CHAPITRE 01: TECHNOLOGIE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

1.1- LES GRANULATS

A- Définition

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers.

Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables **(Gros et Fin)** et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton.

Il y a deux Intérêts d'utiliser des granulats dans le béton :

- **le 1er économique** : Diminution de la quantité de liant (ciment et addition) ;
- **la 2eme technique :** Limitent les variations dimensionnelles dans le béton (les granulats sont plus rigides que la pâte de ciment)

B- Classification des granulats selon la provenance

B.1- Granulats naturels

B.1.1-Granulats roulés

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau, le vent ou le gel.
Ainsi ils se sont formé des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes.
- Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature :

- ✓ Les granulats de rivière (d'oued).
- ✓ Les granulats de mer.
- ✓ Les granulats de dunes.

N.B. : Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.





B.1.2GRANULATS CONCASSES (DE CARRIERES)

ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes, calcaires durs…etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux à arêtes vives.



B.2- Granulats artificiels

Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

C- LES CARACTERISTIQUES DES GRANULATS

On peut partager les caractéristiques des granulats en deux catégories suivantes :

- ✓ les caractéristiques géométriques.
- ✓ les caractéristiques physiques.
- ✓ les caractéristiques chimiques.
- ✓ les caractéristiques mécaniques.

C.1- LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GRANULATS

C.1.1- CLASSE GRANULAIRE

Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et leur plus grande dimension comme suit :

Granulat d/D : sable ou gravier.

d : dimension minimale des grains.

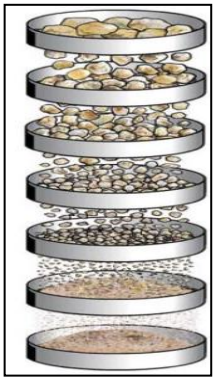
D : dimension maximale des grains.

Les dimension D,d sont déterminées à partir d'une série des tamis normalisé Ces dimensions nominales (d ou D, en mm) sont normalisées comme ensuite :

0,080 ; 0,100 ; 0,125 ; 0,160 ; 0,200 ; 0,250 ; 0,315 ; 0,400 ; 0,500 ; 0,630 ; 0,800 ;
1,000 ; 1,250 ; 1,600 ; 2,000 ; 2,500 ; 3,150 ; 4,000 ; 5,000 ; 6,300 ; 8,000 ; 10,00 ;
12,50 ; 16,00 ; 20,00 ; 25,00 ; 31,50 ; 40,00 ; 50,00 ; 63,00 ; 80,00

La terminologie usuelle des granulats, selon leurs dimensions nominales est indiquée dans la norme NFP 18.101 comme suite :

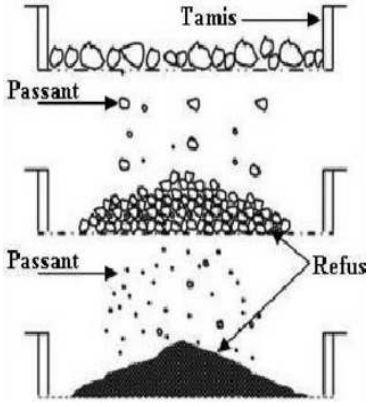
APPELATION		MAILLE DES TAMIS
Fillers, farines ou fines		< 0,08 mm
Sables	- Fins	0,08 à 0,31
	- Moyens	0,31 à 1,25
	- Gros	1,25 à 5,00
Gravillons	- Fins	5,00 à 8,00
	- Moyens	8,00 à 12,50
	- Gros	12,50 à 20,00
Cailloux	- Fins	20,00 à 31,50
	- Moyens	31,50 à 50,00
	- Gros	50,00 à 80,00
Moellons et galets		> 80 mm



C.1.2- Granulométrie : (Essai de l'Analyse granulométrique d'un granulat)

But de l'essai :

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.



Objectif :

L'analyse de granulométrie consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à maille carrée, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées de 0,08 à 80 mm.

On appelle :

- ✓ **REFUS** sur un tamis : la quantité de matériau qui est retenue sur le tamis.
- ✓ **TAMISAT** (ou passant) : la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

Illustration :

On considère un échantillon de poids P d'un granulat.

L'échantillon est mis dans une série de tamis classés par ordre décroissant selon la dimension des mailles

Après vibration de la série de tamis, les grains de l'échantillon se trouvent séparés selon leurs dimensions et chaque tamis retient une partie dite Refus partiel du tamis. Le refus cumulé (total) d'un tamis est la somme de tous les refus partiels des tamis qui se trouve au-dessus.

La proportion (en %) du refus cumulé d'un tamis rapportée au poids total :

$$Refus\ (\%) = \frac{Poids\ refus\ cumulé}{Poids\ echantillon} \times 100\%$$

La proportion (en %) du tamisât cumulé d'un tamis rapportée au poids total :

$$\text{Tamisât}\ (\%) = \frac{Poids\ \text{tamisât}\ cumulé}{Poids\ echantillon} \times 100\%$$

La courbe granulométrique est la représentation graphique du %Tamisât en fonction de la dimension de la maille du tamis.

Afin de prendre en compte la grande variation des dimensions des grains dans granulat, la dimension de la maille du tamis est représentée sur une échelle logarithmique.

Ainsi la courbe granulométrique est : %Tamisât = f(log(d)), avec ; d : dimension de la maille du tamis.

Le choix des tamis à utiliser dépend des dimensions du granulat à essayer.

Pour un sable par exemple, on peut prendre la série : 0.08 ;…….. ; 5.00.

Exemple de tracé d'une courbe granulométrique :

Soit à effectuer l'essai granulométrique sur un sable. Prenons un échantillon du sable pesant 1000 gr. Au regard des dimensions du sable on utilisera la série de tamis :

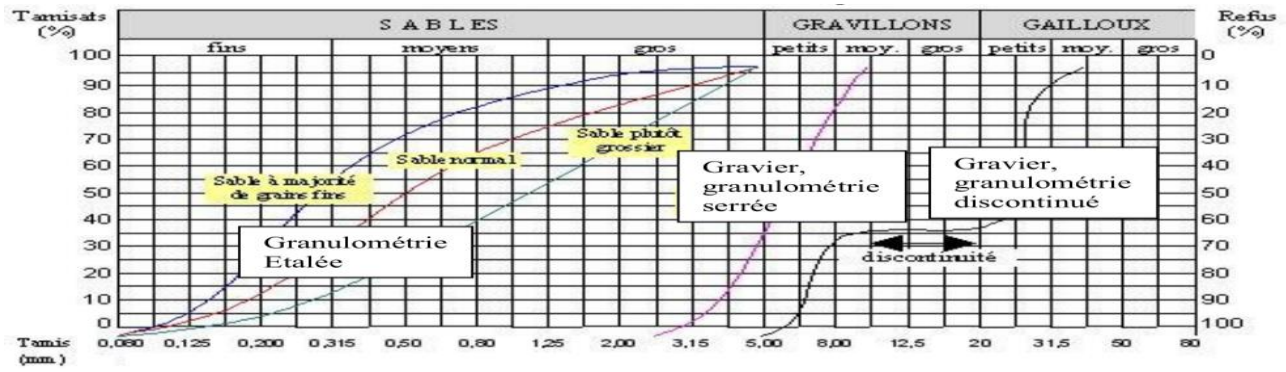
0.08 ; 0.125 ; 0.200 ; 0.315 ; 0.50 ; 0.80 ; 1.25 ; 2.00 ; 3.15 et 5.00mm.

Les refus partiels dans les différents tamis sont donnés sur le tableau suivant.

Tamis maille (mm)	Refus partiel (grs)	Refus cumulé (grs)	%Refus cumulé	%Tamisat
5.00	0			
3,15	10			
2,00	90			
1,25	100			
0,80	150			
0,50	150			
0,315	180			
0,20	120			
0,125	120			
0,08	80			

- Tracer la courbe granulométrique du granulat.

Quelques propriétés de la granulométrie tirées des courbes granulométriques :



Module de finesse : (pour le Sable)

Définition : le module de finesse d'un granulat est égale au 1/100 ème de la somme des refus, exprimés en pourcentages de poids sur les différents tamis de la série

La relation de calcul est : $M_f = \sum \frac{Refus\ cumulés(0{,}16-0{,}315-0{,}63-1{,}25-2{,}5-5)}{100}$

On peut constater que le module de finesse sera d'autant plus petit que le granulat sera plus riche en éléments fins.

Les essais ont montré que les sables ayant un module de finesse voisin de 2,5 ($2{,}2 \leq M_f \leq 2{,}8$); donne les meilleurs résultats pour la fabrication du béton.

La correction du sable :

Si le sable possède un M_f plus ou moins que l'intervalle de (2,2/2,8) il y a une possibilité de corrigé notre sable comme suite :

$$G_1(\%) = \frac{M_f - M_{f2}}{M_{f1} - M_{f2}} \times 100$$

$$G_2(\%) = \frac{M_{f1} - M_f}{M_{f1} - M_{f2}} \times 100$$

M_{f1}, M_{f2} module de finesse du sable G_1 ; G_2 ; M_f module de finesse souhaitable.

Exemple :

Soit un sable(1) d'un module de finesse M_f =1,7 et un sable(2) d'un module de finesse M_f =3,1

- Pour obtenir un sable référence d'un module de finesse M_f =2,5 ; Quelle est les proportions du chaque sable ?

L'uniformité et la continuité

Coefficient d'uniformité (C_U): $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

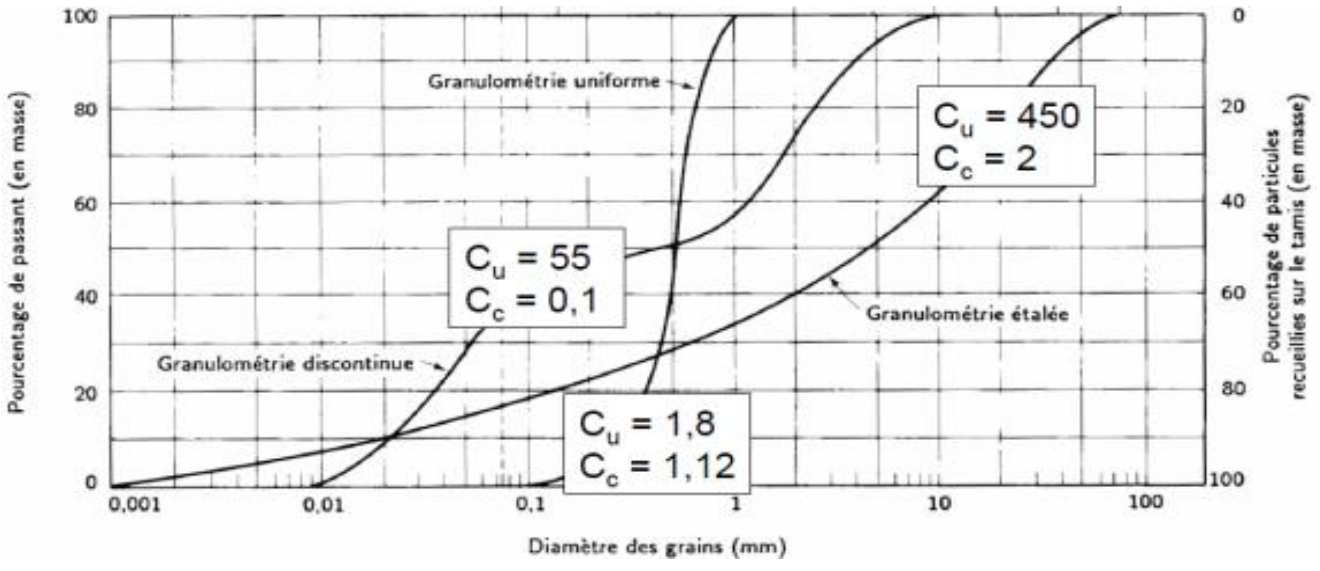
Cu > 2 → *granulométrie étalée.*
Cu < 2 → *granulométrie uniforme ou serrée.*

Coefficient de courbure C_C: $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$

1 < Cc < 3 → matériau bien gradué (la continuité est bien répartie).

Cc < 1 → matériau mal gradué (la continuité est mal répartie).

Cc > 3 → Matériau bien gradués → matériaux plus denses



C.1.3- Coefficient d'aplatissement

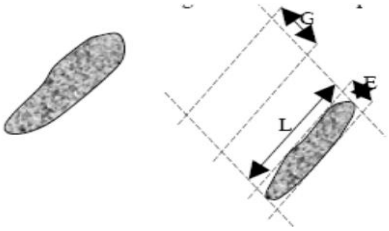
La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

La longueur L,

L'épaisseur E,

La grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation: $\frac{G}{E} > 1{,}58$



NB :

Un granulat de forme anguleuse est préjudiciable à une bonne maniabilité du béton, à la compacité et à la résistance mécanique des mortiers et bétons.

La forme des granulats influence: La facilité de mise en œuvre et le compactage du béton et La compacité du mélange donc le volume des vides à remplir par la pâte de ciment.

L'état de surface des grains influence: La compacité du mélange et l'adhérence du granulat à la pâte de ciment et La forme est d'autant meilleure qu'elle est proche d'une sphère ou d'un cube.

C.2- Caractéristiques physiques.

C.2.1- Masse volumique

On appelle masse volumique d'un matériau: la masse de l'unité de volume.

On définit, suivant l'état du matériau:



Représentation schématique des différents paramètres caractéristiques des granulats, liés aux trois phases.

Suite à la représentation à dessus on devise la masse volumique à 02 types :

C.2.2- MASSES VOLUMIQUES APPARENTES :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

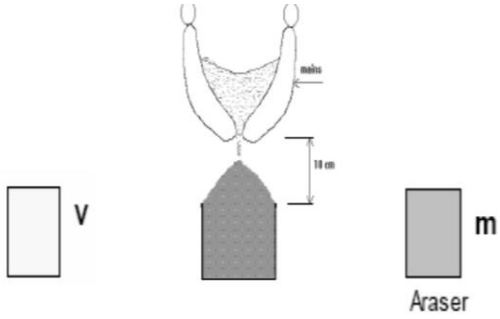
Elle est comprise entre 1400 et 1600 kg /m³.

ESSAI:(voir le schéma)

• La masse volumique apparente est donnée par: $\rho_{ap} = \frac{m}{V}$

- *m:masse du matériau seul ; V : volume de tas*

• L'essai est répété 5 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.



La masse volumique se devise à trois classes :

1- la masse volumique naturelle (humide) à la réception du matériau :

$$\rho_h = \frac{M_h}{Vt}$$

2- la masse volumique sèche :

$$\rho_s = \frac{M_S}{Vt}$$

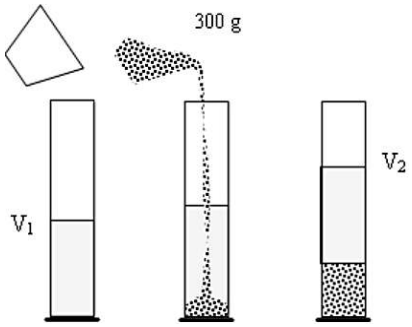
3- la masse volumique saturée (après saturation des granulats) :

$$\rho_{sat} = \frac{M_{Sat}}{Vt}$$

C.2.2- MASSES VOLUMIQUES ABSOLUE :

La masse volumique absolue ρ_{ab} est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

Elle est comprise entre 2500 et 2600 kg /m³.



$$\rho_{ab} = \frac{M_S}{Vs}$$

- **Comment déterminés la masse volumique**

Méthode de l'éprouvette graduée

Cette méthode est très simple et très rapide. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Lire le nouveau volume V2.

La masse volumique absolue est :

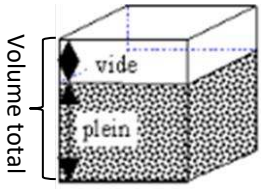
$$\rho_{ab} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

C.2.3- Porosité et compacité

(1) Porosité

En général la porosité est le rapport du volume des vides au volume.

$$P = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume Total}}$$

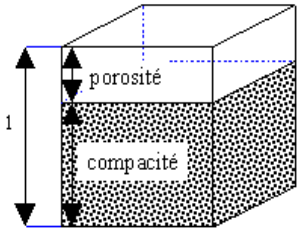


On peut aussi définir la porosité comme le volume de vide par unité de volume apparent.

(2) Compacité

La compacité est le rapport du volume des pleins au volume total/Ou volume des pleins par unité de volume apparent.

$$C = \frac{\text{volume des plein}}{\text{volume Total}}$$



La porosité et la compacité sont liées par la relation:

P+C=1

La porosité et la compacité sont souvent exprimées en %.

La somme des deux est alors égale à 100%. En effet:

$$p + c = \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} + \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} = \frac{\text{volume total}}{\text{volume total}} = 1$$

Si l'on connaît la masse volumique apparente ρ_{ap} et la masse spécifique ρ_{ab} d'un matériau, il est aisé de calculer sa compacité et porosité.

$$c = \frac{\text{volume des pleins}}{\text{volume total}} = \frac{V_{absolu}}{V_{apparent}} = \frac{V_{absolu}}{V_{apparent}} \cdot \frac{M}{M} = \frac{M/V_{apparent}}{M/V_{absolu}}$$

Donc :

$$c = \frac{\rho_{ap}}{\rho_{ab}}$$

C.2.4- Teneur en eau(w) :

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau W contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{Ph - P_s}{P_s}$$

E = Poids d'eau dans le matériau.

