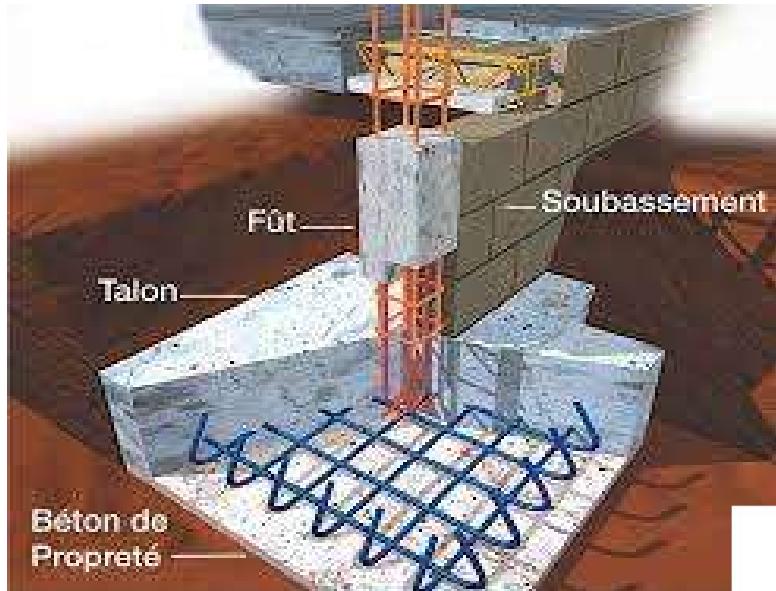


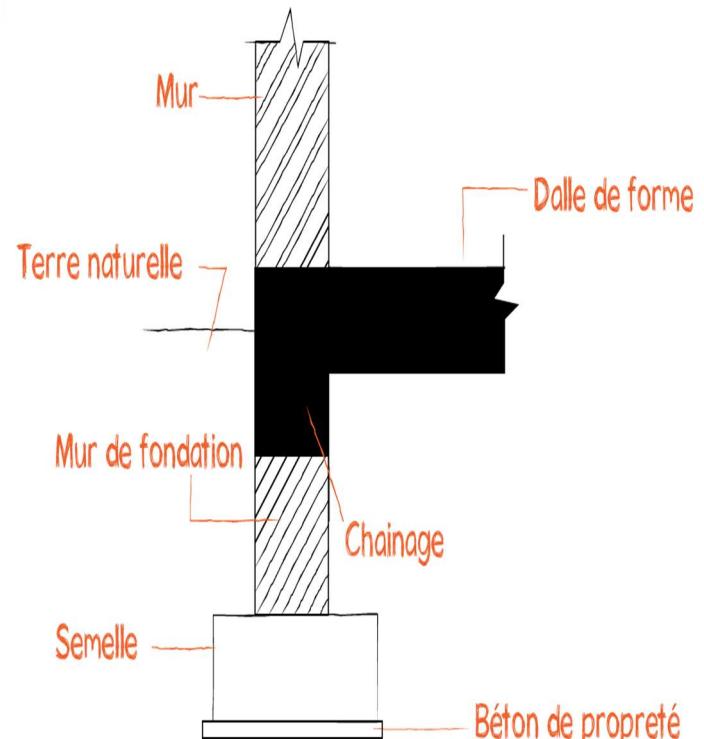
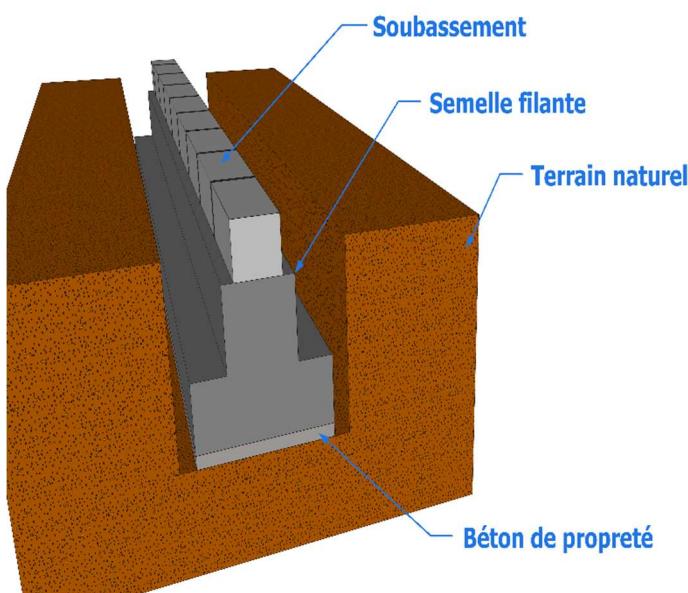
## SUPPORT DE COURS 1ere Année BTS

# TECHNOLOGIE DU BATIMENT



**COUPE SUR FONDATION  
EN LIMITE DE PROPRIÉTÉ**

## BTS \ GENIE CIVIL -BATIMENT



**Auteur :** ADJE MATHAINE  
**Professeur :** Techno Bâtiment  
**mail :** [mathaineadje@gmail.com](mailto:mathaineadje@gmail.com)  
**Mobile :** 07 08 86 04 45

# Avant-propos

Ce fascicule est un support de cours de **technologie du Bâtiment** est destiné :

- D'une part aux Enseignants et surtout aux responsables d'UP qui doivent le considérer comme un document de base devant aboutir à la rédaction d'un manuel scolaire consensuel de référence. Les Professeurs de technologie y trouveront les informations essentielles et qu'ils pourront enrichir par les expériences personnelles pour l'animation de leurs cours.
- D'autre part aux Etudiants de 1<sup>ère</sup> année de BTS - génie civil option Bâtiment qui y trouverons déjà l'essentiel à savoir pour être un bon technicien conducteur des travaux.

Considérant que ce support est le résultat d'un effort personnel de recherche, de rassemblement, de montage et de saisie d'informations, nous invitons les collègues enseignants à y apporter leurs contributions afin de faire aboutir le projet de rédaction d'un scolaire technique ivoirien à la disposition des apprenants, des formateurs et des praticiens.

Ainsi donc renforcer, corriger pour obtenir un document meilleur est notre vœu. Et nous sommes disposés à recevoir toutes vos critiques allant dans le sens de l'amélioration du document.

# Programme

1 <sup>ère</sup> Année		
N°	TITRE DE CHAPITRE Notions – Concepts	CONTENU limites de connaissances
1	<b>PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT du BTP</b>	<p>L'entreprise du bâtiment et de travaux publics</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition</li> <li>- Génie – civil : différence entre le bâtiment et les travaux publics</li> <li>- Organisation interne d'une entreprise : organigramme</li> <li>- différentes professions du BTP et les personnes dans l'entreprise</li> </ul>
2	<b>TERMINOLOGIE DU BTP – G.O ET SO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principaux termes utilisés en BTP</li> <li>- le matériel du BTP : Engins de terrassement ; les engins de fabrication du béton, de transport de matériaux</li> <li>- le gros – œuvre, le second – œuvre</li> </ul>
3	<b>MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET COMPOSANTS DU GROS – ŒUVRE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- les granulats – les liants – les aciers – le bois dans la construction</li> <li>- les mortiers – les bétons – les adjuvants – les agglomérés</li> <li>- les maçonneries : terre stabilisée briquées – pierres – parpaings</li> <li>- le béton armé : définition, principe de fonctionnement dispositions constructives</li> <li>- le béton précontraint : Définition – Principe – Dispositions et prescriptions – Principes généraux d'exécution : Exemple des poutrelles</li> </ul>
4	<b>LA RECONNAISSANCE DU SOL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Principes généraux de la reconnaissance – Objet - Etapes de l'étude</li> <li>- Relations entre les diverses étapes de l'étude</li> </ul>
5	<b>L'IMPLANTATION DU BATIMENT</b>	TECHNIQUES D'IMPLANTATION

# **TECHNOLOGIE DU**

# **BATIMENT**

TECHNO. GROS ŒUVRE ET SECOND ŒUVRE

# LE PROJET DE CONSTRUCTION

Il comporte l'ensemble de l'étude qui permet de réaliser la construction sur le terrain :

- les intervenants dans l'acte de construire
- les documents graphiques ou dessins (divers plans)
- les pièces écrites (devis et cahiers de charges)

## **1. les intervenants dans l'acte de construire**

### **a) le maître d'ouvrage ou le client**

C'est celui qui paye. Il peut être un particulier (cas général pour une maison individuelle), une société, une administration,... Il possède un terrain et ébauche un projet

### **b) le maître d'œuvre ou l'architecte**

C'est celui qui réalise l'étude technique et financière. Il confectionne le dossier d'appel d'offre contenant les plans, le devis descriptif ; il réalise l'étude technique et financière.

Il peut avoir plusieurs types de missions allant de la simple conception jusqu'au suivi de chantier

### **c) L'entrepreneur**

C'est la personne physique ou morale chargée d'exécuter les travaux. Il fournit la main d'œuvre et les matériaux.

## **2. Les plans**

- ***Les plans de situation*** : il permet de situer la parcelle ou le lot par rapport à la voirie
- ***Les plans de masse*** : il précise l'emplacement de la construction dans le lot par rapport aux limites du terrain et des rues
- ***les plans d'exécution*** et ***les plans d'ensemble*** : ce sont les plans fournis par les bureaux d'étude. Ils servent à préciser les travaux par spécialité ainsi que les dispositions constructives nécessaires à l'exécution (plans de détails). Ils comportent : les vues en plan ; le plan de fondation ; les coupes ; les façades...

## **3. les devis**

### **a) le devis descriptif**

Il décrit la nature des ouvrages pour chaque corps d'état (métier). Il définit les matériaux utilisés et précise les techniques de mise en œuvre.

### **b) Le devis estimatif**

Il indique :

- La désignation des ouvrages
- Les quantités d'ouvrages de l'avant métré
- Le prix pour chaque ouvrage

## **4. Les cahiers de charges**

Ce sont les documents qui précisent les conventions du contrat du point de vue technique, administratif (exemple : révision de prix) et juridique (exemple : responsabilité)

En exemple on peut citer :

- ***CCAG*** : cahiers des clauses administratives générales
- ***CCAP*** : cahiers des clauses administratives particulières
- ***CCTP*** : cahier des clauses techniques particulières

# **ENVIRONNEMENT ET TERMINOLOGIE DU BTP**

Le génie civil est l'ensemble des activités conduisant à la réalisation de tout ouvrage lié au sol. Ces activités se partagent en 2 catégories :

- **Le bâtiment** : les ouvrages abritant des personnes ou des biens.
- **Les travaux publics (T.P.)** : les ouvrages permettant la vie des personnes.

La technologie traite de la logique des phases de construction qui s'appuient sur les règles de l'Art autrement dit les normes et documents techniques unifiés (D.T.U.)

## **1. le bâtiment**

C'est un ensemble limité et clos, stable par lui-même et par rapport au sol. Il doit protéger le milieu intérieur des agressions de l'extérieur d'un point de vue thermique, acoustique, lumière, ...

Son rôle est d'abriter des personnes pour un usage déterminé :

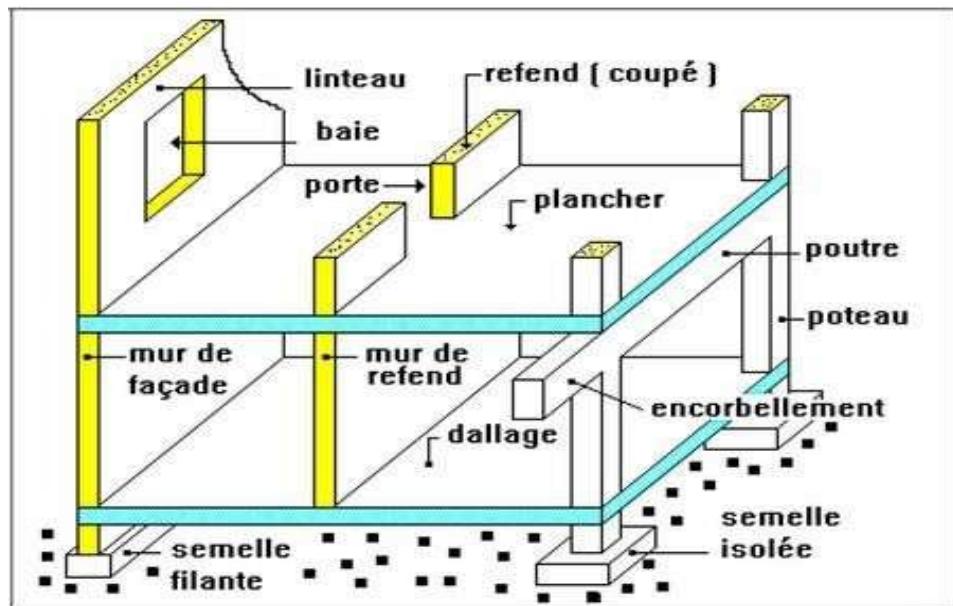
- de logements ou habitats collectifs et individuel
- de bureau
- de magasin
- de lieu de culte
- etc.

Il comprend du point de vue de la construction 2 parties distinctes : le gros œuvre et le second œuvre.

### **a) Le gros œuvre (G.O.)**

Il représente l'ensemble des travaux permettant la mise hors d'eau et assurant la stabilité du bâtiment. Il est divisé en plusieurs lots dont les plus importants sont :

- **Implantation** : elle consiste à matérialiser sur le terrain les lignes principales de la construction. Exemples (les murs de façades, les fondations, les terrassements.)
- **Terrassement** : c'est l'ensemble des travaux permettant de préparer le terrain à recevoir la construction et ses abords (déblais, remblais)
- **Les fondations** : elles transmettent au sol les charges et surcharges du bâtiment. On distingue les fondations superficielles (semelles filantes, semelles isolées, les radiers) et les fondations profondes (les puits et les pieux)
- **Les murs** : ce sont des ouvrages verticaux en maçonnerie, porteurs ou de remplissage. Suivant leur emplacement on distingue : les murs de façade, les murs de refend, murs de clôture.
- **Les planchers** : ce sont des ouvrages horizontaux porteurs qui délimitent les différents niveaux d'un bâtiment. On distingue les planchers dalles pleines, les planchers à corps creux, les planchers avec prédalles...
- **La structure porteuse** : il s'agit de tous les ouvrages porteurs du bâtiment (poteaux poutres...)
- **La charpente** : elle porte la couverture et résiste aux actions du vent. La charpente la plus élémentaire se constitue de pannes qui reposent sur les murs et les chevrons sont ensuite fixés sur les pannes.
- **La couverture** : elle a pour but d'assurer la mise hors d'eau du bâtiment. Dans un bâtiment à étage le dernier plancher porte le nom de toiture-terrasse.
- **Parements et revêtements** : il s'agit de l'habillage des murs qui s'effectuent avec des éléments naturels (granit, schiste..) des éléments artificiels (carreaux) et des enduits traditionnels, ou projetés à la machine
- **Dallages** : ouvrage horizontal en béton ou en béton armé destiné à isoler l'habitation du sol humide ; il constitue une aire de circulation résistante et plane.
- **Assainissement** : c'est l'ensemble des travaux qui permettent l'évacuation des eaux usées (EU) et eaux pluviales (EP)



### b) Le second œuvre

C'est l'ensemble des travaux qui habille et rend fonctionnel le bâtiment, il est, lui aussi, divisé en plusieurs lots :

La menuiserie ; la peinture ; la plomberie ; l'électricité ; le plâtre ; le carrelage ; l'installation sanitaire ; la vitrerie....

## 2. Les travaux publics : T.P

Les T.P peuvent être séparés en 3 grandes catégories :

- Les voiries et réseaux divers (VRD)
- Les ouvrages d'art
- Les routes

Les travaux permettant de réaliser une route comprennent :

- Les terrassements
- La réalisation des chaussées
- La réalisation des ouvrages de drainage

### a) Les Voiries et Réseaux Divers V.R.D

Ces travaux concernent la mise en place des canalisations, de câbles, les réalisations de plate formes, l'éclairage public, la réalisation des trottoirs...

### b) Les ouvrages d'art

Ce sont : les ponts - les barrages -les tunnels - les stades...

