



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل
Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

VERSION EXPERIMENTALE

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE 04	CONNAISSANCE DES DIFFÉRENTS MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION
------------------	--

SECTEUR : BTP

**SPECIALITE : TECHNICIEN SPECIALISE
CONDUCTEUR DE TRAVAUX :
TRAVAUX PUBLICS**

NIVEAU : TECHNICIEN SPECIALISE

JUILLET 2005



ISTA.ma
Un portail au service
de la formation professionnelle

Le Portail <http://www.ista.ma>

Que vous soyez étudiants, stagiaires, professionnels de terrain, formateurs, ou que vous soyez tout simplement intéressé(e) par les questions relatives aux formations professionnelles, aux métiers, <http://www.ista.ma> vous propose un contenu mis à jour en permanence et richement illustré avec un suivi quotidien de l'actualité, et une variété de ressources documentaires, de supports de formation, et de documents en ligne (supports de cours, mémoires, exposés, rapports de stage ...) .

Le site propose aussi une multitude de conseils et des renseignements très utiles sur tout ce qui concerne la recherche d'un emploi ou d'un stage : offres d'emploi, offres de stage, comment rédiger sa lettre de motivation, comment faire son CV, comment se préparer à l'entretien d'embauche, etc.

Les forums <http://forum.ista.ma> sont mis à votre disposition, pour faire part de vos expériences, réagir à l'actualité, poser des questionnements, susciter des réponses. N'hésitez pas à interagir avec tout ceci et à apporter votre pierre à l'édifice.

Notre Concept

Le portail <http://www.ista.ma> est basé sur un concept de gratuité intégrale du contenu & un modèle collaboratif qui favorise la culture d'échange et le sens du partage entre les membres de la communauté ista.

Notre Mission

Diffusion du savoir & capitalisation des expériences.

Notre Devise

Partageons notre savoir

Notre Ambition

Devenir la plate-forme leader dans le domaine de la Formation Professionnelle.

Notre Défi

Convaincre de plus en plus de personnes pour rejoindre notre communauté et accepter de partager leur savoir avec les autres membres.

Web Project Manager

- Badr FERRASSI : <http://www.ferrassi.com>

- contactez : admin@ista.ma

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Pour la supervision :

M. Khalid BAROUTI	Chef projet BTP
Mme Najat IGGOUT	Directeur du CDC BTP
M. Abdelaziz EL ADAOUI	Chef de Pôle Bâtiment

Pour la conception :

JIGOREANU DORU	Formateur animateur CDC/BTP
CHOUKAYRI KHADIJA	Formatrice ISB

Pour la validation :

Mme GUNINA Fatna	Formatrice animatrice au CDC /BTP
------------------	-----------------------------------

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

DRIF

SOMMAIRE :

Présentation du module	
I. Résumé de théorie :	
A. Granulats	
1. Définition et rôle des granulats pour les mortiers et bétons	
2. Types de granulats	
3. Caractéristiques des granulats	
4. Choix du granulats	
B. Ciments	
1. Définition et modes de fabrications	
2. Mise en œuvre du ciment	
3. Différent types de ciment	
4. Fiches techniques de ciments	
C. La chaux	
1. Mode de fabrication de chaux	
2. Extinction du chaux	
3. Différents types de chaux	
D. Aciers	
1. Définition et l'aspect de l'acier	
2. Avantages et inconvénients d'aciers	
3. Protection de l'acier contre la corrosion	
4. Comportement mécanique de l'acier	
E. Liants hydrocarbonés	
1. Définition et genèse des liants	
2. Propriétés générales des liants hydrocarbonés	
F. Bois	
1. Généralités et les parties d'un arbre	
2. Structure du bois	
3. Sciage des troncs et séchage du bois	
4. Qualités et défauts du bois	
5. Dénomination du bois scié et dimensions commercialisés	
G. Béton	
1. Définition et matières premières pour le béton	
2. Essais sur le béton	
3. Les bétons spéciaux	
4. Recettes des bétons et volumes des matériaux	
5. Béton armé et béton précontraint	
H. Explosifs	
1. Données nécessaire avant conception du tir	
2. Etapes de détonation d'un explosif et familles d'explosifs.	
3. Composition et utilisation d'explosifs	
II. Evaluation de fin de module	
III. Liste bibliographique	

Durée : 60 H

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

- **COMPORTEMENT ATTENDU**

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit « **connaître les différents matériaux de construction** », comme une règle de base pour toutes ces activités prochaines, en conformité avec les notions et les principes suivantes :

- **CONDITIONS D'EVALUATION**

A partir :

- Des connaissances accumulées,
- Des questions de cours écrites et orales,
- Des réglementations en vigueur,

A l'aide :

- Des épreuves de contrôle,
- De test de fin de module,
- D'une documentation pertinente : lois, règlements, etc.

- **CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE**

- Bonne connaissance des matériaux de construction,
- Connaissance des domaines d'utilisation pour chaque matériau,
- Connaissance le mode de fabrication pour chaque type e matériau,
- Connaissance des conditions de qualité pour chaque type de matériau;

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	CRITERES PARTICULIERS DE PERFORMANCE
A. Identifier les différents types de granulats;	- o Différents origine des granulats; - o Classification des granulats; - o Propriétés des granulats;
B. Connaître les différents types de ciment;	- o Élaboration du ciment; - o Différents types du ciment; - o Classification du ciment;
C. Connaître les différents types de chaux;	- o Élaboration de chaux; - o Différents types de chaux; - o Classification de chaux;
D. Identifier les différents types d'aciers;	- o Fabrication des aciers; - o Différents catégories d'aciers; - o Caractéristiques d'aciers;
E. Identifier les différents types de bois;	- o Dénomination commerciale; - o Types d'essences du bois; - o Propriétés du chaque type de bois;
F. Connaître les différents types des bétons;	- o Les recettes des bétons; - o Types des bétons; - o Domaines d'utilisation des bétons;
G. Connaître les différents types d'explosifs;	- o Connaissance des familles d'explosifs; - o Domaines d'utilisation d'explosifs; - o Particularités de chaque famille d'explosifs;

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

LE SRAGIAIRE DOIT AVOIR LES SAVOIR, SAVOIR – FAIRE OU SAVOIR – ÊTRE NECESSAIRES POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIFS DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :

A) Avant d'apprendre à identifier les différents types de granulats, le stagiaire doit :

- a) Connaître les granulats naturels;
- b) Connaître les granulats artificiels;
- c) Connaître les granulats issus des matériaux de récupération;

B) Avant d'apprendre a connaître les différents types de ciment, le stagiaire doit :

- a) Connaître les propriétés générales d'un ciment,
- b) Faire la différence entre « temps de prise » et « temps de durcissement »;
- c) Connaître les domaines d'utilisation du chaque type de ciment en Travaux Publics

C) Avant d'apprendre a connaître les différents types de chaux, le stagiaire doit :

- a) Connaître les technologies du fabrication de chaux;
- b) Connaître les propriétés générales de chaux;
- c) Identifier les domaines d'utilisation de chaux en Travaux Publics;

D) Avant d'apprendre a connaître les différents types d'aciers, le stagiaire doit :

- a) Connaître les propriétés générales d'aciers;
- b) Connaître les traitements thermiques d'aciers;
- c) Connaître les transformations mécaniques d'aciers;

E) Avant d'apprendre a identifié les différents types de bois, le stagiaire doit :

- a) Connaître les caractéristiques spécifiques du chaque type de bois,
- b) Connaître les dimensions de coupages pour les bois de construction,
- c) Connaître les défauts des bois et leurs influences.

F) Avant d'apprendre a connaître les différents types de bétons, le stagiaire doit :

- a) Définir un béton et connaître ses composants;
- b) Connaître les différences entre béton armé et béton précontraint;
- c) Connaître les types des bétons qui sont employées en Travaux Publics;

G) Avant d'apprendre a connaître les différents type d'explosives, le stagiaire doit :

- a) Connaître la définition et la composition des différents types d'explosifs;
- b) Connaître la manière de mise en œuvre des explosifs;
- c) Connaître les domaines d'utilisation des explosifs en Travaux Publics;

PRESENTATION DU MODULE

Le module : « **Connaissance des différents matériaux de construction** », s'apprend pendant le première semestre de formation, dans les premières six semaines avec un rythme de 10 heures par semaine.

Cet module est conçu autour du processus de la construction de bâtiment. Les thèmes développés recouvrent à la fois des étapes de l'acte de construire (commercial, études, exécution...) et des thèmes transversaux (mode de fabrication, domaines d'emploi, etc.).

L'importance des grandes étapes de déroulement des activités d'apprentissage des « **Connaissance des différents matériaux de construction** », est de connaître le but et les objectifs suivants :

- Pouvoir définir les principaux matériaux de construction ;
- Identifier les types matériaux spécifiques pour chaque classe ;
- Connaître les domaines d'utilisation pour chaque matériau ;
- Maîtriser les conditions de qualité pour chaque matériau ;
- Être conscient des effets du respect de consommation des matériaux prévus ;
- Connaître quand il doit demander des essais des matériaux ;

Durée : 60 heures

- Théorie = 40 heures
- Pratique = 16 heures
- Epreuve = 4 heures

MODULE N° 4 :
CONNAISSANCE DES DIFFERENTS MATERIAUX
DE CONSTRUCTION
I. RESUME THEORIQUE

I. A. LES GRANULATS

I. A. 1. Définition et rôle des granulats, pour les mortiers et les bétons

Définition : les granulats sont des graines de sol avec les dimensions entre 0,08 mm et 80 mm. Au-dessous de 0,08 mm on trouve les fillers, farines ou fines ; et au-dessus de 80 mm on trouve les moellons ou les galets.

- Les granulats sont des éléments constitutants inertes, qui entrent dans la composition des mortiers et des bétons, en constituant leur squelette.
- Les granulats sont généralement moins déformables que la matrice de ciment et ils améliorent la résistance de la matrice, en s'opposant à la propagation des microfissures provoquées dans la pâte de ciment par le retrait.
- La nature de ces liaisons qui se manifestent à l'interface granulat - pâte de ciment, conditionnent les résistances mécaniques des mortiers et bétons.
- **Les dimensions nominales des granulats** – représente la longueur du côté formé par les trous des tamis. 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 ; et on trouve les catégories suivantes :

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

Définition des termes :

- **Classes granulaire** – un granulat est caractérisé du point de vue granulaire, par sa classe d/D ; cela signifiant que (d) désigne la plus petite dimension et (D) la plus grande dimension des grains (par exemple : 20/40 mm) ;
- **Granulat élémentaire** – est un granulat entièrement retenu sur le tamis D(i) ; et passant entièrement à travers le tamis D(i+1) ; où D(i) et D(i+1) sont dimensions nominales consécutives ;
- **Granulat composé** – est un mélange de deux ou plusieurs granulats élémentaires différents, tous les granulats commerciaux entrent dans la classe des granulats composés ;

I. A. 2. Les types de granulats

Les granulats utilisés sont soit d'origine **naturelle**, soit **artificiels**.

I. A. 2. a. Les granulats naturels

Origine minéralogique – la nature du matériau est caractérisée par la roche constituant les grains.

- Parmi les granulats, le plus utilisées proviennent de roches sédimentaire, siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartz et quartzites ; ou des roches éruptives telles que les basaltes, les granites ou les porphyres.
- Indépendant de leur origine minéralogique on classe les granulats en deux catégories :
 - les granulats alluvionnaires ;
 - les granulats concassées ;
- **Les granulats alluvionnaires** – dits roulés, sont d'origine sédimentaire, dont la forme a été acquise l'érosion ; parmi ce type de granulats, on peut trouver les catégories suivantes :
 - o **Les granulats de rivière** – ils proviennent de la ségrégation naturelle de roche comme : granites, gneiss, grès, etc. Les parties tendres de ces roches ont disparu, tandis que les parties dures ont subi usure progressive, à cause de la vitesse de courant, qui en effet a ainsi provoqué la séparation des particules en éliminant les fines. Il est donc recommandé de compléter leur granulométrie pour la fabrication du béton.
 - o **Les granulats de carrière** – ils proviennent de dépôts géologiques ou de bancs alluvionnaires et contiennent un pourcentage de fins, plus élevé que les précédents, mais généralement ont une granulométrie très étendue.

- o **Les granulats de dunes** – ils sont constitués par des matériaux très fins, généralement siliceux, accumulés par le vent. Leur emploi est très limité.
- o **Les granulats de mer** – ils peuvent être utilisés à condition d'être lavées et exemptés de coquillage. Ils contiennent des sels minéraux qui risquent de provoquer des efflorescences ultérieures à la surface des travaux en élévation.
- **Les granulats concassés** – sont obtenus par abattage de concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Ils proviennent de roche saines, dures, compactes, résistante au gel et indécomposable. A cause de concassage, ils contiennent plus d'éléments fins que les granulats roulés, demandent donc plus d'eau de gâchages. Parmi ce type de granulats, on peut trouver les catégories suivantes :
 - o **Les basaltes** – sont roches éruptives de très bon qualité pour les bétons ;
 - o **Les calcaires** – ils sont attaquables par des acides. Les calcaires durs donnent de bons granulats concassés, mais ils sont à éviter pour des bétons dans le milieu agressif ;
 - o **Les granites** – ils s'altèrent avec le temps, mais les pierres compactes non fissurés peuvent fournir des bons granulats pour le béton ;
 - o **Les grès** – le type de grès trop poreux est friable (qui peut être aisément réduit en poudre) ne sont pas bons pour les bétons ; donc, seuls les grès durs sont utilisable ;
 - o **Les marbres** – ils donnent de très bons granulats, mais ils sont trop chers ;
 - o **Les quartz** – ils sont constitués par de la silice cristallisée qui donne des granulats durs, peu déformables ;
 - o **Les porphyres** – ils fournissent un matériau dur, surtout sous la forme de gravier, très bons pour le béton ;
- Dans le cas des granulats concassés une phase de criblage est indispensable à l'obtenir de granulats propres. Après ça, différentes phases de concassage aboutissent à l'obtenir des classes granulaires souhaitées.
- Si la plupart des roches conviennent à la production de granulats pour béton, certaines nécessitent des essais préalables en laboratoire pour apprécier leur aptitude à l'emploi.
- Pour illustrer les caractéristiques des granulats naturels on peut utiliser un tableau centralisateur de la manière suivante :

Roche d'origine	Dureté Duval	Dilatation	Propriétés	Difficultés rencontrées	Possibilité d'emploi
1. Roches éruptives					
1. a Granites	15 à 19	8 à 12	Dures et compacte		Oui
1. b Diorites	16	8 à 12	bonne résis.		Oui
1. c Porphyre	16 à 17	8 à 12	au gel		Oui
1. d Basalte	20	8 à 12			Oui
2. Roches métamorph					
2. a Quartzite	17 à 20	10 à 12	Dures et compactes		Oui
2. b Marbres	15 à 20	10 à 12	Inattaquable chimique.		Parements
2. c Schistes	15 à 20	10 à 20	Sensible au gel	Présence de fins friables	Uniquement schistes durs
2. d Gneiss	15 à 20	10 à 20			
3. Roches sédimentaire					
3. a Calcaire	12 à 15	6 à 8	Bonne adhérence		Oui
3. b Dolomite	10 à 12	6 à 8			Après essai préalables

I. A. 2. b. Les granulats artificiels

- D'habitude ils proviennent de produits obtenus par cuisson, suivie éventuellement par de concassage. Parmi ce type de granulats on peut trouver les suivantes :
 - o **Le laitier** – (ou scorie de haut fourneau, résidu provenant de la fusion des minerais métallique) concassé et le laitier granulé obtenu par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à 1250 kg/m³ pour le laitier concassé et d'environ 800 kg/m³ pour le laitier granulé. Ces granulats sont utilisés notamment pour les bétons routiers ou pour les bétons réfractaires en conformités avec les normes : NFP 18.302 et NFP 18.306
 - o **Les cendrées et cendres volantes** – proviennent de chaudières industrielles à charbon ;
 - o **Les briquillons** – sont obtenus par le concassage de terre cuite telle que vieilles brique provenant de démolition ;
 - o **Les granulats lourds** – sont élaborés industriellement et ont des hautes caractéristiques. Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois ou de granulat très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels. Ils s'appellent : la barytine, la magnétite, la limonite, la pyrite de fer, ainsi que les déchets ferreux, acier, fonte, ayant des densités de 4000 à 7000 kg/m³.

- **Les granulats allégés** – ces granulats légers sont allégés par expansion ou frittage et ils présentent des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressantes. Les usuels sont l'argile ou le schiste expansé et le laitier expansé en conformités avec les normes : NFP 18.309 et 18.307. Leur masse volumique est variable entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granulométrie. Ils peuvent être utilisés aussi bien pour des bétons de structure que des bétons présente une bonne isolation thermique. Les bétons réalisés avec ces types de granulats ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³, donc des gains de poids très intéressants.
- **les granulats très légers** – ils sont d'origine végétale et organique (la pierre ponce, liège, etc.), aussi bien que minérale (bois, polystyrène expansé). Ces granulats sont très légers, de 20 à 100 kg/m³, permettant de réaliser de bétons de masse volumique de 300 à 600 kg/m³, utilisés pour isolation, mais également comme éléments légers : blocs de remplissage, chape sur planchers peu résistants, etc.

I. A. 3. Les caractéristiques des granulats

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

- les caractéristiques géométriques ;
- les caractéristiques physiques ;
- les caractéristiques mécaniques ;

I. A. 3. a. Les caractéristiques géométriques des granulats

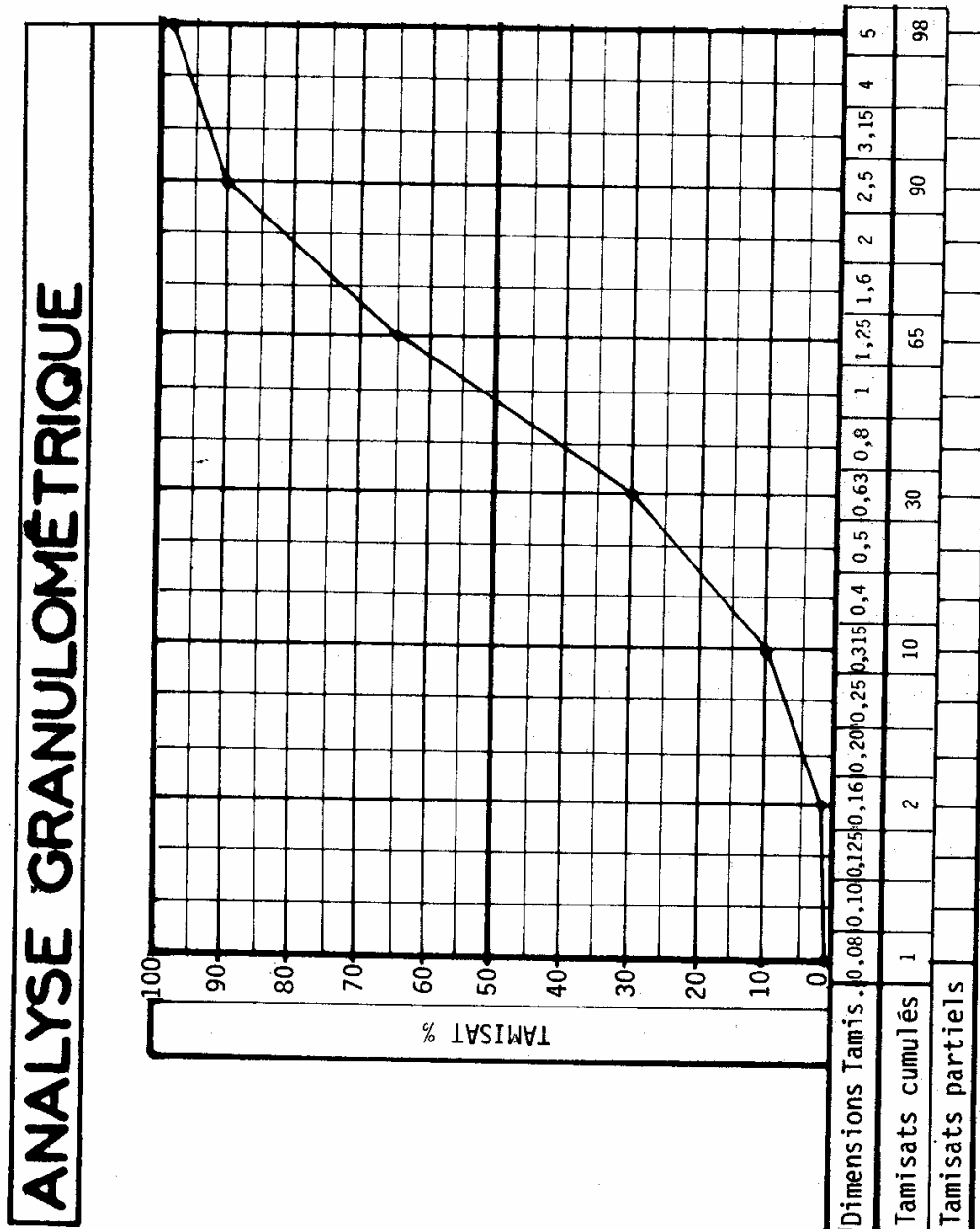
Dimensions nominales :

- Les granulats sont réparties en plusieurs catégories suivant les dimensions de leurs grains, de plus petits aux plus gros, comme est indiqués dans le tableau de la page 9.
- La terminologie usuelle des granulats, selon leurs dimensions nominales est indiquée dans la norme NFP 18.101

Granulométrie :

- La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.
- 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.
- Selon les dimensions de granulat, on a les sables (de 0,08 à 5 mm.) gravillons (de 5 à 20 mm.) et cailloux (de 20 à 80 mm.) A leur tours, chacune de ces catégories se divise en trois classes d'éléments : fins, moyens et gros.

- Si on prend sur ordonné les dimensions de mailles des tamis et sur abscisse la pourcentage de granulat qui reste sur chaque tamis, on peut tracer un courbe qui s'appelle la courbe granulométrique d'un mélange de granulats.
- La forme idéale d'une courbe granulométrique est représentée sur le schéma ci-dessous :



- La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passant des tamis successifs.

- Par exemple un sable 0/5 peut se composer de 95% de grains de 2,50 à 5,00 mm et de 5% de grains de 0 à 2,50 mm ; il est donc indispensable de fixer la proportion de grains fins, moyens, et gros.
- La forme de la courbe granulométrique renseigne immédiatement sur la granularité du granulat, comme en suite :
 - courbe en forme de doucine – granulat courant (bon) ;
 - courbe convexe vers la haut – granulat riche en éléments fins ;
 - courbe concave vers le bas – granulat pauvre en éléments fins ;
 - courbe présentant un palier – il manque les éléments moyennes ;

Module de finesse

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 suivante : 0,08 ; 0,016 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 5,0 ; 10,0 ; 20,0 ; 40,0 ; 80,0 ;

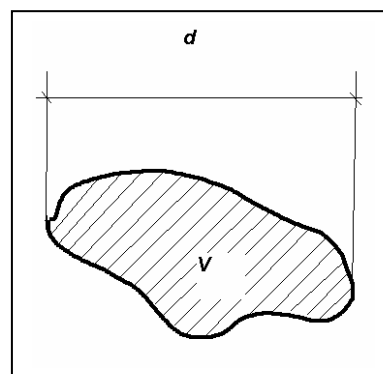
- On peut constater que le module de finesse sera d'autant plus petit que le granulat sera plus riche en éléments fins. Les essais ont montré que les sables ayant un module de finesse voisin de 2,5 ; donne les meilleurs résultats pour la fabrication du béton. La relation de calcul est :

$$\text{Sable nr. 1} = \frac{100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4)}{100} ;$$

Le coefficient d'aplatissement

Définition : le coefficient d'aplatissement, coefficient volumétrique moyen, c'est le rapport entre le volume absolu des grains du gravier considéré et le volume des sphères circonscrites correspondantes.

$$V_{\text{moyen}} = \frac{V}{\frac{\pi \times d^3}{6}}$$



- Dans ce cas un faible coefficient correspond à un échantillon de gravier contenant beaucoup de plaquettes et d'aiguilles. Il est nécessaire que les coefficients d'aplatissement pour le gravier soient au moins :
 - les gravillons: $V > 0,15$;
 - les cailloux : $V > 0,11$;
- 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.

I. A. 3. b. Les caractéristiques physiques des granulats

La masse volumique

Pour chaque granulats on peut déterminer une masse volumique absolu et une masse volumique apparente :

La masse volumique Absolu ($M_v \text{ abs.}$) – représente la masse de l'unité de volume absolu d'un corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides. Sa valeur est d'ordre de 2500 à 2700 kg/m³

La masse volumique apparente ($M_v \text{ app.}$) – représente la masse de l'unité de volume apparente d'un corps, y compris les vides quelle contient. Sa valeur est de 1350 à 1550 kg/m³. Elle s'appelle encore « la masse volumique en vrac », et se détermine conformément à mode opératoire NFP 18.554 et NFP 18.555.

La compacité

Représente le rapport de la masse volumique apparente et la masse volumique absolu, donc :

$$C = \frac{M_v \text{ app}}{M_v \text{ abs}} \times 100 (\%) ;$$

Donc, le pourcentage des vides est donné de la relation suivante :

$$V = (1 - C) \times 100 (\%) ;$$

- Les valeurs usuelles de compacité sont environ de 60% pour les sables et gravillons roulés et de 50% pour les sables et les gravillons concassés.
- Pour les produits de tout-venant, la compacité est plus élevée qu'avec granulats élémentaires et la forme arrondie des grains favorise la compacité.
- La meilleure compacité des granulats s'obtient par le mélange de 1/3 d'éléments fins avec 2/3 d'éléments gros en volume apparent.