P_s = Poids du matériau sec.

P_h = Poids matériau humide

Si W est exprimé en % :

$$W\% = 100\,\frac{Ph - P_s}{P_s}$$

C.3- LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES-CHIMIQUES DES GRANULATS (LA PROPRETE DES GRANULATS)

Les granulats employés pour le béton doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment, dans ce cas les agrégats utilisés pour le béton doivent être respectés quelques indices de propretés

C.3.1- Propreté de sable (équivalent de sable)

Dans le cas des sables, le degré de propreté est fourni par un essai appelé "équivalent de sable " qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette où l'on a effectué le lavage.

Définition et But de l'essai.

Permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins.

Pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats.

Principe.

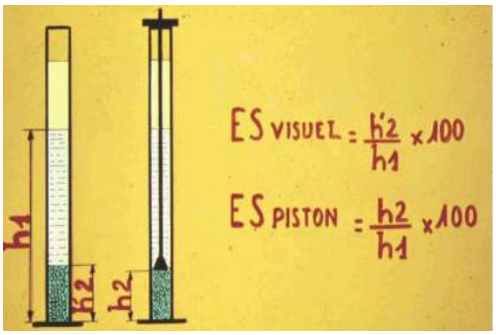
L'essai est effectué sur 120g du matériau, on lave l'échantillon et on laisse reposer le tour pendant 20 mn, et on mesure les éléments suivant :

On déduit l'équivalant de sable : **ES = h2/h1*100**

ES : Equivalent de sable

h1 : Hauteur sable propre + éléments fines.

h2 : Hauteur sable propre seulement.



la hauteur **h2** est mesurée visuellement ou à l'aide du piston en détermine: ESV_{visuel} ; / ESP_{piston}

Le lavage à l'eau ne donnerait pas des résultats précis et fidèles lors de l'essai.

On utilise une solution spéciale qui permet la floculation des éléments fins et en régularise la sédimentation.

Appareillages utilisés :

- Balance technique.
- Eprouvette transparente avec deux traits supérieur et inférieur.
- Entonnoir pour l'introduction du sable.
- bonbonne de 5l pour la solution lavant avec son bouchon et siphon et tube souple de 1.5m.
- tube laveur métallique plongeant.
- machine agitatrice.
- règle métallique pour mesure.
- piston taré a masse coulissante de 1kg pour la mesure de ES.



Balance



Chrono



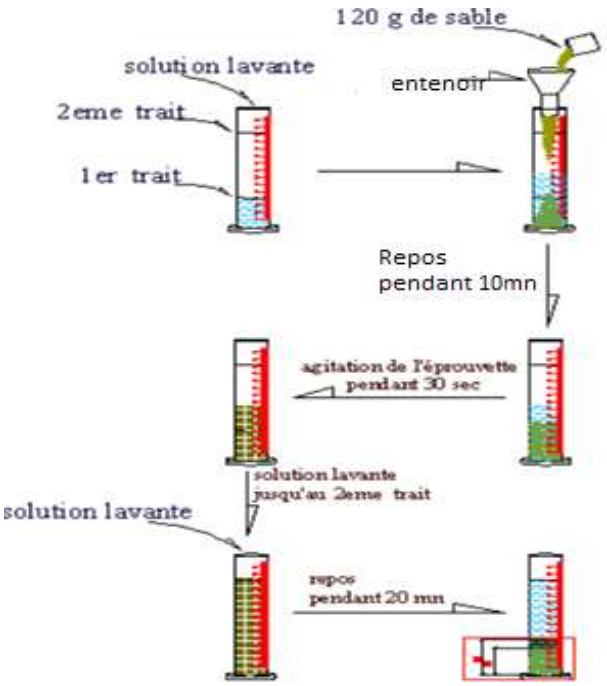
Ensemble pour l'essai d'équivalent sable



Agitatrice

Mode opératoire :

1- Remplissage de la solution lavant jusqu'au premier trait .
2- Pesée de 120g de sable sec et Mettre Le sable au l'éprouvette à l'aide d'un entonnoir (repos de 10mn).
3- Eprouvette secouée (60 cycles en 30 secondes) a l'aide de l'agitatrice
4- Lavage du sable avec la solution lavant jusqu'au trait supérieur
5- Nettoyer le sable et remplir l'éprouvette jusqu'à 2eme trait.
6- Imbibition du sable pendant 20 minutes dans la solution lavant
7- mesure de la hauteur de sable h2 et de la hauteur h1



Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX :

PS	Nature et qualité du sable
< 60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60≤PS<70	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
70≤PS<80	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
PS>80	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Exemple :
Soit le tableau qui donne les résultats de $\mathbf{h_1}$; $\mathbf{h_2}$ des déférentes essais d'équivalent de sable suivant :

N° : essais	ES visuel			ES piston		
	$\mathbf{h_1}$(cm)	$\mathbf{h_2}$(cm)	Valeur ESV (%)	$\mathbf{h_1}$ (cm)	$\mathbf{h_2}$ (cm)	Valeur ESP (%)
01	13,3	10,8	81,20	14.1	10.2	72,34
02	12,1	9,9	81.81	15.2	9.6	63,15
03	13,4	11,1	82,83	14.1	8.8	62,41
04	11,8	10,2	86,44	12.3	10	81,30

1- Compléter le tableau.

C.3.2- Propreté de gravier

Comme les sables, les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons.

Essai de propreté de sable

Principe :

Contrairement aux sables, les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières.
Ainsi, le principe de séparation des agrégats des éléments fins ne se fera pas par sédimentation mais par lavage.

Matériel utilisé :

Tamis de maille 0.5 mm et un sceau d'eau.

Mode opératoire.

- Peser une quantité de gravier sec soit M0 et le placer dans le tamis,
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau qui traverse le tamis soit claire,
- Essuyer l'excès en eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit M_1

Calculer la propreté : $P(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100\%$

Le gravier est propre si P (quantité d'éléments fins) ≤ 5%.

Exemple :

Soit un gravier de classe granulaire G : 8/15 de masse sec M_0=3kg, nous lavons cette échantillon dans un tamis de 0,5mm et séchons le gravier lavé dans un étuve, le poids sec lavé est M_1=2,93kg

- commenter a la propreté du gravier ?

C.4- LES CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES GRANULATS

Les caractéristiques mécaniques des granulats ne sont pas déterminées par des essais habituels de traction ou de compression, mais par des essais tenant de reproduire certaines sollicitations propres à des usages spécifiques des granulats, par exemple de degré d'usure pour les granulats utilisés pour les bétons routiers.

C.4.1- LA RESISTANCES A LA FRAGMENTATION : (essai de los Angeles)

Principe et but de l'essai :

- L'essai **LOS ANGELES** est destiné à évaluer la résistance des granulats à la fragmentation.

- L'essai LOS ANGELES sert à déterminer la résistance à l'abrasion des gros granulats c'est-à-dire leur résistance à la fragmentation par choc et à l'usure par frottement réciproque.

MATÉRIEL UTILISE :

- ✓ **Un tambour :** c'est un tube cylindrique dans lequel est effectué le mélange
- ✓ **Les boulets :** ils administrent au matériau des chocs durant la rotation du tambour
- ✓ **La balance :** sert à effectuer les différents pesés
- ✓ **Un tamis :** sert à déterminer le diamètre du matériau voulu
- ✓ **Un chronomètre :** sert à déterminer la durée de l'essai
- ✓ **Un récipient**



Le tambour



Les boulets



Tamis de 1,6 mm



Un récipient

MODE OPÉRATOIRE :

- ✓ Un échantillon (lave sur un tamis de 1.6mm) de masse sèche à 5000 g ± 5 g (M0) est placé dans un tambour contenant 11 boulets d'acier normalisés.
- ✓ le tambour effectue 500 tours à une vitesse de 31 à 33 tours/min.
- ✓ La friction des granulats entre eux et des granulats contre les boulets et les parois du tambour provoque leur dégradation plus ou moins accrue.
- ✓ L'échantillon est ensuite retiré est lavé au-dessus d'un tamis avec des mailles de 1.6 mm .
- ✓ On pèse le refus après séchage (M1).
- ✓ Le Coefficient Los Angeles (LA) : **LA = 100*(Mo – M1)/Mo**

Mo : masse initiale de l'échantillon ; **LA** : correspond au pourcentage de fines produit par l'essai.

Interprétation des résultats :

VALEURS REPERES	
COEFFICIENT LOS ANGELES	*APPRECIATION*
< 15	Très bon à bon
15 à 25	Bon à Moyen
25 à 40	Moyen à Faible
> 40	Médiocre

Exemple

Soit l'échantillon de poids M**o=**8000 gr

Si on suppose que le poids de cette échantillon après la passation au l'appareil de los Angeles et le tamis 1.6mm (lavage par l'eau) est : 6000 gr

- Quel est le coefficient LA ?

C.4.2- LA RESISTANCES A L'usure (Essai Micro-Deval):

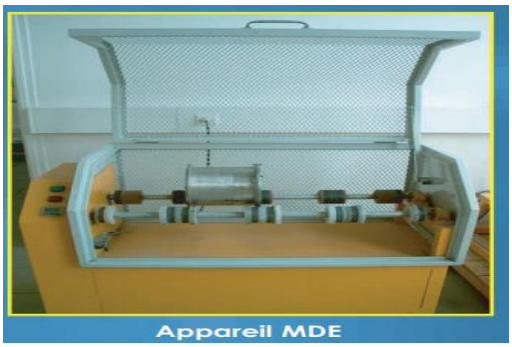
Principe de l'essai :

L'essai Micro-Deval (MDE) permet de déterminer la résistance à l'usure d'un échantillon de granulat. Sont soumis à un cycle d'usure, en présence d'eau, par contact avec des billes d'acier à l'intérieur d'un cylindre en rotation.

Le coefficient Micro-Deval obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1.6 mm après usure.

Plus le pourcentage d'usure est bas, plus l'échantillon est résistant à l'usure.

45% est la limite entre les sols durs et les sols friables.



Appareil MDE



Tambour avec billes en acier

Mode opératoire :

1- Prise d'essai un poids **M** (lavée sur un tamis de 1.6mm) et séchée

2- Mise en place dans un tambour avec 5kg de billes métalliques calibrées et 2.5 litres d'eau.

3- Appliquer une rotation de 12 000 tours au tambour à la vitesse de 100 tours/minute.

4- Retirer alors la prise de l'essai, pour lavage au-dessus d'un tamis de 1.6mm.

5- Peser le refus (m) à ce tamis après séchage

Calcul du MDE :

Calculer alors le coefficient MDE pour chaque cylindre de cette façon :

MDE = (M - m) / M

Avec m masses du refus à tamis1.6 mm

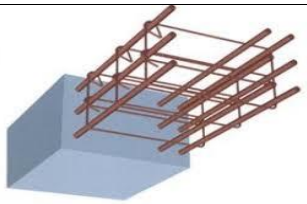
VALEURS REPERES	
MICRO-DEVAL EN PRESENCE D'EAU	APPRECIATION
< 10	Très bon à bon
10 à 20	Bon à moyen
20 à 35	Moyen à faible
> 35	Médiocre

1.2- LES CIMENTS ET LES CHAUX

1.2.A- LES CIMENTS

Le ciment est un liant hydraulique qui présente sous forme de poudres minérales, qui une fois additionnés d'eau, donne une masse dure, compacte, analogue à de la roche naturelle.

Le ciment est utilisé pour la fabrication de : mortier, béton, béton armé, béton préfabriqué, d'ouvrages en béton érigés et surface, sous terre, et sous l'eau.

			
Le mortier	Le béton	Le béton Armé	béton préfabriqué

A.1- Fabrication du ciment

Le ciment occupe la première place parmi les liants. Il est obtenu à partir de matières premières relativement bon marché et d'extraction facile,

Généralement à ciel ouvert et qui on le trouve facilement dans la nature.

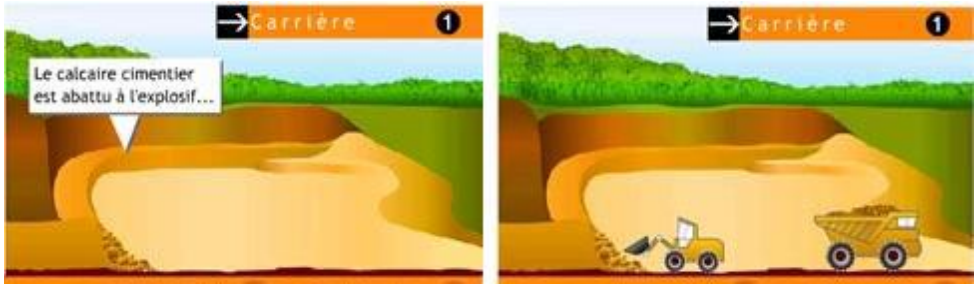
Les étapes de la fabrication du ciment

La carrière

Le calcaire cimentier est abattu à l'explosif et acheminé par dumper vers le hall de concassage.



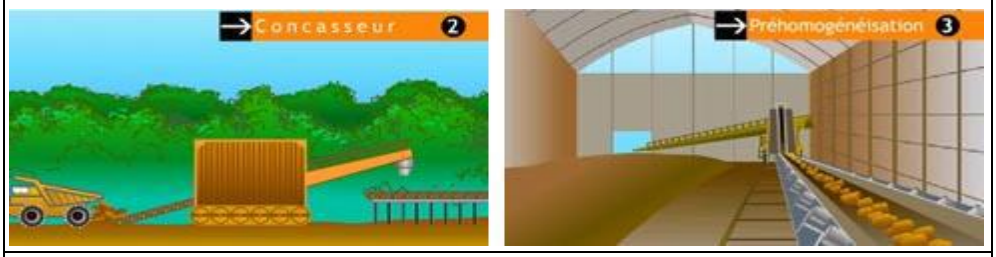
Le calcaire



Stockage broyage du clinker

Le concassage

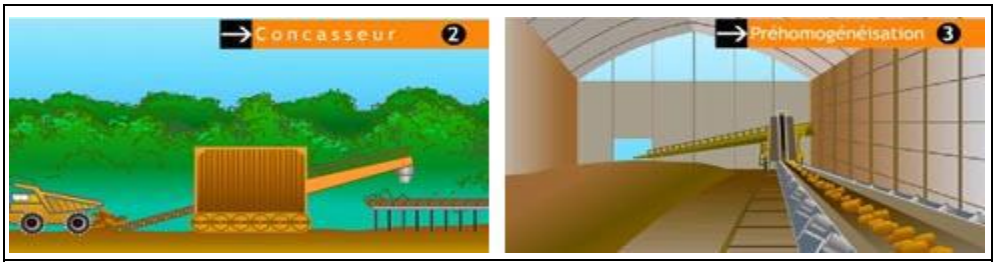
Les matériaux sont réduits par le concasseur à une taille maximum de 80 mm. La roche est ensuite échantillonnée en continu pour déterminer la quantité des différents ajouts nécessaires (oxyde de fer, alumine, silice) et arriver ainsi à la composition chimique idéale. Le mélange est ensuite stocké dans un hall de pré homogénéisation.



Concassage et pré homogénéisation

Le broyage et le séchage

Les matières premières sont ensuite séchées et broyées très finement. On obtient la farine. Celle-ci sera plus tard introduite dans le four sous forme pulvérulente ou préalablement transformée en granules.

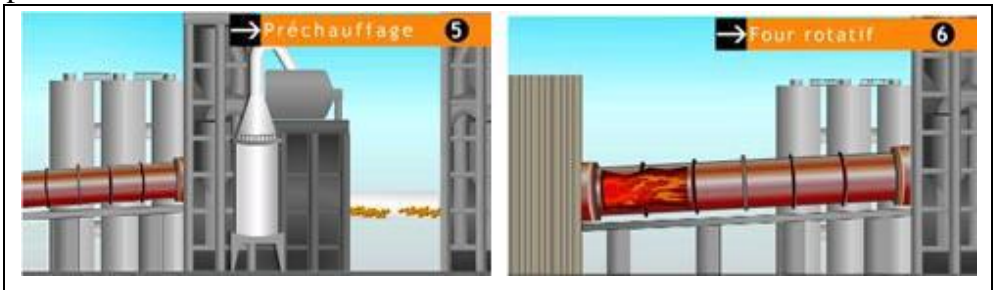


Concassage et pré homogénéisation

Le préchauffage et la cuisson

Avant introduction dans le four, la farine est chauffée à environ 800 °C dans un préchauffeur à grille ou à cyclones.

La cuisson se fait dans un four rotatif où la température de la flamme avoisine 1450°C. A la sortie du four, la matière appelée clinker passe dans un refroidisseur.