## 3. Matériel du BTP

Le matériel est classé en plusieurs catégories :

- les engins de terrassement
- matériel de transport
- matériel de fabrication du béton

**a- engins de terrassements**

DESIGNATION	TACHE	DESCRIPTION
Dozer	Nivellement	Bulldozer : Lame non orientable et perpendiculaire à l'axe de la machine Angledozer : Déplacement latéral des déblais Tiltodozer : Lame pouvant s'incliner sur l'horizontal
Scraper	Nivellement	Engin équipé d'une benne munie à sa partie inférieure d'une lame coupante. En position de chargement, la benne s'abaisse pour mordre le sol. L'aide d'un engin pousseur peut être nécessaire sur des terrains où les pneus n'adhèrent pas bien au sol. En position de chargement, il y a vidange par déplacement du fond de la benne vers l'avant
Chargeur	Excavation	Tracteur sur roues ou sur chenilles, il est équipé d'un large godet à réglage hydraulique à l'avant. Il est utilisé pour la reprise des matériaux et les chargements directs sur camions.
Dragline	Excavation Extraction	Engin sur chenilles, il est utilisé le plus souvent en carrière pour l'extraction des granulats. Certains parcs à granulats sont équipés de draglines pour prendre les granulats
Pelle mécanique ou hydraulique	Excavation	Engin sur roues ou sur chenilles, il sert à faire des tranchées ou rigoles très importants pour des canalisations des tuyaux collecteurs publics (EV-EU) Son équipement est actionné par des vérins hydrauliques. La pelle peut être en retro ou en butée
Niveleuse ou grader	Finition Dressage	La lame s'adapte à toutes les inclinaisons par rapport à son axe de marche et à l'horizontale

## b- engins de fabrication du béton

DESIGNATION	TACHE	DESCRIPTION
Silo à ciment	stockage	Matériel utilisé pour les réserves de ciment en vrac. Utilisé dans les chantiers de grandes importances, il permet d'éviter l'utilisation de sacs de ciment réduisant ainsi les gâchis
Bétonnière	Production	Machine à axe horizontal, vertical et incliné pour la confection du béton sur les chantiers. Il est utilisé dans les centrales à béton.
Malaxeur	Production	C'est une machine à axe verticale qui permet de malaxer le béton. Utiliser dans les centrales à béton
Centrale à béton	Stockage Production	C'est un dispositif installés sur les chantiers de grandes importances pour les grandes productions. Il a une grande capacité de stockage. Il est composé de: Parc à granulats Bétonnières Silos Dragline

### c- engins de transport

DESIGNATION	TACHE	DESCRIPTION	
<b>Grue à tour</b>  	Levage	Engin de levage installé sur le chantier Permet le déchargement et le déplacement des matériels et matériaux	
<b>Elingue</b>  	Accrochage	Matériel fixé à la grue Permet l'accrochage des charges avant levage	
<b>Palonnier</b>  	Porter	Matériel fixé à la grue Permet le transport	
<b>Dumper</b>  	<b>Moto-basculeur</b>  	Transport	Muni d'une benne il transporte tout en vrac : Béton, terre, agrégats, parpaings et l'outillage sur le chantier
<b>Toupie</b>  	Transport	Engin roulant transportant du béton prêt à l'emploi. Il est utilisé surtout pour les commandes de béton sur une distance moyenne.	

# ACIERS POUR BETON ARME

## 1. Production

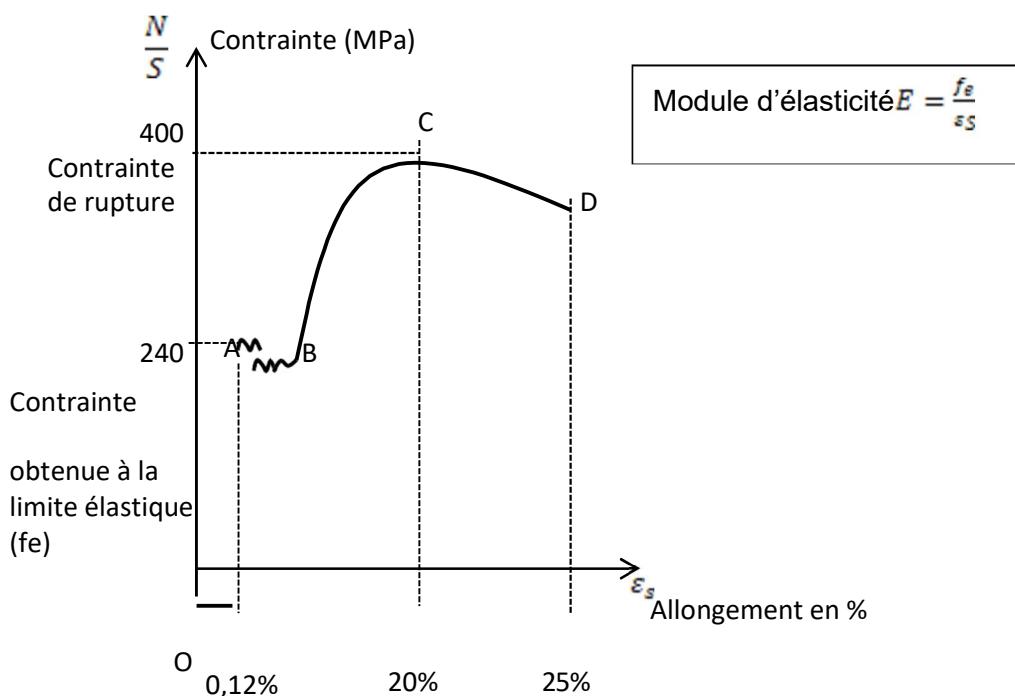
L'acier est un alliage de fer et de carbone. Il est utilisé en construction sous forme de barres de sections circulaires et variables.

La métallurgie de l'acier comporte deux opérations essentielles :

- La production de la fonte par réduction à chaud du minerai au moyen de l'oxyde de carbone
- Transformation de la fonte en acier par décarburation : c'est l'affinage de la fonte.

## 2. Essai de traction d'un acier

- But : connaitre les propriétés mécaniques des aciers employés
- Principe : il s'effectue par l'enregistrement graphique de l'allongement d'une éprouvette normalisée en fonction de la charge.



### DIAGRAMME DE TRACTION D'UN ACIER

La partie OB correspond à la période de déformations élastique

- Les allongements sont proportionnels aux charges.
- Si l'effort cesse. Le barreau reprend sa forme initiale

Le point B marque la fin de la période élastique. La contrainte correspondante est appelée contrainte limite élastique ( $f_e$ ).

La partie de courbe BCD correspond à une période de déformations permanentes

- Les allongements ne sont plus proportionnels aux charges
- Si l'on supprime la charge l'éprouvette conserve un allongement

### Résultat de l'essai de traction

L'essai de traction permet de définir plusieurs grandeurs caractéristiques de l'acier utilisé :

- La limite d'élasticité ( $f_e$ )
- Le module d'élasticité ( $E_s$ ) généralement  $E=200000MPa$

**N.B :** le critère mécanique de base dans les calculs est la limite d'élasticité ( $f_e$ )

### a) les aciers utilisés dans les ouvrages en béton armé

On distingue suivant leurs caractéristiques :

- Les ronds lisses
- Les aciers à haute adhérence
  - Les barres H.A
  - Les treillis soudés

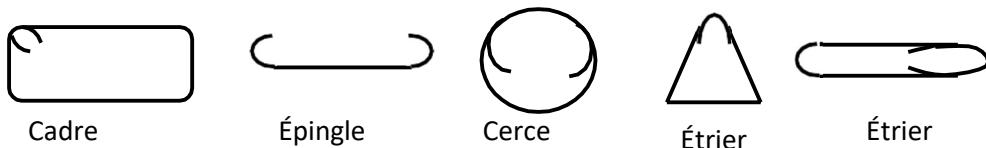
#### a) **Les ronds lisses**

- Forme de leurs surfaces : aucune aspérité, c'est pourquoi ces aciers sont appelés ronds lisses
- Mode de production : ils sont obtenus par laminage à chaud d'un acier doux
- Limite d'élasticité : elle est de
  - 215MPa pour l'acier désigné par FeE215
  - 235MPa pour l'acier désigné par FeE235

Dans la désignation 4 Ø10 :

- 4 : nombre de barres
- Ø : nuance rond lisse
- 10 : diamètre de la barre en mm

En raison de leur faible limite d'élasticité, les ronds lisses sont utilisés pour la confection des cadres, des épingle, des cercles et des étriers



#### b) **L'acier à haute adhérence**

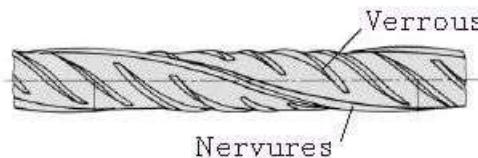
- Forme de leurs surfaces : elle présente des aspérités ou reliefs tels que verrous, créneaux, nervures, etc., afin d'améliorer l'adhérence acier-béton.

On distingue différents types d'acier à haute adhérence

- Aciers naturels
- Aciers écrouis
- Les treillis soudés

La limite d'élasticité est de :

- 400MPA pour l'acier désigné par FeE400
- 500MPa pour l'acier désigné par FeE500



#### b) les treillis soudés

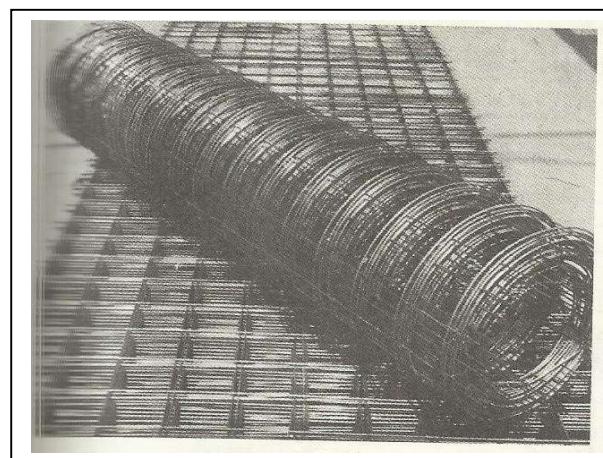
Ils sont obtenus à partir d'acier doux écrouis par tréfilage. Les fils ou barres sont soudé mécaniquement pour former des mailles carrées ou rectangulaires.

Les treillis soudés se présentent :

- En rouleaux ( $\varnothing \leq 5\text{mm}$ )
- En panneau ( $\varnothing \leq 12\text{mm}$ )

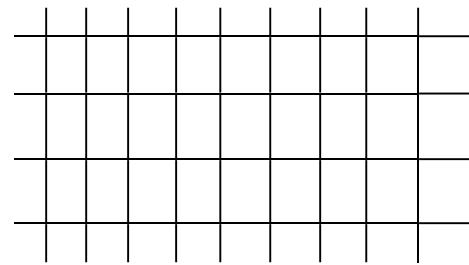
Les espacements entre axes des fils exprimés en millimètre peuvent prendre les valeurs suivantes :

- Pour les fils porteurs : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 200 ;
- Pour les fils de répartition : 50 ; 100 ; 150 ; 200 ; 250,



On distingue deux types de treillis soudés :

- Les treillis soudés lisses désignés par T.S.L
- Les treillis soudés à haute adhérence T.S.H.A



### Désignation sur les plans

Exemple : T.S 7/7 100 x 300 désigne un treillis soudé avec :

- Fils porteurs Ø7 espacés de 100mm
- Fils de répartition Ø7 espacé de 300mm

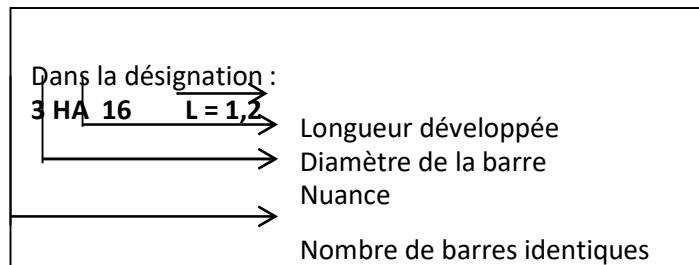
En pratique, sur les plans de béton armé on porte simplement la référence du panneau ou du rouleau

Exemple 3 P 600 L=2,20m

3 : nombre de panneaux

P 600 : désignation du panneau

L : longueur de fils porteurs



### c) L'armature

C'est un assemblage par soudure ou attaches, constitué par des barres ou fils d'acier.

- suivant leur position on distingue :
  - Les aciers principaux placés dans le sens longitudinal
  - Les aciers transversaux placés dans le sens transversal
- Suivant leur rôle, on distingue :
  - Les aciers placés suivant la petite portée
  - Les aciers de répartition dans le sens perpendiculaire

### d) Tableau de caractéristiques des aciers

Acier	Désignation	Limite d'élasticité	utilisation
Ronds lisses	Fe E 215	215	Cadres et étriers des poutres et des poteaux
	Fe E 235	235	
Acier H.A	Fe E 400	400	Tous travaux de béton armé
	Fe E 500	500	
Treillis soudés	T.S.L (lisse)	500	Radiers ; voiles ; planchers ; dallages
	T.S.H.A	500	

### e) Les diamètres disponibles dans les types d'acières

	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	7	8	9	10	12	14	16	20	25	32	40
Barres Ronds lisses et H.A							•		•		•	•	•	•	•	•	•	•
Treillis soudés (Ronds lisses)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							

# LES GRANULATS

## 1. Définition

Sous le vocable de « granulats » ou « agrégats », on désigne les matières minérales inertes utilisées pour la confection des bétons et des mortiers. Ce sont : les sables ; les gravillons, les cailloux et pierres cassées.

La classe granulaire indique les limites en dimension d'un granulat. Exemple la classe 5/15 : 5mm est le diamètre du plus petit élément et 15mm est celui du plus gros granulat

Le terme granulat, au singulier, désigne un ensemble de grains d'un même type, quel que soit le critère de classification utilisé. Le terme granulats, au pluriel, sera utilisé pour désigner un mélange de grains de divers types.

## 2. Les types de granulats traditionnels

Pour ce type de granulats, il faut distinguer deux catégories :

### - **Les granulats naturels dit roulés**

Ils proviennent de la désagrégation naturelle des roches :

- sédimentaires : calcaires, silico-calcaire
- métamorphiques : grès dure
- magmatiques : sable ; gravier

sous l'effet de l'eau, du vent,...

Ce granulat dit "Roulé", est obtenu par criblage et lavage des matériaux alluvionnaires, généralement de forme arrondie.

### - **Les granulats concassés**

Le granulat dit "Concassé" est obtenu par concassage de roches éruptives ou sédimentaires, généralement de forme plus ou moins anguleuse.

#### a) **Les sables**

	Types de sables	Origines	caractéristiques
Sables	sable roulé ou alluvionnaire	Rivière ou fleuve	Sable propre Absence de grains fins
		Carrière	Présence d'argile, de limons et de restes organiques
		Mer	Présence de sels
	Sable concassé	Broyage mécanique de pierre naturelle	Prédominance de gros grains et présence de fines

#### Remarques

- il est préférable de rincer le sable de mer à l'eau douce car il contient des sels qui ne sont pas néfastes mais qui peuvent provoquer des efflorescences.
- Le sable doit être exempt d'argile, de limon, de matières végétales. Au besoin on pourra mélanger diverses sortes de sable afin d'améliorer sa granulométrie.

#### b) **les gravillons ou graviers**

Le gravier provient soit du dragage des rivières, soit de l'extraction de carrière de gravier.

On distingue selon leur provenance :

- les gravillons roulés ou naturels : formes et surfaces arrondies
- les gravillons concassés : présentant un aspect anguleux et des arêtes.

Les s gravillons ne doivent pas contenir d'impuretés et la dimension des grains doit être adaptée au travail.

**Remarque :**

- les mélanges d'éléments anguleux tels que ceux provenant du concassage ont une compacité moindre que celles d'éléments arrondis et leur serrage est moins facile.
- La forme arrondie des grains favorise la compacité et la mise en œuvre ;

	Types de sables	Origines	caractéristiques
graviers	graviers roulés ou alluvionnaire	Cribleage et lavage des matériaux alluvionnaires	Formes arrondies Présence d'argile, de limons et de restes organiques
	Graviers concassés	Broyage mécanique de pierre naturelle	Présence de sels Prédominance de gros grains et présence de fines

**3. Classification des granulats**

APPELLATION		Ouverture des mailles en mm)
<i>Pierres cassées et cailloux</i>	<i>Gros</i>	50 à 80
	<i>Moyen</i>	31,5 à 50
	<i>petit</i>	20 à 31,5
<i>gravillons</i>	<i>Gros</i>	12,5 à 20
	<i>Moyen</i>	8 à 12,5
	<i>Petit</i>	5 à 8
<i>sables</i>	<i>Gros</i>	1,25 à 5
	<i>Moyen</i>	0,31 à 1,25
	<i>Petit</i>	0,08 à 0,31
<i>Fillers ou farines</i>		Inférieur à 0,08

**4. Granularité**

Un béton ou un mortier nécessite un mélange de catégories de grains différents en grosseurs et en quantité.