La teneur en eau

- Sur chantier, les granulats contiennent un certain pourcentage d'humidité, d'autant plus importante que le granulat est fin.
- La teneur en eau d'un granulat est égale au pourcentage d'eau par rapport au matériau sec :

$$W = \frac{\text{Masse de l'eau contenue}}{\text{Masse du matériau sec}} \times 100 (\%) ;$$

- La teneur en eau des gravillons et cailloux a peu d'importance, mais celle du sable, par contre, peut avoir des conséquences graves ;
- Pour les sables, la conséquence d'une grande teneur en eau, est une expansion en volume désignée sous le nom de « foisonnement ».

La porosité

- La porosité d'un granulat est égale au volume des vides d'un matériau sur le volume de ce matériau, donc en utilisant la relation suivante :

$$P = \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume de matière}} \times 100 (\%) ;$$

- La porosité influence la résistance mécanique, la masse volumique et est un facteur déterminant de la quantité d'eau de gâchage ;
- L'emploi de granulats possédant une porosité élevée pourrait se traduire par une diminution de la maniabilité du béton, parce que ces granulats sont secs quand sont introduit dans le malaxeur et vont absorber une partie de l'eau de gâchage.

CONDITIONS DU GRANULAT			
Séché au four	Séché à l'air	Saturé et sec en surface	Humide ou mouillé
			
Nulle	Moindre que la capacité d'absorption	Égale à la capacité d'absorption	Supérieure à la capacité d'absorption
Humidité totale			

- A départ de ça, les granulats qui ont une porosité plus de 3% ne sont généralement très résistants aux cycles de gel et dégel.

La propreté des granulats

- Ca désigne essentiellement la teneur en fines argileuses, dont la valeur limite acceptable est comprise entre 2 et 5% selon le type de béton ;
- Dans le cas de cailloux et de gravillons, la propreté est donnée par le pourcentage de passant au tamis de 0,5 mm (tamisage effectué sous eau).
- Dans la cas de granulats concassés, lorsque la valeur du passant à 0,5 mm est supérieure à 2%, il est nécessaire d'effectuer un essai complémentaire, appelé « essai au bleu de méthylène ».

➤ **Pour les granulats > 5mm (gravillons ou graviers) :**

Le pourcentage d'impureté c'est détermine avec la relation :

$$100 \times (P1 - P2) / P2 \quad \text{ou :}$$

P1 – masse de granulat sec avant lavage,

P2 – masse de granulat sec après lavage.

➤ **Pour le sable à béton**

Dans ce cas l'essai s'appelle « équivalent de sable », et consiste à séparer le sable des matières argileuses ou fines, qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette.

$$E.S. = 100 \times H1 / H2 \quad \text{où :}$$

H1 – sable propre,

H2 – sable avec flocculant

On peut identifiés les suivantes classes de sable :

E,S, à vue	Nature et qualité du sable	
ES < 65	Sable argileuse - mal qualité	
65 < ES < 75	Sable légèrement argileuse	
75 < ES < 85	Sable propre	
ES > 85	Sable très propre	

Méthodes pratiques pour déterminer la propreté d'un sable :

- o Etaler et frotter le sable sur un linge propre. Il ne doit pas y avoir une souillure après l'enlèvement du sable.
- o Frotter le sable entre les doigts, il doit crisser dans la main et il ne peut y avoir de boue collant les doigts.

L'influence des caractéristiques géométriques et physiques des granulats

Caractère du granulat

1. Nature minéralogique
2. Présence de matière organique
3. Teneur élevée en sulfates, sulfures, chlorures
4. Propreté des granulats
5. Forme des graines, angularité
6. Granulométrie

Influence sur le béton

La plupart des granulats conviennent pour le béton. Influence défavorable des argiles, des calcaires marneux.
 Influence défavorable sur la prise et le durcissement, chute de résistance.
 Réaction avec le ciment, fissuration, corrosion des armatures
 Critère important. Les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence granulat/pâte.
 Peu important généralement ; certains sables concasses peuvent parfois être défavorables à la mise en œuvre du béton et à sa compacité finale.
 Importante pour une bonne composition.

I. A. 3. c. Les caractéristiques mécaniques 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.

L'essai Los Angeles

Définition : le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques.

- Cet essai fait l'objet des normes NFP 18.573 et l'essai concerne les pierres cassées ainsi que les grains concassés.

La machine Los Angeles comporte un cylindre creux en acier, fermé à ses deux bouts, d'un diamètre intérieure de 711 mm et ayant une longueur intérieure de 508 mm. Le cylindre est monté sur deux axes fixés sur ses fonds et il y a une ouverture latéralement sur le cylindre pour l'introduction des granulats. La charge abrasive (d'une manière qui use par frottement) est constituée par des boulets de fonte en nombre précis.

- L'échantillon d'essai comporte un granulat propre et desséché à l'étuve, qui doit se rapprocher le plus possible de la granulométrie réelle utilisée pour les travaux. La machine est mise en route à la vitesse de 30 à 33 tours par minute, en adoptant un cycle de 500 ou 1000 tours suivant la granulométrie.
- L'échantillon est tamisé et l'on recueille le refus que l'on pèse ; on calcule ensuite le pourcentage d'usure :

$$L_0 A_0 = \frac{(\text{poids initial} - \text{poids finale})}{\text{Poids initial}} \times 100 ;$$

- Le coefficient Los Angeles calculé à partir du passant au tamis de 1,6 mm mesuré en fin d'essai, caractérise le granulat. On peut admettre que l'essai est satisfaisant lorsque le pourcentage d'usure est inférieur à 25 ou 30%.
- Pour des granulats susceptibles d'être soumis aux effets de gel, on peut mesurer le coefficient Los Angeles après une série de 25 cycles gel/dégel (-25°C ; +25°C) et le comparer au coefficient de référence.
- En pratique un moyen de contrôle plus simple consiste de placer le granulat entre deux plaquettes d'acier de 5 mm d'épaisseur et de le soumettre à une pression statique. Dans ces conditions un gravillon 5/10 doit résister à une pression de 16 kg ; pendant que un gravillon 10/20 doit résister à une pression de 26 kg.

L'essai Deval et Micro Deval

- Ce sont des essais dont le principe est de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure. Cet essai est réglementé par NPF 18.572.

I. A. 4. Le choix du granulat

o Il porte principalement sur les suivantes caractéristiques :

- a) La nature minéralogique,
- b) La masse volumique,
- c) La propreté,
- d) La dureté ou la résistance mécanique,
- e) La forme des particules,
- f) L'absorption d'eau et la porosité,
- g) La résistance aux cycles de gel et de dégel,
- h) La résistance à l'abrasion et aux chocs,
- i) Distance entre la carrière et le chantier,
- j) La stabilité chimique,
- k) Les propriétés thermiques, etc.

▪ Les granulats les plus souvent employés, sont mentionnés dans ci-dessous :

Nature du béton ou de l'ouvrage	Masse volumique du béton	Nature des granulats
1. Béton classique pour le chantier ou la préfabrication	2200 à 2400 kg/m ³	Tous granulats roulés ou concassés avec préférence pour les siliceux, calcaires ou silico-calcaires.
2. Bétons apparents, architectoniques,	2200 à 2400 kg/m ³	Les mêmes mais aussi les porphyres, basaltes, granites, diorites, qui offrent une palette très riche d'aspect et de teinte.
3. Bétons légers pour structures semi isolant et semi porteur isolant	1500 à 1800 kg/m ³ 1000 à 1500 kg/m ³	Argile, laitier ou schiste expansé Argile expansée, pouzzolane, ponce,
	300 à 800 kg/m ³	Vermiculite, liège, bois polystyrène et verre expansé
4. Bétons lourds	3000 à 5000 kg/m ³	Corindon, barytine, magnétite Corindon, déchets de produits
5. Bétons réfractaires	2200 à 2500 kg/m ³	réfractaires, briques silico- alumineux, laitier, granulats spéciaux
6. Bétons ou chapes pour dallage industriels (avec abrasion importante)	2400 à 3000 kg/m ³	Corindon, carborundum, granulats métalliques

- Parfois les granulats peuvent être trouvées sous dénoms commerciaux
comme :
- **Briquailon** – qui est obtenu par concassage des briques de démolition ou
des mauvais cuisson ; la matière doit être dure, les grains doivent être purs et
sans corps étrangers ;

- **Bims** – la pierre ponce est une roche volcanique avec un poids volumétrique au dessous de 700 kg/m^3 qui présente une bonne isolation thermique. Le bim est trié en calibre : 2/12,5/15 et 2/20.
- **Perlite** – ou bim artificiel. La perlite est une roche volcanique concassée qui a subi un traitement thermique (échauffement). Ce traitement dilate la roche, qui prend la forme de grains creux remplis d'air allégé et non humide. Cette roche a grande isolation thermique et a un poids volumétrique d'environ 70 à 130 kg/m^3 .
- **Vermiculite** – est une roche ressemblante à mica/amiante ayant un poids volumétrique d'environ 60 à 100 kg/m^3 , par échauffement elle expansé (se dilate) comme le laitier expansé en présentant des grains de 0/2 et 0/15 mm.
- **Argile expansée** – est constituée de grains d'argile qui ont été cuits dans un four rotatif, mais à une température augmentant rapidement. C'est un matériau scorifié en grains creux et légers avec des bonnes caractéristiques isolantes. Le poids volumétriques est d'environ 400 à 600 kg/m^3 .
- **Grains de Liège** – proviennent de l'écorce émiette du chêne de liège.

I. B. LES CEMENTS

I. B. 1. La fabrication des ciments

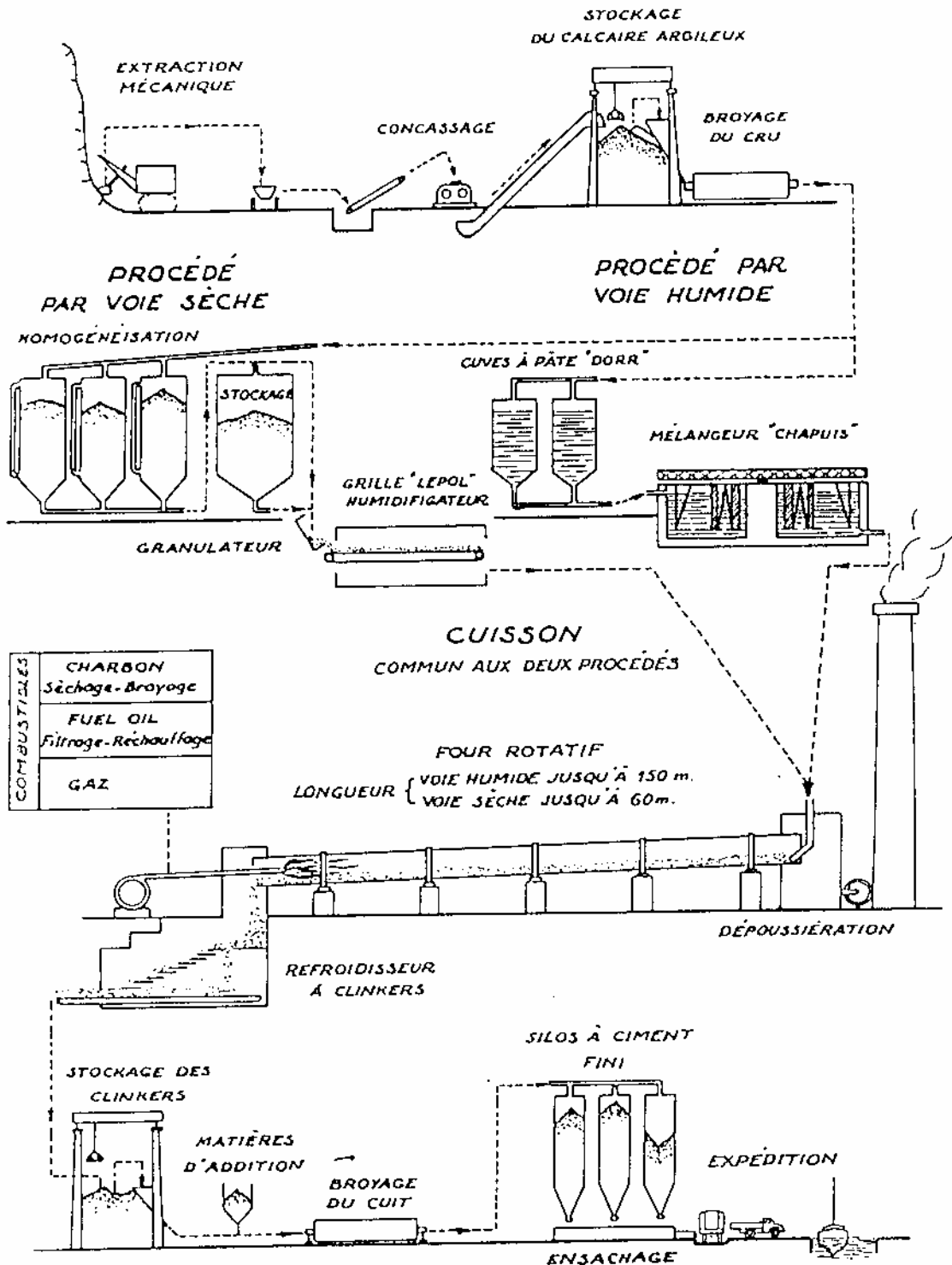
Définition : le ciment est un liant hydraulique qui présente sous forme de poudres minérales, qui une fois additionnés d'eau, donne une masse dure, compacte, analogue à de la roche naturelle.

- 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 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.
- Le ciment est obtenu par la cuisson, dans les fours rotatifs, jusqu'à un début de fusion, qui s'appelle clinkérisation, d'un mélange broyé, dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile, dont les principaux éléments sont :
 - le silicate tricalcique $3(\text{CaO}) \text{ SiO}_2$, désigné en langage cimentier par $\text{C}_3 \text{ S}$;
 - le silicate bi calcique $2(\text{CaO}) \text{ SiO}_2$, désigné par $\text{C}_2 \text{ S}$;
 - l'aluminate tricalcique $3(\text{CaO}) \text{ Al}_2\text{O}_3$, désigné par $\text{C}_3 \text{ A}$;
 - le ferro-aluminate tétracalcique $4(\text{CaO}) \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$, désigné par $\text{C}_4 \text{ AF}$;
 - enfin, en très faible quantité : MgO , SO_3 , etc.
- Tous ces éléments existent dans les matières premières telles que :
 - le calcaire CaCO_3 ; ou carbonate de calcium ;
 - l'argile $2(\text{Al}_2\text{O}_3) \text{ SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, ou silicate d'alumine hydratée ;
 - l'oxide de fer Fe_2O_3 ou Fe_2O_4 ;

- En général, on combine les pourcentages suivants:

90% de calcaire + 8,5% argile + 1,5% minéral de fer

- On peut représenter schéma de la fabrication du ciment comme ci-dessous :



- Les principales phases de fabrication du ciment sont :
 - a) préparation du cru,
 - b) traitement du mélange,
 - c) cuisson du mélange,
 - d) broyage du clinker,

a) Préparation du cru

- Pour obtenir un produit homogène, il faut un mélange très intime des constituants, c'est à dire une division très poussée de la matière. C'est par concassage, broyage, ou délayage qu'on fragmente la matière en grains dont le plus gros ne doit dépasser 2/10 mm.
- Avant d'entrer dans le circuit de préparation, on procède au dosage des matières premières entreposées.
- La préhomogénéisation permet de préparer des stocks parfaitement dosés par superposition de multiples couches successives de matières.
- Le mélange du cru, peut être préparé en rapport du procédé de cuisson, soit par la voie sèche, soit par voie humide ;

b) Traitement du mélange

- Il existe quatre procédés qui diffèrent pour une raison d'économie d'énergie calorifiques :

Procédé par voie sèche – est le procédé le plus moderne. Dans ce cas la matière première est préparée sans ajouter d'eau, depuis le concassage jusqu'à la cuisson. La matière, préhomogénéisée, est traitée dans des broyeurs dans lesquels elle est en même temps séchée par un courant d'air chaud. Pulvérulente et sèche, elle est parfaitement homogénéisée dans des cuves par insufflation d'air comprimé, puis stockée en silos. Maintenant la poudre est prête pour la cuisson et les cimentiers l'appellent « farine ».

Procédé par voie semi-sèche – c'est le procédé connu avant la voie sèche. Il consiste à granuler la matière première avec un apport d'une faible quantité d'eau, avant son introduction dans le four.

Procédé par voie semi humide – c'est une amélioration de la voie humide, toujours pour économiser l'énergie. Il consiste à essorer la pâte de manière à enlever le maximum d'eau en la faisant passer par des « filtres-presses ». Dans ce mode on obtient un « gâteau » qui est transformé en « boudin » à travers une grille avant son introduction au four.

Procédé par voie humide – c'est la méthode plus ancienne. On additionné d'eau jusqu'à 30-35% et le mélange est traité dans des broyeurs-délayeurs qui le transforment en pâte. Pompés dans les cuves, cette pâte est dosée et homogénéisée par agitation mécanique, combinée à un soufflage d'air comprimé .

Stockées dans des bassins, où un brassage continu maintient son homogénéisation, la pâte est prête pour la cuisson.

c) Cuisson du mélange

- Le mélange cru, soit poudre, soit pâte, est cuit dans le four de cimenterie, qui est le principal élément d'une usine de ciment.
- Là bas, il subit ses transformations pour aboutir à la formation du clinker. La matière circule à contresens des gaz de combustion, et elle est soumise à une augmentation progressive de la température, qui provoque ses transformations et atteint environ 1500°C dans la dernière section du four – qui s'appelle zone de cuisson et où se produit la clinkérisation.
- Le four est un cylindre métallique, dont la longueur varie de 50 à 200 m, et il est garni à l'intérieur de revêtements réfractaires. Il est légèrement incliné vers l'avant (3 à 3 °) et il est animé d'un lent mouvement de rotation (1 à 2 tours/minute), qui permet la progression de la matière, introduite par la partie haute, vers la partie basse, où se trouve le brûleur, alimenté au charbon, au fuel ou au gaz.
- Les transformations de la matière se produisent, soit dans le four lui-même, soit dans des installations situées en amont du four.
- On peut dire qu'il y a 3 zones dans l'installation de cuisson qui correspond aux ces trois transformations fondamentales de la matière :
 - o Dans la première zone, se produit la déshydratation, accompagnée d'un préchauffement de la matière. Elle est équipée d'échangeurs thermiques, appareils permettant le passage de la chaleur des gaz de combustion à la matière.
 - o La deuxième zone, est la zone de décarbonatation qui commence aux environs 900°C.
 - o La troisième zone est la zone de cuisson, qui début vers 1100°C, où la matière est cuite jusqu'à un début de fusion, c'est la clinkérisation.

d) Broyage du clinker

- A la sortie du four, le clinker, dont la température est supérieure à 1000 °C, est refroidi par un violent courant d'air sur une grille mobile, puis stocké.
- On procède alors au broyage du clinker. Pour ça, le mélange cuit, additionné ou non à des constituants secondaires et gypse, destinée à régulariser la prise pour obtenir le produit fini, le ciment qui se présente sous la forme d'une poudre extrêmement fine (30.000.000.000 de particules au cm³).
- A tous les stades de fabrication, fonctionnement des appareils de dépoussiérage, qui permettent de réduire les nuisances au minimum. Dans les usines modernes, le transport et la manutention des matières se fait dans des installations fermées.
- D'autre part des études très poussées ont notablement diminué les volumes sonores.

I. B. 2. Mise en œuvre du ciment

La prise du ciment

- La prise du ciment est la transformation de l'état plastique en l'état solide.
- La mesure du début et de fin de prise est couramment réalisée et elle permet d'avoir un aperçu sur le comportement ultérieur du ciment dans les conditions particulières d'utilisation comme les bétonnages par temps chaud ou par temps froid par exemple.
- Le procédé le plus employé est l'aiguille de Vicat (ACNOR A5 – 6.3.2) et pour avoir une idée des temps de début de prise on utilise les données suivantes :

Type de prise :

- Rapide
- Demi – lente
- Lente
- Très lente

Début de prise :

- < 8 min.
- 8 à 30 min.
- 30 min. à 6 h.
- > 6 h.

- L'influence de la température est bien entendue très importante, parce que une augmentation de la température diminue le temps de prise et vice et versa comme sur le tableau suivant :

Temperature (° C)	5	20	50	100
Debut de prise (heures)	8	3	1	15min
Fin de prise (heures)	15	6	2	20min

- La durcissement du ciment, est l'augmentation de la dureté de la matière prise. Le durcissement suite la prise dans un intervalle de 3 à 12 heures après le gâchage selon le type de ciment.
- Le durcissement est caractérisé par le début de résistance à la traction et à la compression, mais les vraies résistances arrivent après un délai de 28 jours.
- Pendant le durcissement, la pâte du ciment se rétrécit, et ce retrait provoque des fissures qui doivent être évitées en protégeant les ouvrages.
- Ceci est une raison pour lesquelles on ne peut pas jamais employer le ciment seul.

Quantité d'eau de gâchage

- La prise est d'autant plus lente que la quantité est plus grande et à partir d'une certaine teneur en eau, la prise ne se fait même plus.
- On doit tenir compte de ce phénomène, pour le bétonnage sous l'eau, pour les travaux exposés aux pluies, etc.
- Par contre un manque d'eau, provoque un dessèchement trop rapide, accélère la prise, qui ne se fait que partiellement et laisse un béton friable.
- Il est bon de noter que les caractéristiques mécaniques se déterminent par des essais sur éprouvettes prismatiques de 4 x 4 x 16 cm, fabriquées sur mortier avec une partie ciment pour trois parties de sable normal (1/3).

- Le mortier normal est un mortier pour lequel la nature du sable et la grosseur des grains, le dosage en ciment et en eau, le mode et la durée de fabrication sont maintenus parfaitement constants.

I. B. 3. Différents types de ciment

- Le ciment peut être fourni en sacs de papier de 50 kg, ou en vrac.
- Le chargement doit être prévu d'une attestation du qualité.
- Le ciment doit être transporté et conservé en un endroit très sec, parce en contact avec l'humidité (eau, brouillard) il commence son processus de hydratation et il deviennent non utilisable.
- Les types de ciments fabriqués en Maroc, sont les suivantes :
 - CPJ 35 & CPJ 45 – ciment portland composés ;
 - CM 25 – ciment à maçonner ;
 - CPA – ciment portland artificiel avec constituant secondaire ;
 - CPAC - ciment portland artificiel avec constituant la cendre volante ;
 - CPAL - ciment portland artificiel avec constituant laitier ;
 - CPAZ - ciment portland artificiel avec constituant pouzzolane ;
 - Les autres types de ciment sont importés, suivant les nécessités et en fonction de la destination du béton de l'ouvrage ;
- Du point de vue de leur constitution, les ciments peuvent être :
 - ciments portland sans constituants secondaires : CPA 250, CPA 325, CPA 400, CPA 500 ;
 - ciments portlands binaires – ces produits ne renferment qu'un seul constituant secondaire : CPAL, CPAC, CPAZ ;
 - ciments portlands ternaires – avec deux constituants secondaires : CPALC, CPALZ ;
 - ciments riches en laitier : CPF 325, CMM 325, CSS 325, CLK 325 ;
 - ciments à maçonner : CM 160, CM 250, CN 160 ;
 - ciments non normalisés : le super blanc,
- Le 861 – ce liant est hors norme de la classe 100, et il a été élaboré spécialement pour la réalisation des enduits. Il convient pour les travaux de jointement et est interdit pour les travaux des bétons ou béton armé ;
- Le ciment fondu – résulte d'une fusion de calcaire et de bauxite et sa teneur en alumine est environ de 40%. Il est utilisé pour des travaux comme :
 - durcissement très rapide,
 - résistances très élevée ;
 - travaux par temps froid ;
 - travaux en milieu agressif ;
 - béton réfractaire ;
 - mélange de prises variables ;
- Les liants réfractaires : Secar 162 – jusqu'à 1600°C ;
Secar 250 – jusqu'à 1800°C ;
Super Secar 250 – jusqu'à 2000°C ;
- Pour certaines types de ciments on va présenter en suivre, les fiches techniques et commerciaux :

CPA 45

Désignation : Ciment portland artificiel CPA45

Composition : Clinker $\geq 97\%$
 Filler $\leq 3\%$ & sulfate de chaux en faibles quantités
 destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garanti à 20° : 1h30min

Retrait à 28j : $< 800 \mu\text{m/m}$

Résistance à la compression : 350 bars min garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Toutes les applications du mortier et du béton non armé, armé ou travaux de bâtiment et de génie civil.
 Préfabrication avec ou sans étuvage
 Le CPA45 est plus particulièrement destiné aux travaux pour lesquels un ciment composé ne peut convenir, notamment la précontrainte avec ou sans traitement thermique.
 Pour la réalisation de parement devant rester apparents l'emploi d'un CPA est préférable à celui d'un CPJ. Pour les autres usages on pourra utiliser avantageusement un CPJ45.

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal (Eviter les sous dosages qui conduisent à des bétons rêches et poreux).

Gâchage : Maintenir un rapport eau/ciment $\leq 0,50$ ne dépassant jamais 0,60

Durcissement : Soigner la cure du béton pendant les premières 24 heures, surtout par temps chaud ou par vent. Utiliser un Produit de cure, arrosage par pulvérisation d'eau, etc

2

CPA 45R

Désignation : Ciment portland artificiel CPA45

Composition : Clinker $\geq 97\%$
 Filler $\leq 3\%$ & sulfate de chaux en faibles quantités
 destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garanti à 20° : 1h30min

Retrait à 28j : $< 1000 \mu\text{m/m}$

Résistance à la compression : 350 bars min garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Toutes les applications du mortier et du béton non armé, armé ou travaux de bâtiment et de génie civil.
 Préfabrication avec ou sans étuvage
 Le CPA 45R est plus particulièrement destiné aux travaux pour lesquels un ciment composé ne peut convenir, notamment la précontrainte avec ou sans traitement thermique.
 Pour la réalisation de parement devant rester apparents l'emploi d'un CPA est préférable à celui d'un CPJ. Pour les autres usages on pourra utiliser avantageusement un CPJ 45R.