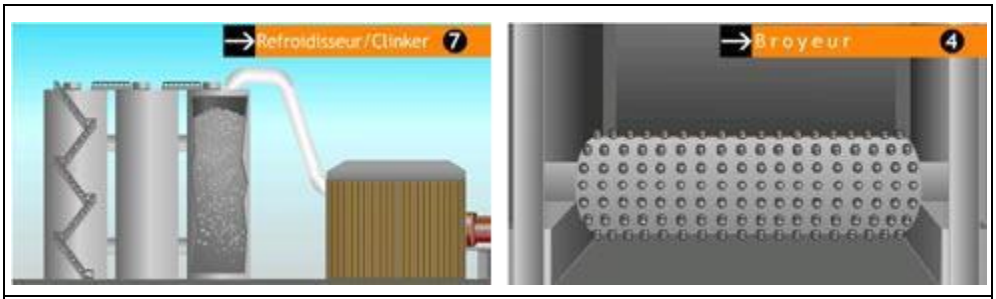


Préchauffage et cuisson de la farine

Le stockage du clinker, le broyage du ciment

Le clinker refroidi est ensuite stocké sous un hall couvert ou dans des silos.

Le clinker est broyé très finement dans un broyeur à boulets avec d'autres ajouts : cendres de centrales thermiques, laitier de haut-fourneau, gypse, dont les pourcentages déterminent les différents de qualités de ciment.



Stockage broyage du clinker

Le stockage et les expéditions

La large gamme de produits obtenus est stockée dans des silos avant d'être expédiée en vrac (par route, fer par voie fluviale) pour 70% de la production ou en sacs pour les 30% restants

La salle de contrôle et le contrôle qualité

Les pilotes de la salle de contrôle conduisent l'usine depuis leurs écrans où s'affichent toutes les informations.

A chacune des étapes de la transformation de la matière, des échantillons sont automatiquement prélevés et analysés de façon très rigoureuse.



Contrôle de fabrication et contrôle de qualité

B- Principales caractéristiques

Le ciment se caractérise par un certain nombre de critères mesurés de façon conventionnelle, soit sur la poudre, soit sur la pâte.

B.1- Caractéristiques de la poudre

1- La surface spécifique : (finesse Blaine)

Permet de mesurer la finesse de mouture d'un ciment. Elle est caractérisée par la surface spécifique ou surface développée totale de tous les grains contenus dans un gramme de ciment (norme NF EN 196-6). Elle s'exprime en cm2/g, Suivant le type de ciment, cette valeur est variée entre 2800 et 5000 cm2/g.

2- La masse volumique apparente

Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments inclus). Elle est de l'ordre de 1000 kg/m3 (1 kg par litre) en moyenne pour un ciment.

3- La masse volumique absolue

Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments exclus). Elle varie de 2 900 à 3150 kg/m3 suivant le type de ciment.

B.2- Caractéristiques mesurées sur pâte

1- Le début de prise

Le début de prise est déterminé par l'instant où l'aiguille de Vicat – aiguille de 1 mm2 de section pesant 300 g – ne s'enfonce plus jusqu'au fond d'une pastille de pâte pure de ciment. Les modalités de l'essai font l'objet de la norme NF EN 196-3. Suivant les types de ciment, le temps de début de prise doit être supérieur à 45 minutes ou à 1 heure.

2- Les résistances mécaniques

Mesurées sur éprouvettes de mortier normal, caractérisent de façon conventionnelle la résistance du ciment définie par sa valeur nominale. Cette valeur est la limite inférieure de RC 28.

C- Les principales catégories de ciment

C.1- Classification des ciments en fonction de leur résistance

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression, exprimées en MPA à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont présentées dans le tableau suivant :

Classe de ciment	Résistance à la compression [MPa]		
		28 JOURS	
	02 JOURS	MIN	MAX
32 ,5	/	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5R	≥ 13,5	≥ 32,5	≤ 52,5
42,5	≥ 12,5	≥ 42 ,5	≤ 62,5
42,5R	≥ 20	≥ 42,5	≤ 62,5
52,5	≥ 20	≥ 52,5	/
52,5R	≥ 30	≥ 52,5	/

Les classes «R» rapides, présentent au jeune âge des caractéristiques plus élevées et trouve leur intérêt particulièrement aux certaines circonstances telles que bétonnage a froid, décoffrage rapide, préfabrication.

C.2- Classification des ciments en fonction de leur composition

Selon la nature des ajouts, autre que le gypse, lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciment.

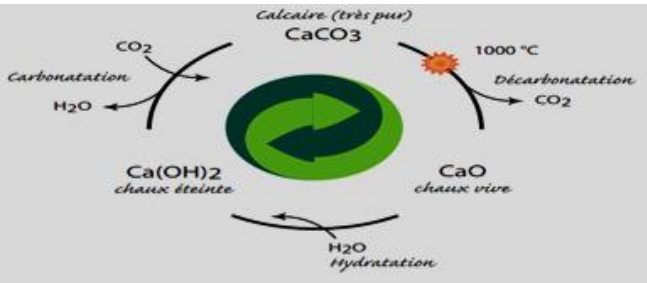
Désignation	Type de ciment	Clinker %	(%) un des constituants suivants : laitier-fumée de silice-cendre-calcaires-pouzzolane- schistes-	% matière secondaire	
CPA – CEMI	Ciment Portland	95-100		0-5	Bétons armés
CPJ-CEMII/A	Ciment Portland composé	80-94	6 à 20 % de l'un quelconque de constituant	0-5	Travaux de dallage, routes
CPJ-CEMII/B		65-79	21-35 % avec les mêmes restrictions ci-dessus	0-5	
CHF-CEMIII/A	Ciment haute fourneaux	35-65	36 à 65 %de laitier de haut fourneau	0- 5	Travx peu soumis à une trop grande augmentation de chaleur
CHF-CEMIII/B		20-34	66 à 80 %de laitier de haut fourneau	0-5	
CHF-CEMIII/C		5- 19	81 à 95 % de laitier de haut fourneau	0-5	Travaux hydrauliques souterrains, ouvrages massifs, travaux en eaux agressives
CPZ-CEMIV/A	Ciment de haut fourneau	65-90	10-35 % de pouzzolane, cendre siliceuse/fumée de silice, Ces derniers étant limités à 10 %	0-5	À éviter par temps froid
CPZ- CEMIV/B		45-64	36 à 55 % comme ci-dessus	0-5	
CLC- CEMV/A	Ciment au laitier et à la cendre	40-64	17 à 30 % de laitier de haut fourneau et 18 à 30 % de cendre siliceuse ou pouzzolane	0-5	
CLC- CEMV/B		20-39	31 à 50 % comme ci-dessus	0-5	

1.2. b- les chaux hydraulique :

La chaux est un liant, et l'élément de base de la construction traditionnelle.

Elle est aussi utilisée pour toute une gamme de finitions, enduits, badigeons et peinture. La chaux est un matériau minéral souple que l'on applique mélangé à divers agrégats pour enduire les murs intérieurs et extérieurs et pour jointoyer les pierres ou bien, simplement diluée dans de l'eau en lait ou en pâte, pour différentes techniques décoratives de peinture. La chaux se colore par les sables ou par adjonction de pigments.

I- CYCLE DE LA CHAUX



II- DÉNOMINATION DES CHAUX NATURELLES

LES CHAUX NATURELLES :

Elles sont obtenues par cuisson (calcination, à environ 850°) de calcaires contenant plus ou moins d'argiles (de 0% à 20% maximum); le faible échauffement des molécules permet au matériau de garder toutes ses caractéristiques naturelles (respiration, aptitude à véhiculer la vapeur d'eau, capillarité).

Les chaux se divisent en deux catégories :

II.1- Les chaux hydrauliques, qui font leur prisent avec l'eau.

Vous trouverez donc toujours ces chaux sous forme de poudre.

On les classe par rapport à leur degré de résistance et les nomme ainsi NHL 2, NHL 3.5, NHL 5.

	TYPE DE CHAUX		RÉSISTANCE À LA COMPRESSION (MPa)	
	Désignation	**Notation**	**7 jours**	**28 jours**
Chaux hydraulique	Chaux hydraulique 2	HL 2	/	≥ 2 à ≤ 7
	Chaux hydraulique 3,5	HL 3,5	/	≥ 3,5 à ≤ 10
	Chaux hydraulique 5	HL 5	≥ 2	≥ 5 à ≤ 15

II.2- La chaux aérienne

Dite aussi les **chaux grasse**, **fleur de chaux**, fait sa prise avec l'air.

la chaux aérienne se trouve sous forme de poudre sous la dénomination CL90-S, qui veut dire qu'elle contient un minimum de 90% de calcaire., et aussi sous forme de pâte.

La chaux aérienne se trouve donc sous deux formes : en poudre ou en pâte.

III- CARACTÉRISTIQUES DE LA CHAUX

La chaux est un liant naturel et écologique. Elle offre des avantages tel que :

- La microporosité de la chaux permet la fabrication d'un mortier perméable à la vapeur d'eau. Elle permet donc d'éviter les condensations, d'expulser l'humidité. Elle génère ainsi une nette amélioration du confort intérieur.
- Elle est imperméable à l'eau de ruissellement et protège le gros oeuvre des intempéries.
- Associée à d'autres matériaux (chanvre) elle a des vertus isolantes, aussi bien phoniques que thermiques.
- Elle assainit les supports grâce à ses vertus bactéricides.
- Ses remarquables qualités de souplesse et d'élasticité lui permettent de s'adapter parfaitement à de multiples supports, limitant considérablement les fissures dans les enduits.
- La chaux donne sur le plan décoratif un cachet sans égal à un mur ou une façade. Elle se patine et vieillit extrêmement bien.

1.3- LES ADJUVANTS

Les adjuvants sont des produits chimiques (liquide ou poudre) utilisés dans le cas des mortiers et bétons au moment du malaxage.

Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ 5% du poids de ciment au maximum) à l'état frais et/ou durci.

La qualité finale du béton dépend essentiellement des paramètres de composition et de mise en œuvre.

Les adjuvants contribuent donc à la maîtrise :

Des caractéristiques finales d'un béton durable en influençant :

- ✓ Sa résistance mécanique,
- ✓ Sa résistance aux chocs,
- ✓ Sa résistance à l'abrasion,
- ✓ Sa résistance au gel,
- ✓ Sa résistance chimique,
- ✓ Sa couleur et son esthétique,
- ✓ Son imperméabilité.

Des contraintes de mise en œuvre :

- ✓ En optimisant les coûts de production,
- ✓ En optimisant les cadences de rotation des coffrages, les cadences de manutention des pièces,
- ✓ En optimisant les délais et difficultés d'exécution et de remise en service,
- ✓ En optimisant les conditions d'application : température, humidité, immersion,
- ✓ En améliorant les conditions de travail,
- ✓ En respectant de l'environnement.

Les Adjuvants sont classés comme suite :

1.3.1- Les Adjuvants modifiant la maniabilité du béton :

a- Plastifiants réducteurs d'eau

Les plastifiants permettent de modifier la consistance, de réduire la teneur en eau du béton donné (Réducteur d'eau), ou, sans modifier la teneur en eau, d'augmenter l'affaissement / l'étalement ou de produire les deux effets à la fois.

Les Plastifiants sont normés selon la NF EN 934-2.

Ils permettent :

- ✓ D'augmenter la compacité du béton entraînant une amélioration des résistances,
- ✓ De faciliter la mise en place du béton,
- ✓ D'augmenter la maniabilité tout en réduisant l'eau de gâchage,
- ✓ De réduire la ségrégation,

Les domaines d'application sont les suivants :

- ✓ Béton prêt à l'emploi BPE,
- ✓ Bétons architectoniques,
- ✓ Bétons d'ouvrages d'art courants jusqu'à B40,
- ✓ Bétons de bâtiment,
- ✓ Bétons manufacturés,
- ✓ Bétons routiers,
- ✓ Bétons projetés.

b- Super-plastifiants haut réducteurs d'eau :

Les super plastifiants permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné (haut réducteur d'eau), ou , sans modifier la teneur en eau, d'augmenter considérablement l'affaissement/l'étalement ou de produire les deux effets à la fois.

Les super plastifiants sont normés selon la NF EN 934-2.

Ils permettent :

- ✓ De réduire très fortement la quantité d'eau de gâchage tout en maintenant la maniabilité,
- ✓ D'augmenter la maniabilité tout en conservant les performances,
- ✓ de réaliser des bétons à compacité élevée, permettant des gains de performance très importants en terme de : résistances mécaniques initiales et finales élevées; - diminution de la porosité et - accroissement de la durabilité.

Les Domaines d'application sont les suivants

- ✓ Béton Prêt à l'Emploi BPE
- ✓ Bétons Haute Performance BHP et Bétons Très Haute Performance BTHP,
- ✓ Bétons auto nivelant BAN - Bétons Auto Plaçant BAP
- ✓ Bétons d'ouvrages d'art,
- ✓ Bétons de dallages industriels,
- ✓ Bétons de bâtiment,
- ✓ Bétons précontraints,
- ✓ Bétons pompés,
- ✓ Bétons pour fondations profondes,
- ✓ Bétons pour ouvrages fortement ferraillés,
- ✓ Bétons soumis à des milieux agressifs,
- ✓ Bétons architectoniques.

1.3.2- Les Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

A- Les accélérateurs de durcissement et la prise

Les accélérateurs de durcissement augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise.

Les accélérateurs de durcissement sont normés selon la NF EN 934-2 d'Avril 1998.

Rappel :

La vie du béton passe par trois phases essentielles :

- plastique : fabrication, transport et mise en œuvre,

- prise : perte de maniabilité, faibles résistances mécaniques,

- durcissement : augmentation des résistances mécaniques.

Les accélérateurs de durcissement permettent d'accroître la vitesse de montée en résistance du béton.

Les Domaines d'application sont les suivants :

- ✓ Béton prêt à l'emploi BPE,
- ✓ Bétons nécessitant une résistance à court terme,
- ✓ Bétons pour décoffrages rapides,
- ✓ Bétons précontraints.

b- Les accélérateurs de prise :

L'accélérateur de prise a pour fonction principale de diminuer le temps de prise du ciment dans les bétons.

Ils sont à recommander pour

- ✓ Les bétonnages par temps froid,
- ✓ Les décoffrages rapides,
- ✓ Les scellements,
- ✓ Les travaux en galerie,
- ✓ Les travaux sous l'eau, etc.

c- Les retardateurs de prise

Les retardateurs de prise permettent de retarder le début de prise du béton.

Les retardateurs de prise sont normés par la NF 934-2 d'avril 1998.

Ils permettent :

D'augmenter le temps de début de prise,

De réguler le dégagement de chaleur due à l'hydratation du ciment.

Les domaines d'application sont les suivants :

- ✓ Béton prêt à l'emploi BPE,
- ✓ Bétons pompés,
- ✓ Bétons pour ouvrages de masse,
- ✓ Coulage du béton en continu,
- ✓ Coulage de béton par temps chauds.
- ✓ Transports sur longues distances

1.3.3- Les Adjuvants modifiant certaines propriétés du béton :

a- Les entraîneurs d'air

Les entraîneurs d'air permettent : d'entraîner, à l'intérieur du béton, des microbulles d'air parfaitement réparties qui serviront de vase d'expansion dans le béton durci, d'améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel...

Les entraîneurs d'air sont normés par la NF EN 934-2 d'avril 1998.

Ils permettent :

- ✓ D'entraîner, à l'intérieur du béton, des microbulles d'air parfaitement réparties qui serviront de vase d'expansion dans le béton durci,

- ✓ D'améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel et des sels de déverglace,
- ✓ De faciliter la mise en œuvre du béton.
- ✓ Les domaines d'application sont les suivants :
- ✓ Bétons prêt à l'emploi BPE,
- ✓ Bétons d'ouvrages d'art exposés aux cycles gel/dégel (association avec un super-plastifiant recommandée).
- ✓ Bétons devant résister aux cycles de gel et de dégel,
- ✓ Bétons extrudés,
- ✓ Bétons routiers.

b- Hydrofuge de masse

Les hydrofuges de masse permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques.

Les hydrofuges de masse sont normés selon la NF EN 934-2 d'avril 1998.

Rappel : Ils se combinent à la chaux du ciment pour former des cristallisations complémentaires qui obstruent les capillaires du mortier ou du béton.

Les hydrofuges de masse permettent :

- ✓ De réduire la perméabilité et l'absorption capillaire du béton,
- ✓ De réduire l'apparition des efflorescences.

Les domaines d'application sont les suivants :

- ✓ Béton prêt à l'emploi BPE
- ✓ Bétons étanches dans la masse, fondations, radiers, réservoirs,
- ✓ Bétons manufacturés : bordures, pavés, ...

1.4- LES MORTIERS

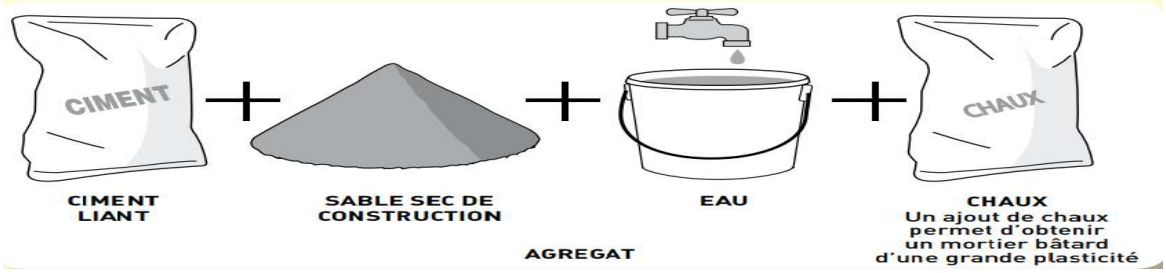
Une construction est généralement réalisée par éléments, dont il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement, on doit alors effectuer des scellements ou divers travaux de reprise, de bouchage, etc.