**a) Granularité continue**

La granularité est dite continue si toute la population de grains est représentée ; fins, moyens, gros.  
*Avantage* : meilleure ouvrabilité

**b) Granularité discontinue**

La granularité est dite discontinue si une partie de la population de grains est absente.

*Avantage* : les petits grains s'intercalent entre les gros sans les écarter.

**5. Recommandation pratique**

La meilleure compacité (moins de vides) des granulats s'obtient par le mélange

*1/3 d'éléments fins ; 2/3 d'éléments gros*

Pour un béton les proportions sont les suivantes : *35% de sable 0/5 et 65% de gravillons 5/25*

# LES LIANTS HYDRAULIQUES :

## LES CIMENTS ET LES CHAUX

### 1. Généralités

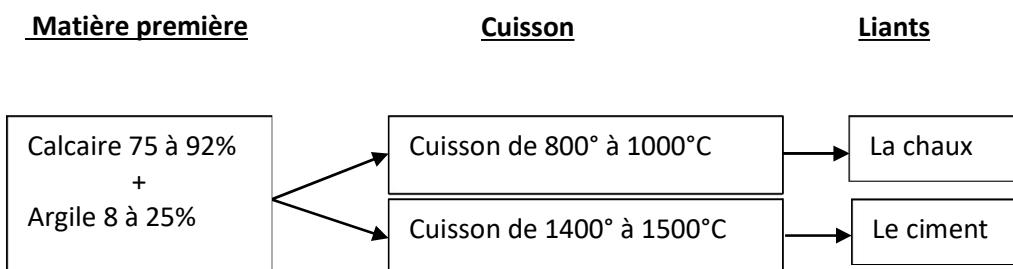
#### a) **Définitions**

Les liants hydrauliques sont des poudres minérales qui permettent de réaliser avec des granulats et de l'eau, les mortiers et les bétons. Ils forment avec l'eau une pâte qui fait prise et qui durcit progressivement même sous l'eau.

Ce sont les ciments et les chaux.

#### b) **Obtention du liant.**

La nature du liant obtenu dépend de la proportion et de la température de cuisson



### 2. Les ciments

#### a) **Constituants des ciments**

Le ciment résulte du broyage et de l'homogénéisation de différents composants.

<b>Désignation</b>	<b>rôles</b>
Clinker (K)	Il agit principalement sur la prise et le durcissement du liant
Laitier de haut fourneau (L)	Il permet un faible dégagement de chaleur au cours de l'hydratation des ciments mais augmente la sensibilité à la chaleur et au froid pour la prise et le durcissement
Pouzzolanes (Z)	Il réagit avec l'eau pour former des composés hydratés stables par combinaison avec la chaux
Fillers (F)	-ils accroissent la maniabilité - ils diminuent la perméabilité et la fissurabilité
Gypse	Il régule la prise

#### b) **Désignation des principaux ciments**

<b>Désignation</b>	<b>Notation</b>	<b>composition</b>
Ciment portland artificiel	CPA	95% de clinker + fillers
Ciment portland composé	CPJ	65% et 35% de laitier
Ciment de haut fourneau	CHF	60 à 75% de laitier ; 3% fillers le reste en clinker
Ciment de laitier au clinker	CLK	80% de laitier ; 3% filler Le reste en clinker

**Exemple de marquage**

Ciment portland composé
CPJ 32,5 R
NI.
RC mini=32,5 MPa

- **32,5** : la résistance minimale à la compression à 28 jours en mégapascal (MPa)
- La lettre **R** distingue dans chaque classe, les ciments à résistance élevée au jeune âge

**c) Les classes de résistance**

Les ciments sont repartis en 3 classes : 32,5 – 42,5 – 52,5 ; définies par la valeur minimale de la résistance normale du ciment à 28 jours.

La résistance normale d'un ciment est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours conformément à la norme française NF EN 196-1

Il est fixé une valeur maximale de la résistance normale à 28 jours, comme indiqué dans le tableau

Désignation de la classe	Résistances à la compression		
	à 2 jours	à 28 jours	
	Limite inférieure	Limite inférieure	Limite supérieure
32,5			
<b>32,5R</b>	<b>≥13,5</b>	≥ 32,5	≤ 52,5
42,5	≥ 12,5	≥ 42,5	≤ 62,5
<b>42,5R</b>	<b>≥ 20</b>		
52,5	≥ 20	≥ 52,5	
<b>52,5R</b>	<b>≥ 30</b>		

**d) Les ciments blancs**

La teinte blanchâtre est obtenue grâce à des matières premières très pures (calcaire et kaolin) débarrassées de toutes traces d'oxyde de fer.

Ses caractéristiques sont analogues à celles des ciments portland gris.

**e) Principaux domaine d'utilisation des ciments**

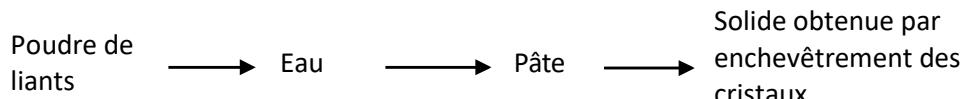
	Ciments	Emplois principaux
ciment portland artificielle	CPA 42,5	Tous travaux B.A
	CPA 42,5 R	Préfabrication B.A pour décoffrage rapide
	CPA 52,5 ou 52,5R	Béton armé Préfabrication Béton précontraint
ciment portland composé	CPJ 32,5	Maçonnerie – béton non armé
	CPJ 42,5	Structure B.A
	CPJ 42,5 R	Structure B.A avec résistances initiales plus élevées
	CPJ 52,5 ou 52,5R	Performances mécaniques
ciment de haut fourneau	CHF 42,5 ou 52,5	Travaux hydrauliques, Souterrains fondations, ouvrages massifs, Piles de pont, barrages, mur de soutènement

### f) Prise et durcissement

En présence d'eau le liant s'hydrate d'autant plus vite que ses particules sont fines

- Pour se dissoudre
- Pour se cristalliser ensuite (formation de cristaux et assemblage de cristaux).

C'est le phénomène physico-chimique de la prise et du durcissement provoqué par la poursuite d'une réaction en chaîne :



La prise est donc caractérisée par le passage de l'état fluide à l'état solide. Ensuite les grains sont liés de plus en plus fermement les uns aux autres par enchevêtrement de cristaux et la pâte acquiert cohésion et entre dans la phase du durcissement.

### 3. Les chaux

On distingue deux types de chaux :

- La chaux hydraulique naturelle : elle est obtenue
  - par calcination d'un calcaire à une température > 900° C
  - par hydratation de l'oxyde de calcium
  - à partir de calcaire contenant 15 à 20% d'argile
- La chaux hydraulique artificielle : elle résulte du broyage simultané de clinker de ciment et de constituants secondaires, généralement des fillers calcaires.

#### a) Les chaux hydrauliques naturelles (XHN)

Elles appartiennent à l'une des 3 classes de résistance 30 ; 60 et 100. Ces classes correspondent à des résistances à la compression minimales à 28 jours exprimées en bars.

Classes	Résistances minimales à la compression en MPa	
	7jours	28 jours
30	1	3
60	3	6
100	5	10

#### b) Les chaux hydrauliques artificielles (XHA)

Elles sont également classées selon leur résistance minimale à 28 jours, exprimés en bars. Elles sont désignées par le symbole XHA suivi de la mention de la classe de résistance (XHA 60).

Classes	Résistance minimale à la compression en MPa	
	7jours	28jours
60	3	6
100	5	10

#### c) Propriétés des chaux

Les chaux sont caractérisés par :

- Leur teinte claire
- Leur prise lente
- Leur faible chaleur d'hydratation (peu de retrait)

#### d) Utilisation des chaux

- En maçonnerie
  - Pose de briques
  - Pose d'agglomérés
  - Pose de moellons
- Enduits extérieurs
  - Enduits intérieurs
  - Enduits décoratifs
  - Enduits au mortier bâtarde
- Travaux de couverture : scellements au mortier de chaux des tuiles de faîte et de rive

#### 4. Tableau indicatif des dosages en liant suivant les travaux

Le choix d'un ciment est influencé par :

- L'obtention des résistances minimales en compression à court terme

Cas de rotation de banches

- La limitation des effets du retrait pour des ouvrages ou la fissuration est à craindre

	Utilisations	Dosage moyen
bétons	Béton armé avec décoffrage accéléré	350kg/m <sup>3</sup>
	Béton armé courant	350kg/m <sup>3</sup>
	Béton non armé ou faiblement fondation	250kg/m <sup>3</sup>
mortiers	Maçonnerie courante	350 kg/m <sup>3</sup>
	pose de briques	400kg/m <sup>3</sup>
	Enduits <ul style="list-style-type: none"> <li>- Couche d'accrochage</li> <li>- Corps d'enduit</li> <li>- Finition</li> </ul>	500 à 600 kg/m <sup>3</sup>
		500 kg/m <sup>3</sup>
		500 kg/m <sup>3</sup>

# LES ADJUVANTS

## **1. Définition**

Ce sont des substances autres que le ciment, l'eau et les granulats, ajoutées au béton, au mortier ou au ciment en vue de changer ou d'améliorer une ou plusieurs de leurs propriétés.

En effet, ces additifs de béton, même s'ils sont habituellement employés en faibles dosages (en général moins de 2 % de la masse du ciment, sauf dans le cas des adjuvants inertes) peuvent changer considérablement la caractéristiques du béton plastique et du béton durci. Toutefois l'utilisation d'adjuvants dans le béton entraîne généralement une augmentation du coût de celui-ci ; on devrait toujours comparer ce coût additionnel avec celui qu'entraînerait une correction dans le processus de mise en œuvre et de mûrissement, en vue d'améliorer les mêmes propriétés du béton

## **2. Rôle des adjuvants**

Les adjuvants sont toujours incorporés dans la masse et leur emploi, qui nécessite des dosages précis, ne peut être envisagé que sur des chantiers disposant de moyens suffisants pour assurer un contrôle rigoureux.

Il ne faut pas les considérer comme des palliatifs destinés à remédier à une mauvaise exécution, mais comme agents susceptibles d'améliorer les qualités d'un bon béton.

Leur action est :

- soit mécanique, en modifiant la consistance du mélange.
- soit physique, en agissant sur la tension superficielle des composants.
- soit chimique, en modifiant la vitesse de prise des liants

## **3. Les différentes catégories d'adjuvants**

Le critère permettant leur classement est le résultat de leur action et l'on distinguera :

### ***- Les plastifiants :***

Comme son nom l'indique, le plastifiant peut être soit des poudres ou farines très fines qui a pour rôle essentiel d'améliorer la plasticité du béton et par conséquent de faciliter sa mise en place.

Certains plastifiants permettent de réduire la quantité d'eau de gâchage ce qui entraîne une amélioration des résistances du béton.

On peut citer par exemple : la chaux grasse, la bentonite, les pouzzolanes très fines ; employés à raison de 2 à 3 % du poids du ciment.

Ils peuvent aussi être utilisés pour la fabrication de bétons de haute résistance, ces bétons ont un affaissement normal mais leur teneur en eau est sensiblement réduite.

### ***- Les fluidifiants :***

Ils facilitent le mouillage des grains de sable et de ciment et diminuent leur tendance à s'agglutiner les uns aux autres. Cela facilite la mise en œuvre tout en permettant une réduction de l'eau de gâchage, ce qui augmente la résistance du béton.

Les fluidifiants sont souvent à base de ligurien (extraite du bois) ; les dosages d'emploi varient de 0,5 à 1% du poids du ciment.

Certains fluidifiants ont un effet retardateur de prise, il est alors nécessaire de veiller particulièrement à la dose prescrite et à la bonne répartition du produit dans la masse.

### ***- Les entraîneurs d'air :***

Ils facilitent la formation de fines bulles d'air reparties dans la masse du béton. Ce qui améliore la plasticité du béton, la résistance au gel et diminue les risques de ségrégation pendant le transport

Les entraîneurs d'air sont en général à base de résines ou d'huiles et se présentent sous forme de poudre ou de solutions à mélanger à l'eau de gâchage. Le dosage à employer est faible et se situe entre 0,1 et 0,5% du poids du ciment. Il est préférable d'en préparer d'avance, en solution bien homogénéisée, par grandes quantités (200 litres par exemple).

**- *Les retardateurs de prise :***

Ce sont des produits qui permettent d'allonger la période de temps durant laquelle le béton reste plastique et maniable. On peut citer les phosphates, les sulfates (en particulier le gypse ajouté au ciment au stade de sa fabrication) et les sucres connue retardateur.

Les principaux usages des retardateurs sont les suivants :

- Pour des bétons mis en place par pompage, ou transportés sur des longues distances.
- Pour des ouvrages où l'on désire éviter l'affaiblissement par les reprises de bétonnage.
- Pour le bétonnage par temps chaud ou en grande masse,
- En surface de certains panneaux préfabriqués, pour permettre le délavage de la couche superficielle de ciment et laisser apparaître les agrégats, dans un but décoratif.

L'emploi des retardateurs est particulièrement délicat, car leur dosage doit être très précis et très homogène ; un excès localisé de produit peut en effet arrêter la prise.

**- *Les accélérateurs de prise :***

Ils augmentent la vitesse de prise et de durcissement du béton. Les adjuvants accélérateurs de prise peuvent être employés avantageusement dans plusieurs cas, par exemple, vouloir réduire la durée de mûrissement d'un béton soit pour permettre l'enlèvement des coffrages plus tôt, soit pour accélérer la mise en service de la structure. Une autre utilisation

**- *Les antigels :***

Ce sont des adjuvants complexes qui font fonction à la fois de plastifiants, des entraîneurs d'air et des accélérateurs de durcissement (ou de prise). Ils permettent de bétonner dans les meilleures conditions possibles en période d'hiver.

**- *Les hydrofuges de masse ou de surface:***

Ce sont des poudres ou des liquides qui confèrent aux bétons et mortiers, des propriétés anti-mouillantes, s'opposant ainsi à la pénétration de l'eau dans les pores. Ils sont à base de sels minéraux et de savons ou d'albuminoïde ou de protéines.

Les hydrofuges de masse, lorsqu'ils possèdent des propriétés plastifiantes ou lorsqu'ils sont associés à des plastifiants, conduisent également à une augmentation de la compacité et par conséquent à une diminution des perméabilités à l'eau.

**- *autres adjuvants :***

En utilise quelque fois des colorants dans le béton ou le mortier pour leur donner une teinte particulière, à cette fin, on emploie habituellement des pigments minéraux en fine poudre (oxydes et autres sels de cuivre, fer, cobalt, ...etc.).

Les agents adhésifs permettent d'améliorer considérablement l'adhésivité d'un nouveau béton à un ancien. Les produits, à base de latex ou de résines polymères, sont particulièrement utiles lorsqu'on effectue des travaux de réparation

#### **4. Emploi d'adjuvants**

Il convient de suivre scrupuleusement les indications données par le fabricant de l'adjuvant. Car il peut se faire qu'une certaine dose fournit des résultats favorables, une dose plus forte entraîne une diminution de la qualité du béton.

#### **5. Normes et dosage**

La majorité des adjuvants pour béton viennent sous forme liquide, soit à l'état d'émulsion, cela permet une meilleure dispersion de l'adjuvant à travers le mélange, et par le même fait même, une meilleure homogénéité du béton. Le malaxage doit être assez long pour permettre la dispersion du produit et l'homogénéité du mélange.

