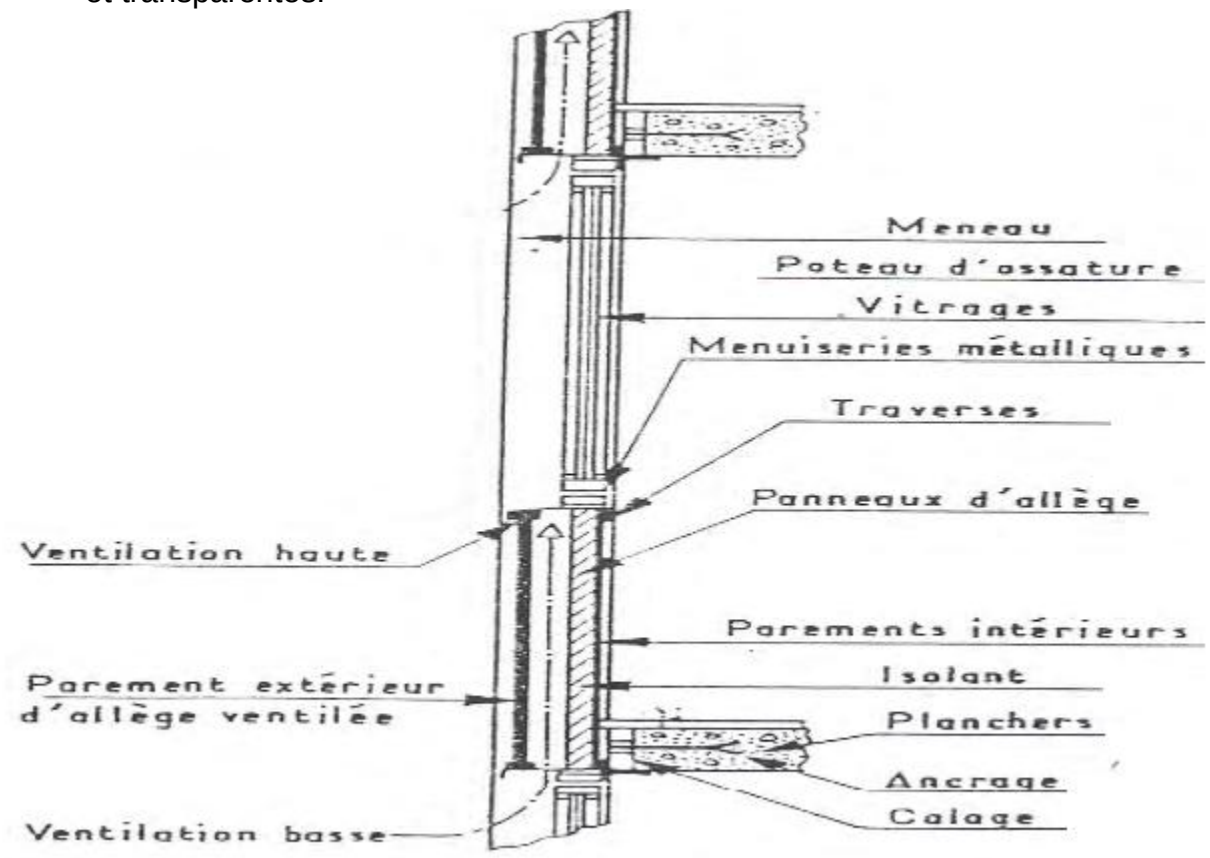


Figure 90: Coupe verticale d'un Rideau de façade

4.2.4.3.3 Les bardages

Les bardages sont des parois métalliques, en amiante ciment, en plastique ou en bois, destinées à clore un bâtiment et à le mettre à l'abri des intempéries.
Leur fonction principale est de cacher, protéger et isoler la structure. Ils ne sont pas porteurs, mais fixés sur la structure porteuse, ils doivent être en matériaux imperméables, inflammables, mécaniquement résistant, auto-lavant, insonore et facile à entretenir.
Ils sont fixés par boulonnage, rivetage ou clavetage sur crochet préalable.

Les bardages sont plus employés pour des bâtiments industriels.

4.2.4.4 Avantages des techniques de remplissage

- ✓ Rapidité de mise en œuvre ;
- ✓ Utilisation et agencement des éléments décoratifs conduisant à l'esthétique ;
- ✓ Légèreté, d'où allègement de la construction ;
- ✓ Flexibilité/alignement de la construction ;
- ✓ Durabilité, facilité d'entretien et économie

Figure 91: Petit matériel de travail

Chapitre 3 : LES ECHAFAUDAGES

Le travail en hauteur nécessite un dispositif permettant aux ouvriers de travailler et d'entreposer près d'eux les matériaux qui seront mis en œuvre. Ce dispositif n'est pas définitif et doit être solide, compte tenu de l'aspect sécuritaire que revêtent tous les travaux effectués en hauteur.