Toutes ces opérations se font à l'aide d'un liant toujours mélangé à du sable, de l'eau – et éventuellement un adjuvant – pour obtenir un « mortier », qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

Donc :

Le mortier est un mélange de liant – chaux ou ciment –, de sable, d'eau et éventuellement d'adjuvants.



A- Formulation et performances

Selon les performances souhaitées, on utilise des formulations variées, notamment en ce qui concerne les liants.

A.1- Les mortiers de ciment

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables.

Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m3 de sable.

A.2- Les mortiers de chaux

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

A.3- Les mortiers bâtards

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants.

Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales ;mais on mettra une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

Plus grande plasticité	→	**Plus de chaux**
Plus grande résistance	→	**Plus de ciment**

B- Caractéristiques des composants

Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires ; leur granulométrie est de préférence continue.

Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants selon la caractéristique recherchée : plastifiants, entraîneurs d'air, retardateurs de prise, hydrofuges.

L'incorporation de fibres de verre ou de polypropylène permet d'obtenir des mortiers présentant une cohésion supérieure et moins fissurables.

C- Mortiers de chantier

1- Les mortiers fabriqués sur le chantier

C'est encore le cas très souvent pour des menus travaux ; le plus grand soin doit être apporté tant au stockage qu'au mélange des constituants qui seront choisis en fonction de l'ouvrage à réaliser : type et classe du liant, nature et granulométrie du sable, dosage en eau, nature des adjuvants.



2- Les mortiers industriels secs pré mélangés

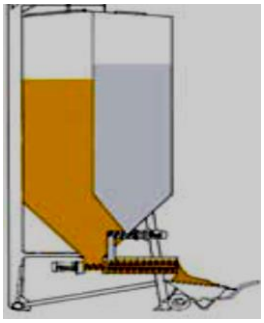
Comme la plupart des produits industriels, ces mortiers font l'objet de contrôles à tous les stades de leur élaboration, ce qui constitue pour l'utilisateur une sécurité. Les avantages présentés par ces produits sont :

- ✓ Un pré dosage de composition constante, garant de régularité et de qualité ;
- ✓ un gain de temps pour préparer le mortier ;
- ✓ des chantiers plus propres.

Les producteurs proposent de nombreuses formules standard répondant à la plupart des besoins.

3- Les mortiers frais retardés, stabilisés, prêts à l'emploi





Les mortiers frais retardés et stabilisés sont élaborés et livrés par des centrales, comme le Béton Prêt à l'Emploi.

Du fait qu'ils sont retardés, ces mortiers peuvent être livrés et stockés en quantité importante sur le chantier, on peut les utiliser dans un délai allant jusqu'à 36 heures.

D- Emplois des mortiers

D.1- Le hourdage de maçonnerie

La construction réalisée en éléments maçonnés (blocs de béton, pierre de taille, briques), nécessite leur assemblage avec un mortier qui doit présenter des caractéristiques mécaniques suffisantes pour assurer la transmission des charges et une compacité suffisante pour être étanche.

D.2- Les enduits



Ce domaine d'application constitue l'un des plus vastes débouchés des mortiers. À côté des enduits traditionnels en trois couches se développent aujourd'hui des enduits monocouches épais, ainsi que des enduits isolants.

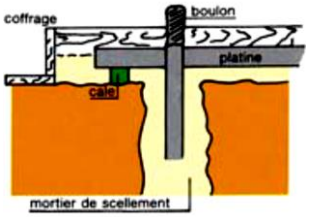
D.3- Les chapes



Les chapes ont pour fonction d'assurer la mise à niveau du dallage et la régularité de sa surface.

Les chapes peuvent constituer la finition. Elles peuvent aussi constituer le support d'un revêtement de sol.

D.4- Les scellements et les calages

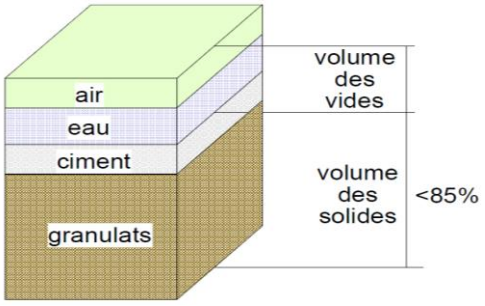


La multiplicité des problèmes de scellement et de calage a conduit les producteurs de mortiers industriels à mettre au point des produits spécifiques adaptés aux travaux à réaliser : scellements d'éléments de couverture, d'éléments de second œuvre, de mobiliers urbains, de regards de visite.

1.5- LE BETON

1.5.1- FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE DU BETON

Le Béton : est un matériau composite qui est constitué de particules minérales inertes cimentées par un liant, pour former une masse dense et homogène. Dans le cas du béton de ciment, la matière minérale, appelée granulats, est formée de pierre et de sable ; et le liant est un mélange de ciment portland et d'eau, appelé pâte de ciment.



Par rapport de la proportion des composants, on peut considérer que le béton est un mélange en proportions variables de :

- - ciment : 9 – 18 % ;
- - l'eau : 6 – 9% ;

- - sable : 23 – 35 % ;
- graviers : 35 – 55%

Par ailleurs, le béton peut contenir des adjuvants et additifs pour béton.

A- FORMULATION

Le béton est un mélange dont la composition a une profonde influence sur ses caractéristiques; mais si les caractéristiques attendues sont la plupart du temps bien définies.

Les paramètres sont en effet nombreux :

- ✓ **les données du projet :** caractéristiques mécaniques, dimensions de l'ouvrage, ferraillage, etc. Les méthodes de formulation du Béton dimensions de l'ouvrage, ferraillage, etc.
- ✓ **les données du chantier :** matériel de mise en œuvre, conditions climatiques, etc.
- ✓ **les données liées aux propriétés du béton :** maniabilité, compacité, durabilité, aspect, etc.

Donc la formulation d'un béton est liée par les exigences suivant :

Exigence constructives :

- ✓ classe de résistance (Fc_{28})
- ✓ domaine d'utilisation (BA, BP….)

Exigence de mise en œuvre :

- ✓ classe de consistance
- ✓ diamètre max des gros granulats

A- Dosage et le choix de ciment

Le ciment est un liant qui forme une pâte lorsqu'il est mélangé à de l'eau.

Il assure la cohésion des matériaux présents dans le béton (gravier, sable).

Le dosage du ciment est l'un des plus important, étant donné que ce composant à une grande influence sur la résistance du béton. Autrement dit, plus il y a de ciment, plus le béton est résistant.

Aussi est-il commun d'exprimer les dosages de béton en kg de ciment que l'on intègre dans le béton (béton dosé à 250, 300, 350 ou encore 400 kg/m3).

Le dosage du béton diffère suivant son utilisation: dalle de terrasse, dalle carrossable, fondation, béton armé.

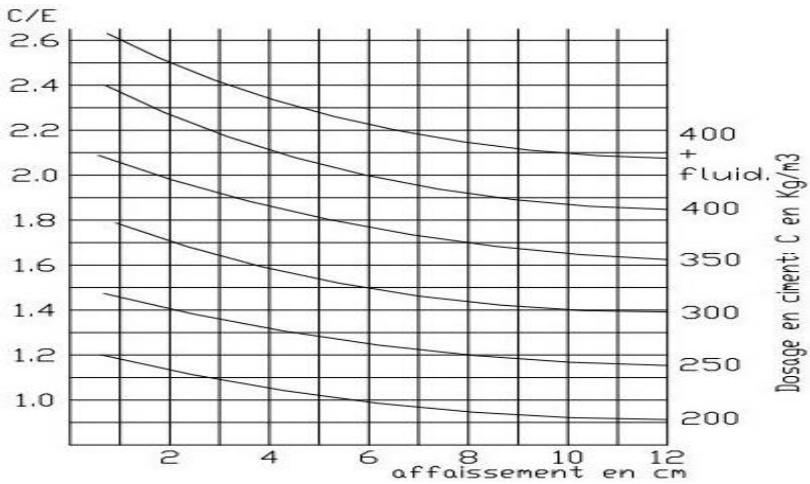
- Pour les applications courantes on utilise un béton dosé entre 200 et 350 kg/m3.

Par ex :

Types d'ouvrages	Béton de propreté	Fondation courante	Fondation renforcée	Dalle armée	Béton pour linteau, poteau...	Béton de scellement (clôture, regard...)
Ciment (kg)	150	300	350	350	350	250
Fc28 min	3	12	16	16	16	8

- Pour les bétons spéciaux le dosage de ciment Cela change en fonction de type de l'ouvrage, le type de ciment est la résistance souhaitable et la qualité des agrégats utilisée au cadre d'une formulation étudiée.

-



Abaque de Dreux

Le choix de type de ciment dépend par la nature de l'ouvrage. (Voir le cours des ciments)

B- dosage en eau

L'eau joue un double rôle dans la technologie du béton.

D'une part, elle est nécessaire au durcissement du ciment, puisque la réaction chimique du ciment (hydratation) est induite par l'eau.

D'autre part, elle est indispensable pour assurer l'ouvrabilité et une mise en place correcte du béton frais.

L'eau doit être Propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ses performances: résistance mécanique à la compression, durabilité.

Le rapport E/C varie généralement de 0,45 à 0,65.

Influence de l'eau de Gâchage à la qualité de Béton :

- Le temps de prise
- la résistance en compression (RC28) a 28 jours

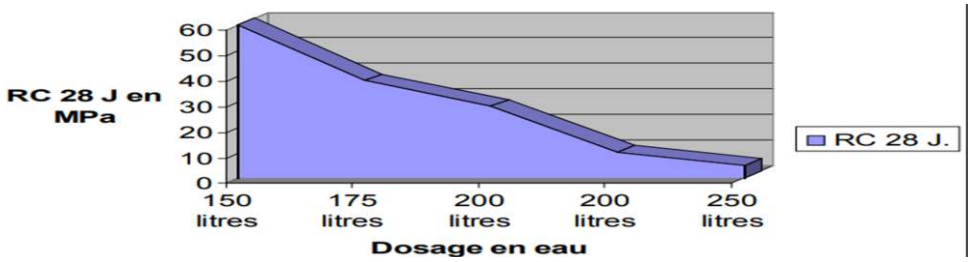


Fig. Relation entre le Dosage en eau-RC28

C- Choix et dosage des granulats

Les classes granulaires couramment utilisées en Algérie sont

- ✓ 0/3 pour le sable
- ✓ 3/8 et 8/15, 15/25 pour les gravillons.

Le choix sera fonction de :

- ✓ Epaisseur de l'ouvrage.
- ✓ Distance entre armatures.
- ✓ Epaisseur d'enrobage des armatures requise

Le dosage du granulat

Le rapport G/S revient rarement dans les discussions technico-commerciales entre bétonniers et entreprises génie civil ou bâtiment.

Cependant, c'est un Indicateur qui rentre directement dans la formulation du béton et influence certains paramètres du béton frais et durci qu'il est préférable de garder à l'esprit.

- ✓ La Compacité : légèrement plus élevée pour G/S > 1.2
- ✓ La Résistance à la compression : meilleure pour G/S > 1.2
- ✓ L'Ouvrabilité : un peu moins bonne pour G/S > 1.2

Le choix des agrégats dépend par des caractéristiques géométriques, physiques, mécaniques, et chimiques constantes mesurées par série des essais (lire les caractéristiques des Agrégats pour le béton)

D- Choix et dosage des Adjuvants :

Selon performances et conditions d'emploi.
Dosage selon préconisation de la fiche technique et après essai en fonction notamment du ciment utilisé.

C- LA FABRICATION

Les méthodes de fabrication du béton sont adaptées à la nature du chantier et aux types de béton à réaliser.

Le béton est fabriqué principalement dans des **centrales de BPE**, dans des **centrales de chantier**, dans des **bétonnières** pour les petits chantiers , des fois **manuelles.**

1.5.2- LE CONTROL DU BETON

A- LES ESSAIS DE CONTROL DU BETON FRAI

La propriété essentielle du béton frais est la maniabilité qui caractérise son aptitude à remplir les coffrages et à enrober convenablement les armatures.

La consistance du béton frais détermine l'ouvrabilité du béton. Elle décrit non seulement la cohésion interne du béton frais, mais aussi d'importantes propriétés telles que le comportement à l'écoulement, la tendance à la ségrégation et l'aptitude au lissage.

Les méthodes suivantes sont employées de préférence pour la mesure de la consistance:

• l'étalement à la table à chocs

• l'affaissement au cône d'Abrams (Slump)

Classes de consistance : NF EN 206-1

Consistance au cône d'Abrams		
classe	**Affaissement en mm**	**consistance**
S1	de 10 à 40	Ferme
S2	de 50 à 90	Plastique
S3	de 100 à 150	Très Plastique
S4	de 160 à 210	Fluide
S5	≥ 220	Très fluide

Consistance à la table d'étalement		
classe	**Etalement en mm**	**consistance**
F1	≤340	Ferme
F2	De 350 à 410	plastique
F3	de 420 à 480	Mou
F4	de 490 à 550	Très Mou
F5	de 560 à 620	fluide
F6	≥630	Très fluide

Prélèvement de béton : NF EN 12350-1

1- Le prélèvement de béton se fait après de malaxage pour élimination de la laitance supérieure de béton



2- Prélèvement au moment de l'emploi après déversement de 0,3 m3

3- La quantité à prélever 1,5 fois le volume nécessaire aux essais

Exemple :

Pour 6 éprouvettes 16x32 38,4 ltr

+ 1 cône d'Abrams 6 ltr

+ 1 teneur en air 8 ltr

Total utilisé : 52,4 ltr

Minimum à prélever : 52,4 * 1,5 = 78,6 l ~ 80 ltr



4- Le prélèvement se prise élémentaire : à main écope pour homogénéise l'échantillon

A.1- L'ETALEMENT A LA TABLE A CHOCS (NF EN 12350-5)

L'étalement est une méthode de mesure adaptée aux classes de consistance du béton frais F2 à F5, c.-à-d. pour des bétons fermes à fluides.

Elle n'est pas recommandée pour la mesure des étalements ≤340mm et > 630 mm

LE MATERIEL UTILISE :

- ✓ Table 700 x 700 mm en bois avec charnière
- ✓ Recouverte d'une feuille en acier galvanisé
- ✓ Cône en acier galvanisé (Ø 130 mm)
- ✓ Livrée avec pilon en bois

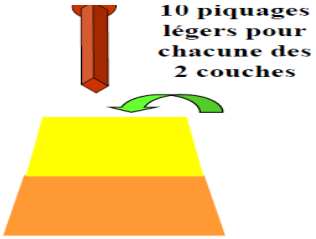


MESURE DE L'ETALEMENT:

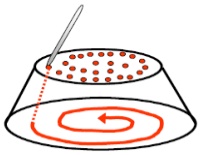
1- poser la table d'étalement sur un support plat, horizontal et non soumis à des vibrations ou à des chocs

2- humidifier la table d'étalement, la face interne du moule conique et tous les ustensiles

3- introduire le béton frais dans le moule conique situé au centre de la table en 02 couches d'une hauteur égale



4- compacter chaque couche dix fois avec le pilon de piquage (le piquetage doit être reparti)



5- araser le béton au niveau du bord supérieur du moule à l'aide de pilon et nettoyer le plateau de la table autour du moule

6- 30 secondes après l'arasement du béton, soulever le moule avec précaution



verticalement et lentement en 1 à 3 secondes

7- soulever le plateau jusqu'à la butée et le laisser retomber b librement, répéter 15 fois ce cycle, la durée de chaque cycle étant comprise entre 1 et 3 secondes.