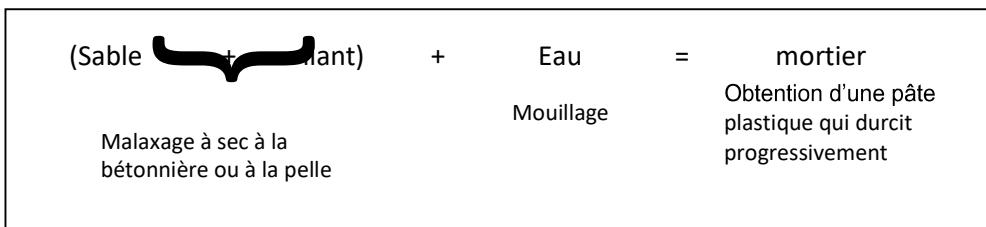
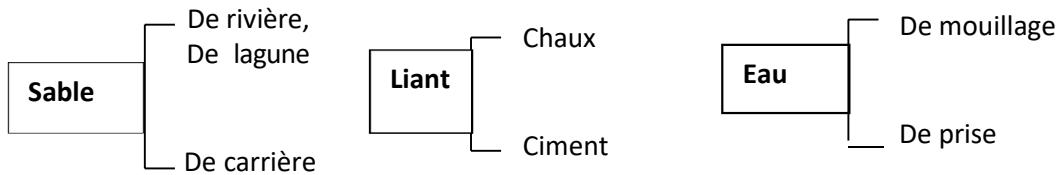
La façon de doser les adjuvants est généralement fonction de la nature de ceux-ci, les adjuvants minéraux employés en poudre sont dosés par masse. On exprime alors le dosage en kilogramme d'adjuvants par mètre cube de béton à produire. On dose les adjuvants liquides par volume et on exprime habituellement le dosage en millimètres par 100 kilogrammes de ciment.

# MORTIERS HYDRAULIQUES

Les mortiers servent surtout à la réalisation des maçonneries, des enduits et des chapes)

## 1. Constituants des mortiers

Un mortier est constitué par le mélange de :



Le mortier peut recevoir des produits d'adaptation éventuels. Ces produits confèrent aux mortiers des qualités spécifiques et sont constitués par des:

- Plastifiants et entraîneurs d'air pour faciliter la mise en œuvre
- Hydrofuges pour réduire la pénétration d'eau
- Colorants pour obtenir une teinte désirée après le durcissement

## 2. Rôles des mortiers

- Assurer la liaison des éléments constitutifs des murs
  - Agglomérés en béton
  - Briques pleines ou creuses
  - Moellons de granit
- Transmettre les charges par les joints verticaux, horizontaux des murs porteurs
- Assurer la protection contre les intempéries par les enduits extérieurs ;
- Protéger des infiltrations d'eau et de l'humidité par
  - Enduits sur murs de sous-sol
  - Arase étanche
- Rendre les fosses ou cuvelage étanches en utilisant un adjuvant (hydrofuge) dans le mortier destiné aux enduits
- Niveler les surfaces de béton par réalisation de chapes sur dallages ; planchers ;

## 3. Les types de mortier

On distingue en CI :

### a) **Suivant le lieu de fabrication**

- **Les mortiers de chantier** : Ils sont réalisés par l'entreprise directement sur le site
- **Les mortiers frais retardés** : Ce sont des mortiers prêts à l'emploi, livrés sur chantier par centrales à mortier et béton

### b) **Suivant le liant utilisé**

Dans les travaux publics on utilise différents types de mortier:

#### - **Les mortiers de ciment**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est

environ 0,35. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables.

### - **Les mortiers de chaux**

Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment (gras et onctueux). La durée du durcissement des mortiers de chaux est plus lente que pour les mortiers de ciments.

### - **Les mortiers bâtards**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux. Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales, mais des fois on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

Plus de chaux : plus grande plasticité

Plus de ciment : plus grande résistance

## 4. **Les principales caractéristiques des mortiers**

### a) **L'adhérence**

L'adhérence ou résistance à l'arrachement dépend de la rugosité du support et des dosages en liant, granulats et eau ;

### b) **La compacité**

Elle favorise la résistance à la compression et à l'imperméabilité ; elle dépend essentiellement de la proportion grains fins et gros grains utilisé et du dosage en liant.

### c) **L'ouvrabilité**

C'est la facilité d'emploi des mortiers par application manuelle ou mécanique

### d) **La résistance**

La résistance aux intempéries (pluie, chaleur) et la durabilité du produit durci.

### e) **Retrait**

Pendant leur prise, puis leur durcissement, les mortiers de ciment subissent un certain raccourcissement de leurs dimensions c'est ce qu'on appelle le retrait.

L'importance du retrait est en rapport avec :

- **Le dosage** : Un dosage excessif (mortier trop gras) accentue le retrait et de là, la fissuration.
- **La quantité d'eau de gâchage** : Celle-ci joue un très grand rôle dans la qualité d'un mortier.
- **La qualité du liant** :

Un super ciment fait un retrait plus important qu'un liant dont la résistance mécanique est de 160 à 250 bars. C'est un tort de délaisser certains liants au profit de ceux dont la haute résistance mécanique n'est pas en rapport avec les contraintes que subiront les ouvrages.

### **Remarque**

Pour les chapes :

- Cas des chapes incorporées : elles sont constituées par un mortier fin appliquée en faible couche (0,5 à 1cm) sur la surface d'un béton vibré, en phase de coulage et après dressage de la surface. Il en résulte une parfaite adhérence, la couche de mortier fait corps avec le béton.

- Cas des chapes rapportées : elles sont constituées par une couche de mortier de 3 à 5cm d'épaisseur appliquées sur le béton durci. En raison du retrait de la pâte du liant, il y a lieu de favoriser l'adhérence mortier frais sur béton dur par un adjuvant (sikalatex&a)

- Au contraire dans le cas de chapes flottantes, on cherche à désolidariser la chape, d'épaisseur 3 à 6 cm du support porteur.

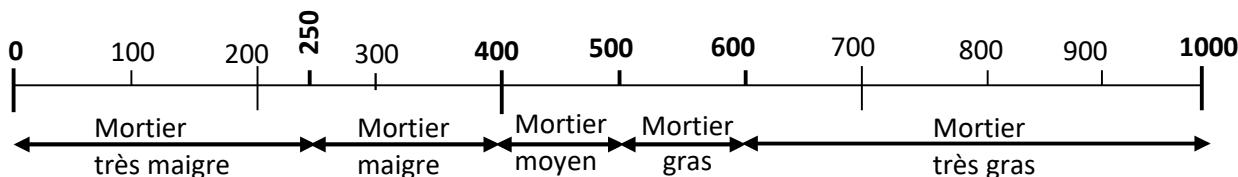
## 5. Classement des mortiers

- Un Mortier est dit gras si le rapport  $\frac{\text{volume de mortier}}{\text{volume de sable}} \geq 1$

**Exemple** : avec 1m<sup>3</sup> de sable et 600kg de liant on obtient plus de 1m<sup>3</sup> de mortier.

- Mortier moyen ou mortier plein  
1m<sup>3</sup> de sable + liant = 1m<sup>3</sup> de mortier

- Mortier maigre  
1m<sup>3</sup> de sable + liant  $\leq$  1m<sup>3</sup> de mortier



<b>mortier</b>	<b>Dosage</b>	<b>Utilisations</b>
Mortier maigre	250 à 400 kg/m <sup>3</sup> de	Mortier pour maçonnerie en élévation (pose de briques, agglos...)
	300 à 350 kg/m <sup>3</sup>	- chape pour revêtement
Mortier moyen	400 à 500 kg/m <sup>3</sup>	- enduit extérieur et intérieur - maçonnerie fortement chargée
Mortier gras ou riche	500 à 600 kg/m <sup>3</sup>	- enduits extérieurs
Mortier très riche	+600 kg/m <sup>3</sup> (CPA ; CPJ ; CLK ; CHF)	- chapes d'usure - enduits étanches - coulis de ciment - rejoints

# LES AGGLOMERES

## 1/- Définition

Les agglomérés sont des produits finis en béton de gravillons ou de mortier de ciment, tassés ou vibrés dans des moules de formes diverses suivant l'élément recherché.

Il résulte de la prise et du durcissement d'un liant mélangé à un granulat. Ils tendent à remplacer la pierre et le banco dans le bâtiment.

### a. Inconvénients du banco

Matériau non stable dans le temps.

Faible résistance en compression

### b. Inconvénients de la pierre

Difficultés de mise en œuvre

Nécessité d'une main d'œuvre qualifiée : Eléments très lourds, Formes quelconques

### c. Avantages des agglomérées

Légère des blocs creux

Stabilité dans le temps

Economie considérable

Possibilité d'industrialisation (Fabrication en série au chantier ou à l'usine)

## 2/- Quelques types d'agglos utilisés

### a. Le géo béton

Réalisé avec du graveleux latéritique, plus 5% de ciment, moulé et tassé dans une presse

### b. Le bloc de béton manufacturé.

Il s'agit d'agglomérés pour maçonnerie (murs et cloisons), de dimensions normalisées pleins ou creux. Les alvéoles allègent les agglomérés et assurent une isolation thermique.

### c. Autres agglomérées

- Les claustras pour clôtures
- Les houdis pour planchers semi-préfabriqués
- Balustres de garde-corps
- Les blocs de béton (dallettes pour caniveaux ou jardins)
- Les carreaux de ciment (ex ; revêtement 20x20)

## 3/- Fabrication- manutention – stockage

Les éléments doivent être fabriqués à l'abri du soleil sous hangar, pour assurer une bonne prise et un durcissement normal. Ils seront arrosés par moments pour parfaire le durcissement ce qui améliore leur résistance.

La manutention du béton frais doit être limitée. Sur le chantier le technicien devra refuser des produits présentant des défauts apparentes (fissures, déformations, arrachements.). Il est déconseillé de stocker les blocs en contact direct avec le sol.

Utiliser des palettes de bois ou un platelage.

# LE BETON

Le béton est préparé soit sur le chantier, soit en centrale à béton. C'est un mélange de :

- Pâte pure (ciment + eau + air)
- Granulats (sables, gravillons et plus rarement de cailloux)
- Produits d'additions éventuels (adjuvant).

Pour être durable, un béton doit:

- être bien composé.
- correctement mis en œuvre.
- protégé des causes possibles d'altération par des dispositions constructives adéquates.

Le béton se différencie du mortier par la présence de granulats de diamètre supérieurs à 5mm naturels ou artificiel.

## 1. Les constituants du béton

### a) Les granulats

Les propriétés requises des granulats sont:

- Etre résistants : résistants à la compression, à l'usure et au cisaillement
- Etre de faible porosité : donner un mélange compact d'où la nécessité d'une bonne granulométrie
- Etre propre : exempt d'éléments argileux ; de surface propre et adhérente

**Granularité continue:** presque toutes les grosseurs de grains sont présentes, la mise en œuvre du béton est généralement facile mais le dosage en liant est plus élevé pour obtenir une même résistance qu'avec un béton à granularité discontinue

**Granularité discontinue :** c'est la plus fréquemment rencontré. Toutes les grosseurs de grains ne sont pas présentes ; les petits grains se logent entre les plus gros sans les écarter.

### b) Les principaux liants

Afin d'obtenir une meilleure résistance, les ciments portlands sont utilisés

- Le ciment portland artificiel : CPA
- Le ciment portland composé : CPJ

Le béton sera d'autant plus résistant que la classe de résistance du ciment utilisé sera plus élevée.

### c) L'eau

Elle est utilisée pour

- l'hydratation du liant ;
- le malaxage des granulats
- Permettre le malaxage et faciliter la mise en œuvre

L'eau utilisée doit être propre c'est-à-dire sans matières en suspension et si possible sans sels dissous (éviter l'eau de mer)

## 2. Avantages et inconvénients du béton

### a) **avantages du béton:**

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien.
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer.
- Il devient solide comme de la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles.
- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint).
- Il convient aux constructions monolithiques. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas de béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité.
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées.
- Il exige peu d'énergie pour sa fabrication.

### b) **Inconvénients du béton:**

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toutes façons, il reste les quelques inconvénients suivants:

- son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de béton légers d'isolation)
- sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux)
- le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage.

## 3. Qualités essentielles du béton

Parmi beaucoup d'autres qualités nous retiendrons l'ouvrabilité et la résistance.

### a) **L'ouvrabilité**

C'est la qualité d'un béton qui permet sa maniabilité en conservant son homogénéité. Sur le plan pratique, cela se traduit par la facilité :

- De mise en œuvre dans les coffrages et d'épouser n'importe quelle forme
- D'enrobage des armatures
- D'obtention d'un parement brut acceptable, qu'il soit dans le plan horizontal ou vertical

La condition d'ouvrabilité est fixée par la plasticité du béton.

### b) **La résistance**

C'est la qualité qui permet au béton de résister aux efforts auxquels il est soumis. Il s'agit de la résistance à la compression et à la traction.

Le béton a une très bonne résistance à la compression. La résistance d'un béton dépend de:

- La qualité du ciment : la résistance à la compression varie proportionnellement avec la classe du ciment
- Le dosage en ciment et en eau (le rapport C/E) : la résistance croît en même temps que le dosage en ciment et décroît avec le dosage en eau

	plasticité	résistance
Eau	→ ↗	→ ↘
Ciment	→ ↗	→ ↗

- ***Le rapport gravier/sable (G/S)***

Principales qualités	constatations	
	G/S élevé par rapport à G/S faible	Granularité continue par rapport à granularité discontinue
ouvrabilité	Un peu moins bonne si $G/S > 2,2$	Moins bonne si $G/S > 2,2$
Résistance à la compression	Meilleur si $G/S > 2,2$	Légèrement supérieure si $G/S > 2,2$
compacité	Légèrement plus élevée si $G/S > 2,2$	Un peu plus élevé

- ***de la mise en œuvre***

- L'influence de la vibration qui favorise la compacité. L'influence d'un béton croît avec sa compacité.
- L'influence de la température : la chaleur accélère la prise et le durcissement des bétons. Le froid allonge la durée de la prise et peut même la stopper.

La résistance caractéristique à la traction du béton à 28jours est conventionnellement définie par :

$$f_{t28} = 0,6 + (0,06 f_{c28})$$

#### 4. **Déformations des bétons**

Dès la fin de la mise en œuvre le béton est soumis à des déformations, même en l'absence de charges.

##### a) **Le retrait**

C'est la diminution de longueur d'un élément de béton. On l'assimile à l'effet d'un abaissement de la température qui entraîne un raccourcissement.

causes et constatations	remèdes
Le retrait avant prise est causé par l'évaporation d'une partie de l'eau que contient le béton. Des fissures peuvent s'ensuivre car le béton se trouve étiré dans sa masse.	Il s'agit de s'opposer au départ brutal de l'eau par : - la protection contre la dessiccation. - l'utilisation d'adjunto ou de produits de cure
Après la prise, il se produit : - Le retrait thermique dû au retour du béton à la température ambiante après dissipation de la chaleur de prise du ciment. On constate une légère diminution de longueur.	Il faut éviter de surdosier en ciment. Les ciments de classe 45 accusent moins de retrait que ceux de classe 55 de durcissement plus rapide.
- Le retrait hydraulique est dû à une diminution de volume résultant de l'hydratation et du durcissement de la pâte de ciment. Le retrait croît avec la finesse de ciment et le dosage.	Le béton aura d'autant moins de retrait qu'il sera plus compact ; ce qui dépend de la répartition granulaire, car un excès d'éléments fins favorise le retrait ainsi que les impuretés (argiles, limons).

**- Estimation du retrait :**

$\Delta l = 3\% \times L$ .  $\Delta l$  : est le raccourcissement.  $L$  : est la longueur de l'élément. Si une corniche en béton armé a une longueur de 15 m, le retrait est de l'ordre de:  $3\% \times 15000 \text{ cm} = 0,45 \text{ cm}$ .

**b) La dilatation**

Puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à  $1 \times 10^{-5}$ , pour une variation de  $\pm 20^\circ\text{C}$  on obtient:  $\Delta l = \pm 2\% \times \text{longueurs}$ . Pour chaînage en B.A. de 20 m de longueur et un écart de température de  $20^\circ\text{C}$ , on a une dilatation de :  $2\% \times 2000 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$ .

**c) Le fluage**

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge de longue durée, le béton se comporte comme un matériau VISCO-ELASTIQUE. La déformation instantanée qu'il subit au moment de l'application de la charge est suivie d'une déformation lente ou différée qui se stabilise après quelques années. C'est ce que l'on appelle le fluage. Le fluage est pratiquement complet au bout de 3 ans.

**d) Elasticité**

Le module d'élasticité  $E$  est défini par le rapport:

$$E = \frac{\text{contrainte unitaire}}{\text{déformation relative}} \quad E_{vj} \approx \frac{1}{3} \text{ de } E_{ij}.$$

Pour les projets courant, on admet:

$E_{ij} = 11\,000 f_{cj}^{1/3}$  (module de déformation longitudinale instantanée du béton) avec  $f_{cj}$  = résistance caractéristique à «  $j$  » jours.  $E_{vj} = 3\,700 f_{cj}^{1/3}$  (module de déformation différée) avec  $f_{cj} = 1,1 f_{c28}$ . Il s'ensuit que

**5. Classification des bétons**

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique:

- Béton très lourd:  $> 2500 \text{ kg/m}^3$ .
- Béton lourd (béton courant):  $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$ .
- Béton léger:  $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$ .
- Béton très léger:  $< 500 \text{ kg/m}^3$ .