1. DEFINITION

Un échafaudage est un ouvrage provisoire composé de planchers horizontaux construit pour permettre aux ouvriers de travailler en toute sécurité à des hauteurs variables, et de déposer près d'eux les matériaux nécessaires.
De cette définition il en ressort quatre aspects particuliers pour ces ouvrages :

- L'aspect **provisoire :** En effet il n'est réalisé que pour la durée du travail ;
- L'aspect **circulation** : Les planchers doivent être suffisamment plans pour éviter les glissements ;
- L'aspect **sécuritaire** : Il doit être conçu de façon à éviter tous les risques de chutes, soit du personnel, soit des matériaux entreposés ;
- L'aspect **résistance** : Il doit reprendre les charges dues aux ouvriers et aux matériaux entreposés (charges verticales), parfois aussi dues à d'autres effets (charges horizontales – accidentelles).

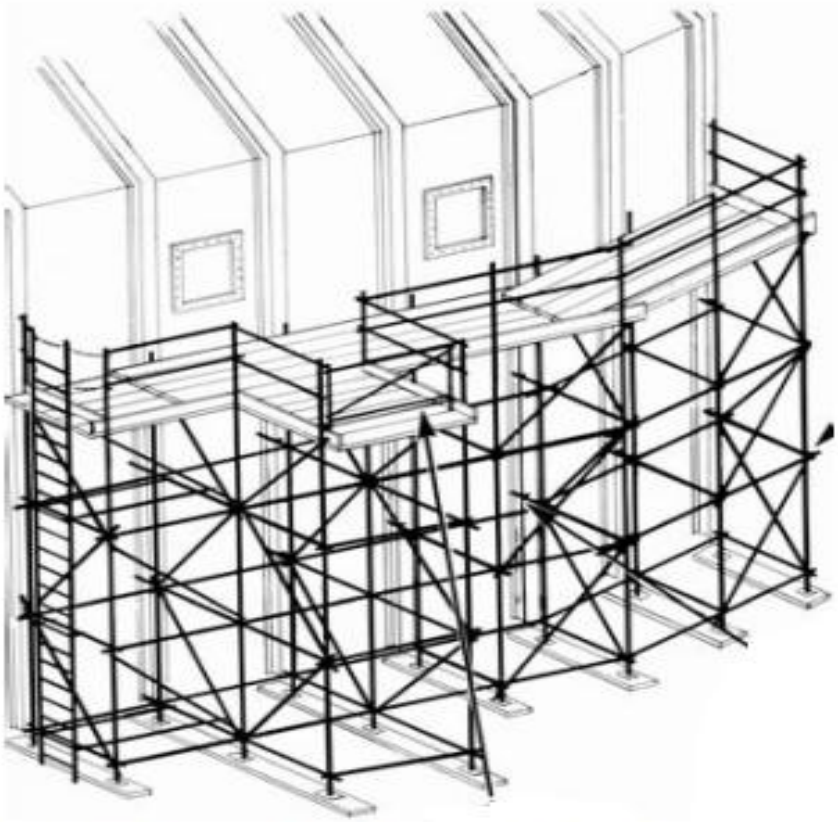


Figure 92: Exemple d'un échafaudage mis en oeuvre

2. TERMINOLOGIE D'UN ECHAFAUDAGE

Nous regroupons les termes communs à tous les échafaudages

- **Amarrage** : dispositif rigide permettant de lier l'échafaudage aux ancrages ;
- **Bracon, jambe de force ou contrefiche** : élément disposé obliquement supportant une partie de l'échafaudage en porte-à-faux ;
- **Cadre :** composant qui procure un plan horizontal ou vertical continu rigide ;
- **Console** : élément en porte-à-faux destiné à constituer un plancher de circulation et de travail ;
- **Diagonale** : élément disposé obliquement dans les divers plans de l'échafaudage, destiné à assurer le contreventement ;
- **Dispositif d'ancrage** : organe (ou agencement d'organes) dont l'installation sur (ou dans) le matériau d'accueil permet de constituer un point d'ancrage ;
- **Étrésillon** : dispositif d'ancrage composé d'un tube et d'un vérin que l'on bloque dans une baie ;
- **Echelles** : permettent l'accès à la plateforme de l'échafaudage.
- **Garde-corps** : élément de protection installé en rive pour empêcher la chute depuis le plancher, pouvant éventuellement participer à la stabilité de la structure ;
- **Longeron** : *moise*[3] disposée dans le sens longitudinal de la structure ;
- **Hauban** : câble d'amarrage au sol
- **Implantation** : Disposition de la base de l'échafaudage au sol
- **Maille** : Intervalle entre 2 poteaux successifs (parallèles à la façade)
- **Montant** : élément vertical de la structure (partie du poteau)
- **Nœud** : Point de connexion entre des éléments de directions différentes. Pare gravois.
- **Passage piéton** : Partie de la structure de l'échafaudage (départ) qui assure la sécurité de circulation du public sous l'échafaudage
- **Plancher** : élément de surface de travail, participant ou pas à la structure de l'ensemble. Des contreventements horizontaux sont obligatoires si le plancher n'est pas assujetti à l'ossature.
- **Plateau** : élément de plancher destiné à supporter une charge. (S'il est prévu, peut faire office de contreventement horizontal)
- **Plinthe** : Élément de protection installée en rive de plancher (contre les chutes de gravats, objets, personnes …). Sa hauteur minimum est de 15 cm.
- **Porte planche** : Voir traverse intermédiaire
- **Poutre de franchissement** : Dispositif de l'échafaudage destiné à supprimer localement des poteaux dans la structure afin de permettre une ouverture dans l'échafaudage.
- **Poteau** : Ensemble de montants.
- **Potence** : Console assignée à supporter une charge (ou une poulie). Sa capacité est inscrite
- **Portillon** : Élément permettant temporairement le passage au travers d'un garde-corps.
- **Socle réglable** : idem vérin de pied.
- **Stabilisateur** : Ensemble permettant d'améliorer la stabilité d'un échafaudage en augmentant les dimensions de sa base.