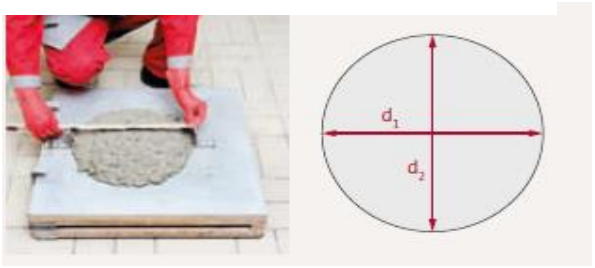


8- La table est stabilisée en bloquant avec les pieds de l'opérateur les pattes à l'avant de la table

9- mesurer avec la règle l'étalement maximal du béton en deux directions d_1 et d_2, parallèles aux bords de la table, en millimètres

10- calculer l'étalement selon l'équation suivante :

$F = \frac{d_1+d_2}{2}(mm)$



NB :

La Valeur $d_2 - d_1 < 100mm$

Exemple:

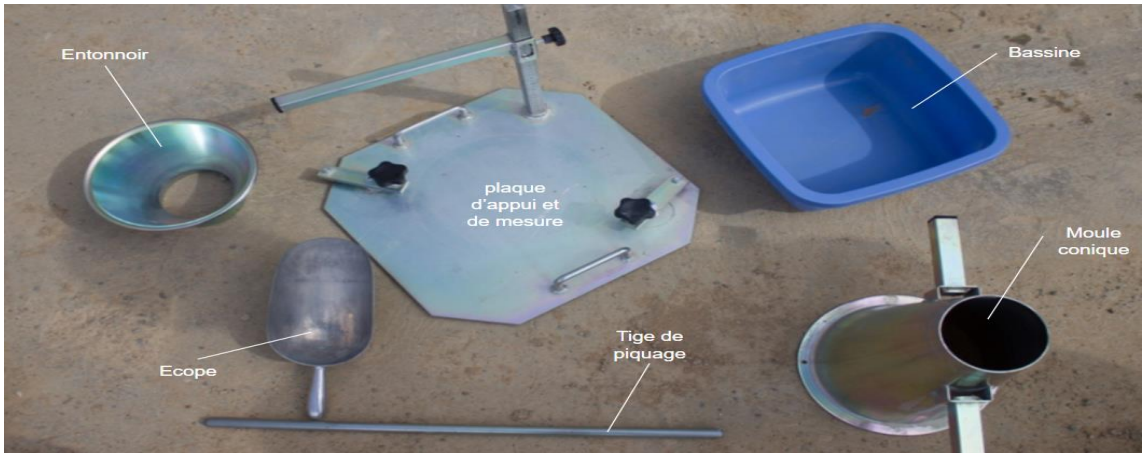
Détermination de l'étalement F d'un béton dans le cadre d'un contrôle de béton frais. Les mesures des diamètres d_1, d_2 de la galette donnent des valeurs de $d_1 = 450$ mm et $d_2 = 465$mm

A.2- L'AFFAISSENT AU CONE D'ABRAMS (NF EN 12350-2)

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams a pour objectif de déterminer le degré de plasticité d'un béton, ce que l'on appelle encore, la classe de consistance. Selon qu'un béton est plus ou moins plastique; c.à.d mou,

LE MATERIEL UTILISE :

Pour réaliser l'essai dans les conditions normalisées, il faut se procurer le matériel ci-dessous :

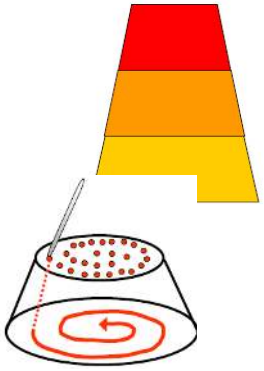


Une fois le matériel préparé, et en particulier le cône d'Abrams dont les caractéristiques sont les suivantes :

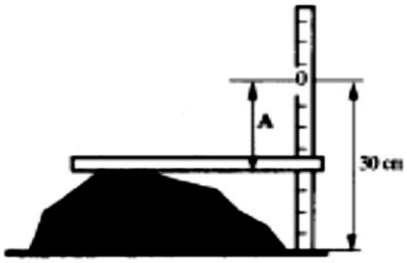
- ✓ Cône en acier galvanisé.
- ✓ Diamètre intérieur à la base de 200 mm
- ✓ Diamètre intérieur au sommet de 100 mm
- ✓ Hauteur de 300 mm
- ✓ la tige de piquetage doit être ovale au les limites.

MESUR DE L'AFFAISSEMENT:

1- humidifier la face interne du moule conique et le plateau de base
2- introduire le béton frais en trois (03) couches d'une hauteur égale, sans déplacer le moule
3- compacter chaque couche 25 fois avec la tige de piquage, en observant les prescriptions normatives pour le compactage



4- pour le remplissage et le piquage de la couche supérieure, remplir en excès le moule avant de commencer le piquage
5- araser le béton au niveau du bord supérieur du moule en effectuant un mouvement de sciage et de roulage à l'aide de la tige de piquage et nettoyer le plateau de base
6- soulever verticalement le moule avec précaution (sans rotation) en 2 à 5 secondes. L'ensemble des opérations, depuis le début du remplissage jusqu'à l'enlèvement du moule, doit être réalisé sans interruption et terminé en moins de 150 secondes
7- mesurer l'affaissement (h) à 10mm près





Exemple :

Classer les classe de consistances selon de leur affaissement :

Echantillon	L'affaissement (A) en mm	classe	La consistance
01	17		
02	95		
03	45		
04	210		

B- LES ESSAIS DE CONTROLE DU BETON DURCI

Le béton durci est un matériau hétérogène : un 'squelette' de granulats gros et fins est enveloppé et lié par un 'tissu' de fibres d'hydrates de ciment. La qualité du béton à l'état durci dépend des caractéristiques du squelette pierreux.

Les principaux essais de béton durci sont les essais de détermination les caractéristiques mécaniques, soit les essais de compression, traction, flexion …

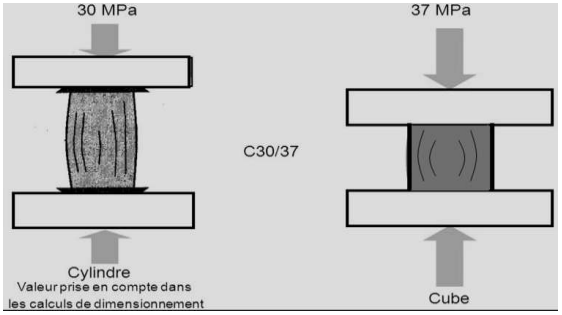
B.1- Essai de compression

Un essai de compression mesure la résistance à la compression d'un matériau sur une machine d'essais mécaniques suivant un protocole normalisé. Les essais de compression se font souvent sur le même

appareil que l'essai de traction mais en appliquant la charge en compression au lieu de l'appliquer en traction.



Pour l'établissement des projets, dans les cas courants, un béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression à l'âge de 28 jrs.



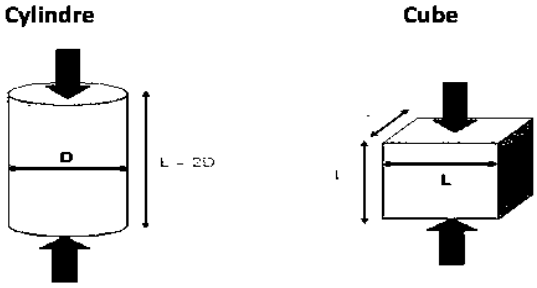
La résistance obtenue est désignée par:

$$F_{C28} = F/A.$$

F : La charge maximale appliquée (N : newton).

A : aire de la section (mm^2).

Les éprouvette pour béton est cylindrique 25*50,16*32 et 11*22 ou cubique 10*10*10 et 15*15*15.



Objectif de l'essai :

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

Principe de l'essai :

Les éprouvettes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

Equipement nécessaire :

Une machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester

Un moyen pour rectifier les extrémités des éprouvettes : surfaçage au soufre, ou disque diamanté

Une éprouvette cylindrique de dimensions normalisées et d'élancement de (H= 2 Ø).

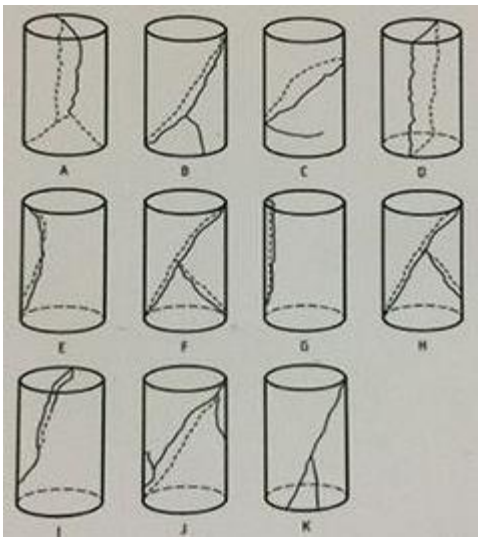
Les dimensions les plus utilisées sont : H= 32 cm Ø = 16 cm.

Mode Opératoire

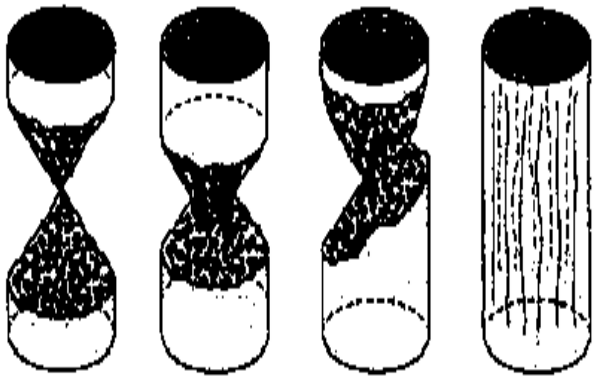
1- La surface de l'échantillon doit être débarrassée de toute humidité excédent.
2- Les éprouvettes doivent être entreposées de manière conforme et centralisé.
3- La charge d'essai doit être appliquée de manière uniforme et exempte de toutes secousses.
4- La charge d'essai est accrue pas à pas de 0,2 à 1,0 N/mm2.

5- A partir de la charge d'essai en kN, on obtient la résistance à la compression du cube ou du cylindre.

6- Le type de rupture doit être évalué sur la base de photographies. Il faut documenter tous les schémas de rupture qui sortent de l'ordinaire.



ruptures incorrectes



types ruptures correctes

La valeur de la résistance a la compression : $R_{CJ} = F_{eclatement} / S$

R_{CJ} : la contrainte max de la rupture de l'éprouvette

$F_{éclatement}$: La charge maximale appliquée jusqu'à la rupture.

S : aire de la section.

Exemple01 :

Soit les résultats des charges correspondants à la rupture des éprouvettes cylindrique (16x32) a la presse suivant :

N° éprouvette	01	02	03	04	05	06
Charge de rupture (KN)	$40x10^3$	$33x10^3$	$51x10^3$	$64x10^3$	$18x10^3$	$84x10^3$
La résistance(kn/cm^2)	$2x10^3$	$1.65x10^3$				

Exemple02 :

Soit les résultats des charges correspondants à la rupture des éprouvettes cubique (10x10) a la presse suivant :

N° éprouvette	01	02	03	04
Charge de rupture (KN)	$50x10^3$	$43x10^3$	$59x10^3$	$74x10^3$
La résistance				

B.2- Essai Scléromètre : (NF EN 12504-2)

Le scléromètre :

Le scléromètre s'utilise généralement dans le secteur de la construction et parfois dans d'autres secteurs industriels.

Le scléromètre est utilisé pour la vérification du béton.



Objectif de l'essai:

Le but de l'essai est de :

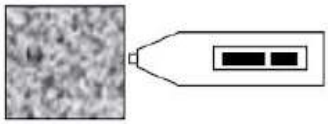
1- permettre l'obtention rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

2- La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive.

3- Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

Principe

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur la quelle frappe la masse.



Mode Opératoire :

a- Equipement nécessaire : Un scléromètre ; Pierre de surfaçage.

b- Préparation de la surface :

Les mesures doivent être effectuées sur des surfaces nettes ne présentant pas de nids de gravier, des écaillages, de texture grossière, de porosité élevée ou d'armatures.

La préparation de la surface consiste à éliminer tout enduit ou peinture adhérant ou poncer si cette surface est constituée d'une couche superficielle friable a l'aide de la pierre de surfaçage.

Toute trace d'eau sur la surface doit être essuyée.

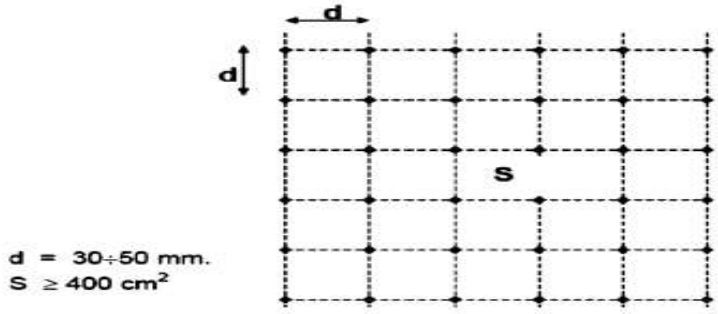
c- Points de mesures

La surface de mesure doit être divisée en zones de 400 cm² au moins, et structurée en une grille de points de mesure ayant pour espacement d = 30÷50 mm.

Les points de mesures extrêmes doivent être au moins à 30 mm des bords de la surface testée.

La surface de cette zone est équivalente à celle d'un carré d'environ 25 cm de côté.

Au cours de ces mesures, il convient de ne pas effectuer l'essai à moins de 3 à 4 cm des bords de l'élément testé.



d- Conduite de l'essai :

Appuyer sur le scléromètre jusqu'à l'ouverture de bouton latérale qui situé au surface de scléromètre, et la sortie de la tige du choc.

Maintenir fermement le scléromètre de manière à permettre à la tige de percussion de frapper perpendiculairement la surface d'essai (zone de mesure),

Augmenter progressivement la pression exercée sur la tige jusqu'au déclenchement du choc, Après le choc, fixer le bouton latérale pour la fixation de la lecture de rebondissement.

Enregistrer l'indice de rebondissement sur le tableau suivant :

N° du choc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Valeur du choc										

Effectuer au moins 10 mesures successives dans la même zone(les lectures Très grandes ou très petites sont éliminées).

e- Expression des résultats : A partir de l'indice de scléromètre (**Is**) de la zone testée et de l'abaque illustré ci après on peut déduire directement la résistance du béton.

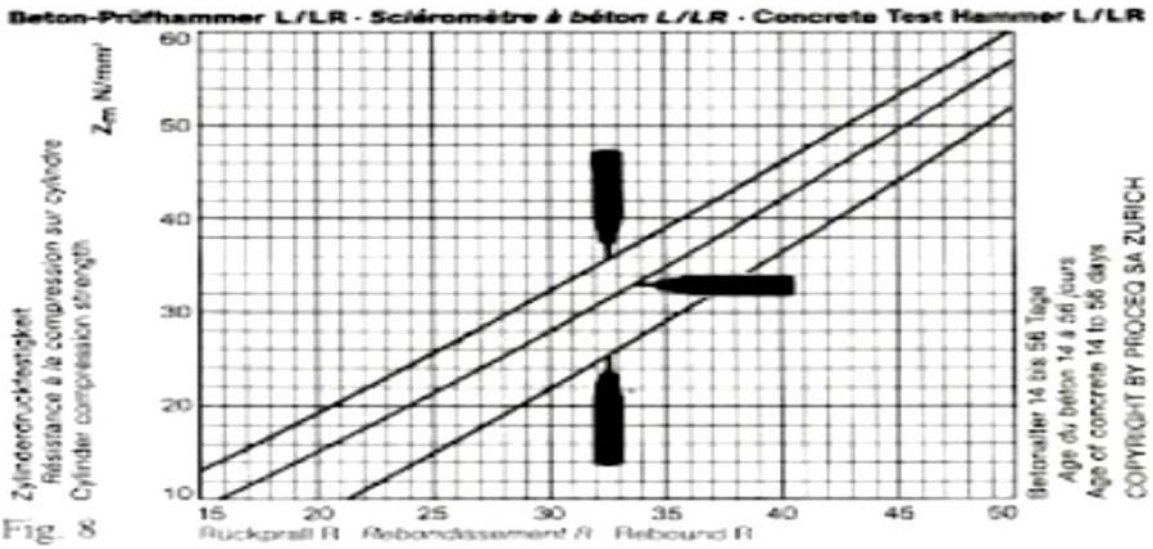


Fig. 8

NB : les résultats ± 5 au moyen doit être refusé.

Exemple :

Soit les indices de choc d'un scléromètre suivant :

N° du choc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Valeur du choc	38	33	37	38	32	40	34	39	37	36

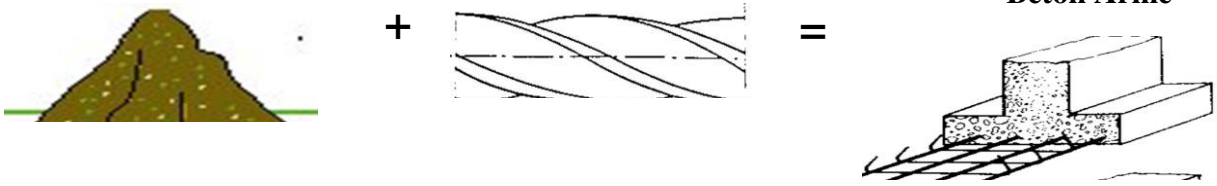
- Déterminer la résistance correspondante ?

1.6- Béton armé

a- QU'EST CE QUE LE BETON ARME ?

le béton armé résulte de l'association de deux matériaux complémentaire Béton-Acier

Béton + **Acier** = **Béton Armé**

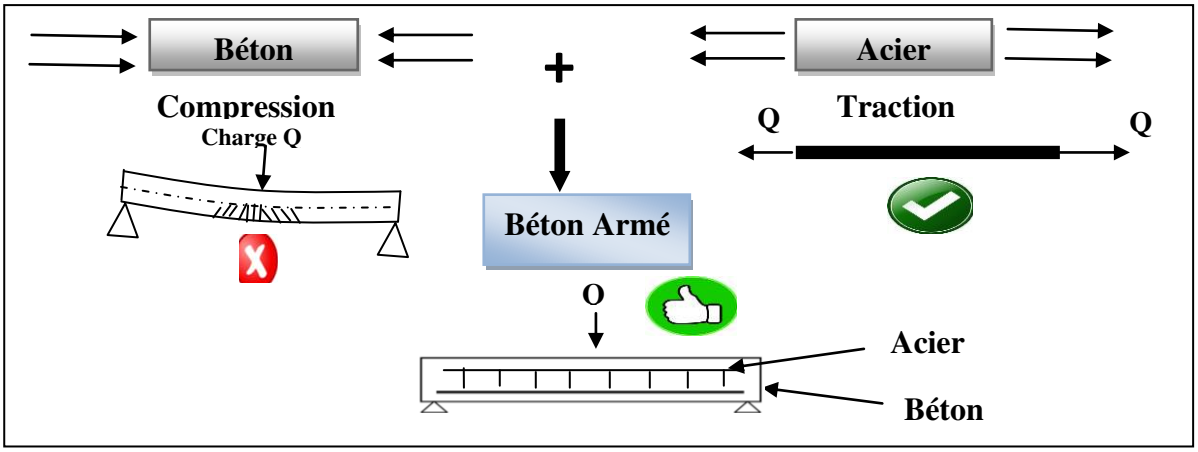


b- POURQUOI ON UTILISE DU BETON ET DE L'ACIER ?