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal (Eviter les sous dosages qui conduisent à des bétons rêches et poreux).

Gâchage : Maintenir un rapport eau/ciment $\leq 0,50$ ne dépassant jamais 0,60

Durcissement : Soigner la cure du béton pendant les premières 24 heures, surtout par temps chaud ou par vent. Utiliser un Produit de cure ou autre moyen approprié, arrosage par pulvérisation d'eau, etc

Désignation : Ciment portland artificiel CPA 55

Composition : Clinker $\geq 97\%$ + Filler $\leq 3\%$ & sulfate de chaux en faible quantités destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garantie à 20° : 1h

Retrait à 28j : $< 1000 \mu\text{m/m}$

Résistance à la compression : 100barsmin garanti à 2j en mortier 1/3
 450barsmin garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Tous les travaux de bâtiments et de génie civil exigeant des résistances élevés et un décoffrage rapide.
 Tout type de préfabrication avec ou sans traitement thermique
 Béton routiers
 Travaux par temps froid
 Pour la réalisation des parements devant rester apparents ,l'emploi d'un CPA est en principe préférable à celui d'un CPJ.

Contre indications : Ouvrage de grande masse exigeant une faible chaleur d'hydratation (Barrages)

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal : Ne pas sous doser .

Gâchage : Un rapport de ciment aussi faible que possible favorise l'obtention de très haute performances.

Durcissement : Soigner la cure du béton .

En préfabrication avec un traitement thermique ou par auto-étuvage , veiller au maintien d'une hygrométrie élevée proche de la saturation . Eviter les condensations d'eau qui provoquent des efflorescences.

CPA 55R

Désignation : Ciment portland artificiel CPA 55

Composition : Clinker $\geq 97\%$ + Filler $\leq 3\%$ & sulfate de chaux en faible quantités destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garantie à 20° : 1h

Retrait à 28j : $< 1000 \mu\text{m/m}$

Résistance à la compression : 170 bars min garanti à 2j en mortier 1/3
 450 bars min garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Tous les travaux de bâtiments et de génie civil exigeant des résistances élevés à toutes les échéances, et un décoffrage accéléré .
 Tout type de préfabrication avec ou sans traitement thermique
 Travaux par temps froid
 Pour la réalisation des parements devant rester apparents , l'emploi d'un CPA est en principe préférable à celui d'un CPJ.

Contre indications : Ouvrage de grande masse exigeant une faible chaleur d'hydratation (Barrages)

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal : Ne pas sous doser .

Gâchage : Un rapport de ciment aussi faible que possible favorise l'obtention de très haute performances.

Un malaxage énergique accroît la maniabilité de béton.

Durcissement : Soigner la cure du béton .

En préfabrication avec un traitement thermique ou par auto-étuvage , veiller au maintien d'une hygrométrie élevée proche de la saturation .
 Eviter les condensations d'eau qui provoquent des efflorescences.

CPJ 35

Désignation : Ciment portland composé CPJ35

Composition : Clinker $\geq 65\%$
 Pouzzolane, cendres volantes, laitier, filler $\leq 35\%$

Début de prise : minimum garantie à 20° : 1h30mm

Retrait à 28j : $< 800 \mu\text{m}/\text{m}$

Résistance à la compression : 250 bars min garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Tout travaux connu de hourdage et maçonnerie.
 béton non armé : remplissage, propreté, Béton armé soumis à faibles sollicitations : fondations, portées réduites, etc
 Béton de grande masse exigeant une faible chaleur d'hydratation (barrage)
 Stabilisation de sol en place : Grave-ciment..

Contre indications : Béton fortement sollicité, décoffrage rapide –
 Précontrainte – Travaux par temps froid (utiliser ciment de classe supérieure)

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Ne pas sous doser. Les bétons sous-dosés sont rêches à la mise en œuvre et poreux. Les résistances sont faibles et les aciers mal protégés à la corrosion.

Gâchage : Eviter l'excès d'eau. Les bétons trop mouillés ont des résistances fortement réduites et deviennent fissurants

Durcissement : Ne pas décoffrer avant 48 heures

La chaleur, le vent, le soleil peut provoquer la formation de fissures précoces dans les mortiers et bétons non protégés, contre la dessiccation surtout dans les parties minces (voiles, plancher)

Cette protection très importante au cours des premiers 48 heures, peut être assurée par tout moyen approprié : Produit de cure, arrosage par pulvérisation d'eau, ...etc

Désignation : Ciment portland composé CPJ45

Composition : Clinker $\geq 65\%$ + Pouzzolane, cendres volantes, laitier, filler $\leq 35\%$ & sulfate de chaux en faibles quantités destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garanti à 20° : 1h30min

Retrait à 28j : $< 800 \mu\text{m/m}$

Résistance à la compression : 350 bars min garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Toutes les applications courantes du mortier et du béton non armé, armé ou travaux de bâtiment et de génie civil.
 Préfabrication de produits en béton : blocs hourdis, etc....
 Route : stabilisation du sol, grave + ciment, béton routiers etc....
 Travaux de grande masse exigeant une chaleur d'hydratation modérée (massifs, barrages, etc....)

Contre indications : Les ciments composés ne sont pas admis à la précontrainte.

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal (Éviter les sous dosages qui conduisent à des bétons rêches et poreux).

Séchage : Maintenir un rapport eau/ciment aussi faible que possible ne dépassant jamais 0,60

Durcissement : Soigner la cure du béton pendant les premières 24 heures, surtout par temps sec ou chaud ou par vent. Les parties minces (voile, plancher) sont les plus sensibles à la fissuration par évaporation. Utiliser un Produit de cure ou autre moyen approprié, arrosage par pulvérisation d'eau, etc.

36

CPJ 45R

Désignation : Ciment portland composé CPJ45R

Composition : Clinker $\geq 65\%$ + Pouzzolane, cendres volantes, laitier, filler $\leq 35\%$ & sulfate de chaux en faibles quantités destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garantie à 20° : 1h30min

Retrait à 28j : $< 1000 \mu\text{m/m}$

Résistance à la compression : 350 bars min garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Toutes les applications courantes du mortier et du béton non armé, armé ou travaux de bâtiment et de génie civil.
 Travaux exigeant un décoffrage rapide
 Préfabrication avec ou sans étuvage (bloc hourdis, poutrelles etc....)
 Route : stabilisation du sol, grave+ciment, béton routiers etc...

Contre indications : Les ciments composés ne sont pas admis à la précontrainte.

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal (Eviter les sous dosages qui conduisent à des bétons rêches et poreux).

Gâchage : Maintenir un rapport eau/ciment aussi faible que possible ne dépassant jamais 0,60

Durcissement : Soigner la cure du béton pendant les premières 24 heures, surtout par temps sec ou chaud ou par vent. Les parties minces, voiles, planchers sont les plus sensibles à la fissuration par évaporation. Utiliser un Produit de cure ou autre moyen approprié, arrosage par pulvérisation d'eau, etc.

CPJ 55

Désignation : Ciment portland composé CPJ 55

Composition : Clinker $\geq 65\%$ + Pouzzolane, cendres volantes, laitier, filler $\leq 35\%$ & sulfate de chaux en faible quantités destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garantie à 20° : 1h

Retrait à 28j : $< 1000 \mu\text{m/m}$

Résistance à la compression : 100 bars min garanti à 2j en mortier 1/3
450 bars min garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Tous les travaux de bâtiments et de génie civil exigeant des résistances élevées et un décoffrage rapide .
Tout type de préfabrication avec ou sans traitement thermique
Travaux par temps froid
Travaux routiers

Contre indications : Précontrainte : les ciments composés ne sont pas admis à la précontrainte
Ouvrage de grande masse exigeant une faible chaleur d'hydratation (Barrages)

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal : Ne pas sous doser .

Gâchage : Un rapport de ciment aussi faible que possible favorise l'obtention de très haute performances.

Durcissement : Soigner la cure du béton .

En préfabrication avec un traitement thermique ou par auto-étuvage , veiller au maintien d'une hygrométrie élevée proche de la saturation . Eviter les condensations d'eau qui provoquent des efflorescences.

4C

Désignation : Ciment de laitier au clinker CLK 45

Composition : Laitier de haut fourneau $\geq 80\%$ + Clinker $\leq 20\%$ & sulfate de chaux en faible quantités destinés à régulariser la prise

Début de prise : minimum garantie à 20° : 1h30mm

Résistance à la compression: 350barsmin garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Toutes les applications courantes du béton non armé ou armé n'exigeant pas des résistances initiales élevés ou un décoffrage rapide .
 Son emploi est surtout recommandé pour les travaux en milieu agressif : Terrain gypseux –eaux pures – eaux de mer – d'égouts , industrielles.
 Réalisation de tous les travaux hydrauliques ,fondations, pieux, ouvrage souterrains ouvrages maritimes .
 Le CLK est couramment utilisé en injection dans les sols et pour la réalisation des coulis spéciaux destinés à la fabrication de parois moulées .Grâce à sa faible chaleur d'hydratation ,il est parfaitement adaptés aux travaux aux travaux en grande masse : barrage ,etc ,..

Contre indications : Précontrainte, décoffrage rapide, résistances initiales élevés ,travaux par temps froid

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Ne pas sous doser .Les bétons sous-dosés sont rêches à la mise en œuvre et poreux .Les résistances sont faibles et les aciers mal protégés à la corrosion .

Gâchage : Eviter l'excès d'eau .Les bétons trop mouillés ont des résistances fortement réduites et deviennent fissurants

Durcissement : Ne pas décoffrer avant 48heures

La chaleur ,le vent ,le soleil peut provoquer la formation de fissures précoces dans les mortiers et bétons non protégés ,contre la dessiccation . Le retrait des ciments de laitier étant supérieur à celui des ciments portland .Cette protection est d'autant plus importante et doit être assuré par tous les moyens appropriés :Produit de cure ,arrosage par pulvérisation d'eau,..etc. Le CLK est plus sensible au froid que les ciments portland : Par temps froid ,le béton doit être protégé et les délais de décoffrage allongés en conséquence .

37

Désignation : Super blanc LAFARGE CPA55

Composition : Matières premières très pures pratiquement exemptes d'oxydes métalliques colorants .

Début de prise : minimum garantie à 20° : 1h

Retrait à 28j : < 800 µm/m

Résistance à la compression : 100barsmin garanti à 2j en mortier 1/3
450barsmin garanti à 28j en mortier 1/3

Emplois : Béton clair ou colorés .Tous les travaux de bâtiments et de génie civil exigeant des résistances élevés et un décoffrage rapide .
Tout type de préfabrication avec ou sans traitement thermique
Balisage routiers et urbains glissières de sécurité ,écrans anti-bruits
Pose et jointement de .Carrelage divers ,marbre et pierres de taille ,mosaïque,...etc. Sous forme de ciment prêt « Ciment colle » et mortier colle pour la pose des revêtements céramiques muraux .
Travaux artistiques ,sculptures et moulage d'art ,libre ou intégrés à l'architecture .

Contre indications : Enduit et béton lissée ou bruts de talochage Pose et jointement en pâte pure .

Mise en œuvre :

Dosage en ciment : Normal : Ne pas sous doser .

Granulats : Adapter leur couleur à la teinte du béton recherché. Doivent être exemptes d'impuretés (argile - matières organiques) Adopter et respecter une granulométrie convenablement étudiée.

Gâchage : Un rapport de ciment aussi faible que possible favorise l'obtention de très haute performances. Veiller à la régularités des gâchées, notamment la teneur en eau pour éviter des variations d'aspect de surface .

Durcissement : Protéger contre la dessiccation accéléré pendant les premiers jours de durcissement.

Propreté : Veiller à la propreté du matériel utilisé (traces de rouille, de ciment gris....etc).

I.C. LA CHAUX

I. C. 1. Origine et cuisson de la chaux

- La nature fournit des blocs de calcaire, de la marne et des coquilles qui contiennent essentiellement du carbonate de chaux.
- Si l'on cuit ces matières à 900°C, l'acide carbonique s'élimine et on obtient la chaux non éteinte ou la chaux vive.
- Cette cuisson se fait dans des fours verticaux, mais ces fours tendent à disparaître pour être avantageusement remplacés par les fours rotatifs qui ont un rendement supérieur.
- Les fours verticaux, peuvent être à chauffage direct, ou à chauffage indirect.

Les fours verticaux à chauffage direct - sont appelés aussi et fours à calcination par stratification, et dans ces fours, les matières premières sont placés en couches alternatives (25 cm épaisseur de pierres, 10 cm épaisseur de charbon). Dans ces fours le travail se fait d'une manière continue en retirant les matières calcinées par le dessous au four et à mesure que l'on place de nouvelles couches par le dessus.

Cette méthode a l'inconvénient de faire perdre une partie des qualités des matières obtenues, à la cause du contact direct des matières premières avec le combustible. Les fours de ce type peuvent comporter des perfectionnements mécaniques qui assurent une plus grande régularité de produit cuit et une économie de combustible.

Les fours verticaux à chauffage indirect – sont appelés aussi fours à calcination à grande flamme et dans ces fours, le combustible est placé dans un foyer séparé de la pierre à calciner. Les matières premières calcinées sont enlevées par le bas du four tandis que l'on place de nouvelles pierres par dessus ; c'est donc aussi un travail continu.

La matière qui sort de ces fours est d'une qualité supérieure à celles obtenue par chauffage direct parce que les matières premières ne sont pas en contact direct avec le combustible, donc moins d'impuretés.

Ces fours consomment beaucoup de combustible et n'assurent pas toujours une régularité suffisante de cuisson.

- La chaux vive obtenue par l'un ou l'autre de ces méthodes, doit encore être éteinte par l'addition d'eau. Pour ça il y a deux méthodes entièrement différentes :
 - l'extinction normale ;
 - l'extinction à l'eau dans les cuves ;
- Pendant l'extinction, le transport ou l'emploi de la chaux vive, celle-ci ne doit pas venir en contact direct avec la peau ou les yeux, parce que en présence d'humidité elle s'éteint et alors peut occasionner des brûlures graves.

I. C. 2. L'extinction de la chaux

- En utilisant la méthode normale, on verse une quantité adéquate d'eau sur la chaux vive, et alors la roche tombe en poudre, avec une importante augmentation de volume et un grand dégagement de chaleur à la fois. Ce procédé est souvent appliqué en fabrique.
- En utilisant la méthode à l'eau dans les cuves, dans ce cas on dilue la roche de chaux vive dans des grandes quantités d'eau et on obtient une pâte épaisse ou laiteuse.

I. C. 3. Catégories de la chaux

- On distingue trois catégories de chaux qui s'emploient dans la construction :
 - a) la chaux hydraulique ;
 - b) la chaux grasse (durcissant à l'air) ;
 - c) la chaux maigre ou chaux souillée durcissant à l'air, ne s'employant qu'en agriculture comme engrais ;

a) La chaux hydraulique

Définition : la chaux hydraulique est de la chaux durcissant plus rapidement sous l'eau qu'à l'air.

- La chaux hydraulique s'obtient en cuisant du calcaire ayant une grande teneur d'argile (5 à 22%) et qui contient de l'alumine silicique.
- Le produit après l'extinction est tamisé et vendu en sacs de papier de 25 kg.
- On peut trouver plus souvent 4 catégories suivantes :

Catégorie	Contenu d'argile (%)	Index d'hydraulicité	Durée de la prise (h)
Chaux faiblement hydraulique	5 à 8	0,10 à 0,16	16 à 30
Chaux moyennement hydraulique	8 à 15	0,16 à 0,31	10 à 15
Chaux normalement hydraulique	15 à 19	0,31 à 0,42	5 à 9
Chaux éminemment hydraulique	19 à 22	0,42 à 0,50	2 à 4

- L'index d'hydraulicité est calculé en fonction des rapports de poids entre le silicium (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3), et l'oxyde de fer (Fe_2O_3) ; qui sont trois substances contenues dans le calcaire. Cet indice ne donne l'hydraulicité de la chaux, c'est à dire son aptitude à durcir au contact de l'eau.
- De toutes ces catégories de la chaux, seulement deux sont normalisées :
 - la chaux hydraulique normale ;
 - la chaux éminemment hydraulique ;
- A ce qui concerne la conservation du chaux hydraulique, il doit être transportées et conservées en un endroit sec.
- La chaux hydraulique s'emploie parfois pour la préparation du mortier de maçonnerie ou du mortier bâtard (avec ou sans ciment).

b) La chaux grasse (ou aérienne)

Définition : la chaux grasse est de la chaux obtenue par la cuisson de calcaire carbonique. L'acide carbonique s'élimine à la cuisson et la roche cuite est de la chaux presque pure (au moins 90% d'oxyde de calcium).

- La chaux grasse n'est pas hydraulique et ne durcit qu'au contact de l'acide carbonique contenu dans l'air.
- Comme la chaux grasse n'est pas hydraulique, on l'éteint avec des grandes quantités d'eau en utilisant la méthode de la cuve.
- La chaux grasse est encore souvent livrée en roche (chaux en roche) afin d'être éteinte sur le chantier ou lieu de travail.
- La poudre de chaux grasse produit après la coulée une pâte grasse qui ne durcit pas sous l'eau, et dans cette cause elle se conserve, dans une fosse ou dans un grand bac.
- A son surface, dans ce cas, apparaît rapidement une fine pellicule étant donné que la chaux éteinte peut s'y combiner à l'acide carbonique, ce qui empêche celui-ci de pénétrer plus profondément .
- Le séchage et la fissuration de la masse grasse peuvent être évités en couvrant la chaux avec un couche de sable ou de l'eau.
- Dans la fosse, l'extinction de petites parties de chaux qui ne sont pas encore totalement éteintes, continuera encore pendant d'environ trois semaines.
- La chaux grasse est très appropriée comme enduit intérieur, elle peut aussi servir de chaux blanche car elle peut facilement se combiner à l'acide carbonique de l'air, et ainsi se pétrifier.
- Si l'on emploi la chaux grasse pour préparer un mortier de maçonnerie, il faut toujours ajouter du ciment !
- Avant d'utiliser la chaux grasse il faut laisser s'éteindre au minimum pendant trois semaines.

I. D. ACIERS

I. D. 1. Définition et aspect des aciers

Définition : La fonte est un alliage de fer et carbone, obtenu dans les hauts fourneaux par le traitement des minerais de fer, au moyen de coke métallurgique (c'est-à-dire une fusion réductrice). La fonte, en fusion, peut être égrappée par l'oxygène qui brûle les impuretés. Les produits d'oxydation s'échappent sous forme de gaz, et le produit épuré s'appelle l'**acier**.

- L'acier ne contient pas qu'un pourcentage réduit de carbone (0,1 à 1,6%).
- Cette opération de réduire le contenu du carbone, s'appelle aussi et décarbonatation.

Aspect de l'acier

- D'après l'aspect extérieur de l'acier, on peut trouver :
 - a) acier laminé ;
 - b) acier étiré ;
 - c) acier fondu ;
- a) Acier laminé** – passe généralement à l'état incandescent entre des cylindres qui lui donne la forme souhaitée.
- Dans ce cas, les tôles de faible épaisseur peuvent être laminées au froid, pendant que les profils tels que : **L, U, I**,
- L'acier laminé s'utilise souvent en :
 - menuiserie métallique ;
 - tôles lisses et ondulées ;
 - les ronds spéciaux pour les bétons armés
- b) Acier étiré** – est le résultat de l'étirement à froid de l'acier, à travers des ouvertures coniques d'une série de filières.
- En utilisant ce procédé, on peut obtenir des produits comme :
 - fil d'acier ;
 - tuyaux ronds et rectangulaires ;
 - les produits obtenus par des fils (les points, les clous) ;
- c) Acier fondu** – est coulé en moule, donc lui, manque la compression obtenue
par les processus de laminage ou forgeage, et à cause de ça il est moins résistant.

I. D. 2. Avantages et inconvénients de différents types d'aciers

- Parmi les avantages des aciers, nous pouvons énumérer :
 - ils ont des résistances mécaniques élevée, mais dépendant de la teneur en charbon ;
 - grande élasticité ;
 - soudabilité ;
 - permet de nombreuses traitements mécaniques, tels que : sciage, limage, forgeage, pressage, etc.
- Parmi les inconvénients des aciers, on trouve les suivantes :
 - ne résiste pas à la corrosion ;
 - à des températures de 400-500°C ils commencent à perdre leurs caractéristiques mécaniques ;
- D'après leur contenus en charbon, les aciers sont utilisés comme ci-dessous :

Teneur en charbon	Appellation	Utilisation
0,05 à 0,2 (%)	Acier extra doux : A33 – A37	Tôles, fils, tubes, rivets, profiles,
0,2 à 0,4 (%)	Acier doux : A42 – A48	Profils, tôles, fils, boulonnes, visserie ;
0,4 à 0,6 (%)	Acier demi dur : A56 – A75	Profils étirés et profiles calibrés
0,6 à 1,0 (%)	Acier dur : A85 – A95	Ressorts, rails, câbles ;
1,0 à 1,7 (%)	Acier extra dur : A105	Acier pour des outils

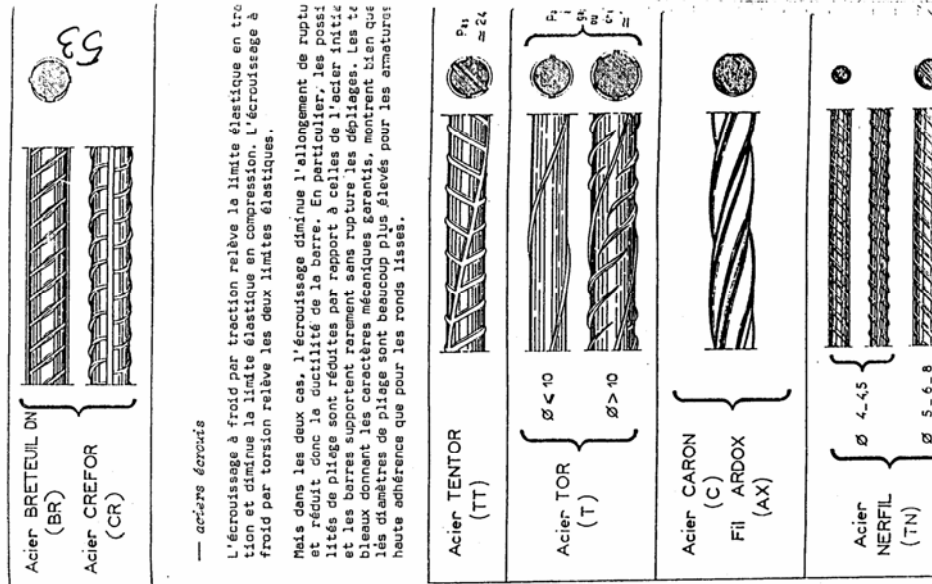
Exemple : charpente métallique – est le nom qui se donne à tout les ouvrages en acier, formant l'ossature d'un édifice. Elles sont réalisés en profils d'aciers de type : **L ; T ; U ; I ;**

Les armatures ronds lisses – ont le diamètre de 6-8-10-12-14-16-20-25-32-40-50 mm et la longueur de 4-12-15 m.

- Les ronds lisses sont fabriqués à partir de l'acier naturel. Ils s'emploient couramment surtout pour des petites constructions. Leur façonnage est calculé et sont faciles.

Les armatures à adhérence amélioré (ou haut adhérence) – ont la longueur commerciale de 12.00 m et le diamètre de 6-8-10-12-14-16-20-25-32-40-50 mm.

- Dans beaucoup de construction en béton armé, on emploie actuellement des sortes d'aciers résistant à des tensions de tractions plus importantes. Ces barres sont à relief pour éviter glissement d'acier en béton.



Nuances	Essai de traction		essai de pliage simple à 180° diamètre du mandrin	essai de pliage dépliage diamètre du mandrin
	Fe (N°E)	Cr (N°E)	d	d
Fe E 22	215	332-460	22	d ≤ 20 0 d d > 20 1 d
Fe E 24	235	412-460	25	d ≤ 20 0 d d > 20 3 d

Les barres susceptibles d'être pliées et dépliées doivent donc être en acier Fe E 24.

- le coefficient de fissuration est égal à l'unité : $\eta = 1$
- le coefficient de scellement est égal à l'unité : $\psi_s = 1$

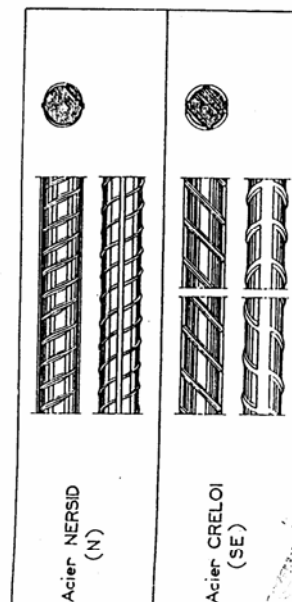
3. Armatures à haute adhérence (normes NFA 35-016 et NFA 35-017) -

Nous verrons que dans les zones tendues, le nombre des fissures croît avec l'adhérence sans que soit modifiée leur largeur cumulée et qu'à adhérence donnée, la largeur moyenne des fissures augmente avec la contrainte de l'acier.