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect :

- **Le béton armé** : il est obtenu en associant de l'acier au béton. Cette association se fait selon des règles bien définies.

- **Le béton précontraint** : c'est un béton qui contient des barres d'acières mises en tension soit avant ou après le coulage. Cette tension confère au béton armé des qualités particulières de résistance.

- **Le gros béton** : il arrive que lors de la confection du béton on recourt aux agrégats de dimension supérieur à 25mm (cailloux) dans ce cas le béton fabriqué est un gros béton. Le gros béton peut être légèrement armé ou non

- **Le béton de propreté** : c'est une couche de 5 à 10 cm de béton maigre (dosé de 150 à 200kg/m<sup>3</sup>) que l'on coule sur le sol, avant la semelle de fondation. Il sert à protéger la semelle en béton armé de la terre. Le béton de propreté est exécuté pour tout ouvrage de fondation comportant des armatures au voisinage de sa sous face.

- **Le béton caverneux** : il est fabriqué en utilisant uniquement de gros agrégats que l'on colle entre eux par leurs points de contact, avec la pâte de ciment. Il subsiste alors de grands vides ou caverne. Ils s'opposent à toute remontée de l'humidité par capillarité mais l'aspect caverneux de la surface nécessite un enduit.

- **Les bétons cellulaires** ce ne sont pas des bétons dans le sens véritable de l'appellation mais plutôt des mortiers (absence de gros granulats) le sable peut être naturel ou artificiel. Le mortier

gâché mou est additionné d'un produit générateur de gaz' par exemple de l'aluminium. Ce type de béton est apprécié en usine pour l'exécution de préfabrication.

- **Les bétons lourds** : ce sont des bétons spéciaux, de masse volumique élevée (plus de 2500 Kg/m<sup>3</sup>) surtout utilisés pour la protection contre les radiations émises par les réactions nucléaires et les produits radioactifs. Les agrégats utilisés sont la limaille de fer, les scories de plomb.....

- **Les bétons légers** : ce sont des bétons dont la masse volumique est inférieure à 1800 kg/m<sup>3</sup>. Ils s'élaborent non plus avec des agrégats pierreux mais à partir de matières légères et diverses.

## 6. Etude de la Composition des bétons

### a) dosage

Le dosage est la quantité de ciment contenue dans un mètre cube de béton mis en œuvre. La règle pratique répandue de dosage, définit pour 1 m<sup>3</sup> de béton plein, est de prendre 400 litres de sable et 800 litres de graviers. Cette règle pratique ne tient pas compte de la nature des travaux et de la granularité des matériaux. Le dosage doit être établi pour obtenir une résistance escomptée. La quantité d'eau de gâchage varie trop souvent au gré du savoir-faire du maçon, la nature de ciment, l'humidité du granulat et la consistance du béton à obtenir

. On distingue :

- les bétons maigres dosés à 150 kg/m<sup>3</sup>
- les bétons courants dosés à 350kg/m<sup>3</sup>
- les bétons gras dosés entre 450 et 800 Kg/m<sup>3</sup>

### Remarques

Sur les chantiers, c'est très souvent la brouette qui est utilisée pour le dosage des granulats. De ce fait il est important de connaître la capacité des brouettes utilisées.

Pour un dosage courant (de 350Kg/m<sup>3</sup>) on prendra :

Pour 1 paquet de ciment, 2 brouettes de gravier de 50litres et 1brouette de sable 50litres

### b) Rôle des constituants

Composants	L'ouvrabilité	La résistance
le sable →	augmente	
les gravillons →	diminue	augmente
l'eau →	augmente	diminue
le ciment →	augmente	augmente

## 7. Règles pratiques de mise en œuvre

### a) Le remplissage du coffrage

Pour éviter la ségrégation du béton, le déversement s'effectue au moyen d'un plan incliné, d'une goulotte ou de seaux ; ensuite on utilise selon les dimensions la pelle ou le râteau.

### b) la reprise de bétonnage

Tout coulage de béton devrait s'effectuer sans interruption. Cependant il arrive que l'on soit obligé de reprendre le coulage après un certain temps ; on dit qu'il y a reprise de bétonnage. Cette reprise peut provoquer une chute de résistance en entraînant une apparition de fissure au niveau du joint de reprise.

De ce fait des soins sont à apporter afin de réduire la fissuration :

- repiquer la surface du béton ayant fait prise, afin de la rendre rugueuse et enlever les éléments peu serrés.
- Nettoyer cette surface avec de l'eau sous pression.

- Verser la laitance de ciment ou barbotine sur la surface de contact

Dans les reprises d'éléments en BA : Plus de temps entre les deux coulées entraîne moins d'adhérence entre les deux bétons.

### c) la ségrégation

C'est lorsque dans le béton les granulats les plus gros descendent vers le fond tandis que le mortier et le ciment remontent à la surface.

La ségrégation peut se produire au moment du vidage de la cuve (chute libre trop importante du béton) ou pendant le transport.

La ségrégation détruit

- l'homogénéité du béton
- en diminue la compacité
- provoque des enrobages défectueux
- favorise les fissures

### d) la vibration ou compactage

Une fois coulé dans un coffrage, le béton est vibré ou compacté à l'aide d'aiguille.

L'aiguille vibrante doit être utilisée avec précautions :

- elle doit être introduite verticalement dans la couche de béton frais jusqu'à pénétrer quelque peu dans la couche inférieure pour assurer l'homogénéité.
- Elle doit être remontée lentement et en action.

La vibration provoque le serrage des éléments par augmentation de la compacité et évacuation de l'air emprisonné dans le béton. Elle permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage donc d'augmenter la résistance.

Pour les pièces de peu de volume la vibration s'effectue à la main à l'aide de «coups de marteau » ou par piquage

**Remarques**: une vibration exagérée entraîne une ségrégation du béton.

# LE BETON ARME

## 1. Principes généraux des constructions en béton armé

### a) Le béton

Le béton peut supporter des efforts de compression considérables (15 à 60MPa). Par contre, il résiste mal aux efforts de traction (1,5 à 3,5MPa). Dans les zones tendues, il est exposé à se rompre, aussi la règle consiste à ne pas tenir compte du béton dans les zones tendues dans les calculs.

### b) L'acier

L'acier est aussi résistant en compression qu'en traction. La charge de rupture de l'acier utilisé, le plus faible est de l'ordre de 400 à 500MPa. Cependant dans les cas de compression le béton demeure plus économique que l'acier. Les aciers sont placés dans les zones tendues.

## 2. Principes des constructions

Combiner le béton et l'acier de façon que :

- Les efforts de compression soient équilibrés par le béton
- Les efforts de traction soient équilibrés par l'acier

Cette possibilité de combinaison et d'existence durable est due :

- A l'absence de réaction chimique nuisible entre la pâte de ciment et l'acier ;
- A l'adhérence mutuelle béton-acier permettant la transmission des efforts
- A l'analogie des coefficients de dilatation très voisins ( $12 \times 10^{-6}$ ) ce qui correspond à 12 microns par mètre et par degré.

## 3. l'adhérence

Elle est due à des forces tangentielles de frottement, grâce aux irrégularités de la surface de la barre et à la formation d'une ferrite de chaux.

La condition essentielle de cette association est l'adhérence béton-acier. Cette propriété physique permet :

- La transmission des efforts : le béton et l'acier travaillent ensemble et non séparément. On parle d'une adhérence par entraînement
- Le fonctionnement rationnel des ouvrages en béton armé
- La protection des aciers
- L'ancrage des barres d'acier

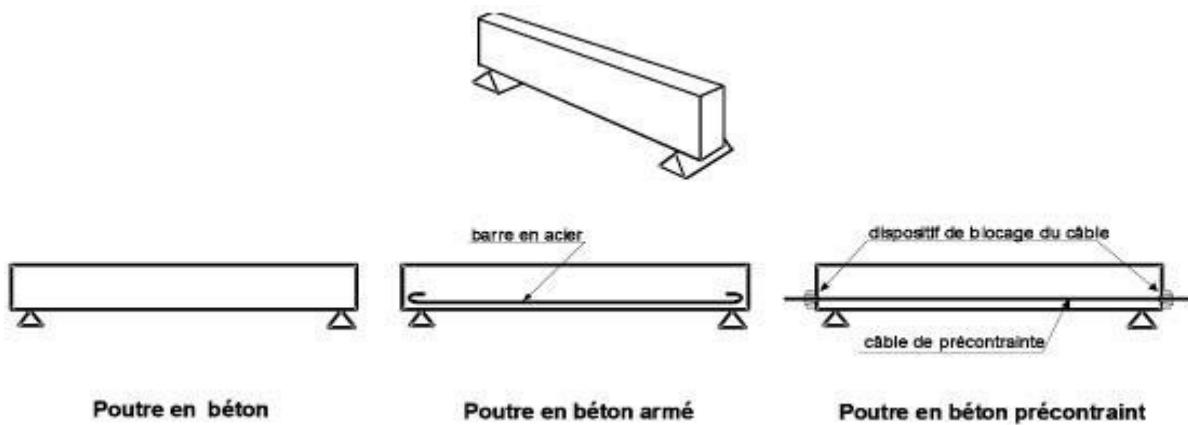
## 4. Facteur de l'association

Cette association est favorisée par :

- L'état de surface des barres
- Les qualités du béton d'enrobage : granulométrie, dosage en liant, granularité
- Les soins apportés à la mise en œuvre :
  - A la plasticité du béton
  - A la vibration
  - A l'enrobage des aciers
  - Au durcissement du béton

## 5. Principe de fonctionnement du béton armé

Le béton, le béton armé et le béton précontraint se comportent différemment. La comparaison des comportements de ces trois matériaux permet de comprendre l'originalité de l'invention d'Eugène Freyssinet. Cette comparaison est menée sur la structure la plus simple : la poutre droite posée sur deux appuis ainsi schématisée :



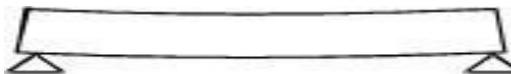
## 5.1 - Le béton

Comportement d'une poutre en béton pur

a) la poutre repose sur son coffrage. Son poids est reparti également ; elle ne se déforme pas.



b) la poutre repose sur deux appuis, placés près des extrémités. Elle doit supporter son propre poids et s'incurve vers le bas.

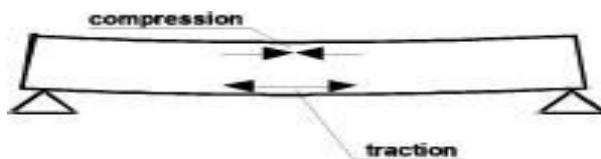


La partie supérieure de la poutre se raccourcit : elle est soumise à une compression et la partie inférieure de la poutre s'allonge: elle est soumise à un effort de traction.

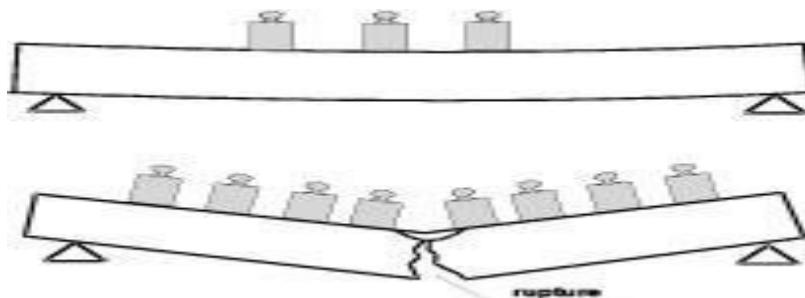
On peut comparer la situation de la poutre à celle d'un arc en bois dont les fibres face à la corde tendue sont comprimées. Cette compression peut se traduire par des boursouflures de l'écorce. Les fibres opposées sont en revanche soumises à des tractions d'autant plus fortes que l'arc est plus incurvé. Si ces tractions sont trop fortes, l'arc se brise.

Le béton, à l'inverse du bois et de l'acier, résiste mal à traction.

Lorsqu'on applique des charges sur la poutre, les déformations s'accentuent, de même que les tractions dans la partie inférieure et les compressions dans la partie supérieure.



Le béton ne supporte pas cette augmentation des efforts de traction. La rupture survient brutalement.



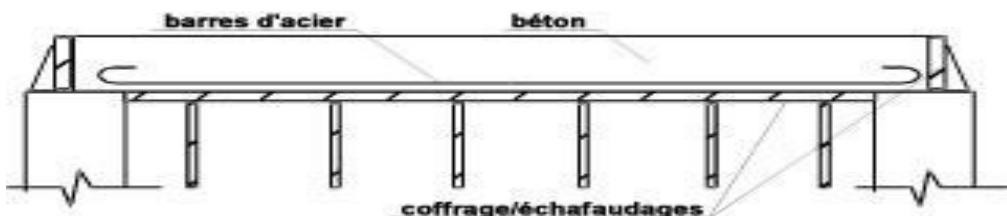
En revanche le béton résiste bien à la compression. La fissure n'apparaît pas dans la partie supérieure de la poutre qui est comprimée, mais dans la partie inférieure qui est tendue.

Le béton pur n'est pas utilisé pour réaliser des poutres.

## 5.2 - Le béton armé

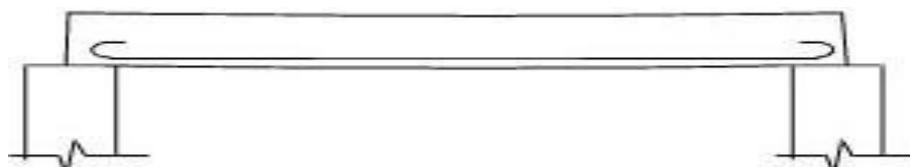
Dès les dernières années du XIX siècle, on commence à utiliser le béton armé, matériau composite où la résistance à la compression est demandée au béton et la résistance à la traction aux armatures en acier.

En pratique une poutre en béton armé comprend des barres d'acier dans les zones soumises à traction.

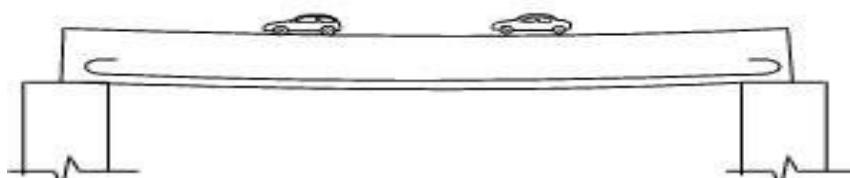


Poutre en béton armé reposant sur son échafaudage

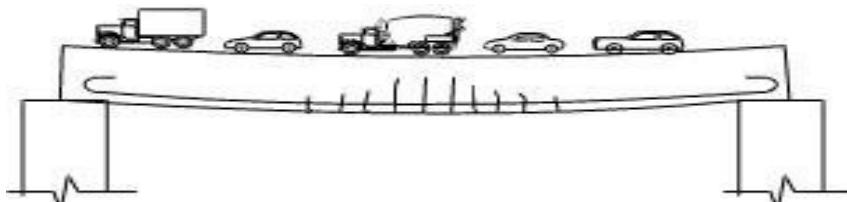
### ➤ Comportement d'une poutre en béton armé



Poutre en béton armé reposant sur deux appuis, légèrement incurvée vers le bas sous l'effet de son poids propre.

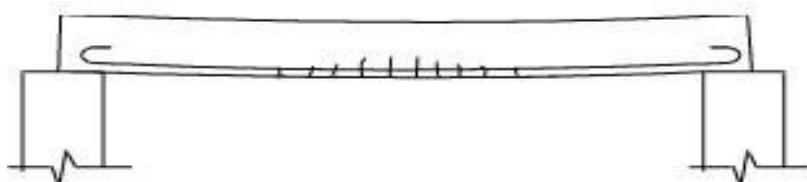


La poutre s'incurve d'avantage sous l'effet de la charge ; la barre d'acier s'allonge pour absorber la traction.



L'incurvation se poursuit quand la charge augmente.

Le béton ne peut pas s'allonger autant que les armatures. Il se fissure à leur voisinage et ne reprend que partiellement son état initial lorsque la charge est enlevée.



## ➤ Conséquences

Les fissures peuvent être à l'origine d'infiltrations d'eau et d'autres éléments agressifs de l'environnement.