1- On utilise le béton car c'est un matériau : Grande résistance en compression et Faible en Traction
2- On utilise l'acier car c'est un matériau : Qui a une grande résistance autant en compression que en traction

Et à partir de là nous concluons :

$$en\ Général : \begin{cases} \textbf{Béton}: \text{Reprise des efforts de compression} \\ + \\ \textbf{Acier}: \text{Reprise des efforts de traction} \\ = \\ le\ béton\ Armé \end{cases}$$



c- Aciers pour béton

c.1- L'acier pour béton armé

La norme NF EN 10080 définit l'acier pour béton armé comme un produit en acier de section circulaire ou pratiquement circulaire qui convient pour l'armature du béton.





Les barres d'armature sont produites par les aciéries, et sont disponibles avec des diamètres variant entre 6 millimètres et 50 millimètres.

Elles sont ensuite pliées par les fournisseurs selon les plans établis par l'ingénieur civil.

Sur le chantier, elles sont assemblées par ligature, par soudage ou par des coupleurs mécaniques, pour former des cages d'armature.

Les spécialistes de la pose d'armatures sont communément appelés ferrailleurs.

c.2- Les caractéristiques de l'acier en béton armé et leurs caractéristiques mécaniques

1- Forme optimale

C'est la forme ronde, car lors de la mise en œuvre, le béton doit pouvoir remplir le plus possible de volume qui lui est offert. Cette condition est plus facile à remplir quand la section est plus ramassée que si l'armature présente des angles vifs ;

2- Ductilité

C'est un caractère important des aciers pour l'armature, c'est son caractère à être maniable (déformable) parce que les aciers livrés par les usines sont en barre or dans un ouvrage on doit façonner les armatures pour leur donner la forme convenable.

3- Limite d'élasticité des aciers

Les constructeurs font toujours travailler les barres d'acier à un taux inférieur ou égal à la limite d'élasticité de cet acier. La raison principale est la suivante « l'allongement dans le sens de l'effort d'une barre s'accompagne toujours d'une contraction transversale ». En conséquence si la limite élastique de l'acier est dépassée, la contraction transversale est très importante et l'armature n'est plus adaptée à sa gaine de béton. Ce qui diminue considérablement l'adhérence acier-béton. Dès lors la construction périra à cause de ce manque d'adhérence.

c.3- Types d'aciers pour le béton armé

On dénombre quatre (03) types d'aciers utilisés pour le béton armé :

- Les ronds lisses
- Les barres à haute adhérence
- Les treillis soudés

1- Les ronds lisses



Les diamètres nominaux sont les suivants : 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32 et 40 mm

Caractéristiques mécaniques

Ces aciers sont obtenus en trois (03) nuances qui sont : Fe E 22 ; Fe E 24 ; Fe E 34

Dénomination de l'acier	Limite d'élasticité	Contrainte de rupture	Allongement de rupture [%]
	Kg/mm²	Kg/mm²	
Fe E 22	22	33	22
Fe E 24	24	42	25
Fe E 34	34	60	16

2- Les barres à hautes adhérences

Les nombreuses recherches effectuées sur les barres ont conduit à la conclusion suivante : les meilleures formes sont celles de cylindre portant des nervures transversales normales à l'axe ou incliné sur lui et de saillie relativement faible.

Actuellement les aciers à haute nuance comprennent deux (02) classes :



- ✓ aciers crénelés
- ✓ aciers écrouis : aciers tors (les plus présents sur le marché) et aciers tentor.

Caractéristiques mécaniques de l'acier

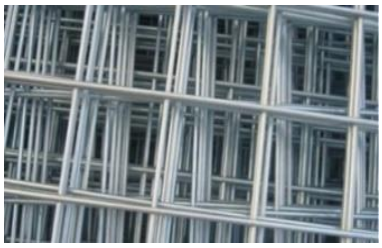
Il y a quatre (04) nuances :

- HA Fe E 40 A
- HA Fe E 40 B
- HA Fe E 45
- HA Fe E 50

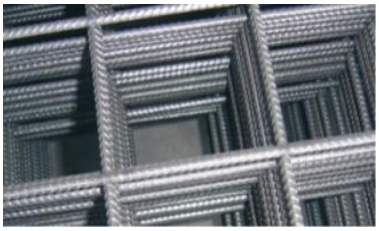
Dénomination de l'acier	Limite d'élasticité [Kg/mm²]	Allongement de rupture [%]
HA Fe E 40 A	d>20 : 40	14
	d<20 : 42	
HA Fe E 40 B	d>20 : 40	12
	d<20 : 42	
HA Fe E 45	45	12
HA Fe E 50	50	10

3- Les treillis soudés

C'est un grillage de fil d'acier se croisant perpendiculairement à l'intervalle régulier.
Ce sont des armatures utilisées dans les dalles, dans les murs préfabriqués, etc. les diamètres nominaux sont : 3 – 3,5 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 - 12.



TS lisse



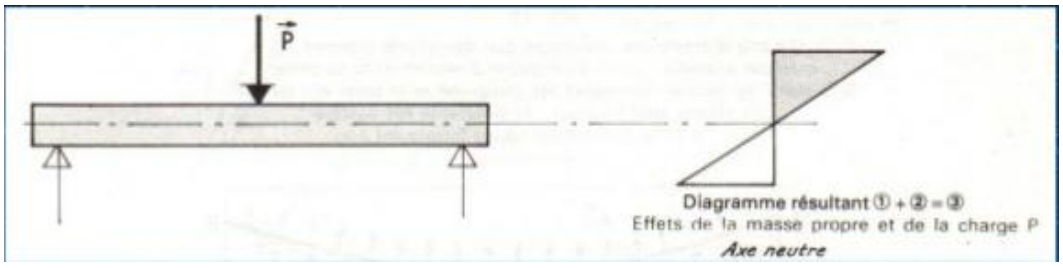
TS HA

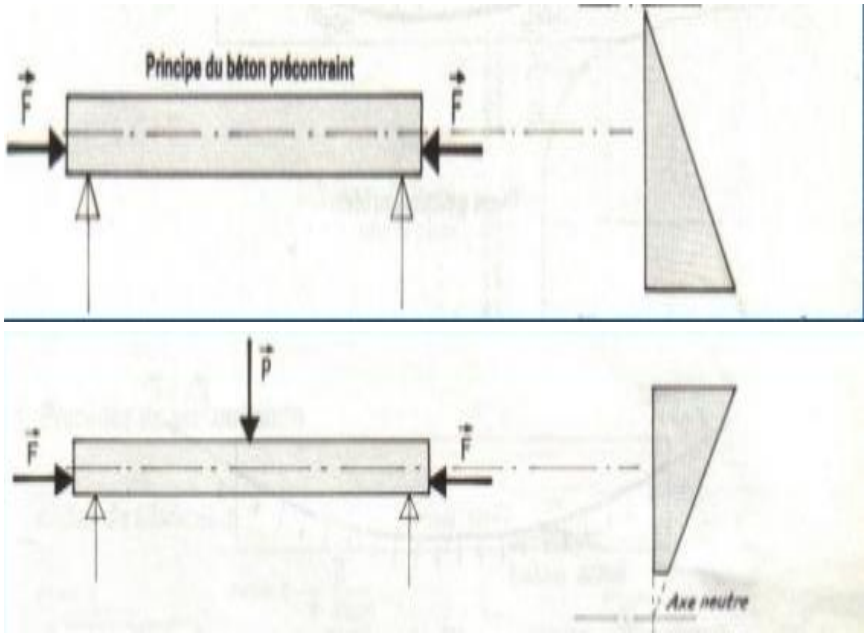
d- Certaines propriétés sont prises en charge pour L'association Béton-Acier :

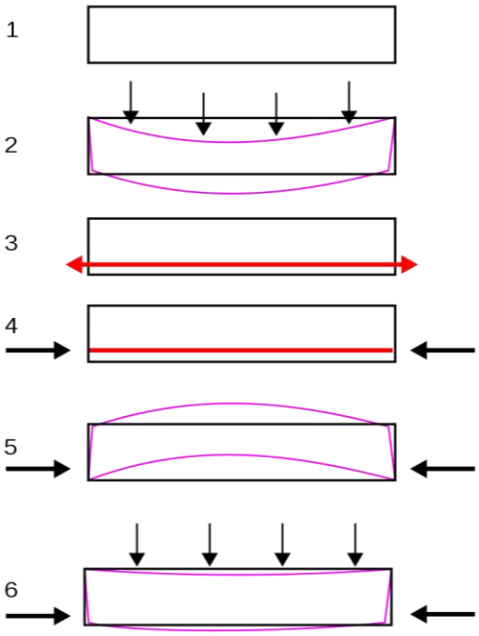
	Le Béton	L'acier
Avantages	1- facile à fabriquer 2- on peut le former selon le coffrage 3- il devient solide comme la pierre 4- la durabilité et longévité 5- il résiste bien au feu et aux actions mécaniques 6- une bonne adhérence avec les armatures	1- ils ont des résistances mécaniques élevées. 2- grande élasticité. 3- soudabilité ;
inconvénients	1- Le poids élevé 2- La modification de l'ouvrage une fois terminé est compliquée	1- ne résiste pas à la corrosion ; 2- se fusionné a de 400-500°C de température

1.6- Béton précontrainte :

La précontrainte est une technique de construction des ouvrages en béton de ciment qui consiste à créer des efforts internes favorables. Ceux-ci sont soigneusement ajustés pour réduire les effets de la faiblesse du béton en traction.

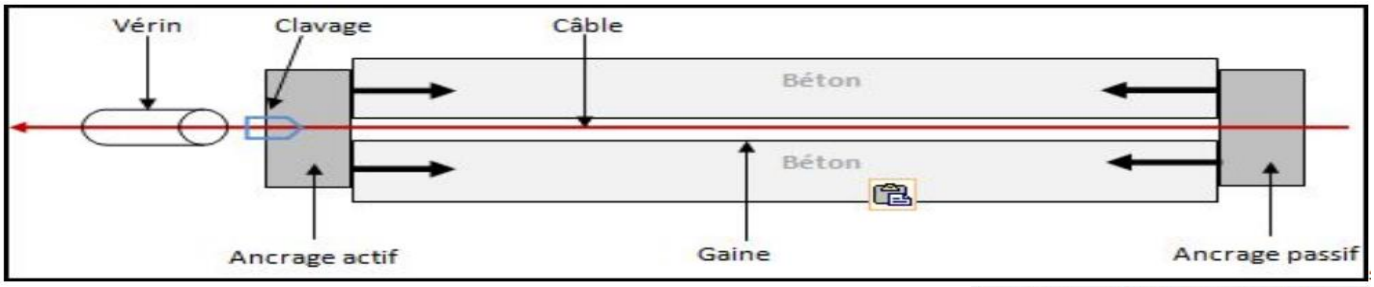






Le béton précontraint dans la réalité :

le béton précontraint s'appuient a un béton armé par l'acier, a l'intérieur de cet béton se trouve une gaine, Donc, ce vide contient des câbles d'acier, Connecté à la fin avec des vérin qui permettre de tendus ces cables pour cree des charge favorable pour limite l'effet de flexion.





Vue générale d'une zone d'ancrage



Gaine et pièce d'appui du vérin



Mise en place du vérin de tension

Domaines d'utilisation du béton précontraint

Le béton précontraint est utilisé pour de nombreux ouvrages.

- ✓ Les ponts
- ✓ Les structures industrielles
- ✓ Les réservoirs (d'eau, d'hydrocarbures) et les silos
- ✓ Les enceintes de réacteurs nucléaires
- ✓ Les bâtiments industriels, commerciaux ou agricoles.

CHAPITRE 02: TECHNOLOGIE DE LA CONSTRUCTION

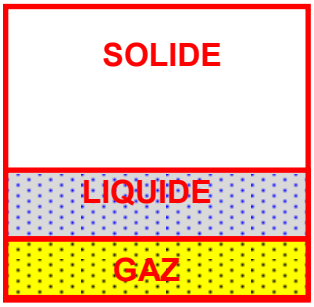
2.1- LES RECONNAISSANCE DES SOLS

L'étude de sol, discipline de la géotechnique, s'intéresse à la composition d'un terrain pour pouvoir définir les principes de construction de votre construction et son type de fondation.

a- Qu'appelle-t-on un sol?

Le sol est un agrégat naturel de grains minéraux, séparables par une action mécanique légère. Il peut être rocheux graveleux sableux ou argileux ou un mélange.

Le sol est un matériau naturel, tri-phasique c.a.d en place il est constitué de grains solides baignant dans l'eau, dans l'air ou dans un mélange (eau + air)



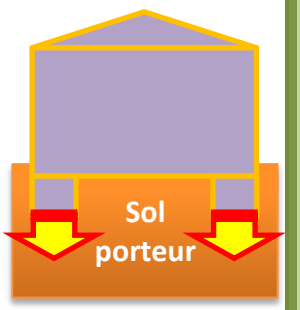
b- Quel est l'importance de l'étude de sol pour la construction?

Dans le cadre de la construction, on va utiliser ce matériau pour appuyer l'ouvrage.

Il supportera les charges appliquées par le bâtiment par l'intermédiaire des fondations.

Le sol support s'indique une contre charge à la charge de la construction s'appelle la contrainte admissible de sol

La capacité portante d'un sol se caractérise par sa résistance au tassement en fonction de la cohésion et des frottements internes.



La contrainte admissible se mesure en kN/m2 (ou anciennement en kg/cm2 ou en bar).

La contrainte admissible de sol doit être plus que la contrainte max pour la charge crée au la fondation plus chargé

Exemple

Soit la construction des fondations F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9

La fondation le plus chargé est : F5

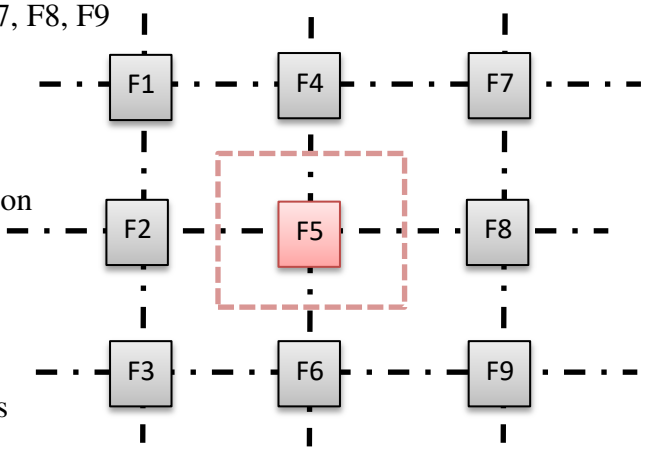
Si la contrainte appliquée sur la fondation F5 est σ_{F5}

Si la contrainte admissible de sol au niveau de la fondation F5 est σ_{S5}

Donc pour assurer la stabilité de sol La relation suivante doit être atteinte:

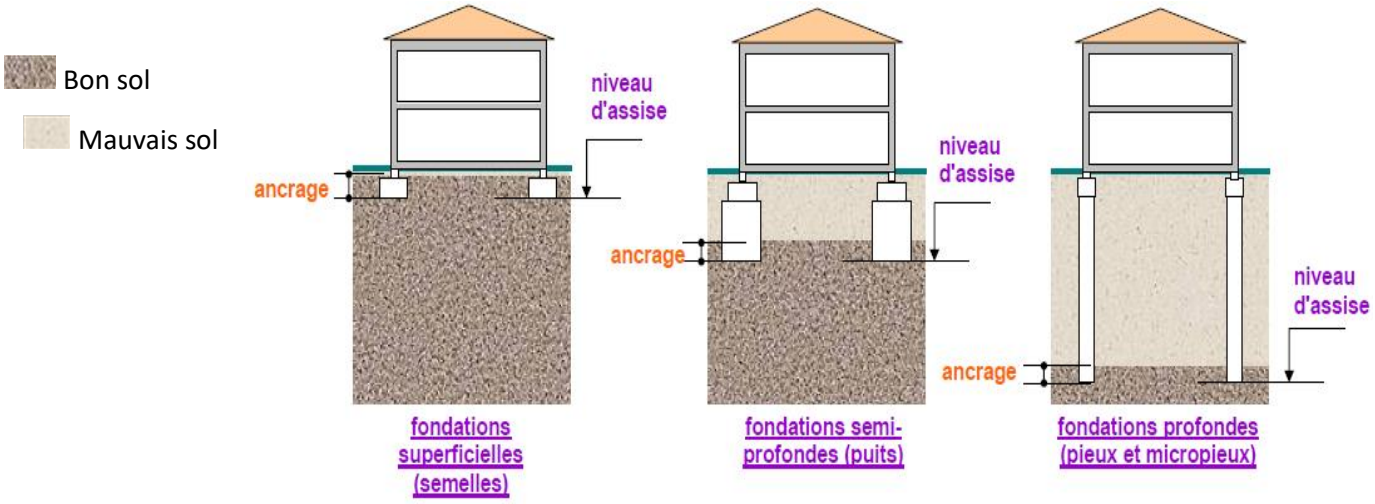
$$\sigma_{S5} > \sigma_{F5}$$

Mais σ_S doit être plus de σ_F correspondant a tous les fondations



Idée de bon Sol

Le bon sol est le sol adéquat de σ_S admissible dans une profondeur limité.