Le prix du kilogramme d'acier étant sensiblement indépendant de la nuance, on a intérêt à utiliser des armatures de nuance élevée. Mais il est alors nécessaire d'augmenter l'adhérence afin d'éviter une ouverture excessive des fissures, préjudiciable à la pérennité du béton armé.

— Les figures ci-dessous donnent des exemples de profils de barres à haute adhérence :

— aciers naturels

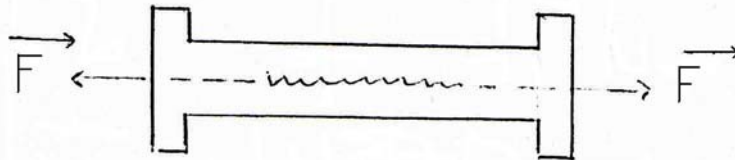


I. D. 3. Protection de l'acier contre la corrosion

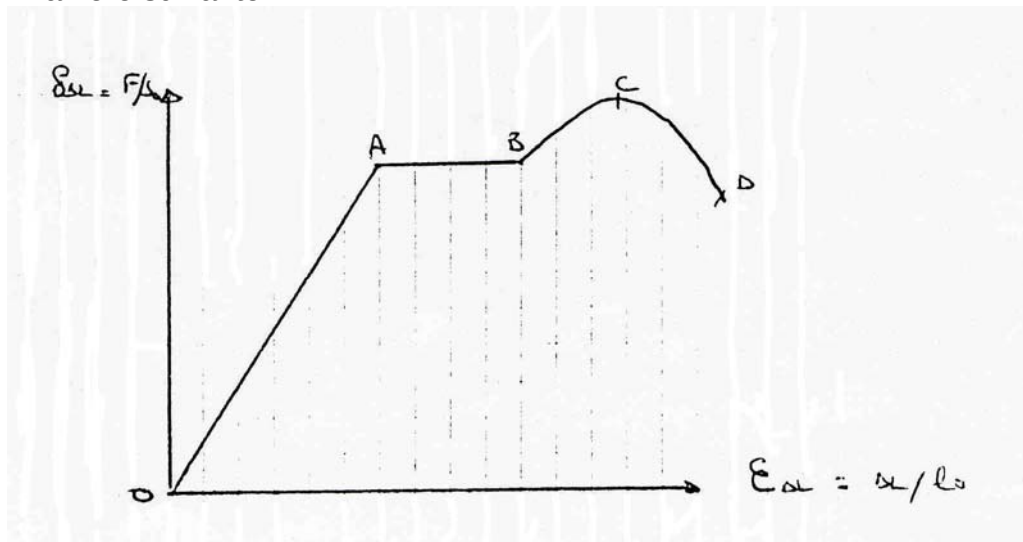
- La rouille est principalement due à un phénomène chimique : l'action de l'oxygène et l'humidité de l'air font apparaître à la surface de l'acier un produit qui s'appelle l'oxyde ferrique.
- Cet oxyde ferrique s'appelle « rouille de fer », et son volume repousse sur la couche extérieure de l'acier. La rouille s'écaille.
- Cette action peut se répéter et agir chaque fois que les conditions atmosphériques permettent ça, d'avantage en profondeur du acier parce que la formation de la rouille peut se prolonger sous les couches protectrice. A cause de ça, il faut que la rouille sera complètement enlevée avant la pose d'une peinture de protection.
- Pour enlever la couche de rouille on utilise d'habitude des procédés mécaniques, tels que :
 - frottement ;
 - brossage avec un brosse d'acier ;
 - frapper au marteau ;
 - nettoyer par des jets de sable ou de plomb en grains sous pression ;
 - etc.
- Pour protéger la surface d'acier dérouillé en utilisant un procédé comme ci-dessus, on doit appliquer la technologie suivante :
 - on applique un premier sort de peinture anti-rouille, qui est d'habitude une peinture qui contient minium de plomb. Cette peinture doit être appliquée en deux couches successives.
 - On applique après ça une peinture de couverture, qui peut être : bronze d'aluminium, peintures alchidiques, élastomères, peintures bitumineuses, etc. Cette peinture doit être appliquée en deux ou trois couches successives.
- Les autres méthodes de protection d'acier, consiste en :
 - l'immersion du produit d'acier dans une solution bouillante de phosphate de manganèse ou du zinc ;
 - même opération en utilisant une solution de cuivre et de nitrate ;
 - métallisation de l'acier avec une couche de zinc ou d'aluminium en fusion sous forte pression ;
 - plastification en revêtement de plastique l'aminé ;
 - émaillage à une couche de laque qui couvre la surface ;
- Une l'autre méthode plus efficace de protection de l'acier contre la rouille est l'alliage – qui consiste de faire la fusion d'au moins deux métaux ferreux un non ferreux. Parmi les plus connues alliages sont celles de l'acier avec : le charbon, le nickel, le manganèse, le chrome, etc.
- Par exemple un sort d'acier qui s'appelle même inoxydable, contient dans sa structure à départ de acier et 18% de chrome et 8% de nickel.

I. D. 4. Comportement mécanique de l'acier

- Pour étudier le comportement mécanique d'un acier on va effectuer un essai de traction sur une éprouvette cylindrique, avec une machine qui développe deux charges égale et opposées, comme dans le schéma ci dessous :



- Sous l'action de l'effort (F), l'éprouvette s'allonge et si on enregistre à chaque instant la grandeur de l'allongement par rapport de la valeur de l'effort, on peut tracer une diagramme de déformation de l'acier avant de rupture, de la manière suivante :



- Si on considère les notations suivantes :
 S_0 - la section initiale de l'éprouvette ;
 F - la force de traction ;
 L_0 - la longueur initiale de l'éprouvette ;
 ΔL - l'allongement effective avant de rupture ;
 alors on peut déterminer les valeurs suivantes :
 - la contrainte de traction : $\sigma = \frac{F}{S_0}$; (MPa/ cm²)
 - la déformation relative : $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$; (cm)

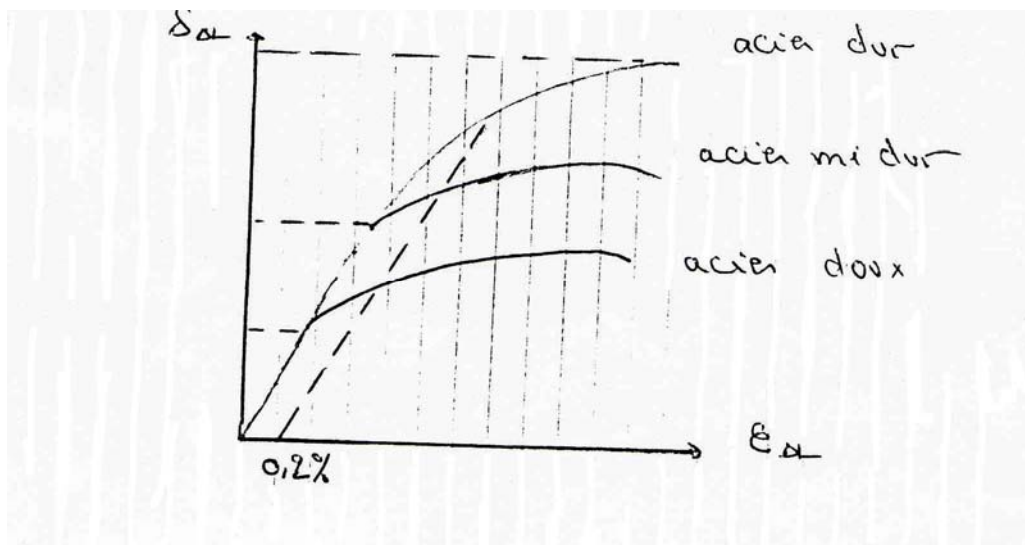
- Sur la diagramme de déformations qui est illustrée ci-dessus, on peut distinguer quelques zones caractéristiques :
 - o Zone **O à A** : est un domaine élastique et linéaire ;
Dans cette zone, les allongements sont proportionnels aux contraintes, d'après la loi du Hooke.

$$\delta S = E_s \times \varepsilon_s$$

- o Zone **A à B** : est un domaine élastique, donc entre (A) et (B) l'éprouvette s'allonge à un effort de traction sensiblement constante. Dans ce cas il n'y a plus de réversibilité.
- o Zone **B à C** : est un domaine plastique ; donc entre (B) et (C) l'éprouvette continue de s'allonger et la contrainte atteint un max. (C) qui correspond à la contrainte de rupture.
- o Zone **C à D** : est la zone de striction, au-delà de la limite de rupture, l'allongement ne se repartie plus sur la longueur de l'éprouvette, mais se concentre on voisinage d'une section droit, dont l'aire est diminuée rapidement jusqu'à ce que se produit la rupture.
- o En général pour l'acier le module de Young a la forme :

$$E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa ;}$$

- Le diagramme contrainte – déformations pour différents types d'aciers sont présentées dans le schéma ci – dessous :



I. E. LIANTS HYDROCARBONES

I .E. 1. Définition et genèse des liants

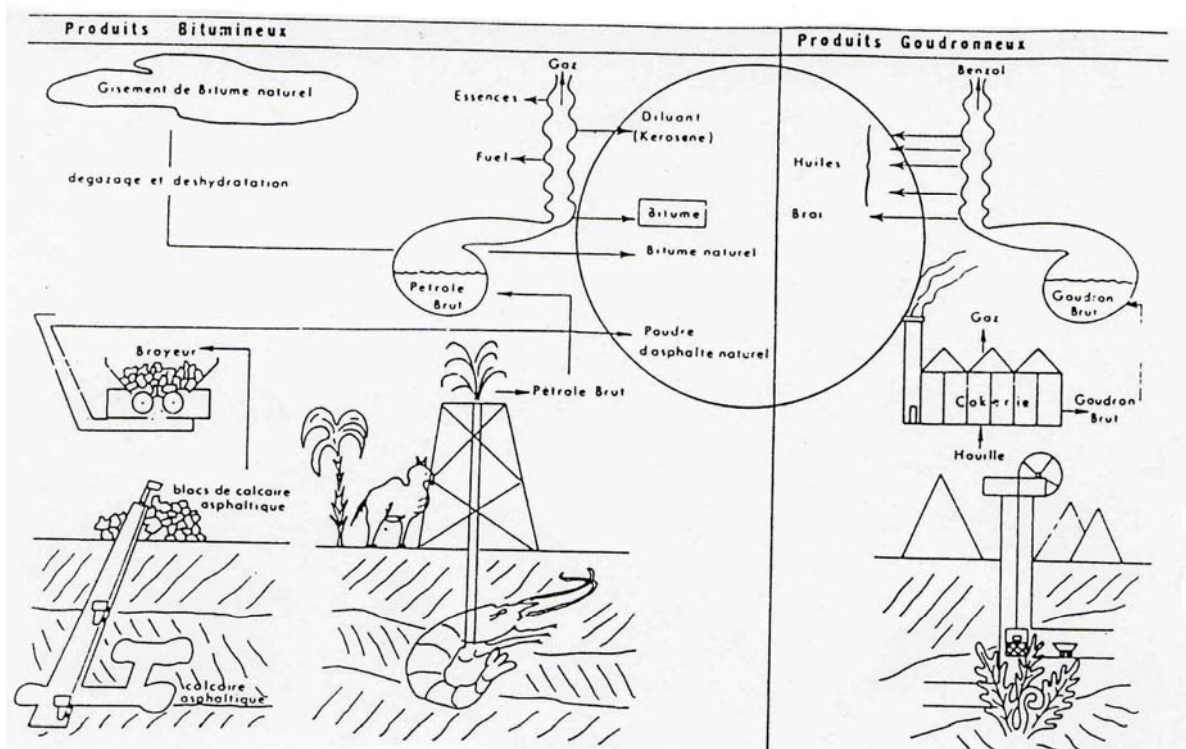
Définition : les liants hydrocarbonés ou liants « noirs » sont de sous-produits dérivés de certaines industries ou extraits de ressources naturelles en tant que matière première.

- Comme leur nom indique, ils ont des propriétés liantes et sont composées presque exclusivement d'hydrogène et de carbone. Ce sont donc des produits organiques relativement inertes, contrairement aux liants minéraux, qui ont besoin de développer une prise par réaction chimique en présence d'eau.
- Lorsque les liants hydrocarbonés sont mélangés à des granulats, il confèrent immédiatement au mélange une certaine cohésion et lui donnent par conséquence des résistances à la traction, à la compression et au cisaillement sans qu'il soit besoin d'attendre une modification irréversible de leur composition.
- Par réchauffage on peut en effet réemployer des matériaux traités par ces liants ce qui est à la base des techniques de réemploi des enrobés, telles que le repavage par exemple.
- Pour obtenir ce résultat, on utilise des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés : leur pouvoir d'adhésion aux granulats, et leur consistance variable avec la température.
- L'emploi des liants « noirs », mis à part les émulsions, s'accompagne toujours, en effet, de sujétions de température sur lesquelles nous aurons souvent l'occasion de revenir :
 - par chauffage on abaisse la consistance des liants hydrocarbonés pour en permettre l'emploi, que ce soit à l'enrobage ou au répandage ;
 - des refroidissements, on atteint les propriétés initiales recherchées mais parfois il faudra tenir compte d'un délai de mûrissement pour atteindre les propriétés réellement visées ;
- Les liants hydrocarbonés sont des produits visco - élastiques qui vont donc conduire à l'obtention de matériaux traités dits « souples » par opposition aux couches de chaussées traitées aux liants hydrauliques et qualifiées de rigides.

Genèse des liants hydrocarbonés – sont des produits énergétiques fossiles qui très schématiquement peuvent être divisés en deux grandes familles :

- o sont baptisés **goudronneux** tout les produits qui dérivent de la houille, c'est à dire qui proviennent du traitement industriel de certains charbons. La houille étant elle-même issue de la transformation géologique (par pression et température) de dépôts constitués par des débris végétaux : pollen, brindilles, feuilles. C'est pourquoi il n'est pas rare de trouver dans cette roche fossile l'empreinte de magnifiques fougères qui symbolisent bien son origine végétale.

- o sont baptisés **bitumineux** tous les produits qui dérivent du pétrole, c'est à dire qui proviennent du traitement (naturel ou industriel) du pétrole brut, considéré aussi comme roche fossile. En effet, elle résulte également d'une lente transformation à l'échelle géologique de dépôts lacustres ou marins, mais dans ce cas, le dépôt sera d'origine animale d'où la tentation de le symboliser par une petite crevette, par opposition à la fougère des produits goudronneux.
- La fabrication des liants hydrocarbonés, qu'ils soient bitumineux ou goudronneux, est fondée sur le principe de la distillation, qui permet de séparer les différentes fractions en fonction de leur point d'ébullition. C'est à dire que les produits de base sont soumis dans une ou plusieurs colonnes à une élévation de température telle que les éléments les plus légers partent en tête de colonne, puis se succèdent les fractions de plus en plus lourdes.
- La plupart des fractions ainsi obtenues doivent également être raffinées pour obtenir les produits finis.
- Cette opération, effectuée en usine, reproduit en un temps très court la distillation qui s'est opérée naturellement au cours des temps géologiques pour former les gisements de bitumes ou d'asphalte naturel.
- La figure ci-dessous résume cette genèse des produits de base :



- Il faut signaler que le goudron brut, contrairement au pétrole brut, dont il ne peut être considéré comme l'homologue n'existe pas à l'état naturel.

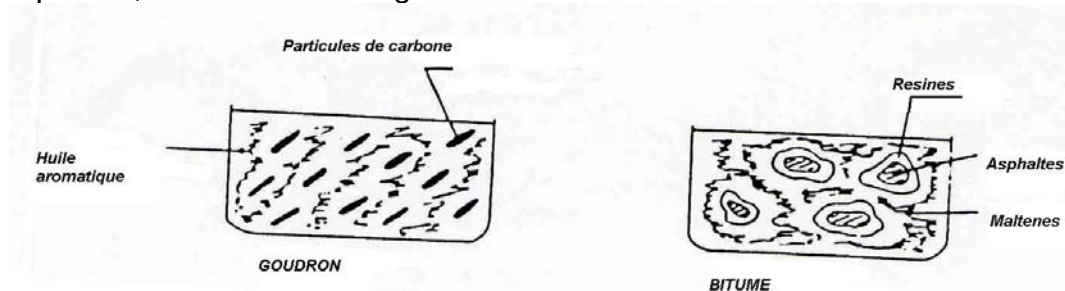
I. E. 2. Propriétés générales des liants hydrocarbonés

a) Imperméabilité

- Les produits hydrocarbonés naturels ont été employés depuis l'antiquité dans des travaux d'étanchéité. Ces propriétés d'étanchéité sont pour la grande part à l'origine même de l'emploi de ces produits.
- Les liants hydrocarbonés élaborés, actuellement disponibles, conservant ce caractère et sont tous totalement imperméables à l'eau et y sont insolubles.

b) Structure chimique

- Composés en majeure partie de carbone et d'hydrogène, et en le faible quantité de soufre et d'oxygène, ces produits ont des structures complexes.
- Ce sont des colloïdes : ils comprennent une phase continue et une phase dispersée, comme dans la figure ci-dessous :



- Dans cette figure on peut observer que le goudron est une suspension de carbone dans une phase huileuse aromatique.
- Pour les bitumes, la phase continue est une huile visqueuse appelée maltènes, et la phase dispersée dite asphaltages est plus ou moins mobile au sein des maltènes.
- Elle est responsable de la couleur noire du bitume comme le carbone pour le goudron, et ses propriétés mécaniques bien particulières.
- Le bitume naturel a une structure semblable, mais contient en outre des charges minérales.
- L'asphalte naturel est une roche calcaire imprégnée de bitume.

c) Propriétés physiques

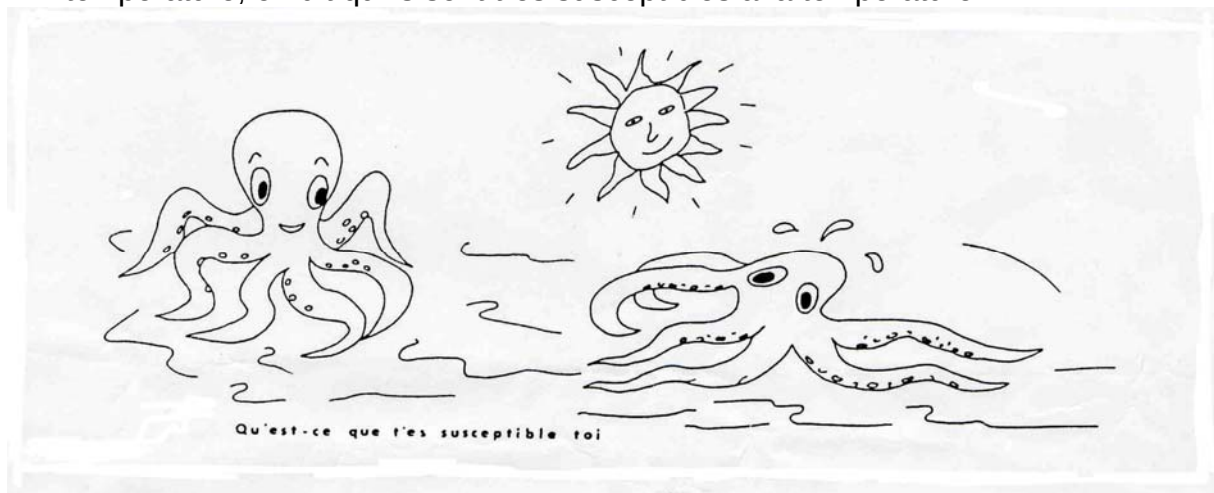
- Pour convenir à l'usage routier les liants doivent présenter certaines propriétés :

Propriétés mécaniques – les enduits et les asphaltes coulés sont des matériaux composites dont les propriétés dépendent celles de leurs composantes.

- La partie minérale (gravillon, sable, fines) joue un rôle important par sa nature, sa granularité, sa forme, mais le liant joue un rôle d'autant plus important que c'est lui qui va conférer à ces éléments la cohésion et la souplesse souhaitées.
- Dans une structure routière, les couches de chaussées sont soumises aux contraintes occasionnées par le trafic, et aussi au sein de ces couches de liants hydrocarbonés sont donc eux aussi soumis à des contraintes de traction, cisaillement, compression et fatigue.
- Les liants doivent résister à ces sollicitations sans se fissurer et sans entraîner de rupture au sein des couches. Ils doivent donc avoir une bonne cohésion. Toutes les résistances mécaniques des couples : liants hydrocarbonés – granulats dépendent donc étroitement de celles de liants.
- Le comportement mécaniques des liants dépendra aussi de :
 - de la température ;
 - du temps d'application de la charge (vitesse de véhicules) ;
- Donc, plus que la température sera haute, plus la résistance diminuera ; et plus que le temps de charge sera long (vitesse faible) plus de résistance seront faibles.

Susceptibilité thermique - les liants hydrocarbonés sont très visqueux à la température ambiante, mais leur consistance varie avec la température :

- par temps froid ils deviennent plus rigides ;
- par temps chaud ils se ramollissent ;
- à haute température ils sont fluides et s'écoulent facilement ;
- Suivant que leur consistance varie considérablement en fonction de la température, on dit qu'ils sont très susceptibles à la température :



- En construction routière on évitera donc d'utiliser des liants de haute susceptibilité pour que les propriétés mécaniques restent le plus constantes possible dans la gamme de variation habituellement observée à la surface des chaussées (-20°C à +60°C).
- Notons à ce sujet que les corps noirs absorbent la chaleur, ce qui explique que la température d'un revêtement peut être nettement plus élevée que celle de l'air ambiant.

Adhésivité - pour pouvoir parler d'adhésivité, il faut avant tout qu'il y ait contact entre le liant et le granulat, ce qui suppose un bon mouillage (adhésivité active).

- Ce mouillage ne peut se produire que si la fluidité du liant est suffisante, c'est à dire que si sa consistance, donc sa viscosité deviennent très faibles. Cette condition est impérative qu'il s'agisse d'enrobage ou d'enduisage.
- En pratique, ce mouillage est effectif quand la viscosité est suffisamment faible ce qui s'obtient en règle générale par élévation de la température. On peut en outre, pour certains usages y adjoindre d'autres moyens tels que : fluidification ; fluxage, émulsification, etc.
- Le refroidissement rapide, après la mise en œuvre, vient ensuite « figer » le film de liant déposé, sauf évidemment pour les émulsions où un phénomène de rupture doit intervenir.
- Il faut ensuite que ce film de liant ne soit pas déplacé par l'eau, c'est à dire qu'il n'y ait pas dés enrobage par l'eau, ce qui demande une bonne adhésivité passive.
- L'adhésivité d'un liant n'est pas une caractéristique spécifique de ce liant, mais ne peut s'évaluer que pour un couple liant - granulat donné.
- Cette notion très complexe fait intervenir, entre autres, les compositions chimiques, les états de surface, etc.

Vieillesse – sous l'influence de l'oxygène de l'air, les caractéristiques d'origine des liants hydrocarbonés se modifient plus ou moins au cours du temps. D'une façon générale, ceci se traduit par un durcissement et une diminution de la susceptibilité thermique.

- Leur longévité est néanmoins proverbiale, des travaux d'étanchéité réalisés au Moyen – Orient vers 3.000 ans avant J.C. par les sumériens avec des bitumes et asphaltes naturels, sont encore en bon état.

I. F. BOIS

I. F. 1. Généralités et les parties d'un arbre

Définition : le bois est un produit naturel provenant par coupage d'un tronc d'un arbre.

- Le bois se trouve à peu près partout sur terre, en diverse sortes et variétés.
- Le bois est très utilisé comme matériau de construction, à la cause de ses propriétés :
 - la grande solidité par rapport à un poids faible ;
 - la durabilité en temps ;
 - l'aspect esthétique, etc.

Classification générale :

- a) **Bois feuillu** - provient des arbres feuillus qui poussent dans les régions chaudes et tempérées. Ils ont des feuilles plates qui tombent après chaque cycle de croissance. Le tissu est généralement ferme et compacte, et ne contient pas de résine.
- Parmi les essences plus connues il y a :
 - en Europe : chêne, hêtre, frêne, platane, tilleul, marronnier, cerisier, olivier, noyer, peuplier, etc.
 - Tropicales : teck, afzali, meranti, ébène, kambala, etc.
- b) **Bois résineux** – provient d'arbre qui croisse généralement dans les régions froides et ils ont des feuilles en forme d'aiguille, qui restent vert toute l'année.
- Parmi les essences plus connues sont : pins, sapin, pitchpin, redwood, etc.