[3] Élément horizontal reliant 2 montants ou poteaux (idem lisse, longeron)

- **Trappe** : module rabattable pour fermer les trémies (passages) de plancher.
- **Traverse** : élément horizontal de la structure perpendiculaire à la façade.
- **Traverse intermédiaire** : élément support intermédiaire destiné à reprendre la portée des plancher. Les traverses sont fixées sur les moises,
- **Treuil** : Outil de levage
- **Vérin de pied** : Élément à la base des poteaux destinés à mise à niveau de la structure.
- **Vérin d'amarrage** : Élément servant à l'ancrage sur la façade permettant la reprise d'efforts perpendiculaires à celle-ci.

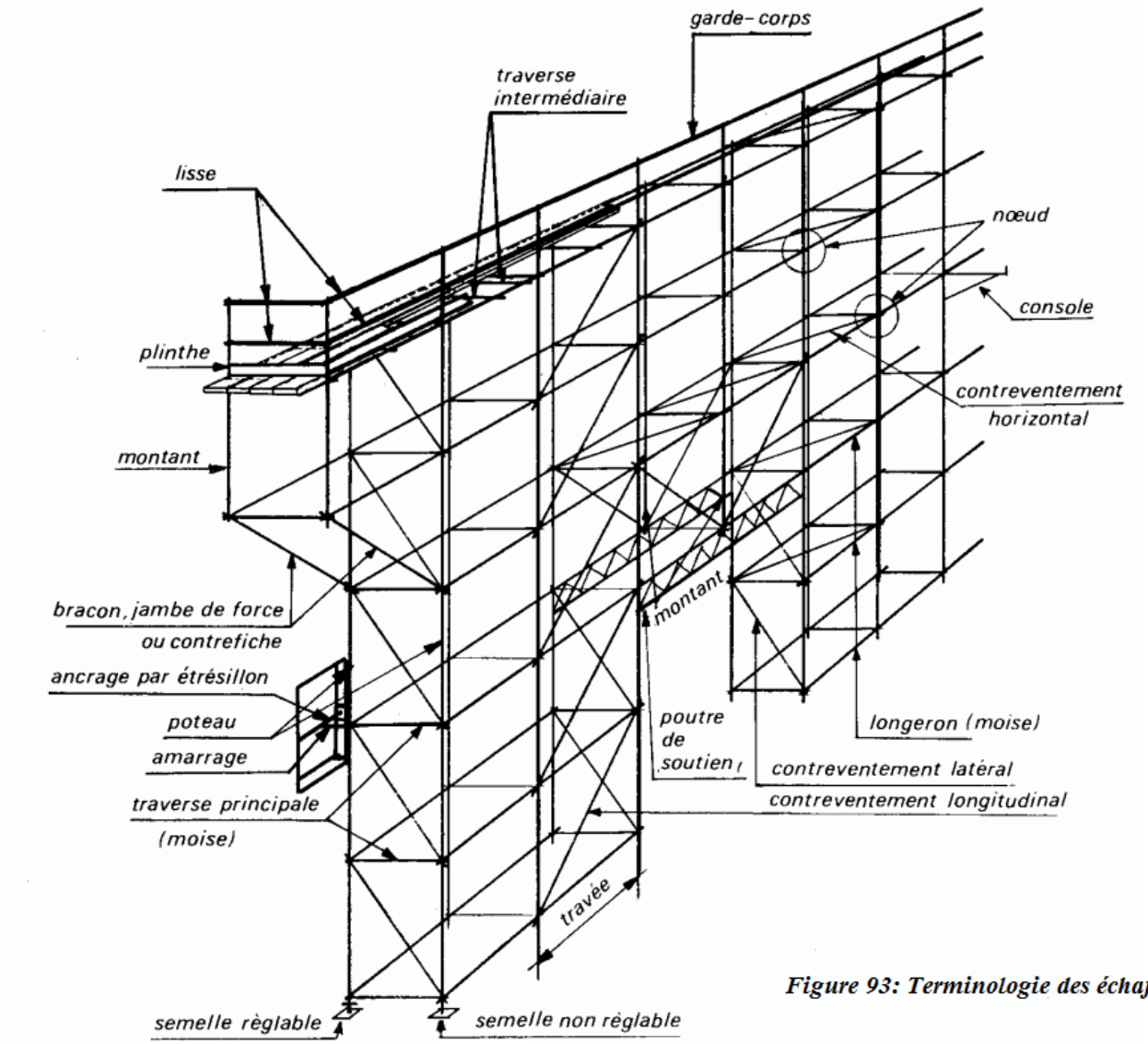


Figure 93: Terminologie des échafaudages

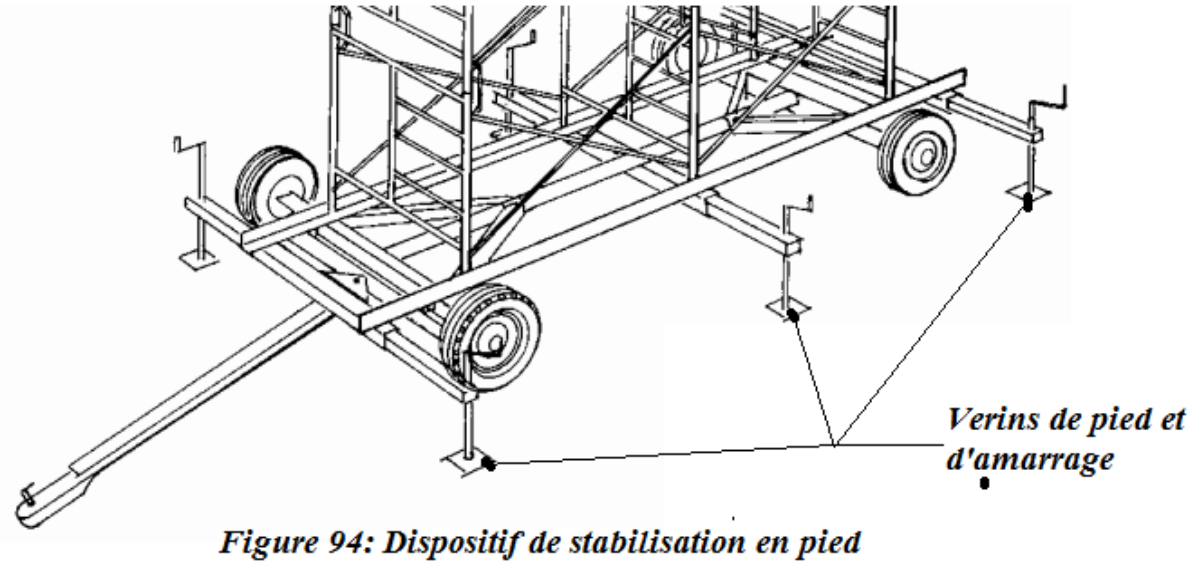


Figure 94: Dispositif de stabilisation en pied

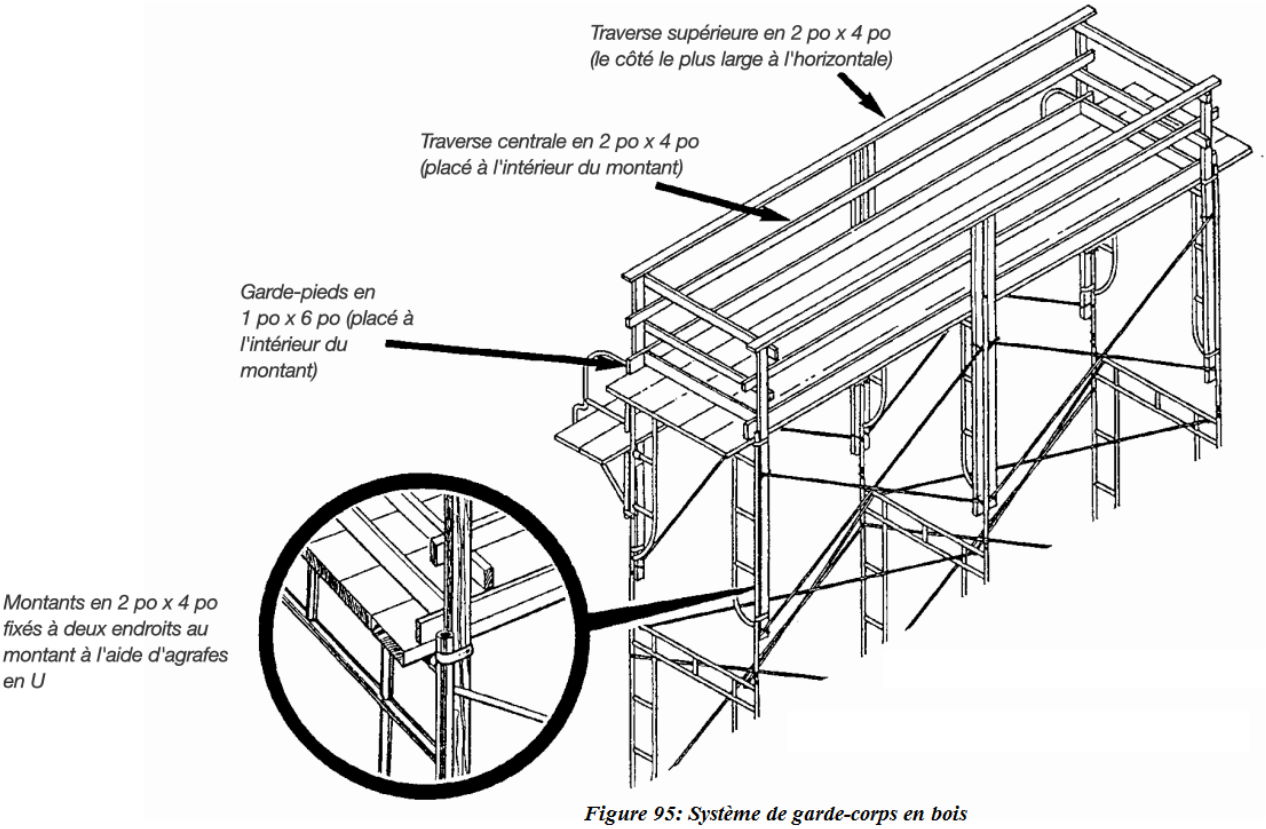