La contrainte σ_S admissible et la profondeur (bon sol) sont indiquées par un **rapport Géotechnique**

Rapport d'étude de sol

Un rapport géotechnique comprend en général :

- ✓ Un plan de situation des sondages.
- ✓ Des coupes des sondages indiquant la suite des couches
- ✓ Position et variations de la nappe
- ✓ Une note technique développant :
  - ❖ La description des terrains rencontrés,
  - ❖ les résultats des essais (caractéristiques mécaniques, contraintes admissibles, tassements),
  - ❖ Des commentaires sur les résultats et des propositions de solutions possibles, pour les fondations (types et niveaux).

c- Le rapport Géotechnique (Étude géotechnique)

Étude géotechnique en vue d'obtenir des renseignements quantitatifs (caractéristiques mécaniques des couches) :

1- Essais in situ :

- ✓ essai statique de chargement (ou "à la table") ;
- ✓ pénétromètres : dynamique, statique
- ✓ pressiomètre ;
- ✓ scissometre, etc.

2- Essais de laboratoire :

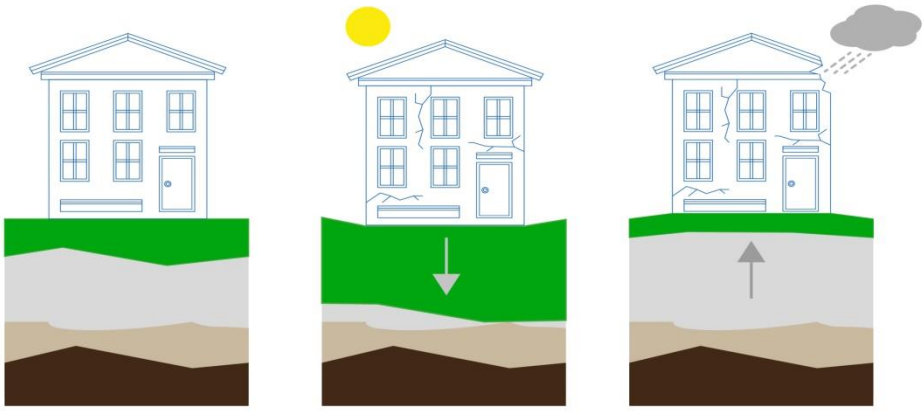
Exécutés sur éprouvettes échantillons pour les ouvrages demandant une étude poussée et pour les terrains posant des problèmes particuliers.

d- LES RISQUES GÉOTECHNIQUES

1- Retrait et gonflement des argiles

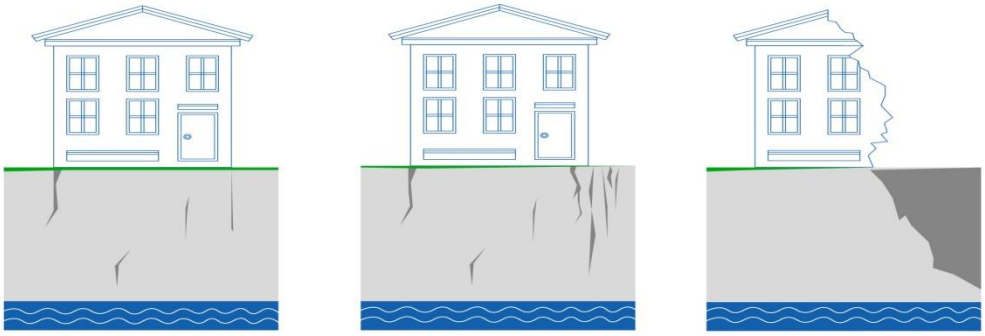
La présence d'argile dans un sol constitue un risque puisque la particularité de cette matière réside dans sa capacité de variation de volume selon sa teneur en eau,

- ✓ Si la teneur en eau diminue, un phénomène de retrait sera constaté et peut aboutir sur plusieurs types de désordres : fissuration de la structure, décollements, ruptures de canalisation etc.
- ✓ Si la teneur en eau augmente, l'argile va se saturer en eau et ainsi augmenter en volume. Cela va avoir pour effet de gonfler les sols. A ce cas les conséquences de ce phénomène peuvent être lourdes : fissuration de la structure, décollements des dallages, ruptures de canalisation, effondrement, etc.



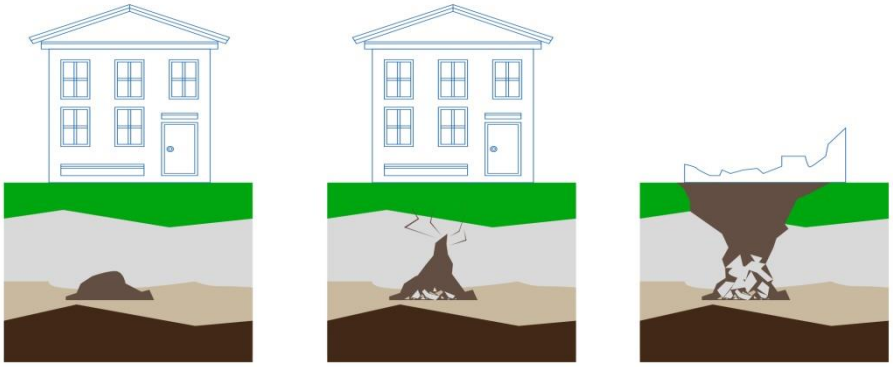
2- Glissement de terrains

La stabilité des terrains forme un enjeu majeur pour les ouvrages proches ou situés sur falaises, talus ou pentes. Un glissement de terrain peut occasionner de lourds dégâts, souvent irréversibles. Les études de stabilité géotechniques préviennent ce risque et permettent d'anticiper ces phénomènes.



3- Les fontis

Une cavité souterraine peut engendrer l'effondrement du sol en surface lorsque les sols sont meubles. Ce phénomène est progressif, donc détectable, mais lorsqu'il se produit en surface, il provoque de gros dégâts sur les habitats ou les infrastructures. Les cavités peuvent être d'origines naturelles ou humaines, avec notamment la présence d'anciennes mines.



CONCLUSION

L'étude de sol permet de déterminer les caractéristiques physiques, physionomiques et parfois chimiques de sols en s'intéressant notamment à ces différents points :

- ✓ La caractérisation des sols, c'est-à-dire l'identification des matières présentes dans le sol ;
- ✓ La mécanique des sols, autrement dit à ses mouvements potentiels ;
- ✓ La perméabilité des sols, c'est-à-dire la mesure de son potentiel d'infiltration ;
- ✓ Le risque sismique.

2.2- TRAVAUX PREALABLES ET IMPLANTATION DES OUVRAGES

A- PREPARATION DE CHANTIER

La phase de préparation de chantier est une étape déterminante pour la qualité de l'ouvrage à construire et le respect des délais.

Tous les intervenants doivent y être associés, afin d'organiser le chantier d'un point de vue juridique, administratif, matériel et technique.

Les phases de préparation de chantier

1- la planification des ressources

D'une manière générale, une ressource qualifie "ce qui va être consommé au cours de la réalisation d'une tâche". Ce peut être du matériel, des matériaux, mais également de la main d'œuvre.

Optimiser l'utilisation des ressources vise à rationaliser leurs affectations pour chaque tache en associant à chaque ouvrage la bonne quantité de ressources.

Exemple :

Pour la construction d'un mur en briques nous somme a besoin de : maçon avec main-œuvre, brique et mortier (sable+ciment+eau), et l'outillage de la mise en œuvre : brouette, trille de maçon, pelle…etc.

A la fin on distingue que les besoin de la réalisation de cette tâche s'exemple a :

1- **Ressource humain** (la main d'œuvre) : maçon + main-œuvre
2- **Ressource des matériaux** (besoins matériaux) : brique+ciment+sable+eau
3- **Ressource des matériels :** brouette, trille de maçon, pelle…etc.

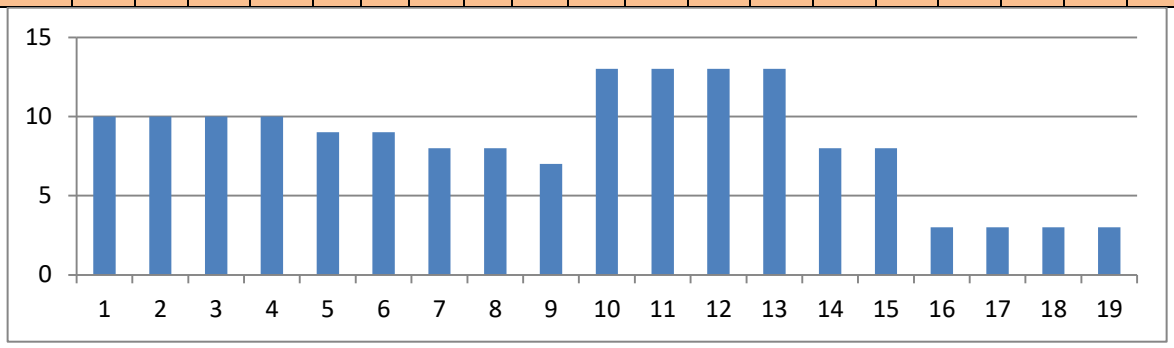
Ces ressources sa demandes un financement estimés selon chaque type de ressource cité,

1.1- La planification des ressources humaines

Représentation sous la forme d'un histogramme

Le nom de la tâche est situé dans la colonne de gauche, vous voyez ensuite une colonne, correspond à la ressource humaine associée à chaque tache et lissons le nombre d'effectif correspond au la tache selon l'unité de temps, finalement on va créons une ligne au-dessous la somme d'effectif correspond au la colonne de l'unité de temps comme suite :

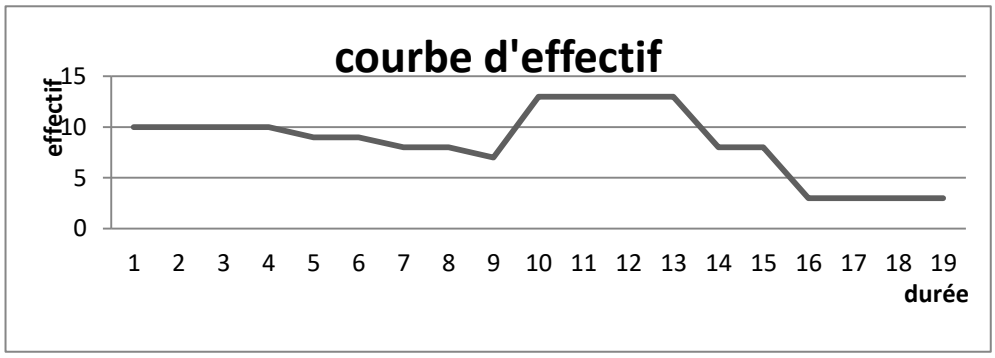
TACHE / DUREE		DUREE																		
TACHE	N° MO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	2					2	2	2	2	2										
B	3							3	3											
C	5									5	5	5	5	5						
D	4	4	4	4	4															
E	3							3	3											
F	3																3	3	3	3
G	6	6	6	6	6															
H	7					7	7													
I	8										8	8	8	8	8	8				
Total		10	10	10	10	9	9	8	8	7	13	13	13	13	8	8	3	3	3	3



Histogramme de l'effectif

Représentation sous la forme d'une courbe

Les procédures de représentation elles sont lui-même pour la Représentation sous la forme d'un histogramme sauf le mode de présentation qui s'exemple d'un courbe d'effectif en fonction de la variation du temps.



1.2- La planification des besoins en matériaux

Les besoins en matériaux pour un chantier déterminent pour chaque ouvrage élémentaire à partir :

1- des quantités d'ouvrages en œuvre à réaliser issues de l'avant-métré
2- les quantités élémentaires de matériaux entrant dans l'unité d'ouvrages, y compris les pertes dues au transport ou à la mise en œuvre des matériaux.

Traçage de planning approvisionnement

Le planning d'approvisionnement Les utilisations de ces matériaux sont indiquées en quantités données et écrites au-dessus de la bande (barre) qui montre la variation de temps de la tâche,

TACHE	DUREE																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A					**Mat x = 20 U**														
					Mat y = 10 U														
					Mat y = 30 U														

Ou par Ajouté une colonne supplémentaire à droite de la tache correspondante qui montre les besoins des matériaux et les quantités

TACHE		DUREE																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	**Mat x = 20 U**																			
	Mat y = 10 U																			
	Mat y = 30 U																			

1.3- Planifications des Besoins matériels

Les besoins en matériels d'un chantier de bâtiment se déterminent suivant-les modes constructifs retenus en matériels affectés ou non, à la réalisation des ouvrages, à partir :

- Des quantités d'ouvrage à réaliser (issues de l'avant-métré).
- De la durée d'utilisation ou des rendements des matériels comprenant la part de temps morts inhérente à l'exécution sur chantier.

Planifications d'utilisation de matériel

- Le planning d'utilisation de matériel est indiqué en des bandes (barre) parallèle par la bande de la tâche qui montre la période de l'utilisation de matériel en fonction de variation du temps de la tâche,

TACHE	DUREE																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A					**Matériel X**														
					Matériel Y														
					Matériel Z														

- Ou par Ajouté une colonne supplémentaire à droite de la tache correspondante qui montre les besoins de matériel en en fonction de variation du temps de la tâche,

TACHE		DUREE																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	**Matériel X**																			
	Matériel Y																			
	Matériel Z																			

2- plan d'installation

plan d'installation du chantier doit comprendre :

1- Clôture de terrain avec signalisation extérieure :

accès contrôlés par des cellules de gardiens ;
- Panneau de chantier : lisible dans la voie public qui indiquera le nom la raison social et le N° permis de construire ,le Nom de maitre de l'ouvrage et le maitre de l'oeuvre le délais ….etc.
- Une signalisation routière au bord des accès.

2- Des voies d'accès et de circulation intérieures :

Pour les camions et les piétons ils doivent être drainer le terrain pour réduire la boue sur chantier

3- Signalisation intérieure :

Elle comporte le sens de circulation des engins et les dangers éventuels (câble électrique ….). Pour les consignes de sécurité individuelles tels que porte de casque ; masque anti-poussière ; lunette de protection et les consignes de sécurité en cas d'incendie…etc

4- L'emplacement de chemin de roulement des grues :

Soit fixe ou mobile selon l'ouvrage **.**

5- Installation des locaux (cantonnements) :

- Les bureaux : réservés au service de la direction des travaux occupant l'entrée du chantier
- Salle de réunion
- Vestiaires situés près de l'emplacement du travail
- Sanitaires : bien disposé sur le chantier pour éviter la circulation des ouvriers
- Réfectoire : s'équipé d'une cuisine et une salle pour assise des ouvriers.
- Infirmerie : médecin doit passer une fois par semaine avec une ou deux infirmières en permanence.

6- Installation de la cité ouvrière :

 dortoir est prévu pour le personnelle déplacé, éloigné des bureaux -un foyer.

7- Installation des espaces de stockage :

 Magasin central : lieu de dépôt des matières consommables et produits sensibles à l'eau

 Aire de stockage protégée : aire grillagée fermée se trouvant à coté du magasin central

 Aire de stockage non protégée : qui sont reparties sur le chantier en fonction des ouvrages à réaliser.

8- Installation des ateliers :

- Ferraillage. - Coffrage. -Préfabrication. -Installation de production du béton.

 La bétonnières ou la centrale à béton : selon la cadence, le type ou les besoin de l'ouvrage.

 Parc à matériel :

- Atelier fixe: (mécanique et électrique, vulcanisation, Station carburant…)

- Atelier mobile: (camion d'entretien, ou atelier mécanique électricité, camion carburant**…)**

9- raccordement au service public :

Eau, Electricité, Téléphone, Eau usée, Eau pluvial, Stockage des terres.

A- IMPLANTATION DES OUVRAGES

Avant la réalisation des fouilles pour les fondations et la mise en place des différents éléments de la construction, il est indispensable de réaliser une implantation afin que l'ouvrage soit bien orthogonal et parallèle mais également pour faciliter la mise en œuvre.

Pour la réalisation d'une implantation, il est nécessaire que vous soyez en possession

- D'un plan de situation,
- Un plan de masse,
- Un plan de géomètre

- Plan de fondation.