Les parties d'un arbre :

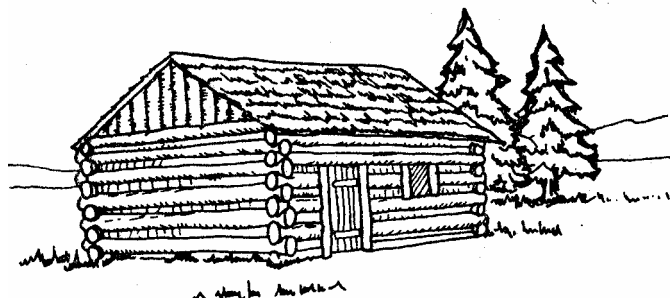
Racines – toujours elles forment la partie souterraine d'un arbre, et elles ont comme fonctions :

- puiser les substances nutritives de la terre par les poils radieux ;
- servir de dépôts des substances nutritives pendant la période de repos ;
- maintenir l'arbre solidement ancré dans le sol ;

Tronc – ou la tige, c'est la partie cylindrique et verticale qui pousse du sol et porte les branches. Le tronc livre principalement le bois utilisable dans les constructions et il peut atteindre une hauteur de jusqu'à 100 m (redwood américain) ;

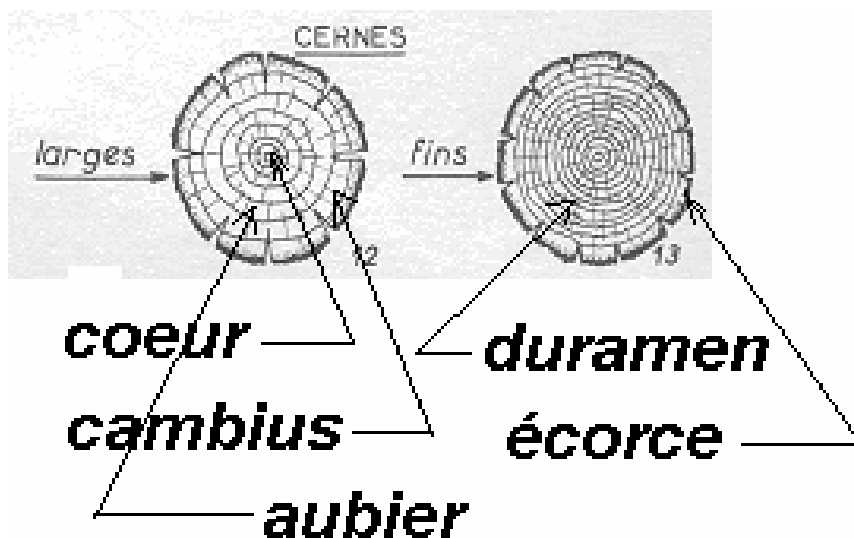
Couronne – elle est formée des branches et par les feuilles. Les branches sont les voies de liaison entre le tronc et les feuilles. Parfois les plus grandes branches peuvent être utilisés comme étais.

- Les feuilles sont les organes respiratoires de l'arbre, parce que la chlorophylle qui est présente dans les feuilles absorbe l'acide carbonique à l'air et restitue l'oxygène.
- L'acide carbonique se combine avec l'eau retiré du sol et avec l'azote et les sels, pour former le tissu du bois dans un processus qui s'appelle « la photosynthèse ».



I. F. 2. Structure du bois

- Le bois est constitué principalement d'un tissu d'éléments en forme de faisceaux serrés, à parois épaisses.
- Les fibres ligneuses sont faites des cellules, qui sont les plus petites parties vivantes.
- La formation des cellules à lien uniquement dans la couche plus extérieure, immédiatement sous l'écorce. Cette couche s'appelle tissu de croissance ou cambium.
- A la mesure que l'arbre s'accroît, les fibres internes s'épaissent et sont comprimées. C'est ainsi que se forme le bois ancien ou le bois de cœur.
- Le bois jeune en formation est appelé aubier.



Les parties composantes du tronc

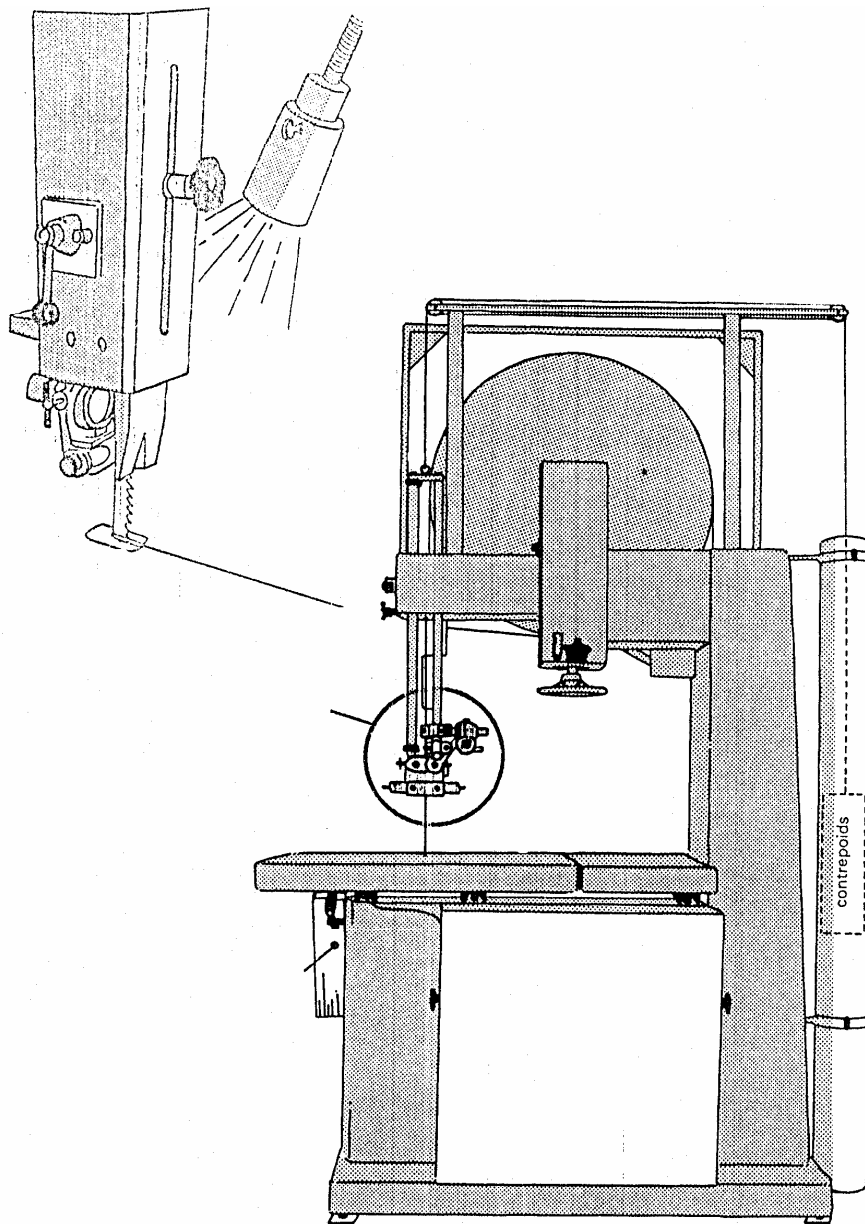
- **Cœur (ou moelle)** – comme il se voit et dans l'image ci-dessus, cette partie est placée dans le centre du bois et elle est constituée d'une matière molle, spongieuse. Cette moelle avec l'âge disparaît complètement.
- **Duramen** – c'est le bois ancien et dur, disposé en anneaux concentriques autour de la moelle. Ce duramen est le bois de construction par excellence.
- **L'aubier** – c'est le bois jeune, formé par les derniers anneaux de croissance de l'arbre. Il est le bois vivant de l'arbre, par lequel les substances nutritives sont transportées vers le haut, vers la couronne. Dans nombreux cas il n'est pas utilisable comme bois de construction.
- **Cambium** – est le tissu de croissance, c'est ici que se forment les nouvelles cellules, nourries par les produits de la photosynthèse.
- **L'écorce** – entoure et protège le tissu de croissance. Sa face interne se présente comme un tissu épais nommé « liber ». Le liber est formé de nouvelles cellules poussant du cambium vers l'extérieur. L'écorce aussi n'est pas utilisée.

I. F. 3. Sciage et séchage du bois

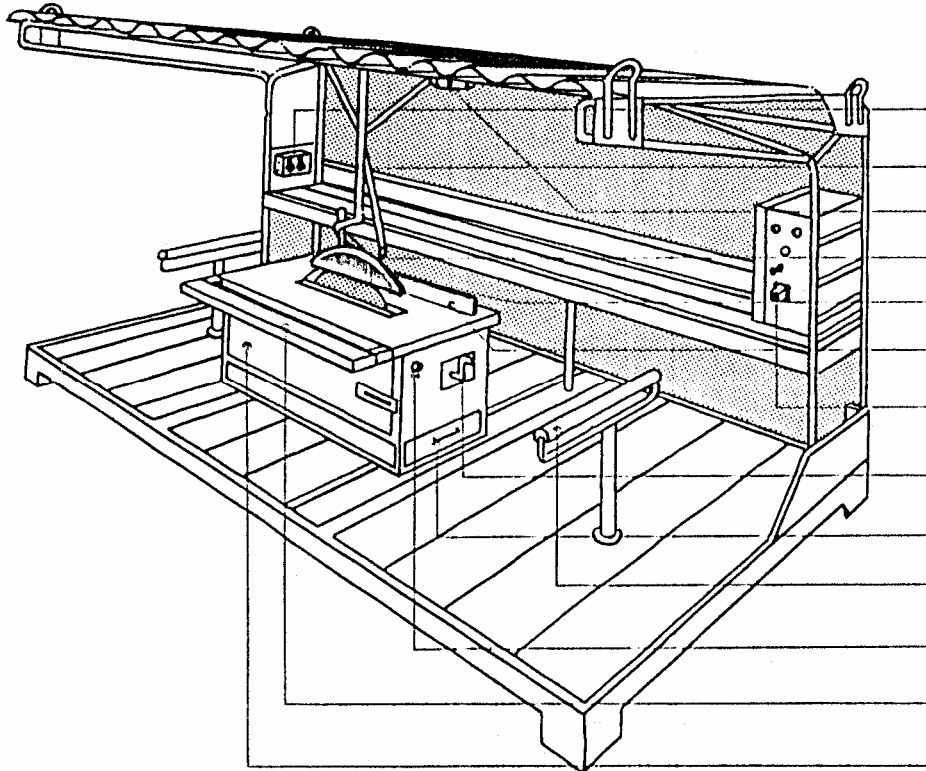
I. F. 3. a. Sciage des troncs

- Le sciage des troncs se faisait jadis manuellement ou à la force hydraulique. Actuellement on utilise généralement des machines à scies mécaniques ou muni d'un moteur.
- Parmi les plus connues machines de sciage on trouve :

Scie à ruban vertical - qui à l'aide d'un ruban débite l'arbre en planches, selon l'épaisseur voulu. Elle est surtout utilisée pour le bois feuillu.



Scie circulaire - qui sert à rectifier les bords et raccourcir et des poutres, bastings, lattes, etc.

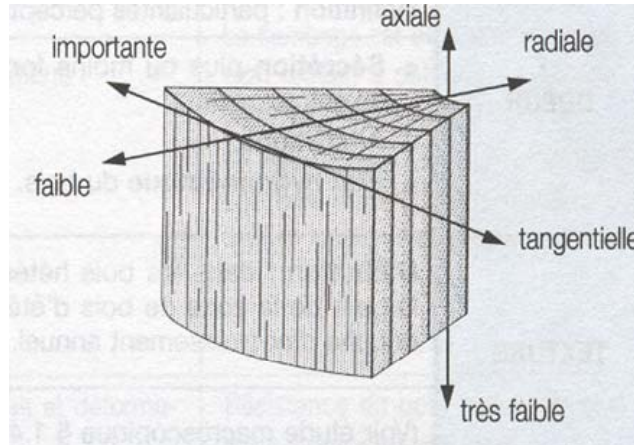


- Avant d'être employés, le bois abattus sont transformés par **équarrissage** ou par **débitage**.
- **L'équarrissage** - consiste à dresser une grume suivant quatre faces sensiblement d'équerre, de manière à lui donner une forme générale parallélépipédique et on obtiens ainsi des bois équarries.
- **Le débitage** – consiste à diviser une grume ou un bille équarrie en la sciant ou en la fendant longitudinalement, y compris les doses. Les planches obtenues ont deux faces sciées, tandis que les doses ont une face sciée et l'autre formée par le côte rugueuse de la grume.

I. F. 3. b. Séchage du bois

- Est une opération de traitement thermique du bois selon un mode naturel ou artificiel, et son rôle est de diminuer le pourcentage de l'eau qui est contenu par le bois abattu.

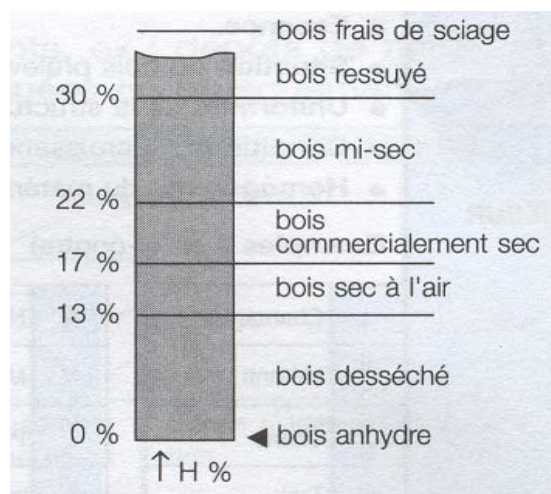
Séchage naturel – Le bois abattu est très humide et au cause de ça il va souffrir un retrait en volume ou dimensionnelle, d'après le schéma ci-dessous :



- C'est pour ça qu'il doit être sécher suffisamment avant de pouvoir le travailler et cette opération se faire en l'aire libre, et puis dans des hangars.
- Pour faire correctement l'opération de séchage, toutes les surfaces sciées doivent être exposées aux courants de l'air.
- Le bois sec à l'aire libre est considéré bien séché quand il semble bien sec au toucher, mais la période de séchage est long (environ un année pour une épaisseur de sciage de 25 mm).
- Cette méthode à les inconvénients suivants :
 - nécessite un stockage important pour lequel il faut disposer de grandes espaces ;
 - nécessite aussi le blocage des importantes moyennes financières pour long terme ;

Séchage artificiel – est fait avec des courants de l'air chaud en autoclaves.

- Dans cet cas la période de séchage est de 30 à 45 jours.
- Par rapport à son degré d'humidité on distingue les catégories suivantes :



- Pour évaluer l'état de l'humidité de bois, on peut utiliser plusieurs méthodes :
Par pesées - pour obtenir une mesure précise, il faut connaître le poids d'éprouvettes à l'état :

- humide ;
- puis anhydre, après un séjour prolongé dans une étuve.

$$H\% = \frac{P_h - P_o}{P_o} \times 100$$

- P_h étant le poids de l'éprouvette à l'état humide ;
- P_o le poids de l'éprouvette à l'état anhydre.

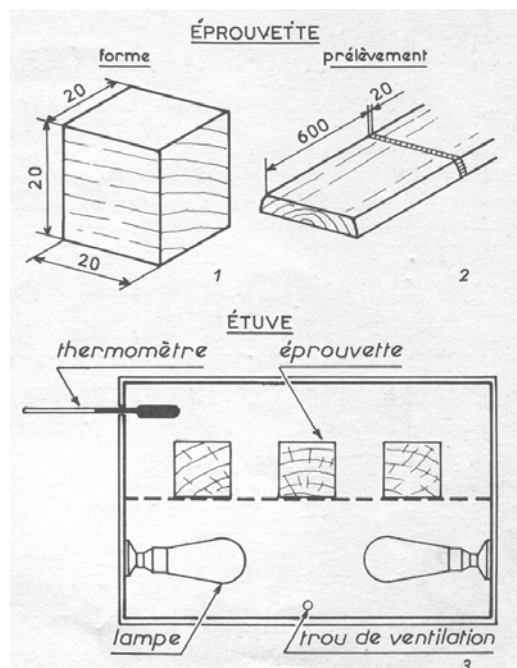
Technique opératoire :

- découper au minimum trois cubes de 20 mm d'arête à plus de 60 cm de l'extrémité d'une planche (fig. ; 1 et 2) ;
- placer immédiatement les éprouvettes débarrassées de leurs bavures d'usinage dans une étuve chauffée à 100 – 105 °C, ventilée, jusqu'à l'obtention d'un poids constant ;
- peser les éprouvettes avec une balance très sensible ;
- calculer la moyenne arithmétique du poids des éprouvettes (conserver ces dernières dans un dessiccateur à chlorure de calcium si elles ne sont pas pesées immédiatement à la sortie de l'étuve).

Exemple : Le degré d'humidité du bois, si $P_h = 30$ gr, $P_o = 25$ gr, est :

$$\frac{30 - 25}{25} \times 100 = 20\%$$

Sur 100 Kg de bois, il y a 20 Kg d'eau et 80 Kg de matière sèche.



Avec des hygromètres électriques - ils donnent immédiatement le degré d'humidité des bois compris entre 6 et 25 % à 1 % près

I. F. 4. Qualités et défauts du bois

LA COULEUR - C'est l'impression visuelle due aux pigments propres à chaque type d'arbre.

- Le bois de chaque espèce d'arbre présente une couleur qui lui est propre. Elle varie légèrement avec la nature du sol, le climat, les maladies et les blessures de l'arbre.

La couleur du bois à travers le monde varie du blanc au noir en passant par le jaune, le rouge, le violet, etc.

L'air et la lumière influent sur la teinte des bois débités :

- elle s'accroît pour les résineux, le chêne, l'acajou ;
- elle s'atténue pour l'aune, le bois de rose, etc.

Un bois altéré présente toujours une coloration anormale.

I	Charme	VIC	Moabi	Classes d'aspect du bois de menuiserie	
II A	Mérante	VID	Azobé		
II B	Chêne	VII	Amarante	I	Teinte pâle : Blanc ou blanchâtre. Jaunâtre ou brunâtre pâle. Saumon à rougeâtre clair.
III	Teck	VIII	Wengé	II	A Jeune soutenu à orangé.
IV	Noyer				B Brun jeune à châtain clair, éventuellement nuance rose, rougeâtre ou verdâtre.
V	Merisier			III	Marron à marron brun, moyen à foncer éventuellement nuance dorée, rougeâtre ou verdâtre.
VI A	Padouk			IV	Gris à gris jeune, moyen à foncer, éventuellement veiné de sombre.
VI B	Teck			V	Brun rose foncé à brun ocre soutenu.
				VI	A Rouge vif.
					B Rouge clair à foncé, éventuellement nuance mordorée ou rougeâtre foncé.
					C Rouge brun éventuellement nuance violacée ou pourpre.
					D Coloration foncé à dominante brun rouge ou chocolat, éventuellement nuance verdâtre.
				VII	Violet à violet brun.
				VIII	Brunâtre sombre et noirâtre, marbré ou persillé.

L'HUMIDITÉ - Dans l'arbre vivant, le bois est gorgé d'eau. Le bois vert est inemployable : on doit attendre qu'ils soit sec. Cette dessiccation demande du temps parce que l'eau, retenue par les substances colloïdales qui forment la masse du bois, ne peut être libérée qu'après transformation lente de ces substances : c'est le phénomène de vieillissement.

- De là l'obligation de ne mettre en œuvre le bois qu'assez longtemps après abatage ou de le vieillir artificiellement.
- Quand le bois est en équilibre d'humidité avec l'atmosphère ambiante on dit qu'il est sec à l'air : normalement il contient alors 15% de son poids d'eau. Mais constamment, en raison de sa nature chimique, la teneur en eau du bois se modifie : dans l'air humide il prend de l'eau, il en perd dans l'air plus sec. Il en résulte des variations de volume, gonflement ou retrait. Mais le bois étant anisotrope, gonflement et retrait sont inégaux dans les trois sens : axial, radial, tangentiel.
- Le bois se déforme : il joue, se voile, se gondole. L'hygroscopicité et rétractibilité qui en est la conséquence, ont des effets fâcheux pour certains emplois, notamment en menuiserie.

On distingue :

- l'eau de constitution combinée avec la matière ligneuse qui disparaît avec :
 - la destruction du bois ;
 - l'effet d'une chaleur prolongée.
- l'eau d'imprégnation contenue dans les membranes des cellules ;
- l'eau libre qui remplit les vides des tissus lorsque les membranes cellulaires sont saturées d'eau.

Degré d'humidité	Qualification du bois	Emploi du bois
Au-dessus de 30 %	Vert	Constructions hydrauliques
30 à 23 %	Mi sec	Constructions exposé à la pluie
22 à 18 %	Commercialement sec	Constructions dans un local ouvert
17 à 13 %	Sec à l'air	Constructions dans un local chauffé
Au-dessous de 13 %	Desséché	Constructions dans un local très chauffé
0 %	Anhydre	Pas utilisé

LA DENSITE OU POIDS SPECIFIQUE APPARENT - C'est le rapport de la *masse* au *volume* mesuré au même état d'humidité. On distingue :

- **la densité réelle du bois**, celle de la cellulose et de la lignine qui constituent les parois des cellules : 1,54 environ ;
- **la densité correspondant au volume du bois**. Elle est inférieure à la densité réelle à cause des vides cellulaires.
Elle varie avec les essences, leur condition de vie et leur degré d'humidité.

L'évaluation de la densité du bois.

A l'aide d'éprouvettes de 20 mm d'arête, on calcule :

a) la densité D_H à un degré d'humidité H au –dessous du point de saturation en appliquant la formule :

$$D_H = \frac{M_H}{V_H}$$

M_H, étant la masse en grammes de l'éprouvette,

V_H, le volume en cm de l'éprouvette.

b) la densité D'_H à un degré d'humidité H' en connaissant le degré d'humidité H du bois avec la formule :

$$D'_H = D_H \left[1 - \frac{(1 - v) (H - H')}{100} \right]$$

La valeur de la densité des résineux et des feuillus est comme ci-dessous :

Densité à 15%	Qualification des bois	Exemples à titre indicatif
Au-dessous de 0,4	Résineux	
0,4 à 0,5	Très légers	Pin Weymouth
0,5 à 0,6	Légers	Epicéa, sapin
0,6 à 0,7	Mi-lourds	Pin sylvestre
	Lourds	Pin de laricio, mélèze
Au-dessous de 0,7	Très lourds	Pitchpin
	Feuillus	
	Très légers	
Au-dessous de 0,5	Légers	Tilleul, okoumé
0,5 à 0,65	Mi-lourds	Peuplier, aune, avodiré
0,65 à 0,80	Lourds	Chêne, frêne, hêtre,
0,80 à 1,00		Charme, sorbier,
Au-dessous de 1,00	Très lourds	Azobé.

Les variations de densité.

La densité peut varier selon le point du prélèvement.

Les causes en sont :

- la vie de l'arbre influencée par la nature du sol, le climat, l'altitude et le traitement de la forêt ;
- le développement plus ou moins important du bois de printemps (initial) et celui d'été (final) dans les cernes.

On constate des variations de densité suivant :

a) la largeur des cernes ;

- chez les résineux, avec :
 - * des cernes fins et réguliers, la densité est forte,
 - * des cernes larges, elle est plus faible.
 - chez les feuillus :
 - * homogènes, la densité des bois est indépendante de la largeur des cernes,
 - * hétérogènes, elle augmente avec l'épaisseur du bois d'été
- b) la partie de l'arbre :
- le bois de la patte est dense ;
 - le bois des branches :
 - * de résineux est plus dense que celui du tronc ;
 - * de feuillus est moins dense que celui du tronc.

DURABILITE – le nombre d'années pendant lesquelles le bois reste intact, représente sa durabilité.

- Dans le tableau ci-dessous on trouve la durée de chaque classe de durabilité pour trois états différents :
 - A – en contact permanent avec l'humidité ;
 - B – exposé aux agents atmosphériques ;
 - C – protégé avec un couche de peinture, goudronne, huile brûlée, etc.

Classe de durabilité	Nombres d'années			Attaques par xylophage
	A	B	C	
Très durable	30	50	indéterminé	Jamais ou exceptionnellement
Durable	15-30	40-50	indéterminé	Jamais ou exceptionnellement
Assez durable	8-15	25-40	indéterminé	Pratiquement jamais
Peu durable	3-8	12-15	Quelque Dix années	Pas gravement
Très peu durable	3	6-12	13-20	Gravement

AGENTS D'ATTAQUE – le bois peut être attaquer par des destructeurs d'origine : végétale, moisissure ou champ, gnons, xylophage, etc.

Champignons de bois – il y a des champignons qui vivent uniquement sur le bois vivant, donc sur l'aubier d'arbres qui ne sont pas encore abattus

- La nature de l'attaque est reconnaissable au changement de couleur du bois.

Xylophages – les vers xylophages vermoulent le bois en y formant des galeries ayant jusqu'à 25 mm de diamètre.

- Ce sont d'habitude des larves de percebois et du sinex. La larve blanche a 2 à 3 cm, et fait beaucoup de dégâts au bois résineux.

- Les anobis, qui sont des vers noirs longues de 3 à 4 mm forment un nombre impressionnant de trous d'environ 1 mm de diamètre.
- Les anobis attaquent aussi bien le résineux que le bois feuillu.

Préservation du bois – le bois peut être préservé des attaques en l'imprégnant d'une substance antiseptique avant travailler ou en appliquant l'une des méthodes suivantes :

- **Trempage** – le bois est plongé pendant une ou deux semaines dans un liquide jusqu'il arrive à une pénétration de quelques mm d'épaisseur. Le liquide contient une substance antiseptique qui est absorbé par le bois.
- **Imprégnation** – les substances dans le bois sont injectées sous pression. D'habitude s'utilisent des substances comme :
 - carboniser ;
 - chlorure de zinc ;
 - huiles de créosote ;
 - vitriole de cuivre ;
- **Badigeonnage** – est fait avec un pinceau. Dans ce cas la pénétration est faible, et cette méthode est peu employée.
- **Peinture et imprégnation huileuses** – sur la surface de bois on applique l'une ou plusieurs couches d'huile ou de peinture. Comme ça l'accès de l'air et de l'humidité au bois est coupé.