Figure 95: Système de garde-corps en bois

3. CHOIX D'UN ECHAFAUDAGE

Le choix du matériel d'échafaudage se fait en fonction de la nature du chantier et des besoins, des contraintes du chantier et des aspects ergonomiques.

Le matériel doit être conforme aux normes en vigueur.

Sur la structure d' échafaudage, les éléments utilisés doivent être de même type et de même marque.
L'état du matériel utilisé doit être vérifié. Les planchers devront être sensiblement horizontaux.
L'échafaudage doit être monté et démonté par du personnel qualifié, différents points sont à vérifier pour la prévention des risques.

4. CLASSIFICATION DES ECHAFAUDAGES

On distingue : les échafaudages horizontaux, les échafaudages verticaux, les échafaudages en bascule ou en porte à faux, les échafaudages volants.

4.1 Les échafaudages horizontaux

Sous cette dénomination on englobe tous les échafaudages ne comportant pas de montants verticaux, donc un seul plancher :

4.1.1. Les échafaudages sur tréteaux :

En bois ou métalliques, ils peuvent prendre une certaine importance si les tréteaux utilisés sont métalliques à hauteur réglable. Ils peuvent atteindre une hauteur de 2 mètres et dans ce cas prévoir des garde-corps et des plinthes pour la sécurité.

4.1.2. Les échafaudages intérieurs :

Réalisables sur des traverses en bois supportées par des étais ou mieux sur des chevalets à crémaillères à hauteur variable, ils constituent une plateforme de travail pouvant occuper toute la surface du local.

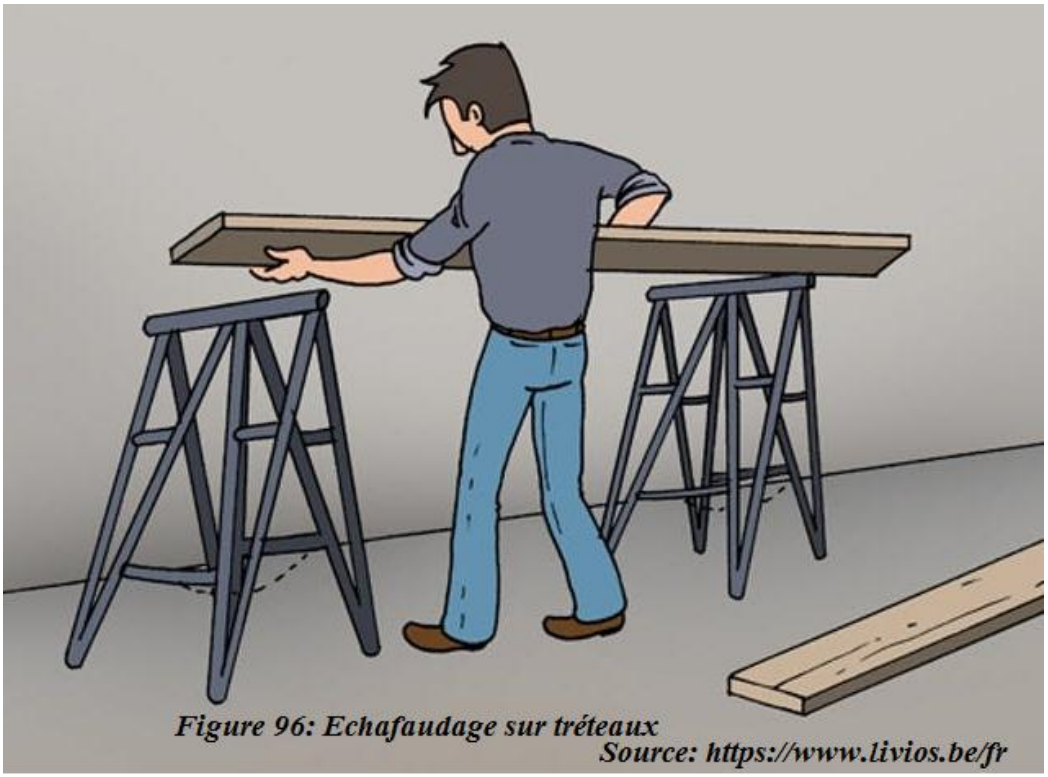


Figure 96: Echafaudage sur tréteaux
Source: https://www.livios.be/fr

4.2 Les échafaudages verticaux

Ils sont composés de plusieurs planchers superposés et sont utilisé pour la construction des murs ou les ravalements de façade.