Repères matériels faciles à matérialiser sur le terrain:

Limites de propriété

Bordures de trottoirs …etc.

De plus, afin de déterminer les points de repère, il vous faudra réaliser un ou plusieurs plans d'implantation pour matérialiser les contours et les dimensions de la construction.

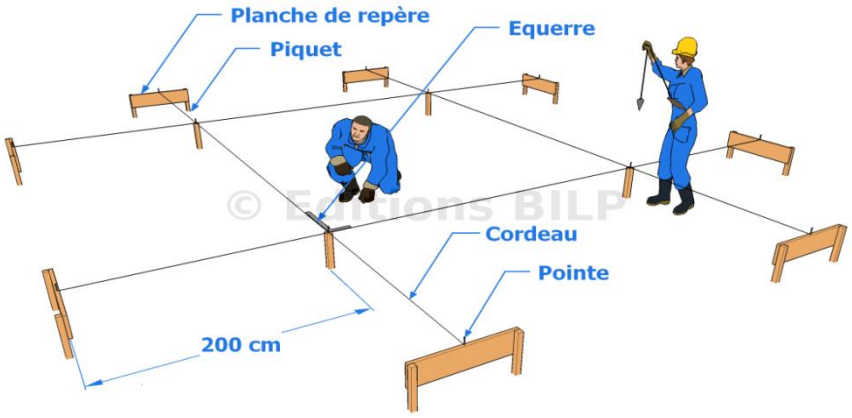
L'implantation d'un bâtiment :

On a deux techniques

1- La technique d'implantation

Pour réaliser correctement une implantation, il vous faudra suivre les étapes suivantes :

- mettre en place les deux premiers jalons
- réaliser et mettre en place les chaises ainsi que les piquets ou les jalons restants
- reporter et fixer les cordeaux sur les chaises avec des pointes
- vérifier l'équerrage et prendre l'aplomb des points d'intersection des cordeaux

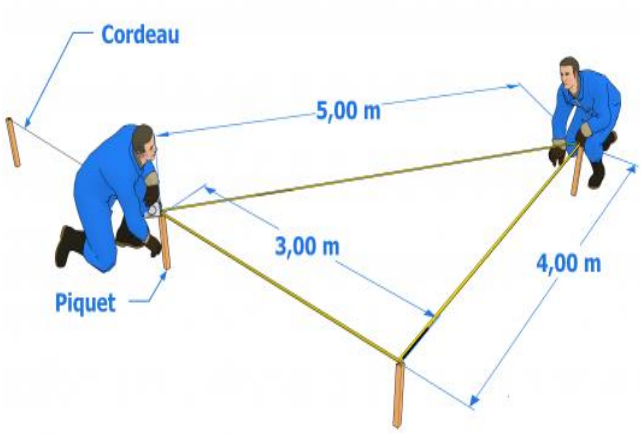


2- La méthode d'équerre

C'est une excellente méthode pour parfaire votre implantation si vous n'êtes pas en possession des matériels professionnels de géomètre (niveau de chantier, tachéomètre, théodolite, etc.).

Vous pourrez choisir entre :

- l'équerrage avec l'équerre de maçon
- la méthode 3-4-5 ou la méthode par triangulation
- l'égalité des diagonales



2.2- LE TERRASSEMENT ET LES FOUILLES

Généralités :

Le terrassement est le travail consistant à déplacer des quantités importantes de matériaux (sols, roches, sous-produits, etc.) dans divers buts.

Le domaine des terrassements est économiquement très important dans les travaux publics puisqu'il représente environ 25 % de chiffre d'affaires de la profession.

Les travaux de terrassement s'appliquent:

- aux infrastructures s linéaires (Routes, autoroutes, voies ferrées);
- aux plates-formes aéroportuaires;
- aux plates-formes industrielles;
- ce aux barrages, surtout en terre, et aux digues;
- aux fondations de dallages de bâtiments.

A- Les étapes de terrassement :

Le terrassement en général prendre les étapes qui schématisé a l'organigramme suivant :

Le terrassement : (plusieurs types de terrassement).

⇩

Les travaux préparatoires :

- ✓ Abatage d'arbre
- ✓ Dessouchage divers.
- ✓ Démolitions diverses.
- ✓ Déplacement divers des réseaux existants.
- ✓ Installation de chantier.
- ✓ Piquetage générale (travaux topographique).

⇩

Le décapage de la terre végétale

Comment :

- Enlever la couche superficielle du terrain naturel sur une épaisseur bien déterminée (15/ 30cm)

Pourquoi :

- Enlever les débris d'arbre (racines, branches, feuilles) et les sols végétal supérieure.
- stockage de la TV pour d'établir les divers Aménagements a fin de chantier (talus, giratoire, TPC…)

⇩

L'EXECUTION DES TERRASSEMENTS :

Comment :

- Exécution des **DEBLAIS** (enlèvement des terres) et des **REMBLAIS** (relèvement du niveau du TN).

Pourquoi :

- modeler le TN en fonction des conditions géométriques définie par les plans d'exécution(Tracer en plan, profils en long, profils en travers) du projet du maitres d'ouvrage.

En ce qui concerne les grandes infrastructures, les principaux paramètres sont les suivants:

- ✓ Réemploi des terres (opérations de déblai – – remblai),
- ✓ Possibilité d'utiliser des « s emprunts » à proximités du remblai à construire.

$$travaux\ de\ terrassement\} \rightarrow Deplacement\ de\ sol\ \rightarrow vers??\begin{cases} Zone\ de\ dépôt = dépôt \\ zone\ de\ réutilisation\ en\ remblais = emprunt \end{cases}$$

Sous le vocable « terrassement », on rencontre :

- ✓ L'exécution d'une fouille
- ✓ La réalisation de plates-formes

Lexique

Le déblai



Consiste à enlever des terres initialement en place.

Exemple : creuser une fouille afin de réaliser une fondation, une canalisation, etc.

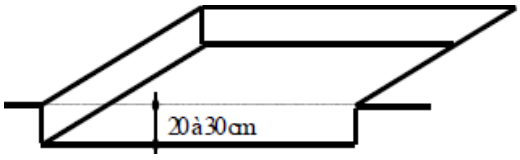
Le remblai



Consiste à mettre le sol en place (mise à niveau).

Exemple : le remplissage des fouilles par le sol après la pose des fondations

Décapage en surface : (décapage de la terre végétale).

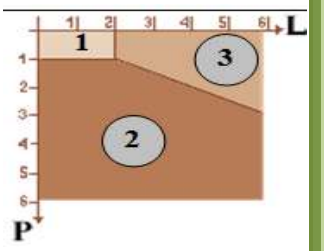


L'épaisseur de la couche à décaper varie de 20 à 30 cm.

On quantifie souvent ce décapage en m².

B- Les Fouilles

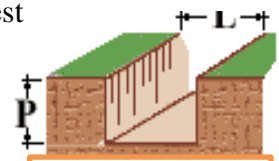
Les fouilles, correspondent à des travaux de terrassement, de profondeur plus ou moins grande elles sont réalisées aux droits des ouvrages et peuvent avoir plusieurs configurations



- Les fouilles se découpent en 3 familles :Les fouilles en :

1-RIGOLES, 2-TRANCHEE / PUITS, 3- EXCAVATION / FOUILLE EN PLEIN DE MASSE

B1- Les fouilles en rigole

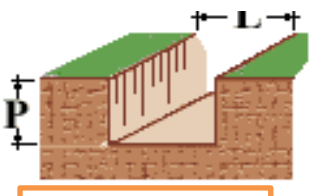


L < 2 m ; P < 1 m

Les fouilles en rigoles sont des terrassements linéaires droits ou courbes dont largeur est généralement comprise entre 0,40 et 2,00m pour une profondeur n'excèdent pas 1,00m.

Elles correspondent aux semelles filantes (fondations sous les murs et les voiles de l'ouvrage), et les canalisations a faible profondeur (éclairage ou télécommunication), Quantifiées au m^3.

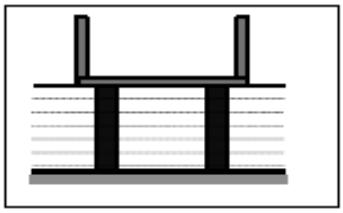
b.2- Les fouilles en tranchée



P > 1 m ; L < 2 P

elle ont une plus grande profondeur que les fouille en rigole et ont une fonction similaire (fondation de murs , et les canalisations du profondeur profond(réseaux d'AEP, assainissement…), leur largeur dépend généralement des condition de travail : sécurité des ouvriers, nature du terrain, blindage

B3 - Fouilles en puits.

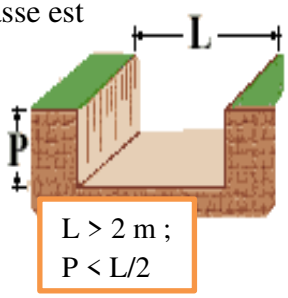


Ont des dimensions telles que leur section (de l'ordre 1 a 4m^2)est faible par rapport a la profondeur qui peut atteindre 10m ou plus, leur emploi réservé aux fondations ponctuelles des bâtiments ainsi qu'au captage des eaux ou de rejets d'eaux non polluées en milieu naturel.

B4- Fouilles en pleine masse ou en excavation.

Fouilles en pleine masse

Elle sont exécutées sur la totalité de l'emprise des ouvrages afin d'en atteindre le niveau le plus bas, dans le cas d'un immeuble comprenant plusieurs niveaux de sous-sol, la fouille en plein de masse est descendue jusqu'au niveau de la sous-face du dallage du dernier niveau de sous-sol



Fouilles en excavation

Elles sont une variante des fouilles précédentes dont la profondeur n'excède pas la moitié de la largeur de l'ouvrage.

B5- Les forages

Ce sont des fouilles cylindriques de faible diamètre (0,1 a 0.5m) par rapport a la profondeur qui peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Elles sont utilisées pour les fondations ponctuelles des bâtiments (fondation par pieux ou micropieux pour le pompage des eaux alimentant les réseaux de distribution.

Exemple :

Définir le type des fouilles suivantes :

1- fouille de P=2m, L=1,5m

2- fouille de P=2m, L=4m

3- fouille de P=10 m, S=1,00m^2

C - classification et le foisonnement des sols

C.1- classification des sols

Avant l'exécution d'un terrassement d'un terrain est obligatoire de savoir la qualité de sol de ce terrain

Les sols sont classés selon deux caractéristiques principales :

- Selon la nature du matériau
- Selon la difficulté d'exécution

classification selon de la nature

Cette classification prend en compte un certain nombre de paramètres comme :

Les paramètres de nature, dont les caractéristiques sont :

- ✓ Granularité
- ✓ argilosité

Les paramètres de comportement mécanique, dont les caractéristiques sont :

- ✓ résistance à la fragmentation
- ✓ résistance à l'usure

✓ friabilité

Les paramètres d'état hydrique (état hydrique)

Chaque caractéristique sera déterminée à l'aide des essais de laboratoire...

La norme NF P 11-300 indique la classification des sols suivant :

A	Sols fin	Silts, limons, Argiles
B	Sols sableux ou graveleux avec fines	Sables graves argileux
C	Sols comportant des fines et des gros éléments	Argiles à silex, alluvions grossières
D	Sols et roches insensibles à l'eau	Sables et graves propres, matériaux rocheux sains
E	Roche évolutives	Craies, schistes
F	Matériaux, combustibles, solubles ou polluants	houillers, résidus industriels…

			
Silex	schiste	silts	marnes

classification selon la difficulté d'exécution

Cette classification prend en compte la difficulté d'exécution des engins pendent le terrassement.

Cette classification se classée comme suite(NF P 11-201) :

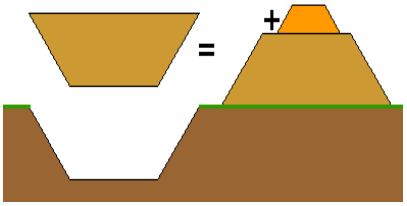
Terrain ordinaire	Terre végétale, Sable alluvionnaire, Remblais récents	Tous engins de terrassement
Terrain argileux ou caillouteux non compact	Sols argileux et caillouteux, tufs, marnes fragmenté, sables aggloméré par des liants argileux	Tous engins de terrassement
Terrain compact	Argiles compactes, sables limoneux et argileux, sables fortement agglomérés	engins de terrassement mécanique
Roche attaquables au pic	Grès désagrégé, calcaires tendre, Craies	engins de terrassement mécanique
Roche dure se déliant	Calcaires grossier, Schistes, Grès, Gypses	Marteau-piqueur, Ripper
Roche très dure	Calcaire durs, Granites, Roches volcaniques	Utilisation de l'explosif

C.2- Le foisonnement des sols

Le foisonnement des terres lors d'un terrassement équivaut à une augmentation de volume des matériaux après excavation.

C'est ce volume foisonné qui servira de base à l'établissement d'un devis pour transporter le matériau d'un point A à un point B.

On parle de matériaux "en place" lorsqu'il est dans le sol compacté. On parle de matériaux foisonné une fois qu'il a été extrait.



Explication :

Lorsque l'on creuse en trou dans le sol, le volume apparent des déblais est supérieur au volume du trou.

Si l'on remet les déblais en place et après compactage, l'on constate un excédent de matériaux.

Ce phénomène de décompression des terres est appelé "foisonnement".

LES ENGINS DE TERRASSEMENT

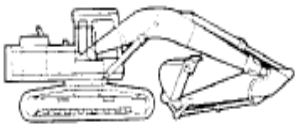
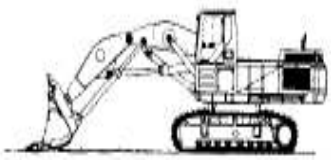
7.1- LES TYPES DES ENGINS DE TERRASSEMENT

Les engins de terrassement sont des machines qui permettent de travailler, de déplacer, de transporter des matériaux composant les sols tels que les déblais végétaux, la terre, les rochers, etc.

Ils peuvent être classés en quelques catégories selon de leur fonction :

1- Les engins d'excavation.

Ils permettent l'extraction des terres et le chargement en vue du transport, Les principaux engins sont :

Nom d'engin	L'engin	Nom d'engin	L'engin
Pelle hydraulique équipée en rétro		**Chargeur à roues.**	
Pelle hydraulique équipée en buttée.		**Chargeuse pelleteuse (tracto-pelle).**	
Chargeur à chenilles		**Scarificateur (bulldozer)**	

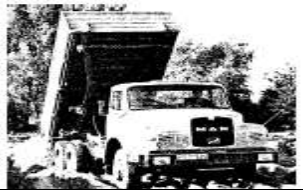
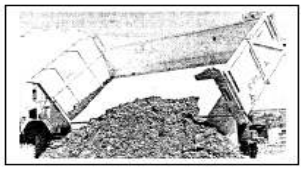
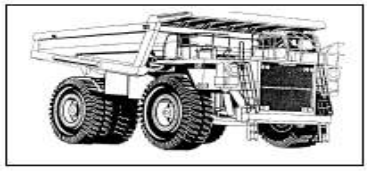
2- Les engins de nivellement.

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

Nom d'engin	L'engin	Nom d'engin	L'engin
Décapeuse		**Niveleuse**	

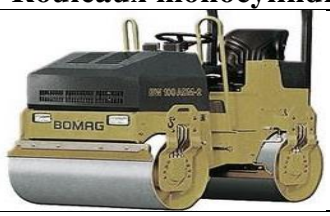
3- Les engins de transport.

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

Nom d'engin		L'engin	Nom d'engin		L'engin
Camions au gabarit routier	**Benne basculante**		**Tombereaux.**	**Tombereau articulé**	
	Tri-benne			**Tombereau rigide**	

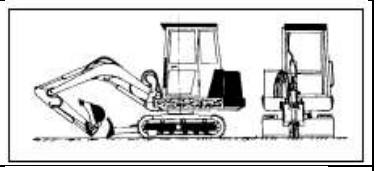
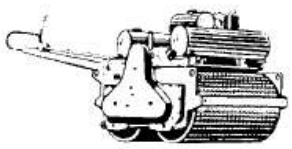
4- Les engins de compactage.

Les compacteurs sont destinés à augmenter la densité en place des sols pour réduire la perméabilité des sols, améliorer la stabilité des sols en remblais, éviter une trop grande déformation des sols et assurer une meilleure longévité des surfaces de roulement.

L'engin	Application	
	statique	**vibreur**
 **Rouleaux monocylindre**	- Couches minces et finitions	- Compactage de couches granuleuses épaisses - Compactage de matériaux cohérents - Compactage des remblais
 **Tandem**	- Couches minces et finitions	- Compactage de surface des couches granuleuses - Compactage de base des couches bitumineuses
 **Rouleaux pneumatiques**	- les enduits de surface, - couches minces granuleuses, - enduits, - finition de mélanges bitumineux.	//
 **Compacteurs à pieds dameurs**	- Compacteurs de sol - Compactage de remblais sur grands chantiers - sols cohérents.	- compactage de remblais - sols cohésifs - graviers et roches.

5- Les mini-engins

Les mini engins sont des engins utilisés dans des endroits étroits et difficiles d'accès.

Nom d'engin	L'engin	Nom d'engin	L'engin
Moto-basculeur.		**Mini pelle.**	
Rouleau vibrant manuel		**Chargeur compact**	