I. F. 5. Dimensions commercialisés du bois au Maroc

I. F. 5. a. Dénomination du bois scié

- **Poutre** – épaisseur de plus de 16 cm et largeur de plus de 20 cm ;
- **Madrier** – épaisseur d'au moins 63 mm avec un largeur importante ;
- **Gîtes** - le rapport épaisseur longueur est d'environ 1/3 et l'épaisseur est de maximum 63 mm, par exemple : 63 x 175 mm ; 63 x 150 mm ; etc.
- **Chevrans** – section carrée, de dimension moins importantes : 50 x 75 mm ;
- **Lattes** – doublette : 38 x 51 mm ; liteau : 26 x 38 mm ; simple : 26 x 30 mm ;
- **Planches** – ont l'épaisseur de 20 à 50 mm et un largeur de moins 15 cm ;
- **Dosses** – épaisseur de 20 à 25 mm et largeur jusqu'à 15 cm ;
- **Bordeaux** – plus minces et moins larges que les dosses ;
- **Billots** – tronçon des bois gros et court ;

I. F. 5. b. Dimensions commerciaux pour Maroc

- Pour le sapin rouge du Nord (section en mm) :
 - 80 x 230 – 80 x 155 – 80 x 115 ;
 - 52 x 155 – 52 x 125 – 52 x 115 ;
 - 45 x 155 – 45 x 115 ;
 - 20 x 155 – 20 x 115 ;

I. G. LE BETON

I. G. 1. Définition et matières premières pour le béton

Définition : un 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% ;

Alors quand il s'agit d'un dosage en masse et de :

- ciment : 7 –15% ;
- l'eau : 14 – 19% ;
- l'air : 4 – 8% ;
- sable : 20 – 30% ;
- graviers : 30 – 48% ;

quand il s'agit d'un dosage en volume.

- A ce qui concerne les qualités et les caractéristiques qui doit être remplies par ciment, elles sont déjà traitées en détaille dans le chapitre (A) de ce module.
- Pour le sable et les granulats, aussi sont faites des analyses détaillées en chapitre (B), du ce module.

a) L'eau de gâchage - L'eau utilisée pour produire un mélange de béton ne doit pas contenir aucune substance qui pourrait avoir un effet négatif appréciable sur la qualité du béton.

- ◆ Une eau de mauvaise qualité pourra avoir divers effets négatifs comme :
 - diminution de la résistance mécanique,
 - corrosion des aciers d'armature ;
 - apparition des taches d'inflorescences à la surface ;
 - diminution ou accélération du temps de prise ;
- ◆ On doit vérifier les suivantes caractéristiques :

Quantités maximales	Béton de qualité	Béton couran
Matières en suspensor	2 g/l	5 g/l
Sels dissous	15 g/l	30 g/l

- ◆ Pour les éléments principaux qui peuvent être trouvés dans l'eau, les dosages maximaux acceptés sont donnés dans le tableau suivant :

SUBSTANCES	CONCENTRATION (en mg/l)
Bicarbonates (de sodium, potassium, calcium ou magnésium)	500
Chlorures	20 000
Sels de cuivre, d'étain, de zinc, de plomb et d'arsenic	500
Particules en suspension (argile, silt, poussière, etc.)	2000
Carbonates	1000
Sulfates	1000
Sucres	1000
Résidus d'égout	100
Acides	10 000
Sulfures	250
Sels de fer	2500

b) Les adjuvants

Définition : les adjuvantes sont des substances ajoutées au béton, pour améliorer certains de ses propriétés. Même s'ils sont en faibles dosages (en général au moins de 2% de la masse du ciment), ils peuvent changer considérables les caractéristiques du béton plastic et durci.

- ♦ D'après leur effet les adjuvants peuvent être :
 - entraîneurs d'air NF P 18 – 338;
 - réducteurs d'eau NF P 18 – 336;
 - retardateurs de prise NF P 18 – 337;
 - accélérateurs de prise NF P 18 – 331;
 - plastifiants NF P 18 – 335;
 - hydrofuges de masse ou de surface NF P 18 - 334;
 - antigel ;
- On doit vérifier les agréments des adjuvants qui on veut utiliser et leur dosage.
- On peut trouver et autres types des adjuvantes comme :

- colorants – pour donner une teinte particulier au béton et mortier,
- adhésifs – pour une bonne adhérence entre un nouveau béton et l'ancien,
- agents expansifs – pour obtenir une augmentation de volume de la pâte de ciment, etc.

I. G. 2. Les essais sur le béton

I. G. 2. a. Les essais pour le béton frais

- ♦ Le contrôle qualitatif du béton plastique permet de s'assurer que le matériau répond à certaines exigences importantes, comme :

- la consistance ;
- la teneur en air ;
- la masse volumique ;

Vérification rapide de la composition

- ♦ Pour préparer un béton on peut utiliser deux méthodes de dosage :
 - le dosage volumétrique (volume apparente) ;
 - le dosage pondéral (pesées) ;
- ♦ Pour déterminer la recette d'un béton on doit partir de la relation de Bolomey :

$$f_{cm} = G \times \sigma'_c \times (C/E \text{ 0,5}) ; \quad \text{où on trouve :}$$

f_{cm} - résistance visée à 28 jours, en (Mpa), avec : $f_{cm} = 1,15 \times f_{c28}$;

σ'_c – la vraie classe du ciment à 28 jours mesurée par essai de compression sur prisme de 4 x 4 x 16 cm, en (Mpa) ;

C – le dosage du ciment en kg/m³ ;

E – dosage en eau sur granulats secs, en l/m³ ;

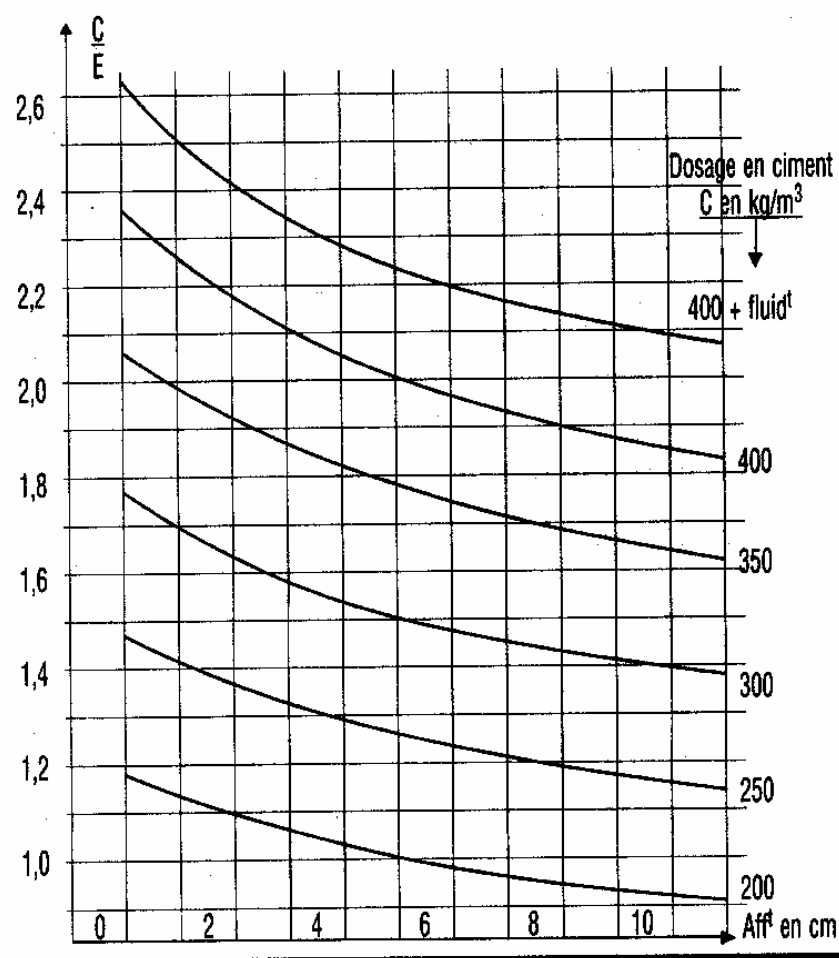
G – coefficient granulaire qui est donné dans le tableau suivant :

①	G	D ≤ 12,5	20 ≤ D ≤ 31,5	D ≥ 50
	Très bonne	0,55	0,60	0,65
	Bonne	0,45	0,50	0,65
	Passable	0,35	0,40	0,45

- ♦ Avec cette relation on peut déduire le rapport (**C/E**) en concordance avec la résistance désirée et le ciment utilisé, et après avec l'aide d'abaque (qui est sur la page suivante) on peut déduire «**C**» et après ça «**E**».
- ♦ Après que nous avons déterminé les quantités pour tous les composants, on peut transformer le dosage pondéral en dosage volumétrique et pour les bétons courants on trouve les suivantes valeurs :

Bétons armés courants : dosage pour 1 m³

Gravillons	f _{ce} (MPa)	Ciment (kg)	Sable 0/5		Gravillons		Eau (litre)
			(litre)	(kg)	(litre)	(kg)	
5/12,5	25	330	600	930	720	1 044	160
	30	380	570	884	735	1 065	160
5/20	25	320	530	821	745	1 080	150
	30	360	500	775	760	1 102	150



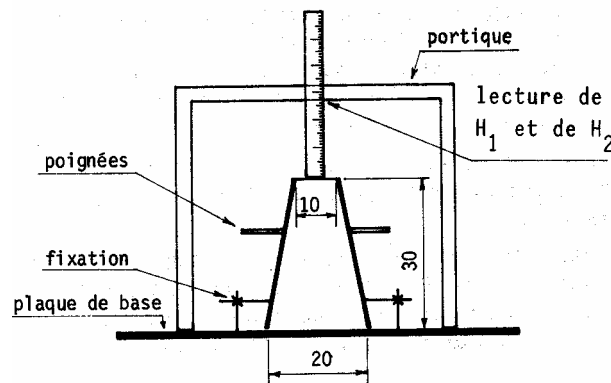
Courbe granulométrique du béton de référence

Malaxage

- ♦ L'efficacité du malaxage est importante et elle dépend du type de mélangeur employé et du temps consacré au mélange lui-même.
- ♦ Le temps peut être de 45 secondes pour les malaxeurs très efficaces à 2-4 minutes pour les bétonnières traditionnelles à l'axe incliné.
- ♦ Le contrôle consistera donc à s'assurer que le temps minimal requis de malaxage est bien observé et respecté.

Vérification de la consistance et de la maniabilité

- ♦ Une bonne maniabilité procure à fois une garantie de mise en œuvre satisfaisante et une garantie de qualité de béton durci par la maîtrise du dosage en eau.
- ♦ Les facteurs principaux influençant la maniabilité sont :
 - granulométrie, surtout les éléments fins,
 - angularité des constituants,
 - dosage en ciment,
 - emploi d'un plastifiant,
 - dosage en eau.
- ♦ La maniabilité est déterminée par diverses méthodes (la méthode slump-test ou cône Abrams est la plus connue) et dans ce cas, pour les bâtiments courants, l'affaissement du cône sera 8 à 12 cm.
- ♦ Cette méthode consiste en remplir le moule en 4 couches de béton, chaque couche vibré avec 25 coups de tige, et après la sortie de moule on doit mesurer l'affaissement du béton :



- ♦ Par rapport de cette valeur d'affaissement (A), les bétons sont classifiés-en :
 - Ferme (F) : A = 0 à 4 cm ;
 - plastique (P) : A = 5 à 9 cm ;
 - très plastique (TP) : A = 10 à 15 cm ;
 - Fluid (FI) : A > 16 cm ;

Pourcentage de l'air occlus

- ♦ La teneur en air influe grandement sur la durabilité du béton, et pour réduire la quantité de l'air occlus pendant le malaxage, on doit vibrer le béton.
- ♦ En fonction de l'intensité de vibration il reste toujours un pourcentage de 0.5 à 2% de l'air dans le béton, mais quand on utilise une adjuvante avec entraîneur d'air, il est souvent de 3 à 7%.
- ♦ Pour détermination de la teneur en l'air s'utilisent deux méthodes :
la méthode pressiométrique – et dans ce cas on considère que dans un mélange du béton, l'air est le seul élément qui soit compressible, donc si on applique une pression à l'intérieur d'un contenant rempli de béton, la diminution de volume enregistrée sera fonction de la teneur en air du béton,

- la méthode volumétriques – qui permet de déterminer la teneur en air d'un béton en mesurant directement le volume occupé par l'air.

La masse volumique

- ♦ La masse volumique représente la masse d'un volume unitaire de mélange du béton qui est exprimé par Kg /m³.
- ♦ Pour réaliser cet essai on doit remplir avec béton un récipient (V) pesé à vide (Mv), et après le vibration on doit peser encore à fois cet récipient (Mp).
- ♦ La masse volumique (M) est déterminée avec la relation :

$$M = \frac{M_p - M_v}{V} \quad (\text{kg/m}^3)$$

- ♦ Dans ce cas on peut aussi déterminer le volume de béton produit lors d'une gâchée complète, avec la relation suivante :

$$V = \frac{m_c + m_e + m_p + m_s}{M}; \quad \text{où on trouve :}$$

V – volume du béton produit (m³);
m_c – masse du ciment dans la gâchée (kg) ;
m_e – masse d'eau de gâchage (kg) ;
m_p – masse du gros granulat (kg) ;
m_s – masse du sable (kg) ;
M – la masse volumique du béton (kg/m³) ;

- ♦ **Le rendement** (R) d'un béton représente un l'indice du coût du mélange et il peut être déterminé avec la relation suivante :

$$R = \frac{V}{m_c}; \quad \text{où les notations utilisés sont comme dans la relation précédente ;}$$

- ♦ On peut aussi déterminer le dosage en ciment (N) qui correspond à la masse de ciment requise pour produire un mètre cube de béton :

$$N = \frac{m_c}{V} \quad (\text{kg/m}^3);$$

- ♦ Dans ce cas on peut déterminer même la teneur en air (A) avec un relation :

$$A = \frac{M_t - M}{M_t} \times 100 (\%); \quad \text{où on trouve :}$$

M_t – la masse volumique théorique, pour un teneur en air 0%.
M – la masse volumique du béton

Transport et mise en œuvre

- ♦ Le plus souvent le béton prépare en usine est transporté en camion spécial qui permet de garder une homogénéité satisfaisante jusqu'à lieu de la mise en œuvre.
- ♦ Le transport sur chantier (au dumper par exemple) peut compromettre l'homogénéité du béton, et alors on doit fait un nouveau mélange dans la benne ou dans le coffrage.
- ♦ Pour déterminer le temps nécessaire de vibration, on utilise la relation suivante :

$$T = 25/\phi (100/A+5 + G)(V/10 + 2.5) \times F ; \quad \text{où :}$$

T – temps total effectif de vibration en secondes,
φ - diamètre du vibreur employé (aquille), en mm.
A – affaissement ou cône Abrams, en cm.
V – volume de béton à vibrer, en litres.
G – coefficient d'angularité, qui peut être :

Gravier	Sable	G
Roulé	Roulé	1
Semi-concasse		3
Concassé	Concassé	5

F – coefficient de ferrailage, qui peut être :

Très dense	1,5
Dense	1,35
Normal	1,2
Faible	1,1

Mesure de l'état de ségrégation

- ♦ La ségrégation est le phénomène de séparation des éléments constitutifs d'un béton, quand les granulats (qui sont plus lourds) vont descendre et les bulles d'air (qui sont plus légères) vont remonter à la surface.
- ♦ L'indice de ségrégation il est donné par le rapport suivant :

$$IG = \frac{m/m+g}{M /M+G} ; \quad \text{où on trouve :}$$

m – poids de mortier (sable < 5mm ; ciment, eau),
g – poids de graviers (φ > 5mm.)
M – poids de mortier de la composition de recette,
G – poids de graviers de la composition de recette.

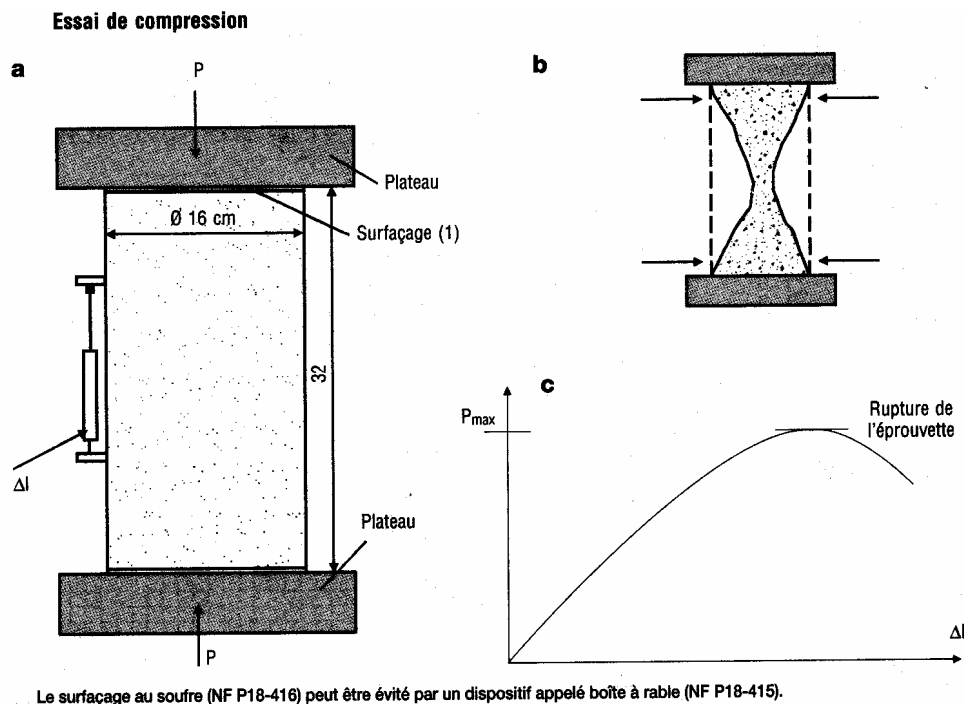
I. G. 2. b. Les essais du béton durcis

Les principales qualités recherchées pour le béton durci

- ◆ Le béton est un matériau composite constitué d'une matrice (la pâte du ciment durcie) et d'inclusions (les granulats).
- ◆ Un bon béton doit remplir d'habitude les suivantes exigences :
 - a) D'avoir un aspect satisfaisant et de « bien vieillir »,
 - b) D'être durable,
 - c) De protéger parfaitement les armatures contre la corrosion,
 - d) D'être imperméable,
 - e) D'être résistant à la compression et à la traction,
 - f) D'avoir des déformations volumiques faibles ;

Résistance à la compression par rupture d'éprouvette

- ◆ L'âge d'essai suivant sera 7 et 28 jours et on utilise des éprouvettes cylindriques dont la hauteur est égale à deux fois le diamètre, comme sur la figure suivante :



- ◆ Après le coulage en deux – trois couches de béton et l'opération de vibré l'éprouvette doit être arasée avec une règle et est nécessaire une protection de la face supérieure avec une feuille de polyanne serré par un bracelet de caoutchouc.
- ◆ L'essai doit être conduit rigoureusement pour obtenir de bons résultats :
 - un bon centrage de l'éprouvette,
 - une vitesse de chargement donné,
 - la transcription immédiate du résultat,

- ◆ Dans ce cas on détermine l'effort de compression avec la relation :

$$f_c = \frac{P_{\max}}{S} \text{ (Mpa/cm}^2\text{)} ; \quad \text{où } S = 200 \text{ cm}^2 \text{ pour une éprouvette de } 16 \times 32 \text{ cm}$$

- o D'après leur résistance la compression, les bétons peuvent être :
 - les bétons courantes : de 20 à 40 Mpa ;
 - les bétons hautes performances : de 50 à 100 Mpa ;
 - les bétons de très hautes performances : de 100 à 150 Mpa ;
 - les bétons exceptionnels : au-delà de 150 Mpa ;

Résistance à la traction

- o Par rapport de la mode d'application de la charge sur éprouvette, on peut trouver plusieurs essais à la traction :

En traction directe :

- ◆ Dans ce cas on doit scier les extrémités d'éprouvette sur 2 cm et après ça on doit coller des plaques métalliques à la résine époxy à chaque extrémité.
- ◆ En survit-on doit boulonner d'autres plaques avec rotule et tiges de traction sur le premier afin de disposer tout ce l'ensemble dans les mors d'une machine de traction, pour l'exécution de l'essai.
- ◆ La contrainte de rupture en traction est donnée par la relation :

$$\sigma = \frac{P}{S} ; \quad \text{où on trouve :}$$

σ - l'effort unitaire de rupture,
 P – charge de rupture,
 S – la section exacte de l'éprouvette.

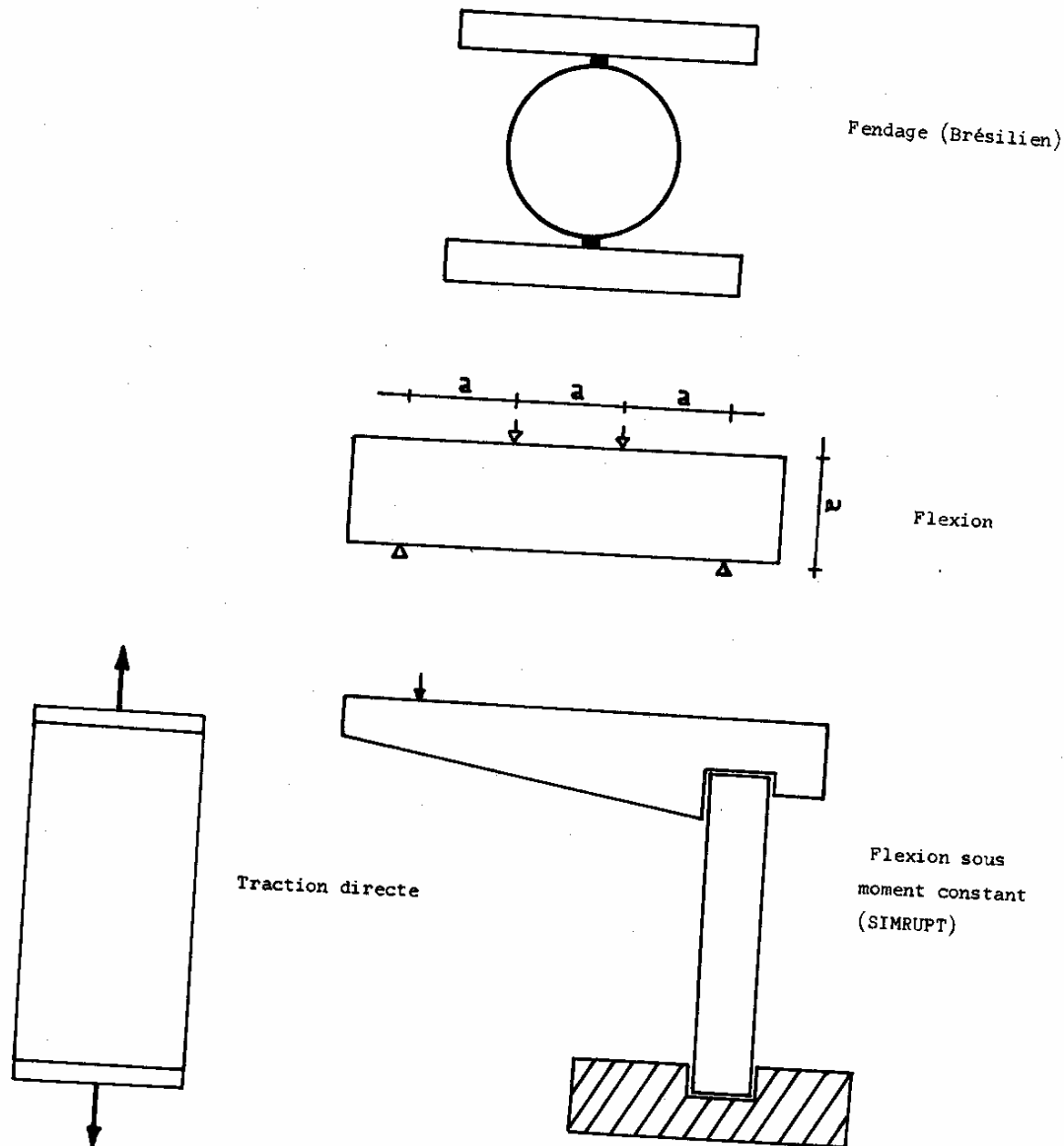
- ◆ Cet essai est réglementé par la norme : NF P 18.409.

En traction par flexion

- ◆ Est l'essai la plus connu et le plus utilisé parce qu'il permet de reproduire le type de sollicitation en traction le plus fréquent trouvée : en flexion.
- ◆ Dans ce cas, si la charge de rupture est «F», et «a» est la côte de la base, la contrainte de rupture en traction par flexion est :

$$\sigma = \frac{1.8F}{a^2} ;$$

- ◆ Cet essai est réglementé par la norme NF P 18.407, et la valeur de la (σ) est à tour de 4,5 à 5.0 Mpa.



— Schémas des différentes sollicitations en traction.