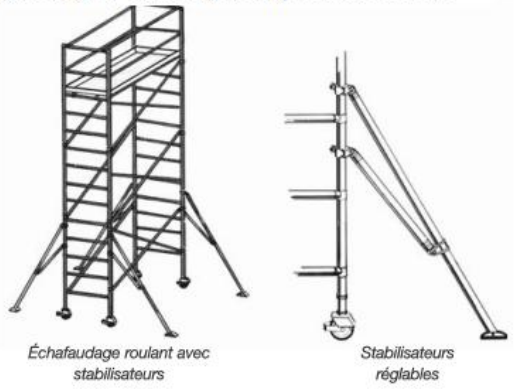
Quel que soit le type adopté il devra respecter un certain nombre d'exigences :

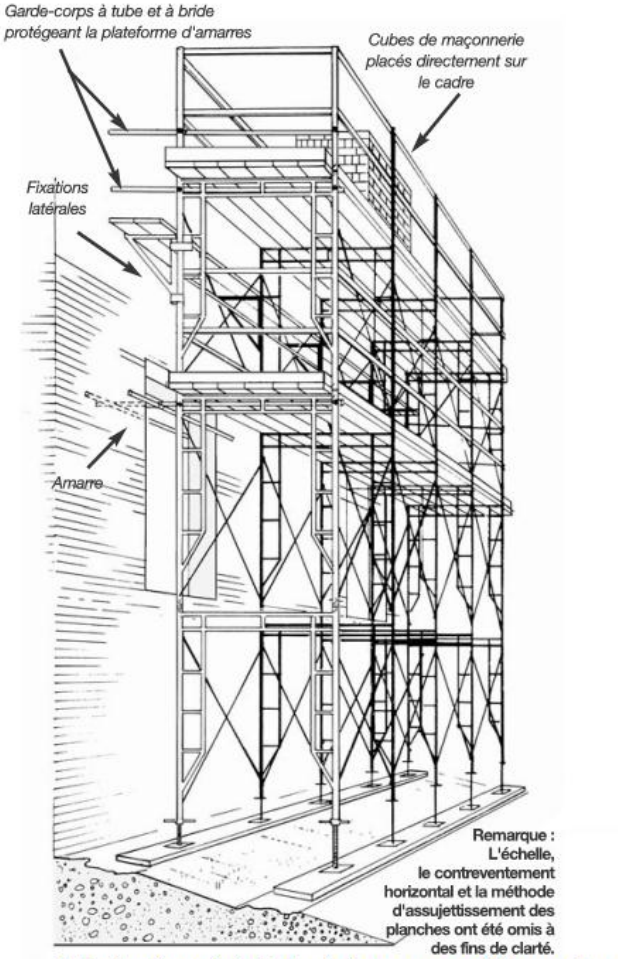
- ☞ Hauteur entre planchers entre 1.75 m et 2 m environ ;
- ☞ Garde-corps obligatoires et fixés solidement à 0.45 m et 1 m au-dessus du plancher ;
- ☞ Les plinthes doivent avoir une hauteur minimale de 0.15m ;
- ☞ Les auvents sont parfois obligatoires (voies publiques, passages, immeubles voisins).

On y rencontre :

- ☛ Un rang d'écoperches (boulins scellés au mur) ;
- ☛ Un rang d'écoperches (sur consoles) ;
- ☛ Deux rangs d'écoperches (indépendant du mur) ;
- ☛ A éléments standards (échafaudages tubulaires).

Echafaudage à un rang d'écoperches en bois





Echafaudage tubulaire à deux rangs d'écoperches

Figure 97: Echafaudages verticaux

Ils sont utilisés pour les façades, étaiement des planchers et voutes, portique roulant en entretien ou levage (Echafaudages tubulaires).

4.3 Echafaudages en bascule

Ils sont construits chaque fois :

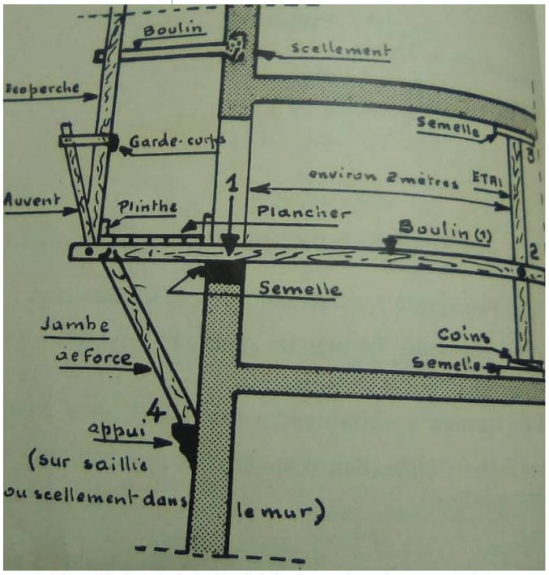
- Qu'il est impossible de prendre appui sur le sol,
- Que les travaux sont à grande hauteur,
- Que l'on voudrait éviter de réaliser un échafaudage vertical encombrant.