Les armatures risquent alors d'être soumises à la corrosion dont les conséquences peuvent être néfastes.

L'industrie de la construction, malgré ces inconvénients, fait une grande consommation de poutres et dalles en béton armé. D'où la découverte du béton précontraint.

## 6. LE BÉTON PRÉCONTRAINTE

### 6.1 - Contexte

Séduit par le matériau béton et tirant conséquence de ce qui précède, Eugène Freyssinet a le sentiment que le béton armé ne permet pas de tirer le meilleur parti des deux éléments qui le composent, que le mariage du béton et de l'acier peut être beaucoup plus fécond.

Une longue réflexion le conduit à approfondir une idée simple : il faut préparer le béton à faire face sans dommages à son avenir.

Son avenir est d'être soumis à des charges et donc à des tractions dangereuses pour son intégrité (fissures, puis rupture).

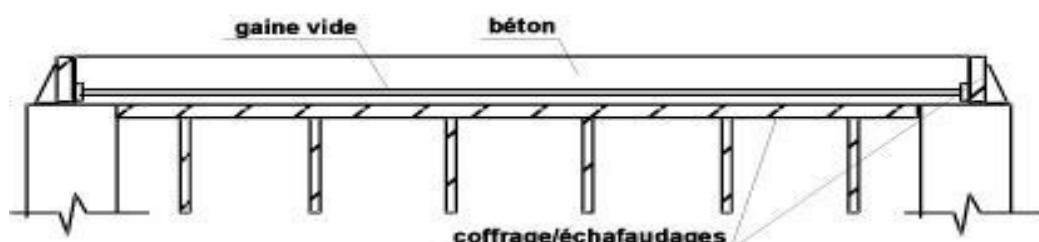
Préparer le béton c'est le comprimer suffisamment pour qu'en tous points les compressions soient supérieures aux tractions qui se développeront ultérieurement.

La compression préalable du béton est la « précontrainte ». Le vocable a été utilisé pour la première fois par Eugène Freyssinet en 1933. L'intensité de la précontrainte à mettre en œuvre dépend évidemment des tractions auxquelles il faudra s'opposer et des raccourcissements instantanés et différés du béton.

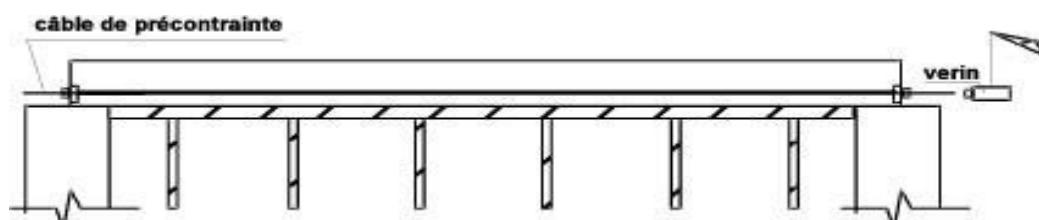
Plusieurs modes de mise en compression du béton peuvent être envisagés. La précontrainte des poutres est généralement assurée par des câbles <sup>(1)</sup> d'acier fortement tendus qui transmettent au béton leur tension par des dispositifs appropriés.

La mise en tension des câbles peut intervenir avant le bétonnage de la poutre – **pré-tension** – ou après – **post tension**.

### 6.2 - Fabrication d'une poutre précontrainte



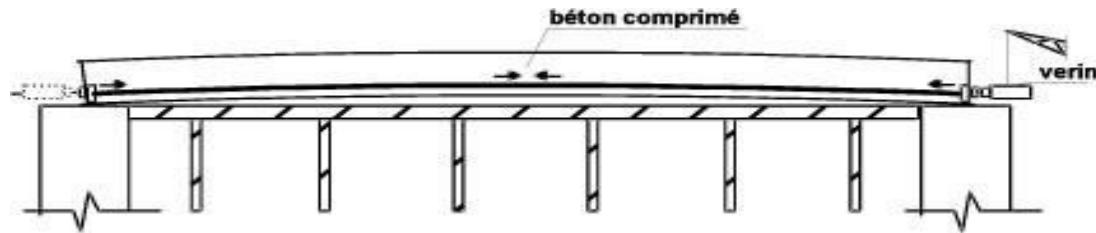
Poutre en béton précontraint reposant sur échafaudages. Avant le bétonnage on a disposé des gaines vides dans la zone soumise à traction.



Après coulage et durcissement du béton des câbles d'acier de précontrainte sont enfilés dans les gaines.

Les extrémités de ces câbles traversent des dispositifs de blocage placés aux deux abouts de la poutre. Ces dispositifs de blocage des câbles sont des cônes d'ancrage ou des plaques métalliques percées de trous coniques.

On installe ensuite des vérins hydrauliques de mise en tension à l'une ou aux deux extrémités des câbles. Les câbles sont bloqués dans les vérins.



Les câbles sont mis en tension à l'aide des vérins qui prennent appui sur le béton de la poutre. Lorsque la tension et l'allongement désirés sont obtenus, on bloque les câbles avec les dispositifs installés aux abouts de la poutre.

La tension des câbles se reporte sur le béton de la poutre et le comprime. Cette compression provoque le raccourcissement de la partie inférieure de la poutre, engendrant une cambrure de l'ensemble vers le haut. La poutre repose sur ses extrémités. (*Les vérins sont ensuite démontés, les excédents de câbles coupés et le vide des gaines injecté sous pression avec du coulis de ciment, pour protéger les câbles contre la corrosion*).

# LA RECONNAISSANCE DU SOL

## Généralité sur les fondations ;

### I.1 Introduction :

On appelle fondation la base des ouvrages qui se trouvent en contacte directe avec le terrain d'assise et dont la fonction est de transmettre à ce dernier le poids de l'ouvrage, les surcharges prévues et accidentelles auxquelles peut être soumis l'ouvrage, une fondation est donc destinée à transmettre au sol, dans les conditions les plus favorables, les charges provenant de la superstructure.

### I.2 Les différents types des fondations : [1]

Le type de fondation est déterminé par son allure générale et ses proportions et non par la différence de niveau entre la surface d'assise et le terrain naturel. On peut distinguer deux grands types de fondations; les fondations superficielles et les fondations profondes.

La distinction entre ces deux types de fondations se fait généralement en adoptant les critères suivants :

- Si  $D < 4 B$  la fondation est dite **superficielle**.
- Si  $4 B < D < 10 B$  la fondation est **semi-profonde**.
- Si  $D > 10 B$  la fondation est dite **profonde**.

**D** : profondeur de la base de la fondation par rapport au terrain naturelle (l'ancrage)

**B** : largeur ou diamètre de la fondation.

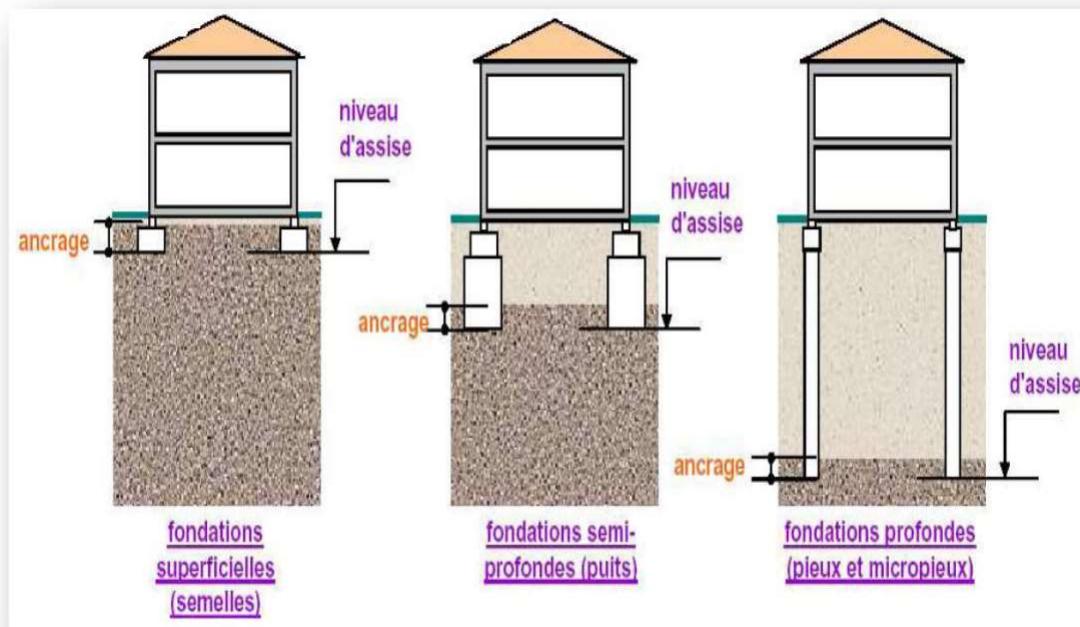
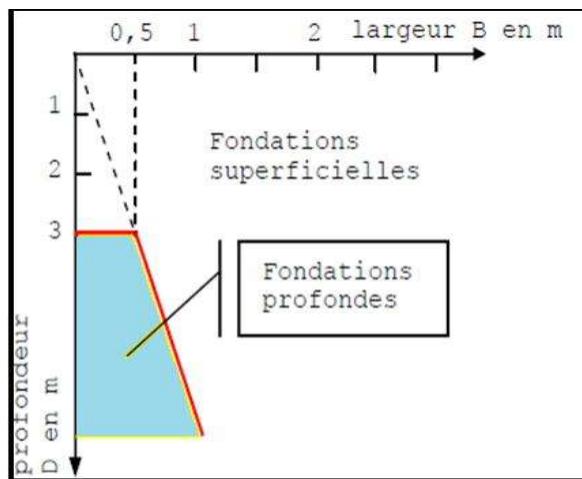


Figure I.1: les trois types de fondations. [1]

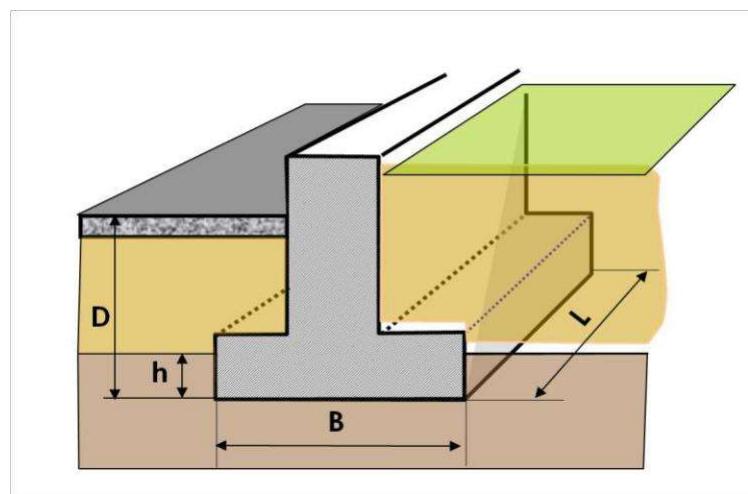
### I.2.1 Fondations superficielles : [2]

Les fondations « superficielles », encore appelées « directes » transmettant les efforts directement à la surface du sol ou encore à une profondeur relativement faible, en effet on regroupe sous ce vocable les fondations purement superficielles et les fondations semi-enterrées. Ces dernières sont du reste de beaucoup les plus fréquents.

Les fondations superficielles sont utilisées lorsqu'une couche géologique capable de supporter l'effort de la construction se trouve à une faible profondeur sous la base de l'ouvrage à construire.



**Figure I.2 :** Schéma représentant le type de fondation suivant la hauteur d'encastrement et la largeur de semelle. [2]



**Figure I.3 :** une coupe verticale sur semelle superficielle. [2]

#### I.2.1.1 Divers type des fondations superficielles: [2]

Les fondations superficielles les plus courantes sont des semelles de forme quelconque qui correspondent normalement à la structure de l'ouvrage à construire.

Sous un mur porteur on aura le plus souvent une semelle allongée, « filante », c'est-à-dire dont la longueur est nettement supérieure à la largeur ( $L >> B$ ), tandis que sous un point d'appui isolé on envisage plutôt une semelle carrée ou rectangulaire, habituellement ces semelles sont plus larges que l'organe à supporter, de façon à diminuer la pression transmise au sol. Éventuellement on peut trouver des semelles circulaires ou encore en couronne.

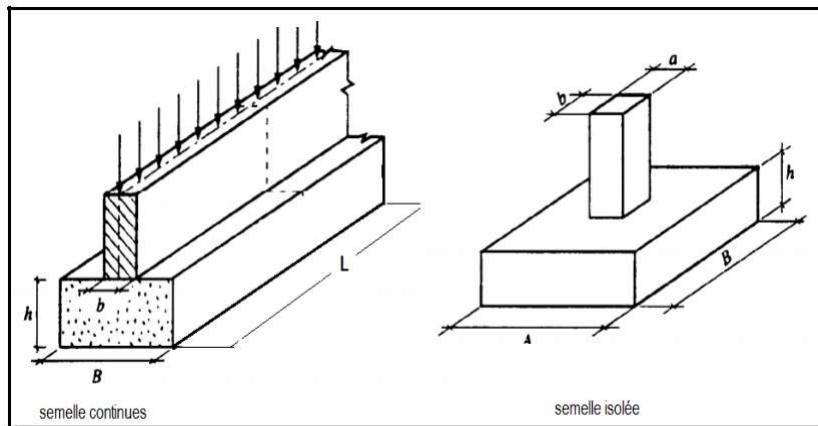


Figure I.4 : Deux types de semelle superficielle. [2]

### I.2.2 Les radiers : [3]

Le radier est une semelle générale étendue à toute la surface du bâtiment en contact avec le sol.

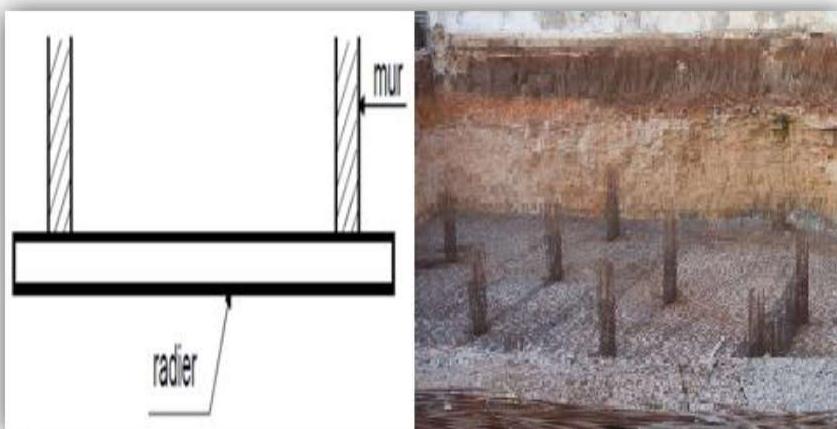


Figure I.5 : un radier. [3]

Comme toute fondation, elle transmet les charges du bâtiment, sur l'ensemble de sa surface au sol, il est employé lorsque :

- la surface des semelles isolées ou continues est très importante (supérieure ou égale à 50 % de l'emprise du bâtiment)
- Le sol a une faible capacité portante, mais il est relativement homogène ;
- les charges du bâtiment sont élevées (immeuble de grande hauteur) ;
- la profondeur à atteindre pour fonder sur un sol résistant est importante ;
- Il est difficile de réaliser des pieux (coût — vibrations nuisibles).

### I.2.2.1 Différents types de radiers :



**Radier plat d'épaisseur constante** : convient aux charges assez faibles et aux bâtiments de petite emprise.

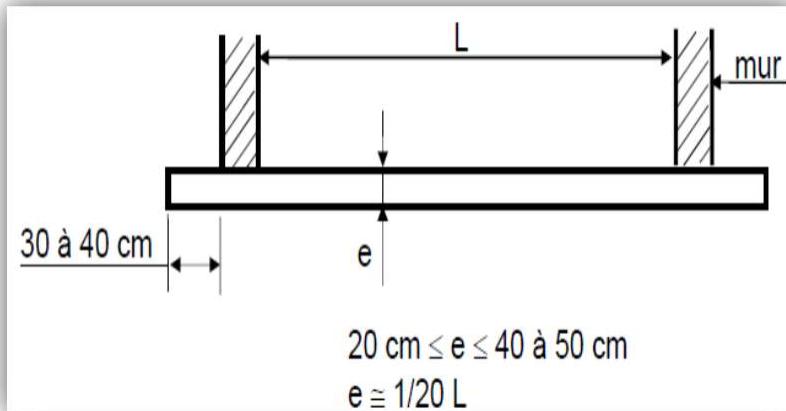


Figure I.6 : Schéma d'un radier plat. [3]



**Radier nervuré** : lorsque les charges sont importantes, pour que l'épaisseur du radier ne devienne pas excessive, on dispose des travures de poutres (nervures) pour rigidifier la dalle ; elles peuvent être disposées dans un seul sens ou dans deux ; cela dépend de la portée, de la disposition des murs ou des poteaux l'ensemble donne des alvéoles qu'il est nécessaire de remblayer si on veut utiliser le sous-sol ou faire une deuxième dalle en partie haute.