Essai de traction par fendage

- ◆ Cet essai est appelé même «Essai brésilien» et il est réalisé sur cylindre. Il consiste à rompre le cylindre entre les deux plateaux d'une presse de compression deux générateurs opposés.
- ◆ Le contact des plateaux avec le cylindre est réalisé par l'intermédiaire de réglettes de contre-plaqué d'épaisseur de 5 mm et d'une largeur de 1/10 du diamètre de cylindre.
- ◆ La résistance à la traction est donnée par la formule suivante :

$$2 \times P$$

$$\sigma = \frac{\quad}{\pi \times D \times L} ; \quad \text{où on trouve :}$$

P – charge de la rupture,
D – diamètre du cylindre,
L – longueur de cylindre,

♦ Dans ce cas même si les résultats sont un peu plus optimistes par rapport à la valeur vraie de la résistance à la traction directe (avec un ordre de 8 à 10%), cet essai a quelques avantages reconnus :

- on utilise même moules et les même presse que pour la compression ;
- des essais peuvent être réalisés même sur les carottes prélevées dans l'ouvrage ;

Essais et mesures de porosité, perméabilité et capillarité

- ♦ Ces trois essais sont groupés en raison de l'interdépendance des phénomènes physiques qui les entraînent. En effet, un béton sera plus perméable et aura une possibilité d'absorption capillaire plus importante, qu'il sera plus poreux.
- ♦ On peut trouver deux types de porosité :
 - **la porosité fermée** – dans le cas où les pores ne communiquent pas entre eux et avec l'extérieure ; elle est principalement formée par une partie de la porosité des granulats et par l'air occlus dans le béton ;
 - **la porosité ouverte** – dans le cas où les pores communiquent entre eux et avec l'ambiance extérieure au béton ; elle est formée par une partie de la porosité des granulats et par les micro canaux laissés par le départ d'une partie de l'eau de gâchage du béton. Cette porosité est celle qui doit préoccuper le plus les constructeurs en béton, parce que elle favorise les suivants phénomènes :
 - le cheminement des agents agressifs vers les armatures ;
 - le retrait hydraulique ;
 - la gélivité ;
 - la perméabilité ;
- Le **coefficient de compacité** représente la différence entre le volume unitaire apparent et le volume des vides et il varie de 0,75 à 0,90.
- Pour déterminer la **porosité totale**, les essais sont réalisés soit par broyage de l'échantillon de béton, soit par mesure sous vide avec absorption d'eau et par rapport de la valeur de la porosité totale on peut trouver les suivants types des bétons :

Qualité béton/ Porosité

Bon	12 à 15%
Satisfaisant	16 à 18%
Médiocre	19 à 22%
Mauvais	>22%

I. G. 3. Les bétons spéciaux

- Le béton classique préparé avec des granulats courant a un poids spécifique de 2 à 2,6 t/m³.
- Dont ce cas les bétons spéciales sont de deux types :
 - légers – avec une poids en bas de 2 t/m³ ;
 - lourds – avec une poids en haut de 3 t/m³ ;

I. G. 3. a. Bétons légers

- Ce sont des bétons employés pour :
 - leur légèreté qui entraîne une diminution du poids mort, sur les fondations ;
 - leur pouvoir isolant ;
 - leur aptitude de se travaillé après durcissement ;
- Parmi ces types de bétons, on trouve :

Le béton caverneux - est obtenu par un mélange des granulats colées ensemble ; à l'aide d'une pâte de ciment (250 à 300 kg) et très peu de sable, 1/10 du volume de granulat :

- si un granulat ordinaire : $D = 1,6 \text{ à } 1,8 \text{ t/m}^3$
- si un granulat d'argile expansé : $D = 0,7 \text{ à } 1 \text{ t/m}^3$
- Il s'oppose a toute remonté de l'humidité par capillarité mais l'aspect caverneuse de la surface nécessite un enduit.

Le béton de granulats légers – le poids spécifique (D) peut variez de 0,5 à 1,9
 Certaines précautions sont à prendre :

- au malaxage, les granulats légères absorbent une quantité d'eau importante pouvant atteindre 10 à 15 % des granulats, ce qui démunie la plasticité du mélange il est donc recommandé de pré humidifier le granulat avant le malaxage ;
- au coulage, la plasticité doit être surveillé

Le béton cellulaire – ce sont des bétons avec absence de gros granulat et confectionnées avec de sable naturel siliceux ou artificiel. Ce type de béton est apprécié en usine pour l'exécution de préfabriquées.

I. G. 3. b. Bétons lourds

- Le béton lourd offre à la fois et bonnes résistances mécaniques et protections contre la radiation, et à la cause de cette raison sont souvent employées pour les centrales atomiques.
- Dans ce cas s'utilise des granulats comme :
 - sulfate de baryum (barytine) avec $D = 4,5 \text{ t/m}^3$;
 - l'oxyde de fer (magnétite) avec $D = 4 \text{ à } 5 \text{ t/m}^3$
 - les déchets ferreux d'acier ou fonte $D = 7,4 \text{ à } 7,8 \text{ t/m}^3$

I. G. 3. c. Autres bétons spéciaux

Béton à base de résines – c'est un béton pour lequel le liant classique est remplacé par une résine synthétique.

- Provenant de la destination du charbon, la polymérisation se fait par l'addition d'une faible quantité d'un catalyseur (moins de 1% de poids de résine).
- Provenant de la chimie du pétrole, les résines époxydes font leur polymérisation Par addition d'un durcissement (et la prise se fait en 2 à 3 heures).

Béton chauffés - c'est un béton classique au CPA 55 que l'on chauffe de 60 à 70°C, ce qui accélère la prise et le durcissement. Les avantages de ce type de béton sont les suivantes :

- démoulage rapide – de 3 à 4 heures ;
- cadence de fabrication accélérée ;

Béton congelé – c'est un béton qui supporte un procès de démoulage quasi-immédiat, en utilisant une congélation rapide (au une température de -15 à -22°C). Ce phénomène détermine que la prise du béton se fait doucement, lorsque la température du mélange revient au normal.

I. G. 4. Volumes des matériaux pour un m³ du béton

- D'habitude le béton est préparé dans la station centralisée du béton, ou le respect de la recette (le dosage de chaque composant) est assuré automatiquement par des logiciels.
- Dans le cas des ouvrages de petite importance, et de faibles quantités du béton, on peut le préparé même sur le chantier, et dans ce cas on utilise le dosage volumétrique des composants, comme ne donne le tableau suivant :

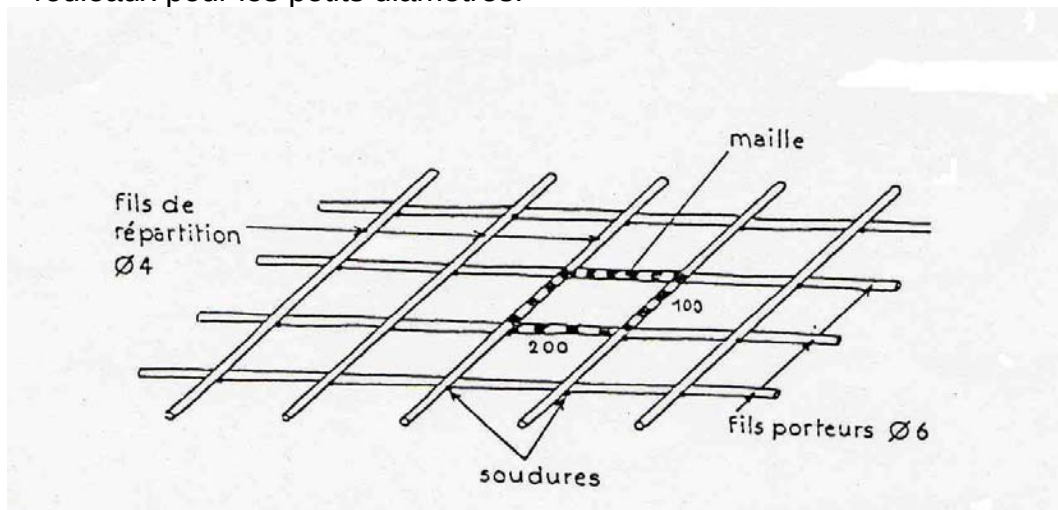
Dosage du ciment (kg/m ³)	Dosage du ciment en litre	Dosage de l'eau (litre)	Dosage de sable (litre)	Dosage de gravier (litre)	Dosage de tout-venant (litre)
125	100	90	677	709	1247
150	120	95	670	700	1233
175	140	100	663	691	1219
200	160	105	656	683	1200
225	180	110	648	675	1192
250	200	115	640	667	1178
275	220	120	633	660	1165
300	240	125	626	653	1151
325	260	130	618	647	1137
350	280	135	611	636	1123

I. G. 5. Béton armé et béton précontraint

I. G. 5. a. Le béton armé

Définition : le béton armé résulte de l'association de deux matériaux complémentaire : le béton, qui est résistant à la compression et l'acier qui est très résistant à la traction. Le fait que ces deux matériaux aient des coefficients de dilatation voisins permet cette association.

- Le béton pour béton armé est constitué dans 95% des cas, de :
 - ciment : CPA, CPA-R, ou CPJ de classes 45 ou 55 ;
 - granulats moyens (sable et gravillons);
 - l'eau de gâchage ;
- L'acier est inclus dans le béton sous trois formes principales :
 - profilés – de type I, H, ou T, qui enrobés de béton, constituent des pièces comprimées (poteaux, voiles) ou tendus (dalles et poutres) ;
 - armatures de ronds à béton – façonnés et assemblés ;
 - câbles – pour le béton précontraint ;
- Les armatures pour béton armé sont des assemblages des barres en acier à caractéristiques de forme, de résistance et de section, bien déterminé ;
- Les armatures mise en place dans les coffrages peuvent avoir été :
 - soit façonnées et assemblées en atelier ou sur un chantier ;
 - soit prés façonnés en usine comme treillis soudés ou métal déployé ;
- Les treillis soudés sont constitués de fils porteur et de fils de répartition, superposés orthogonalement aux premiers. Ils sont livrés en plaques ou en rouleaux pour les petits diamètres.

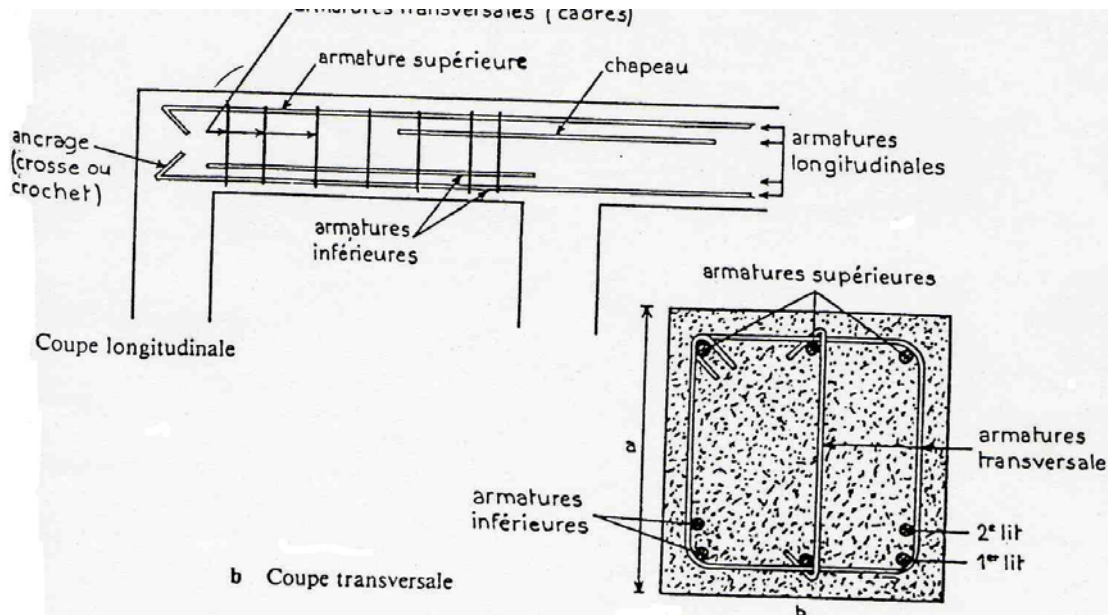


- Le métal déployé est formé de parallélogrammes de fils d'acier, ceux-ci proviennent de tôles épaisses perforées à plat en tirités, et puis déployées dans le sens perpendiculaire au déroulement de la feuille.

- Dans les agglomérations, on fait appel de plus en plus souvent aux ateliers de façonnage et d'assemblage d'armatures qui emploient une main-d'œuvre spécialisée et disposent de machines adéquates et plus performantes que celles équipant les chantiers.

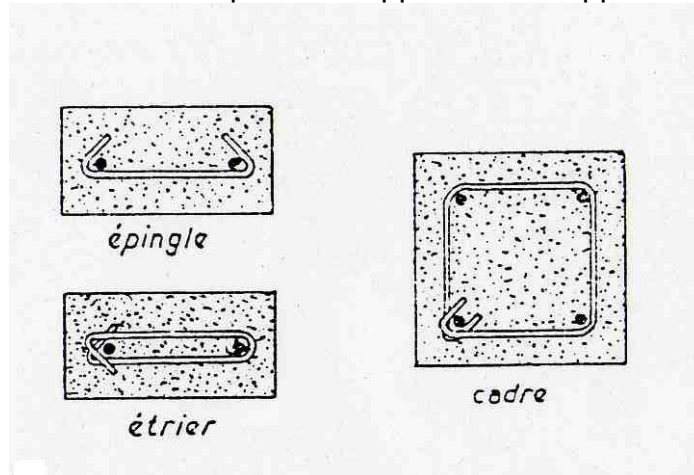
Disposition des armatures - les études de résistance des matériaux permettent de déterminer, pour chaque cas de charge, selon les portées ou les conditions d'appui, les efforts qui se développent dans les différents parties des éléments de la structure.

- Pour résister à ces efforts, béton et armatures interviennent selon leurs caractéristiques intrinsèques.
- Soit, par exemple, la poutre en béton armé portant sur trois appuis, comme dans le schéma ci-dessous :

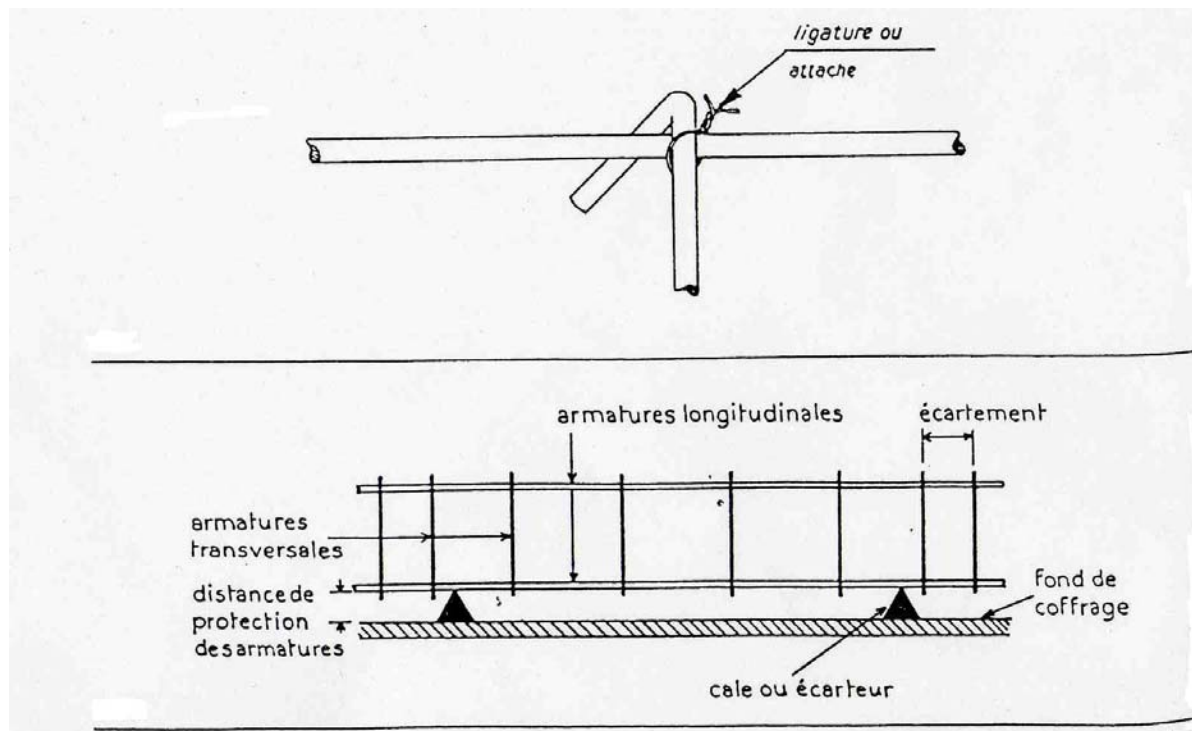


- Sur cette poutre on peut y déterminer diverses zones, suivant la nature des efforts développés :
 - les zones tendues s'établissent en partie inférieure des travées (effort maximal au milieu de travée), et en partie supérieure, sur l'appui central (avec un effort maximal au milieu d'appui) ;
 - les zones comprimées, se placent à l'inverse des zones tendues, c'est à dire en partie supérieure des travées et en partie inférieure sur l'appui central ;
 - les zones de cisaillement se trouvent au voisinage des appuis où se développent des tensions susceptibles de produire une fissuration du béton selon un plan incliné à 45°.
- Dans ce cas les armatures sont disposées en tout premier lieu pour répondre à ces efforts et en second lieu pour faciliter la construction des assemblages (barres de montage). On distingue comme ça, les armatures longitudinales et les armatures transversales .

- Les armatures longitudinales se développent tout au long des zones comprimées et tendues, et selon leur position dans la section d'élément, peuvent être inférieures ou supérieures.
- Les armatures transversales (cadres, étriers, épingles) enserrant les barres longitudinales et se répartissent en intervalles (écartements) de plus en plus serrés au fur et à mesure que l'on s'approche de l'appui.

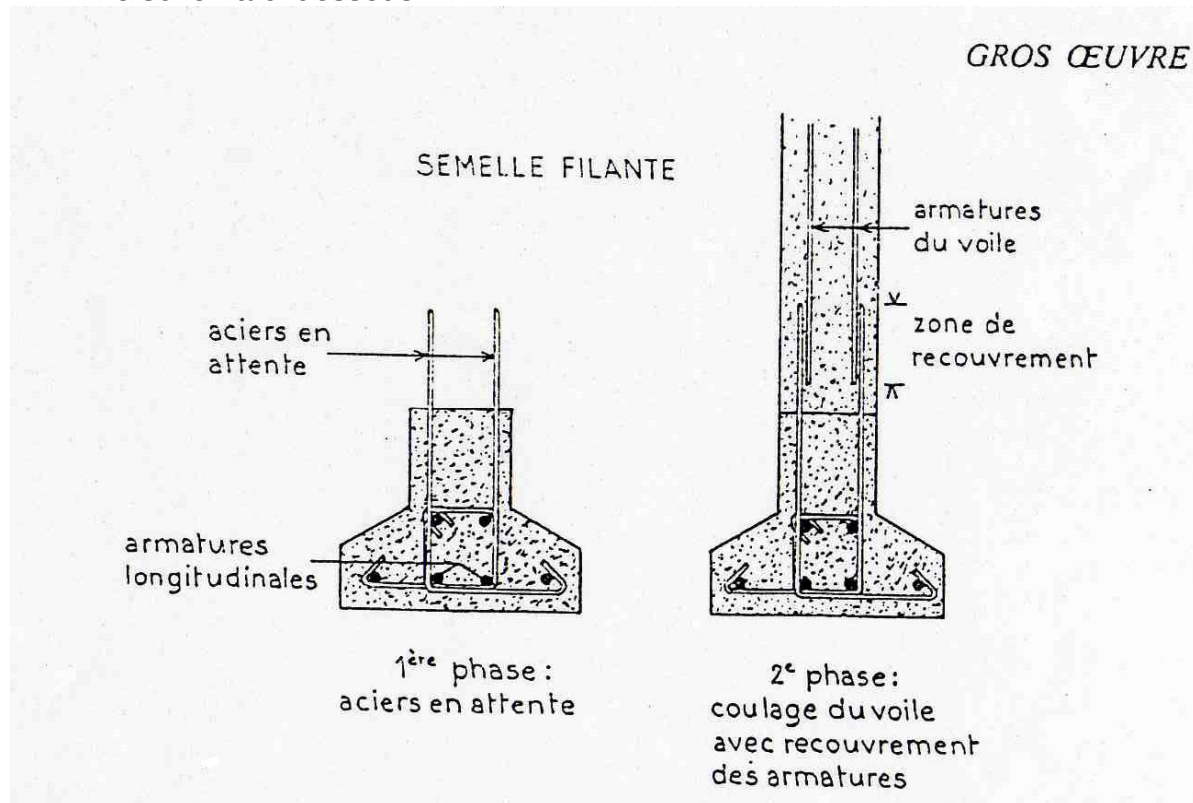


- Les différents armatures sont liées entre elles par des ligatures :



- Quel que soit leur rôle dans l'élément de structure envisagé, les armatures ne doivent subir aucune altération dans le temps.

- Les éléments des structures (semelles, poteaux, poutres, dalles) peuvent très rarement être coulés en une seule opération, aussi on doit procéder par reprise de coulage du béton à certains niveaux ou selon certaines sections.
- Cette pratique s'accompagne nécessairement de dispositions spéciales pour les armatures qui se trouvent momentanément interrompues.
- De l'élément déjà coulé émergent les aciers en attente qui, avec les aciers de l'élément ultérieur assureront une longueur de recouvrement suffisante, appréciée en fonction des efforts et du diamètre des armatures, comme dans le schéma ci-dessous :

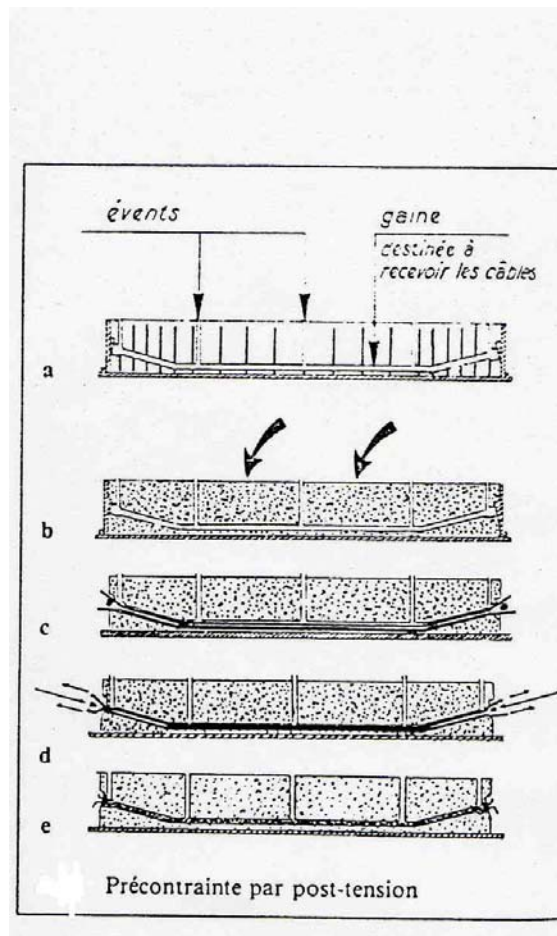


I. G. 5. b. Le béton précontraint

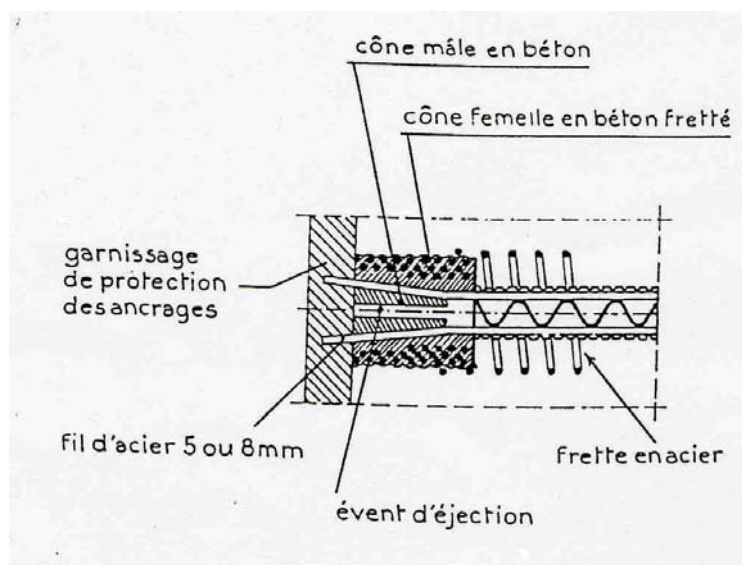
Définition : le béton précontraint résulte aussi comme le béton armé, mais alors que dans le béton armé les deux matériaux agissent à partir de leur état naturel, dans le béton précontraint on fait subir à l'acier une tension préalable.

- Cette tension introduit dans le béton durci une contrainte de compression préliminaire, d'où son nom de précontrainte.
- Par ce traitement , le béton se trouve pré comprimé avant action des charges extérieures et l'on agit de telle façon que l'effet différentiel de la précontrainte et des charges ne laisse plus subsister dans l'élément que des zones comprimés.