Leur mise en œuvre exige une maitrise du domaine et un choix judicieux du matériel (surtout s'il s'agit du bois). On doit être rigoureux en ce qui concerne les assemblages des bois, les blocages en pied, …

Figure 98: Echafaudages en porte-à-faux

Pour leur montage, on se sert le plus souvent des ouvertures pour lancer les pièces de bois en bascule. La partie se trouvant à l'intérieur est solidement fixée à un étai coincé entre le plancher et le plafond de la pièce. Prévoir sous la partie en bascule une jambe de force qui prend appui sur une saillie du mur, ou dans un trou creusé sur le mur en conséquence. Les garde-corps, les plinthes et l'auvent sont une exigence.

NB : il est possible de superposer plusieurs plancher au-dessus de celui où on a posé l'échafaudage.



1- Point de bascule à surveiller
2. surveiller l'attache ou l'assemblage
3. sous plancher bois, la semelle doit porter au moins sur deux solives
4. s'assurer que la saillie ne va pas lacher au cisaillement par glissement, ou à l'arrachement.

Figure 99: Terminologie d'un échafaudage en bascule ou en porte à faux

4.4 Les échafaudages volants

Ils sont utilisés pour des travaux de réfection ou de réparation effectués en hauteur et ne nécessitant pas l'édification d'un escalier vertical. Les plus connus sont ceux constitués d'une plateforme (plancher) reposant sur des étriers, ceux-ci suspendus à des câbles maintenus solidement à des points résistants de la construction (pièces de charpente, souche de cheminée, …) ou par un dispositif d'ancrage (des chèvres, des potences ou des lancées).

- **Les chèvres** sont utilisées pour supporter des échafaudages volants légers lors de travaux de ravalement d'immeubles à toiture en pente. Les chèvres sont des triangles de bois composés de planches de très bonne qualité (minimum 70 mm x 3 mm de section) se croisant dans la partie haute pour former 2 cornes. Leurs pieds doivent reposer sur une partie solide de la construction par l'intermédiaire de « pattes de recul » en acier comprenant un talon destiné à les maintenir en position.
- **Les potences** sont généralement conçues pour être installées à cheval sur les acrotères. Certaines peuvent se fixer sur des points d'ancrage. Elles doivent comporter :
  - Des éléments assurant leur stabilité (y compris latérale) et répartissant les efforts sur la construction,
  - 2 points d'ancrage pour y accrocher séparément le câble de levage et le câble du dispositif antichute,
  - 1 point d'ancrage pour relier la potence à un point solide de la construction.
- **Les lancées** sont des poutrelles placées en porte-à-faux sur le bord des terrasses. Elles sont généralement stabilisées par un lest, cependant elles peuvent également être fixées à un point d'ancrage. Les lancées doivent comporter, comme les potences, 2 points de fixation pour les câbles de levage et de parachute.