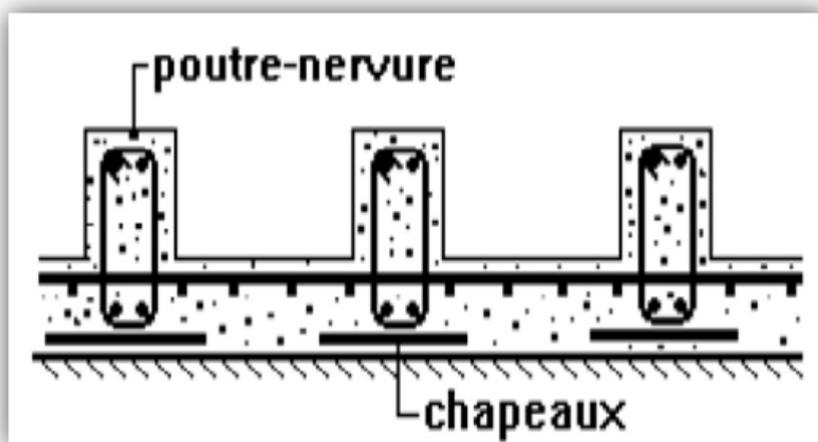
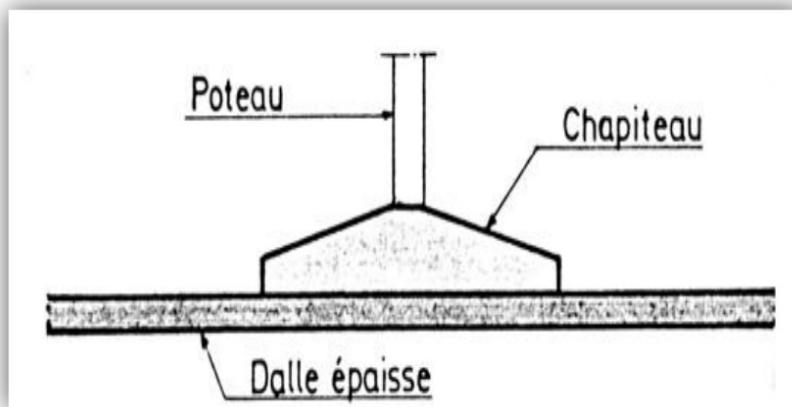


Figure I.7 : Schéma d'un radier nervuré. [3]



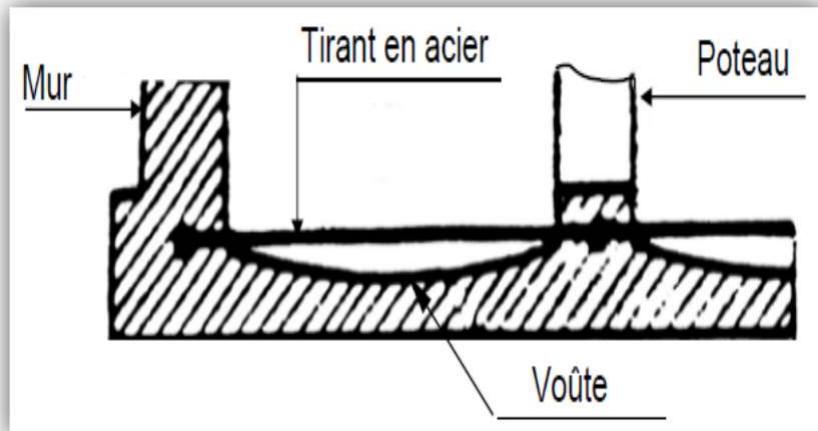
**Radier champignon** : On peut traiter le radier selon le principe des planchers champignons; il ne comporte pas de nervure, ce qui permet d'avoir une surface plate et dégagée pour de grandes portées.



**Figure I.8 :** Schéma représentant une coupe d'un radier champignon. [3]



**Radier voûté :** Les voûtes permettent d'augmenter les portées (distance entre les éléments porteurs) sans augmenter sensiblement l'épaisseur du radier.



**Figure I.9 :** Schéma représentant une coupe d'un radier voûté. [3]



**Figure I.10 :** Exemple de réalisation d'un radier. [3]

### I.3 Les fondations semi - profondes (puits) : [4]

Les fondations semi-profondes sont constituées par des massifs en béton ou en béton armé coulés en pleine fouille. Leur profondeur est comprise entre 2 et 8 m.

Ce type de fondations est utilisé lorsque des fondations superficielles ne peuvent être réalisées et que des fondations profondes ne sont pas nécessaires, ce qui évite un coût trop important.



**Figure I.11** : Exemple de réalisation des fondations semi-profondes. [4]

### I.4 Les fondations profondes : [4]

Les fondations profondes sont souvent désignées par le terme « pieu », celles qui permettent de reporter les charges dues à l'ouvrage qu'elles supportent sur des couches situées depuis la surface jusqu'à une profondeur variante de quelques mètres, à plusieurs dizaines de mètres, lorsque le terrain superficiel n'est pas susceptible de résister aux efforts qui sont en jeu, constitué par exemple par de la vase, du sable boulant, de la tourbe ou d'une façon générale d'un terrain très compressible.

#### I.4.1 Définitions : [5]

Un pieu est une fondation élancée, qui reporte les charges de la structure, sur des couches de terrain de caractéristiques mécaniques suffisantes pour éviter la rupture du sol.

Les 3 parties principales d'un pieu sont la tête, la pointe, et le fût compris entre la tête et la pointe. La longueur d'ancrage  $h$  est la longueur de pénétration du pieu dans les couches de terrain résistantes. La figure suivante représente les différentes parties d'un pieu.

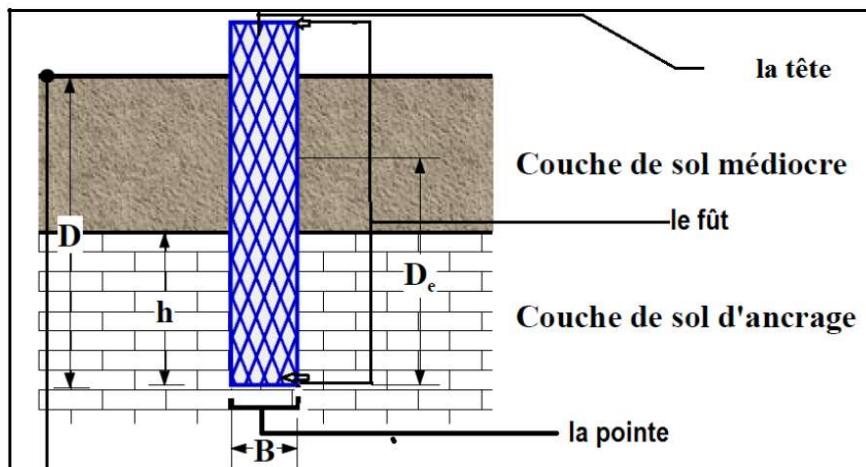


Figure I.12 : Schéma représentant les différentes parties d'un pieu. [5]

#### I.4.2 Principe de fonctionnement des pieux : [5]

Les pieux agissent sur le sol soit :

- par frottement latéral (**Qf**) : Réaction verticale mobilisée par le frottement du sol sur les parois latérales d'un pieu. Sa valeur dépend du sol et de l'état de surface du pieu. Elle est positive lorsque la réaction est dirigée vers le haut.
- Par effet de pointe (**Qp**) : l'appui de sa base sur le sol résistant.
- Par frottement latéral + effet de pointe (**Qf + Qp**) .

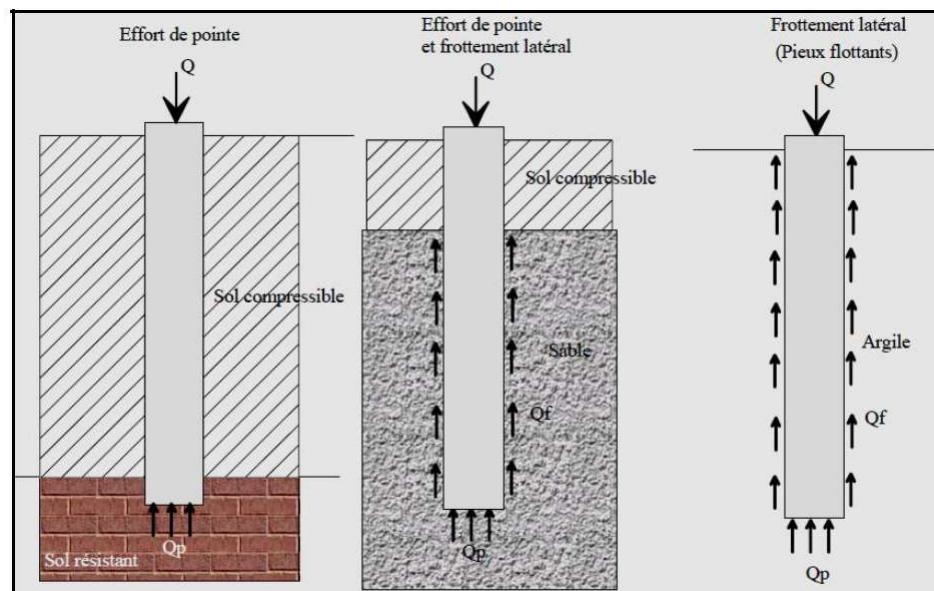


Figure I.13 : le principe de fonctionnement des pieux. [5]

### I.4.3 Classification des fondations profondes : [6]

On distingue trois grandes classes de fondation profonde :

**I.4.3.1 Les pieux mis en place par refoulement du sol**, il concerne les pieux battus, vissés et les pieux foncés.

#### I.4.3 .1.a Les pieux à tube battu : [7]

Le principe consiste à enfoncer dans le sol (par refoulement de ce dernier) un tube métallique creux et fermé à sa base. Lorsque celui-ci est à la fiche requise, on introduit le béton en remontant le tube au fur et à mesure. Suivant la mis-en œuvre, on trouve : Pieux FRANKI, pieux pilonnés de petits diamètres, Pieux à tube battu moulé dans le sol, leur hauteur est inférieure à 20 m.

#### I.4.3 .1.b Les pieux foncés : [7]

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



##### Les pieux foncés en béton

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



##### Les pieux foncés en métal

Des éléments en acier de 0,5 à 2,5 m de longueur sont foncés dans le sol à l'aide d'un vérin qui prend appui sous un massif de réactions, ces éléments peuvent avoir des formes diverses: tubes, palplanches, H..., ils sont assemblés entre eux par soudure bout à bout.

#### I.4.3.1 .c Pieux vissés : [7]

Les pieux vissés sont préfabriqués comme les pieux battus, mais au lieu d'être battus, ils sont vissés dans le sol. La plupart de ces pieux sont en acier (quelques cas de pieux en béton armé préfabriqué). En général ils ont une tête à section hélicoïdale. Ils sont souvent employés pour des charges relativement légères. Ils peuvent travailler également en traction. Ils sont souvent employés pour la fondation des pylônes.

**I.4.3.2 Les pieux mis en place sous refoulement de sol**, ils concernent les pieux forés et les micros pieux.

Ces pieux sont réalisés par extraction du sol, puis par mise en place d'une cage d'armatures et bétonnage de l'excavation. Suivant la mis-en œuvre, on trouve : Pieux forés simples, pieux forés tubés vibro foncés, Pieux forés tubés louvoyés, Pieux forés moulés de petit diamètre.

### I.4.3.2.a Les micros pieux : [8] [9]

Le micro pieu est un pieu de faible diamètre (200 à 250 mm), qui peut atteindre une vingtaine de mètres de profondeur. Ils sont disposés en groupes pour fonder ou consolider une maison ou un bâtiment. Le micro pieu fonctionne de deux manières pour ancrer les ouvrages. Soit, ils travaillent par frottement avec le sol qui l'entoure ce qui offre une résistance à l'enfoncement de la structure. Soit, ils utilisent l'effet de pointe qui permet l'appui de la structure sur un terrain compétent mécaniquement. Ils travaillent en frottement lorsque les 'bons sols' sont à une trop grande profondeur.

#### I.4.3.2.a.1 Différent type des micros pieux :



##### Le micro pieu type I

Le forage est équipé ou non d'armatures et rempli d'un mortier de ciment au tube plongeur. Le tubage est ensuite obturé en tête et l'intérieur du tubage au-dessus du mortier mis sous pression. Le tubage est récupéré en maintenant la pression sur le mortier. Ce procédé ne peut être employé dans les terrains comportant des cavités ou des fissures importantes sans remplissage préalable. Dans les sols mous, ce type de pieu doit être vérifié au flambement.

Un micro pieu de ce type ne permet que la transmission d'efforts de quelques dizaines de tonnes suivant son axe. Sa résistance à la flexion est faible.



##### Le micro pieu type II

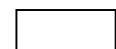
Le forage est équipé d'une armature et rempli d'un coulis ou de mortier de scellement par gravité ou sous une très faible pression au moyen d'un tube plongeur. Dans les sols mous, ce type de pieux doit être calculé au flambement.

Lorsque la nature du sol le permet, le forage peut être remplacé par le lançage, le battage ou le fonçage.

Un micro pieu de ce type peut permettre la transmission d'efforts importants.

L'armature est constituée soit par:

- Un type à paroi épaisse (tube) ;
- Des barres d'acier raccordées bout à bout ;
- Un faisceau de barres en acier placées à l'intérieur d'un tube en acier de limite élastique comparable.



# L'IMPLANTATION DU BATIMENT

## TECHNIQUES D'IMPLANTATION

L'implantation est l'opération qui consiste à reporter sur le terrain, suivant les indications d'un plan, la position de bâtiments, d'axes ou de points isolés dans un but de construction ou de repérage. La plupart des tracés d'implantation sont constitués de droites, de courbes et de points isolés.

Les instruments utilisés doivent permettre de positionner des alignements ou des points : théodolites, équerres optiques, rubans, niveaux, etc. L'instrument choisi dépend de la précision cherchée, elle-même fonction du type d'ouvrage à planter : précision millimétrique pour des fondations spéciales, centimétrique pour des ouvrages courants, décimétriques pour des terrassements, etc. Les principes suivants doivent être respectés :

- aller de l'ensemble vers le détail ce qui implique de s'appuyer sur un canevas existant ou à créer ;
- prévoir des mesures surabondantes pour un contrôle sur le terrain

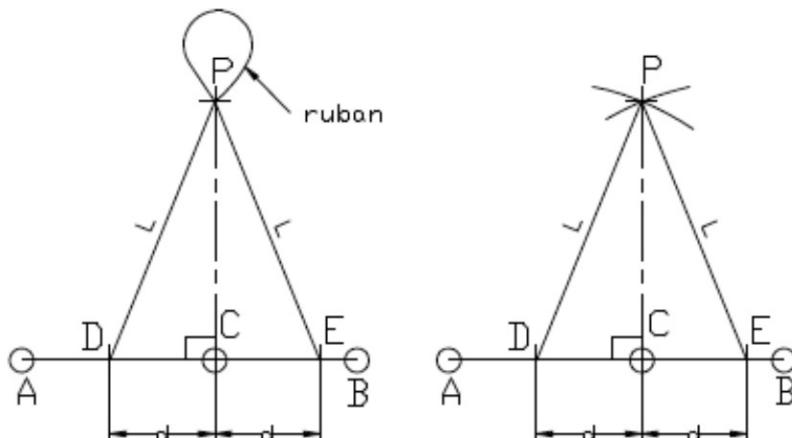
### 1. IMPLANTATIONS D'ALIGNEMENTS

#### 1.1. Tracer une perpendiculaire à un alignement existant

##### 1.1.1. Au ruban

###### a) Triangle isocèle

On cherche à tracer la perpendiculaire à l'alignement AB passant par C (fig. 6.1.). Pour cela, on utilise les propriétés du triangle isocèle ou du triangle rectangle.