- Cette opération peut être réalisée en deux manière : par prétention ou par post-tension :



- La figure ci-dessous présente l'ancrage d'après le système Freyssinet :



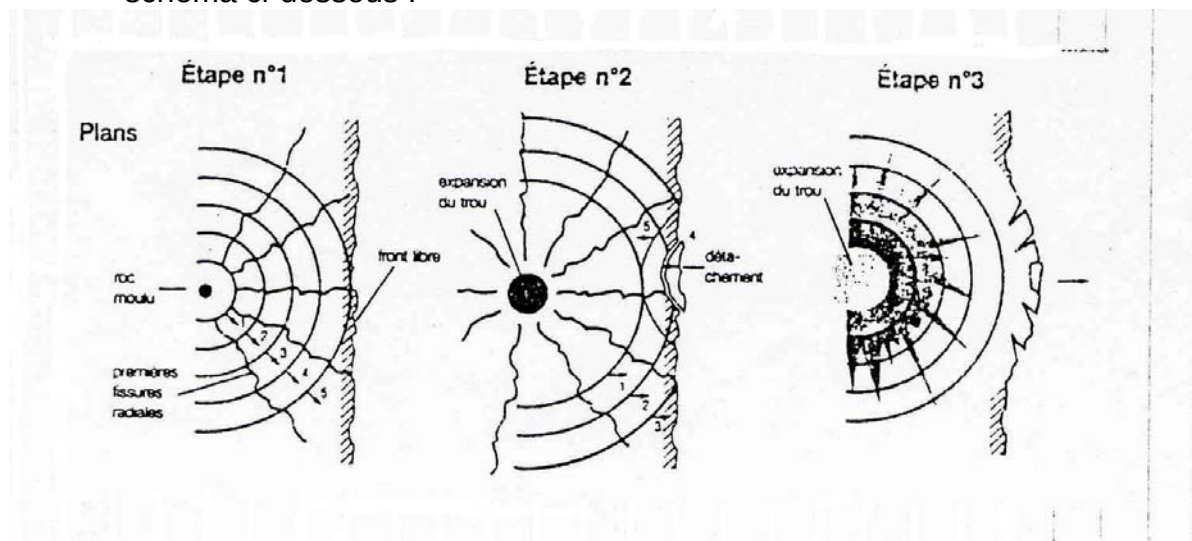
I. H. EXPLOSIFS

I. H. 1. Données avant conception du tir

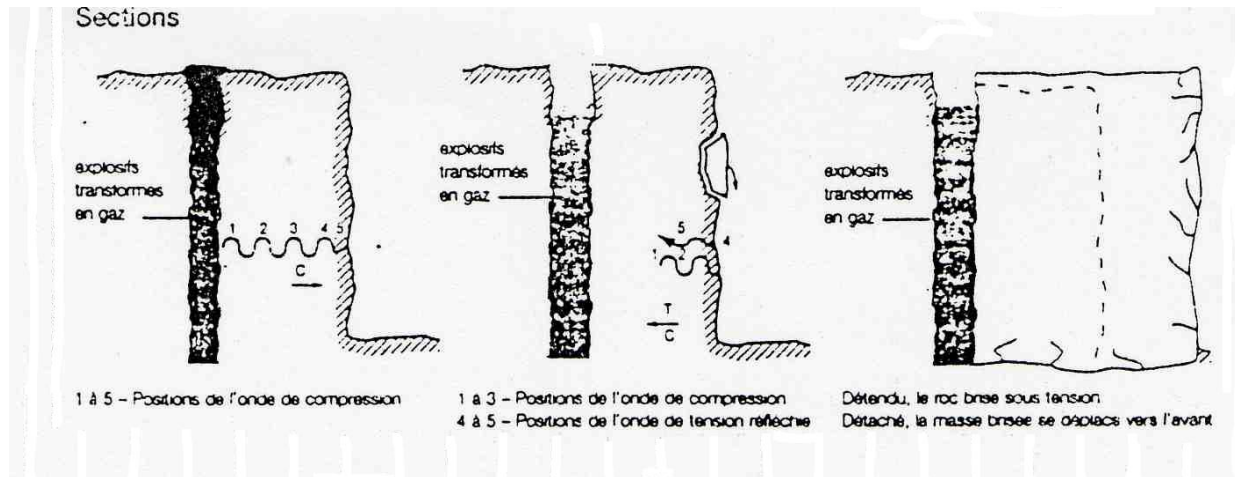
- Avant de procéder au choix de l'explosif, plusieurs paramètres sont à étudier et à savoir :
 - a) Caractéristiques de massifs rocheux :
 - sa résistance mécanique ;
 - son degré de fracturation ;
 - présence ou non de l'eau ;
 - b) Objectifs techniques et économiques du tir :
 - granulométrie ;
 - c) Caractéristiques de l'explosif :
 - densité ;
 - énergie et vitesse de détonation ;
 - résistance à l'eau ;
 - d) Environnement :
 - constructions ou ouvrages avoisinants ;
 - e) Matériel en amont et en aval :
 - foreuse ;
 - chargeuse ;
 - camions ;
 - concasseurs ;

I. H. 2. Etapes de détonation d'un explosif

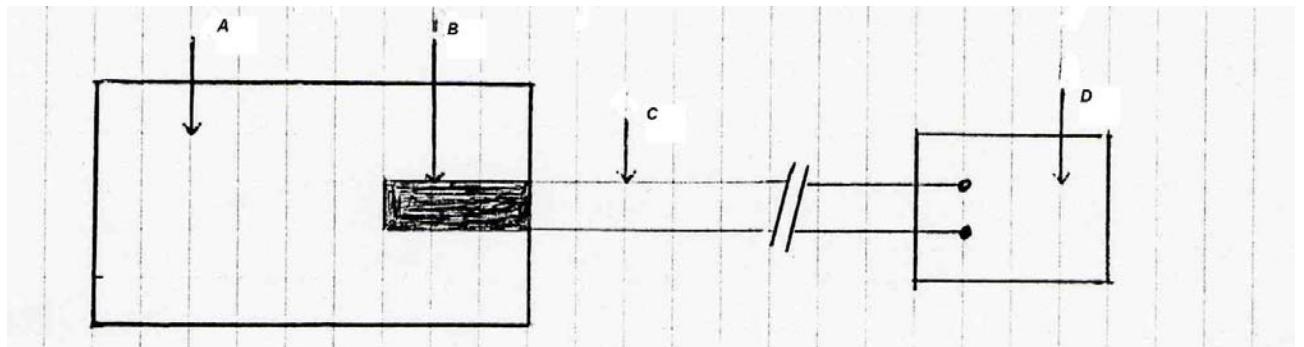
- On peut illustrer les étapes de détonation d'un explosif comme sur le schéma ci-dessous :



- Si on fait une section on peut trouver les suivantes situations :



- La chaîne pyrotechnique est un assemblage de la manière suivante :



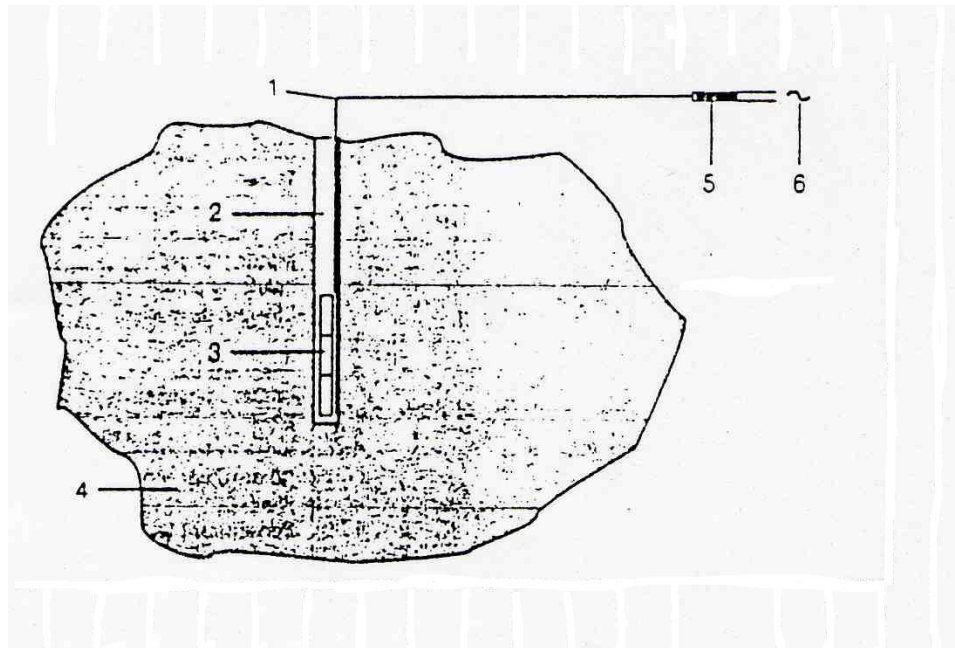
Où on trouve :

- A – charge d'explosif ;
- B – dispositif d'amorçage (détonateur électrique) ;
- C – dispositif de mise au feu ;
- D – exploseur ;

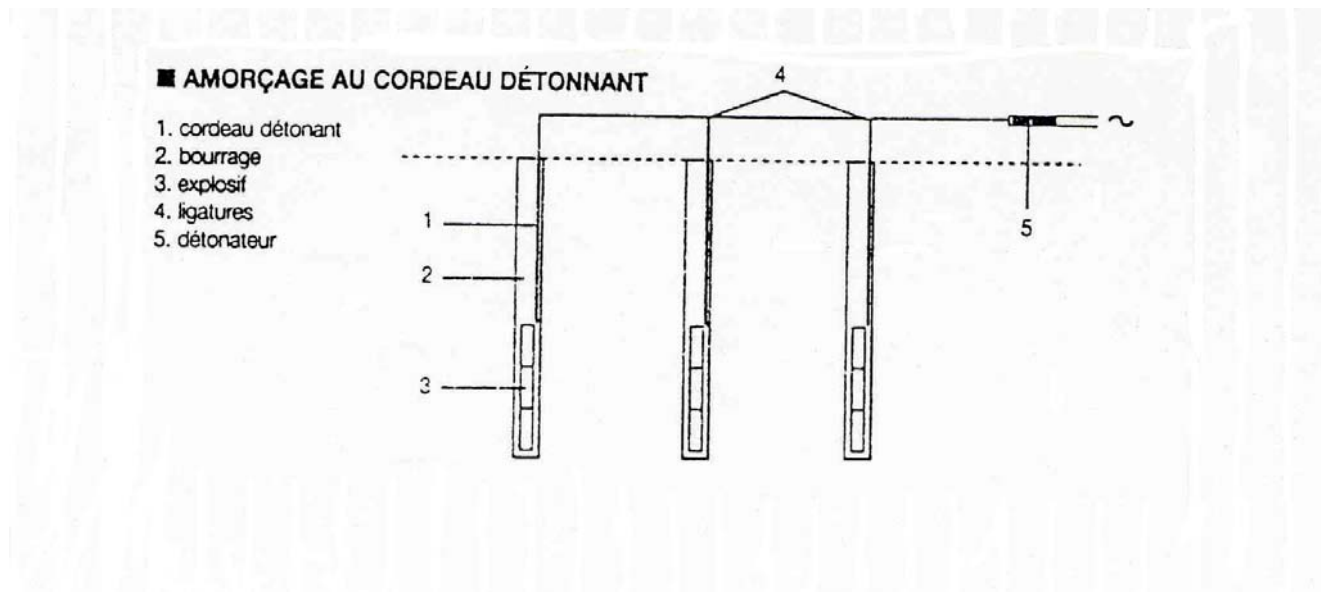
- La chaîne pyrotechnique en cordeau détonnant est composée des éléments suivantes :

- 1 – Cordeau détonnant ;
- 2 – Bourrage ;
- 3 – Explosif ;
- 4 – Bloc ;
- 5 – Détonateur ;
- 6 – Exploseur ;

On peut illustrer un chaîne en cordeau détonnant, comme sur la figure suivante :



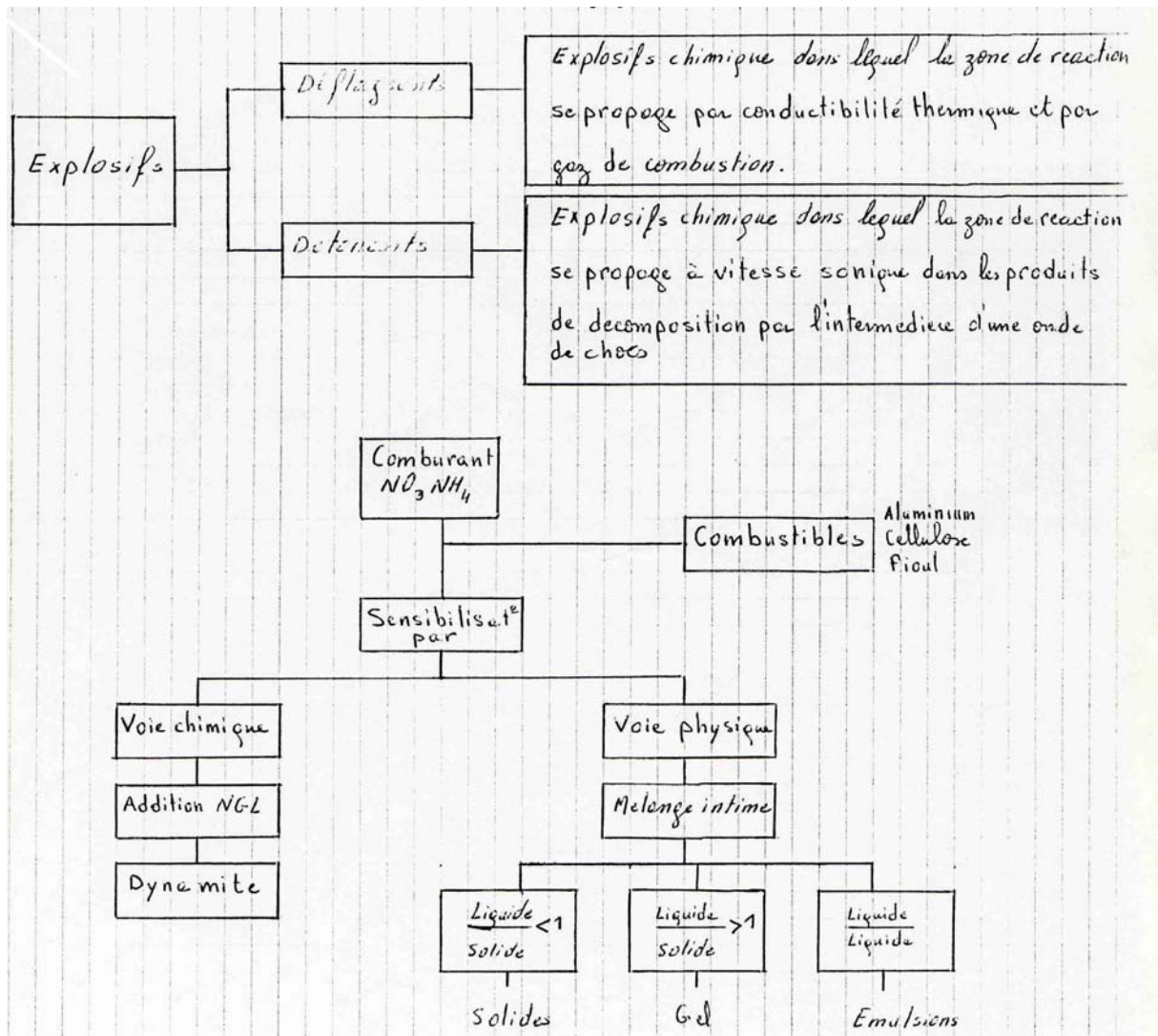
- On peut relier même détonateur et l'exploseur à plusieurs explosifs, et alors l'amorçage en cordeau détonant à la forme suivante :



Familles d'explosives

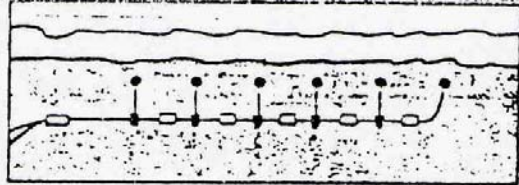
Définition : un explosif est une substance ou un mélange capable de produire une explosion par réaction ou décomposition chimique.

- Une explosion est une transformation rapide d'un système matériel, libérant en un temps court une importante quantité de gaz.

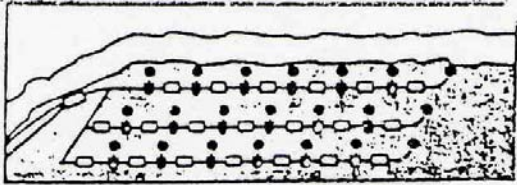


I. H. 3. Composition et utilisation des explosifs industriels

- Tir au cordeau détonnant – il s'agit d'un tube flexible à âme centrale généralement en peritrite (explosif à haute vitesse sensible au detoneur). La capacité d'amorçage du cordeau est déterminée par la charge d'explosif par mètre, qui varie de 3 à 70 g/m.
- Son rôle consiste à transmettre l'ordre de détonation à un autre cordeau ou à l'explosif.
- Les cordeaux sont utilisés :
 - pour un amorçage simultané de plusieurs charges, sans de retards ;
 - pour un amorçage multiple dans les trous de mines de grandes dimensions ;
 - pour un amorçage non électrique (s'il y a risque des courants vagabonds) ;



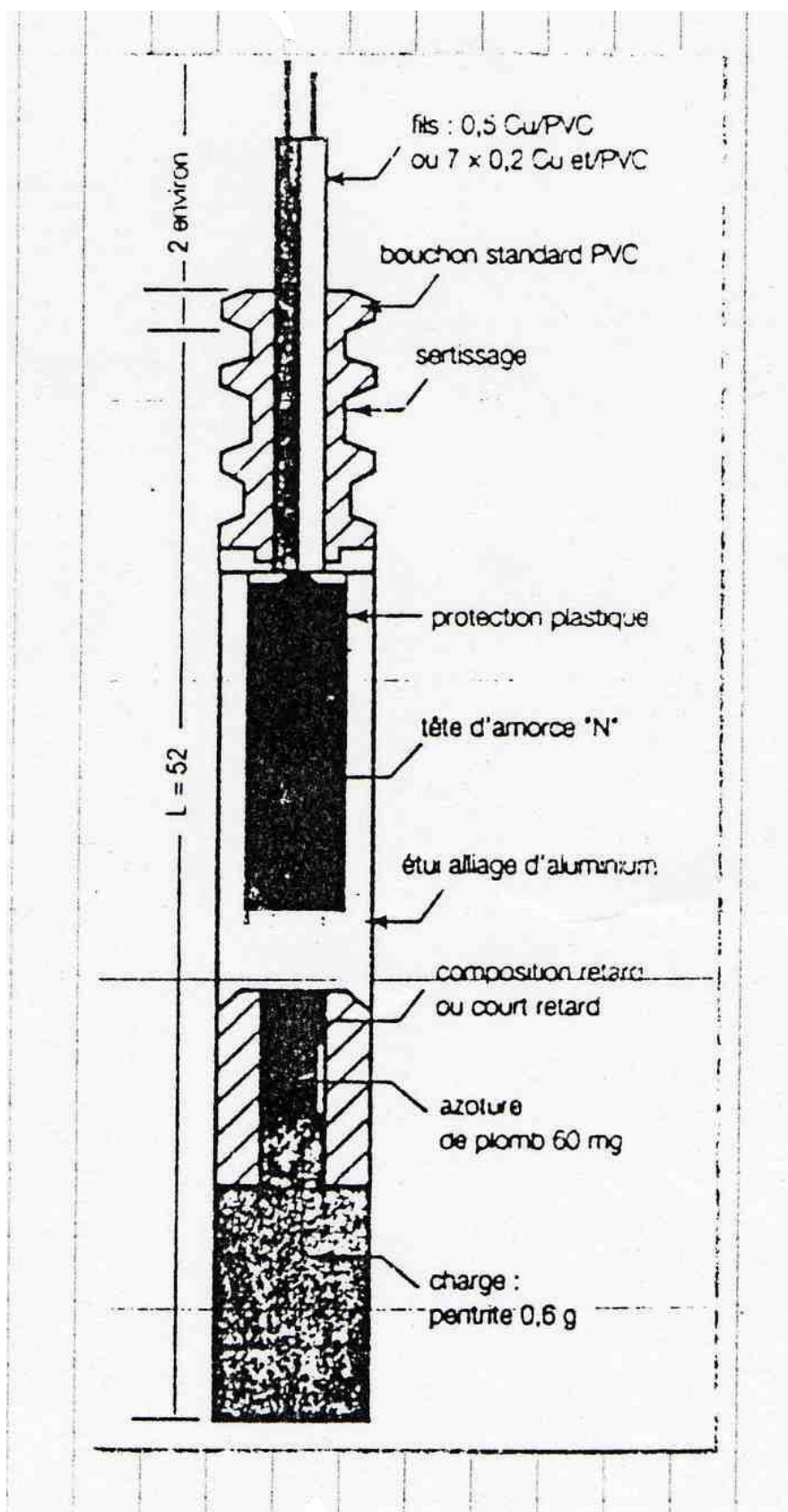
Tir retardé sur une rangée de mines



Tir retardé sur trois rangées de mines

		Composition type	%	Utilisation
Dynamites	Plastiques ou gomme	Nitroglycérol Nitrate d'ammonium Coton Azotique Favine de Bois Diméthyltoluène Alluminium	20 à 50 30 à 60 1 à 5 2 à 6 0 à 2 0 à 8	Roches dures. Vitesse de détonat° 4000 à 6000 m/s.
	Pulvérulentes	Nitroglycérol Nitrate d'ammonium Coton Azotique Favine de bois Sel Tourbe	10 à 15 30 à 80 = 1 2 à 10 0 à 50 0 à 5	Sensible aux chocs.
Nitrates		Trinitrotoluène Nitrate d'ammonium Favine de bois stearate de Calcium Sel	10 à 15 65 à 85 0 à 5 = 1 0 à 20	En contacte Vitesse détonat° 3000 à 4000 m/s Sensible à l'humidité
Nitrates-Fiouls	Ordinaires	Nitrate d'ammonium Fioul	= 94 = 6	En Vrac Idem nitrates souf
	à l'aluminium	Nitrate d'ammonium Fioul Sensibilisant (aluminium)	88 à 92 3 à 5 5 à 10	• Chantiers bien aérés • Forages > 40mm
Bouillies - Gels - Émulsions		Eau Nitrate d'ammonium Sensibilisant Divers	8 à 15 35 à 60 5 à 40 2 à 5	Sensibilité aux chocs intermédiaire
Emulsions nitrates - Fiouls colorés		Eau Nitrates minéraux Huiles divers Sensibilisant.	8 à 15 10 à 80 4 à 10 0,2 à	Plus grande résistance humidité Vitesse détonation 4000 m/s

- Le dispositif d'amorçage ou la détonateur électrique à le suivant principe de fonctionnement :
 - lorsque un circuit est fermé, le filament rougit enflamme la poudre d'allumage, et le détonateur explose ;
 - on peut illustrer cet principe comme sur le schéma suivant :



EVALUATION DE FIN DE MODULE

QUESTIONS	BAREME
1. Donnez la définition d'un granulat ?	/2
2. Donnez les principaux types des granulats concassés ?	/2
3. Donnez la définition du module de finesse d'un granulat ?	/2
4. Définir le principe de l'essai de Los Angeles pour un granulat ?	/2
5. Donnez la définition d'un ciment ?	/2
6. Indiquez les types du ciment qui sont produits en Maroc ?	/2
7. Donnez la définition d'un liant hydrocarboné ?	/2
8. Quels sont les parties composantes d'un arbre ?	/2
Total :	/16

REPONSES	BAREME
1. Définition : les granulats sont des graines de sol avec les dimensions entre 0,08 mm et 80 mm. Au-dessous de 0,08 mm on trouve les fillers, farines ou fines ; et au-dessus de 80 mm on trouve les moellons ou les galets. 2. Les granulats concassés – sont obtenus par abattage de concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Ils proviennent de roche saines, dures, compactes, résistante au gel et indécomposable. A cause de concassage, ils contiennent plus d'éléments fins que les granulats roulés, demandent donc plus d'eau de gâchages. Parmi cet type de granulats, on peut trouver les catégories suivantes : - o Les basaltes – sont roches éruptives de très bonne qualité pour les bétons ; - o Les calcaires – ils sont attaquables par des acides. Les calcaires durs donnent de bons granulats concassés, mais ils sont à éviter pour des bétons dans les milieux agressifs - o Les granites – ils s'altèrent avec le temps, mais les pierres compactes non fissurés peuvent fournir des bons granulats pour le béton ; - o Les grès – le type de grès trop poreux est friable (qui peut être aisément réduit en poudre) ne sont pas bons pour les bétons ; donc, seuls les grès durs sont utilisable ; - o Les marbres – ils donnent de très bons granulats, mais ils sont trop chers ; - o Les quartz – ils sont constitués par de la silice cristallisée qui donne des granulats durs, peu déformables ; Les porphyres – ils fournissent un matériau dur, surtout sous la forme de gravier, très bon pour le béton	/2 /2
3. Module de finesse 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 suivante : 0,08 ; 0,016 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 5,0 ; 10,0 ; 20,0 ; 40,0 ; 80,0 ;	/2
4. L'essai Los Angeles Définition : le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques.	/2

5. **Définition** : 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.

/2

6. Les types de ciments fabriqués en Maroc, sont les suivantes :

- CPJ 35 & CPJ 45 – ciment portland composés ;
- CM 25 – ciment à maçonner ;
- CPA – ciment portland artificiel avec constituant secondaire ;
- CPAC - ciment portland artificiel avec constituant la cendre volante ;
- CPAL - ciment portland artificiel avec constituant laitier ;
- CPAZ - ciment portland artificiel avec constituant pouzzolane ;
- Les autres types de ciment sont importés, suivant les nécessités et en fonction de la destination du béton de l'ouvrage ;

/2

7. **Définition** : les liants hydrocarbonés ou liants « noirs » sont de sous-produits dérivés de certaines industries ou extraits de ressources naturelles en tant que matière première.

/2

8. **Les parties d'un arbre :**

Racines – toujours elles forment la partie souterraine d'un arbre, et elles ont comme fonctions :

- puiser les substances nutritives de la terre par les poils radieux ;
- servir de dépôts des substances nutritives pendant la période de repos ;
- maintenir l'arbre solidement ancré dans le sol ;

Tronc – ou la tige, c'est la partie cylindrique et verticale qui pousse du sol et porte les branches. Le tronc livre principalement le bois utilisable dans les constructions et il peut atteindre une hauteur de jusqu'à 100 m (redwood américain) ;

Couronne – elle est formée des branches et par les feuilles. Les branches sont les voies de liaison entre le tronc et les feuilles. Parfois les plus grandes branches peuvent être utilisés comme étais.

/2

Total :

/16

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur	Titre	Edition
1. D. Didier	Précis de chantier Matériel et matériaux	1994
2. Henri Richaud	Chantiers de bâtiment Préparation et suivi	1995
3. Bureau international du travail Genève	Sécurité et hygiène dans les travaux publics	1994
4. Fatna Gunina	Programme d'étude Chef du chantier TP	2003