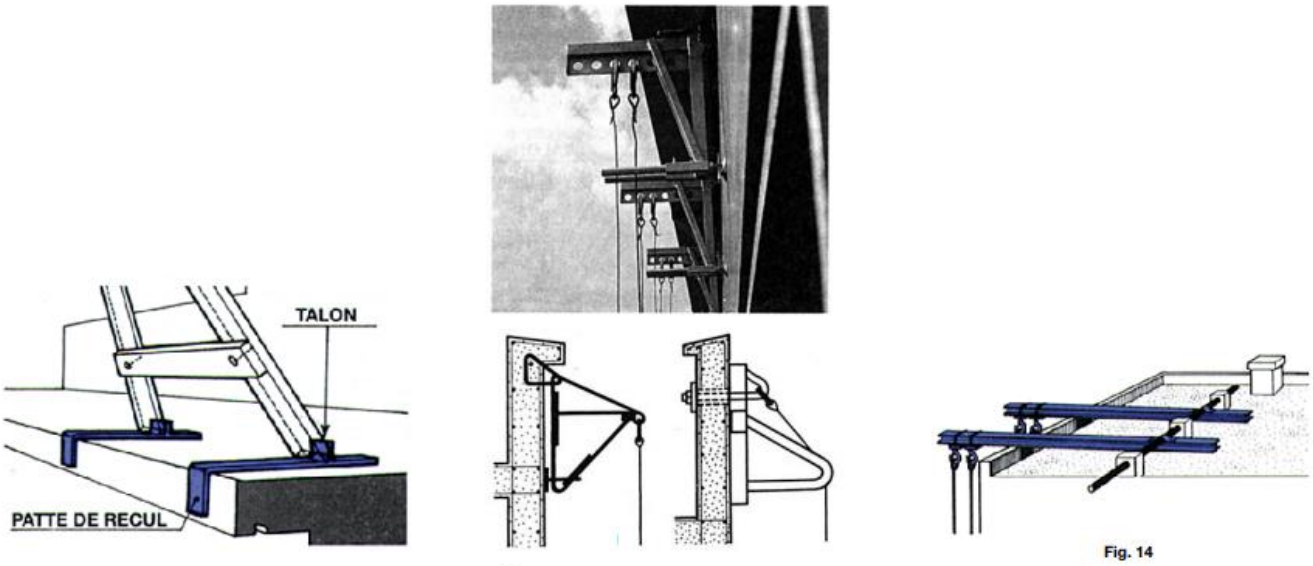
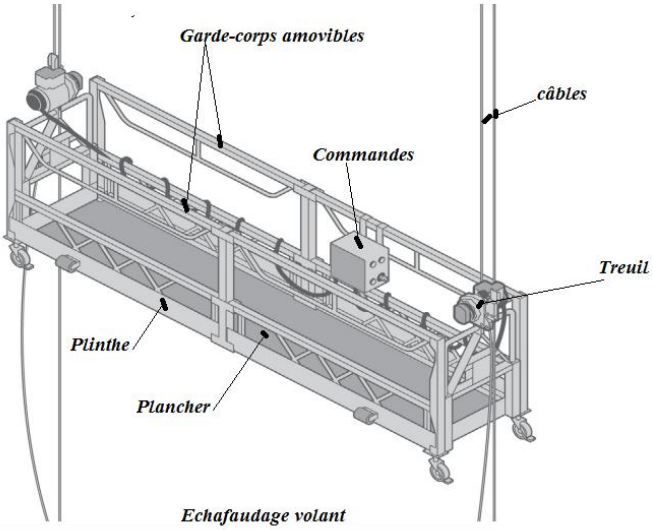


Figure 90': les dispositifs d'ancrage pour échafaudage volant

Le réglage de ce type d'échafaudage se fait au moyen des câbles et des palans ou treuils et assuré par les ouvriers eux-mêmes. Les diverses règles de sécurité doivent être

rigoureusement respectées (Garde-corps, plinthes, …). S'assurer que l'échafaudage ne va pas trop balancer ou trop s'écarter du mur.

Echafaudage volant modulable



Echafaudage volant

Figure 100: Echafaudages volants (source https://www.fixator.fr/

Ces dernières années sont aussi apparues d'autres échafaudage assimilables au type volant, notamment les plateformes se déplaçant le long d'un mat et les échafaudages à tourelles

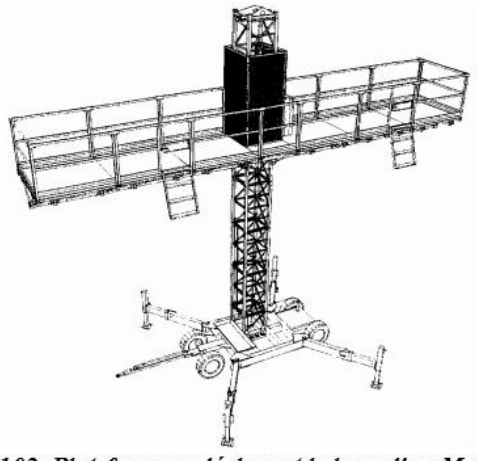


Figure 102: Plateforme se déplaçant le long d'un Mat

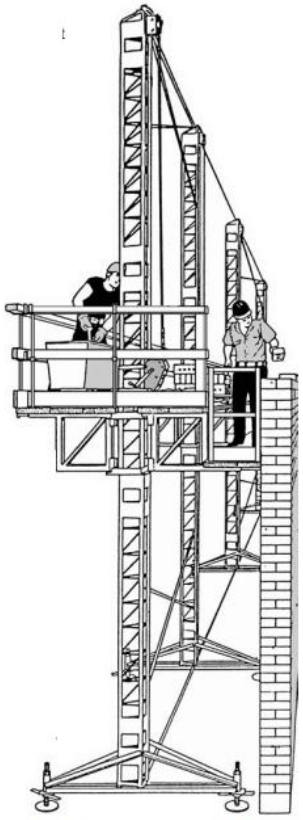


Figure 103: Echafaudage à tourelle

5. LES PRINCIPAUX RISQUES A EVITER

- Renversement ou effondrement de l'échafaudage ;
- Rupture de plancher ;
- Perte d'équilibre d'un travailleur :
  - Pendant le montage et le démontage ;
  - En cours d'accès ;
  - Depuis un plancher.
- Chute de matériaux et de matériels :
  - À la réception ;
  - Depuis un plancher.
- Contact avec une ligne électrique aérienne (du corps ou par l'intermédiaire d'un objet en cours de manutention) :
  - Pendant le montage et le démontage ;
  - Pendant l'utilisation.