**Fig 6.1**

Soit deux points D et E situés à une égale distance de part et d'autre de C ; tout point P situé sur la perpendiculaire est équidistant de D et de E ; on construit un triangle isocèle DPE.

Pratiquement, si l'on dispose d'un ruban de 30 m, un aide maintient l'origine du ruban en D, un autre aide maintient l'extrémité du ruban en E et l'opérateur joint les graduations 13 m et 17 m, ou 14 m et 16 m, etc.

(fig. 6.1. à gauche).

Si l'on ne dispose que d'un seul aide, on peut marquer au sol un arc de cercle de centre D et de rayon R m et prendre l'intersection avec un arc de cercle de même rayon centré en E (fig. 6.1. à droite).

Le **contrôle** est effectué en vérifiant que  $BP^2 =$

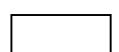
$BC^2 + CP^2$ .

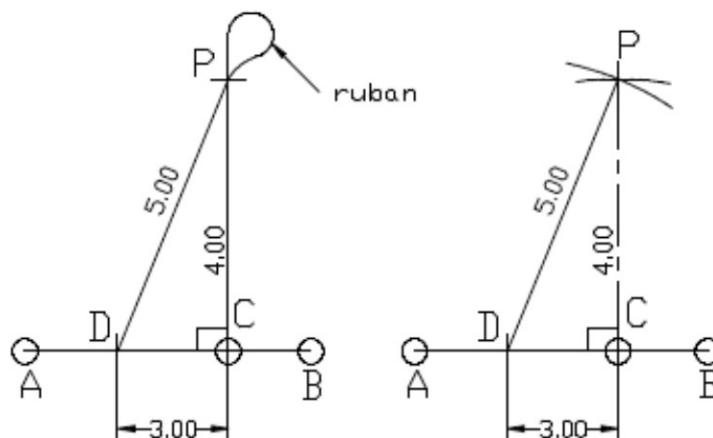
a) Triangle rectangle



Si l'on positionne un point D sur AB à 3 m de C, un point P de la perpendiculaire sera distant de 4 m de C et de 5 m de D. Cette méthode est aussi appelée « méthode du 3-4-5 ». Elle s'applique aussi pour des longueurs quelconques (d'autres suites de chiffres possibles  $10^2 = 8^2 + 6^2$ ,  $15^2 = 12^2 + 9^2$ , etc. multiples de 3, 4 et 5).

Pratiquement, si l'on dispose d'un ruban de 30 m, un aide maintient l'origine du ruban en D, un autre aide maintient l'extrémité du ruban en C et l'opérateur maintient ensemble les graduations 5 m et 26 m du ruban (fig. 6.2. à gauche). Si l'on ne dispose que d'un seul aide, on peut marquer au sol un arc de cercle de centre D et de 5 m de rayon et prendre l'intersection avec un arc de cercle de 4 m de rayon centré en C (fig. 6.2. à droite)



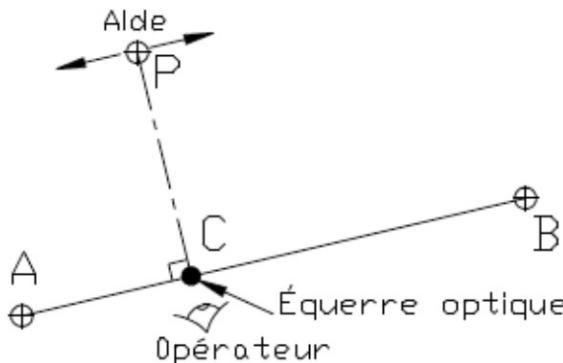
**Fig 6.2**

On contrôlera que  $AP_2 = AC_2 + CP_2$ .

### 1.1.2. Avec une équerre optique

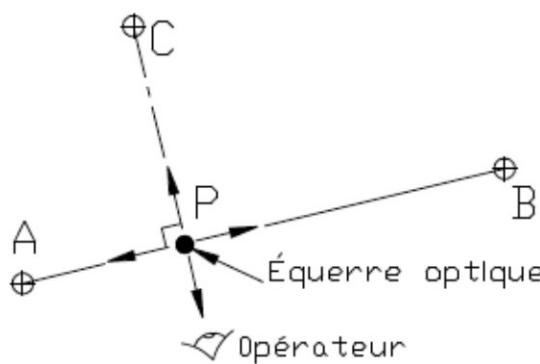
a) Mener une perpendiculaire depuis un point C de l'alignement AB.

On place un jalon en A et en B (fig.6.3.). L'opérateur se place à la verticale du point C avec l'équerre optique et aligne visuellement les jalons de A et B dans l'équerre. Ensuite, il guide le déplacement d'un troisième jalon tenu par un aide jusqu'à ce que l'image de ce jalon soit alignée avec les deux premiers. L'aide pose alors son jalon et obtient un point P de la perpendiculaire.

**Fig 6.3**

b) Abaïsser une perpendiculaire depuis un point C extérieur à AB

On dispose trois jalons sur A, B et C (fig. 6.4.). L'opérateur se positionne au moyen de l'équerre sur l'alignement AB en alignant les images des deux jalons de A et B puis se déplace le long de AB jusqu'à aligner le troisième jalon avec les deux premiers. Lorsque l'alignement est réalisé, il pose la canne à plomber et marque le point P, pied de la perpendiculaire à AB passant par C.

**Fig 6.4**

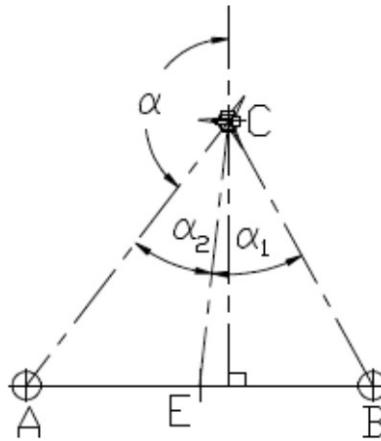
L'équerre optique peut s'utiliser en terrain accidenté et donne des résultats d'autant plus précis que les points sont plus éloignés.



- placer un point E au milieu de AB (fig. 6.6.) puis stationner en C et mesurer les angles  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$ . On en déduit l'angle  $\alpha$  à ouvrir sur le théodolite pour obtenir la direction perpendiculaire à AB en résolvant l'équation suivante :

$$\frac{\cos(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha)}{\cos \alpha} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2}$$

L'inconvénient de cette méthode est que la résolution de cette équation ne peut s'effectuer que par approximations successives.



**Fig 6.5**

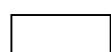
### 1.2. Tracer une parallèle à un alignement existant

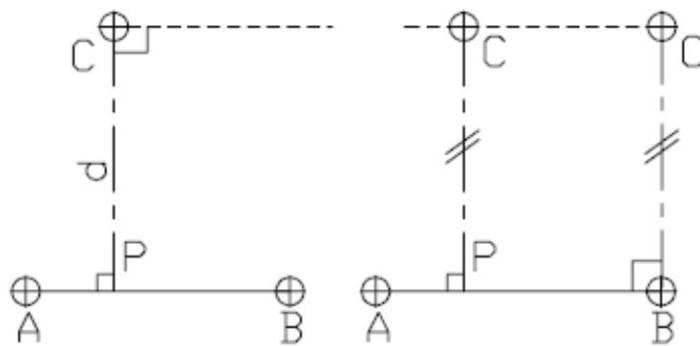
Étant donné un alignement AB, on cherche à construire une parallèle à AB passant par un point C ou à une distance  $d$  donnée de AB.

#### 1.2.1. *Tracé de deux perpendiculaires*

L'opérateur construit au moyen d'une des méthodes traitées au paragraphe 1.1 le point P, pied de la perpendiculaire à AB passant par C, puis la perpendiculaire à CP passant par C : cette dernière est parallèle à AB (fig. 6.7. à gauche). Si l'on peut mesurer la longueur CP, on peut aussi reporter cette longueur sur une perpendiculaire à AB passant par B (ou A) : on obtient le point C $\epsilon$ , et la droite CC $\epsilon$  est parallèle à AB (fig. 6.7. à droite).

On contrôlera que  $PC\epsilon = CB$ .

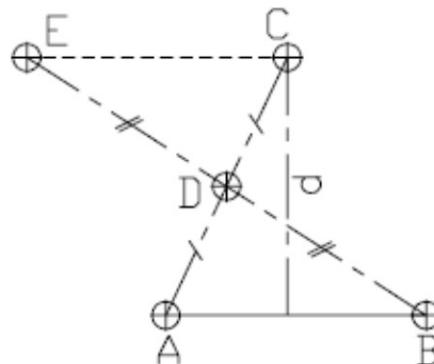




**Fig 6.6**  
1.2.2. Parallélogramme

Les diagonales d'un parallélogramme se coupent en leur milieu. On peut utiliser ce principe et construire le point D au milieu de l'alignement CA (fig. 6.8.). On construit ensuite le point E en prolongeant DB (DB = DE). La droite CE est parallèle à AB puisque ABCE est un parallélogramme. Ceci peut aussi être fait à partir de points quelconques sur l'alignement AB.

**Le contrôle** est effectué en vérifiant que la perpendiculaire à EC passant par A est de longueur  $d$  (Une



construction équivalente peut être faite en se basant sur les propriétés des triangles semblables).

**Fig 6.7**

### 1.2.3. Angles alternes-internes

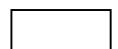
Si l'on dispose d'un théodolite, on peut stationner le point A et mesurer l'angle  $\alpha = \angle CAB$ . On stationne ensuite en C et on ouvre de l'angle  $\alpha$  à partir de la ligne CA (fig. 6.9.) pour obtenir la direction  $CC'$  parallèle à AB.

Cette méthode, qui s'applique sur tout type de terrain, est certainement la plus précise. Pour implanter le

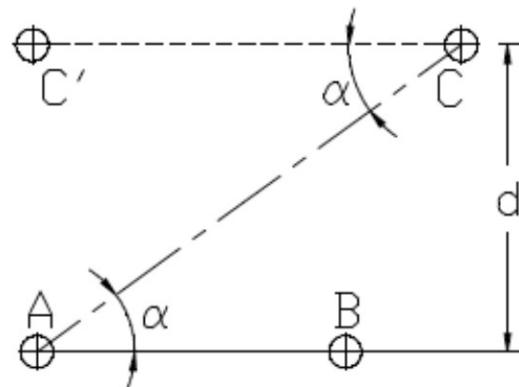
$$AC = \frac{d}{\sin \alpha}$$

point C situé à la distance  $d$  de AB, l'opérateur peut procéder par rayonnement : il se fixe une valeur arbitraire de l'angle  $\alpha$  et en déduit que :

Par exemple :  $AC = d / 2$ , pour  $\alpha = 33,333$  grad.  $AC = d / 1$ , pour  $\alpha = 50$  grad.



On contrôlera que la perpendiculaire à  $CC'$  passant par B est de longueur  $d$ .



**Fig 6.8**

### 1.3. Alignement sécant à un alignement existant

On cherche à implanter l'alignement CD faisant un angle  $\alpha$  avec l'alignement AB (fig.6.10.) et situé à une distance  $h$  de A.

1 - Si l'on dispose d'un théodolite et que le point S est accessible, on prolonge AB jusqu'à S en reportant

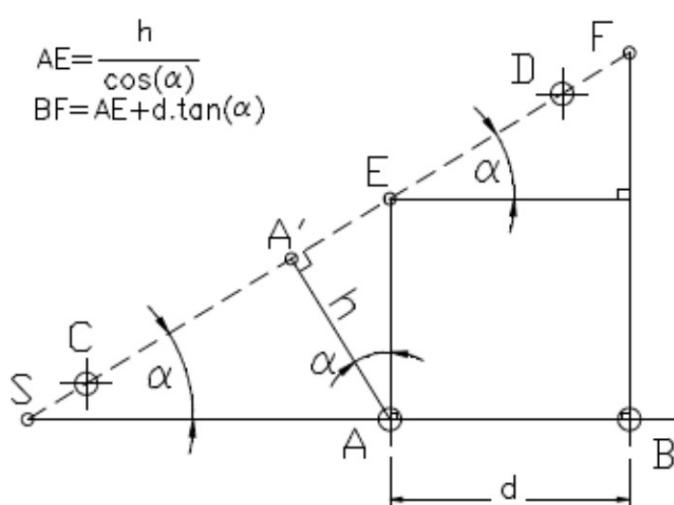
$SA = h / \sin \alpha$ , puis on stationne S et on ouvre de l'angle  $(400 - \alpha)$  depuis la direction SA vers SA $\alpha$  (avec un éventuel double retournement). Après avoir construit A $\alpha$ , on contrôlera que AA' =  $h$ .

2 - Si le point S est inaccessible, hors chantier par exemple, on peut stationner le point A et ouvrir de l'angle  $(300 - \alpha)$  depuis le point B puis implanter le point A $\alpha$  à la distance  $h$  de A. Ensuite, on stationne en A $\alpha$  et on ouvre d'un angle de 100 gon depuis A pour obtenir C puis de 300 gon pour obtenir D.

On contrôlera que  $BA' = \sqrt{(d + h \cdot \sin \alpha)^2 + (h \cdot \cos \alpha)^2}$

3 - Si l'on ne dispose que d'un ruban, on peut procéder comme suit : construire la perpendiculaire à AB issue de A et implanter E à la distance  $AE = h / \cos \alpha$  de A ; mesurer la distance  $AB = d$  et implanter F sur la perpendiculaire à AB issue de B à la distance  $BF = AE + d \cdot \tan \alpha$ . On obtient l'alignement EF cherché.

On contrôlera que  $EB = \sqrt{d^2 + (h / \cos \alpha)^2}$  et  $AF = \sqrt{d^2 + (h / \cos \alpha + d \cdot \tan \alpha)^2}$



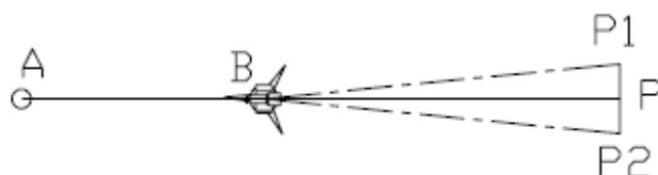
**Fig 6.9.**

### 1.4. Prolongement d'un alignement

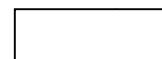
#### 1.4.1. Prolonger sans obstacles

Si l'on dispose d'un niveau avec un cercle horizontal gradué, on peut stationner un des deux points de l'alignement à prolonger, puis fixer le zéro du cercle sur l'autre point, et faire pivoter le niveau de 200 grad.

Si l'on dispose d'un théodolite et que l'on recherche une grande précision, on peut (fig. 6.11.) stationner un des deux points de l'alignement à prolonger (B), pointer l'autre (A) et basculer la lunette autour de l'axe des tourillons. Ceci donne un point P1. On effectue ensuite un double retournement : cela donne un point P2. Si P1 et P2 ne sont pas confondus, le point cherché P est au milieu du segment P1-P2 ; ce procédé est aussi utilisé pour régler un théodolite. Si le théodolite utilisé est parfaitement réglé, P1 et P2 sont confondus aux imprécisions de mesure et de mise en station près.



**Fig 6.10**



# Normes et références bibliographiques

## Normes

- NF P 95.102 " Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – béton projeté "
- NF EN 934-2 " Adjuvants pour bétons. Définitions, exigences "

## Recommandations

- " Marché pour la réparation et les modifications d'Ouvrages d'Art " Recommandations du SETRA.

## Livres

- Resse (C.), Venuat (P.) " Projection des mortiers, bétons et plâtres " Techniques et applications Bâtiment et T.P 1981
- Calgaro (J. A.), Lacroix (R.) " Maintenance et réparation des ponts ", chapitre 6 - Presses de l'E.N.P.C., 1997

## Références bibliographiques

- "Corrosion and protection of metals in contact with concrete" Final report COST 509, European Commission report EUR 17608 EN, Part 3, 1997
- Projet de norme pr EN 14038-1 " Réalcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé – Partie 1 : Réalcalinisation "
- Norme Européenne NF EN 12696 (indice de classement A 05-668) " Protection cathodique de l'acier dans le béton " Juillet 2000
- " Mise en peinture des bétons de génie civil " Guide technique LCPC, Juin 1999
- " Les systèmes de peinture pour les bétons de génie civil " Guide LCPC, 1999
- " Protection des bétons armés " Guide Technique LCPC (à paraître)
- " Exécution des ouvrages en béton armé ou en béton précontraint " Fascicule 65A du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG)

