

I.1. INTRODUCTION :

L'étude d'une composition du béton consiste à rechercher conjointement deux qualités essentielles : résistance et ouvrabilité ; or ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre, quand aux facteurs dont elles dépendent mais elles varient en sens inverse.

La recherche simultanée de ces cas deux qualités pose donc un éternel dilemme dont ne peut sortir que par des solutions de compromis. De plus, il convient souvent de rechercher d'autre qualité : étanchéité, résistance au gel, résistance à l'usure, qualité du parement, adaptation à la structure de l'ouvrage (léger, mince, massif...ect).

C'est pourquoi, il est difficile d'élaborer une théorie au sens propre et scientifique du terme permettant de prendre en compte ces nombreux paramètres et d'aboutir à la meilleure composition donnant elle seule le béton présentant toutes les qualités souhaités

I.2. DEFINITION:

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau.

Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit, La pâte de ciment hydraté et le sable constitue le mortier. Pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton. [1]

I.3. COMPOSITION DU BETON:

I.3.1. LE CIMENT :

I.3.1.1. Définition:

Le ciment joue le rôle de liant du béton hydraulique. Il est composé d'un mélange en poudre de chaux et de calcaire argileux qui durcit avec l'eau. Pour faire du béton ou du mortier, on utilise du ciment gris ordinaire dit de Portland. [2]

I.3.1.2.Fabrication du ciment :

Le ciment est fabriqué à partir d'un mélange de calcaire et d'argile préalablement dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO), de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃) et de l'oxyde de fer (Fe₂O₃).

A une très rare exception la chaux nécessaire et apportée par des roches carbonatées, l'alumine l'oxyde de fer par des argiles, L'argile et le calcaire sont extraits des carrières.

Après le dosage et l'homogénéisation, le mélange est cuit dans un four rotatif à une température avoisinant les 1450°C. Pour ce combinais les particules de chaux, silice et alumine

doivent être très proches et très petites on est donc amené avant de mélanger à broyer très finement, la taille des particules devrait être $< 200\mu\text{m}$.

Il est possible alors de les délayer avec de l'eau, et de les broyer avec de l'eau dans le broyeur à boulets, l'énergie mécanique à dépenser pour cela est très importante par la voie humide. Le deuxième procédé par voie sèche, comme les carrières ont presque au moins 5% humidité cela nécessite un séchage préalable.

- **Le broyage:**

Il se fait par écrasement dans des broyeurs à meule ou à galet du type utilisés depuis l'antiquité, soit par percussion dans des boulets dans les deuxièmes cas le rendement est très faible les travaux les plus récents sont sur ce sujet publiés par « RUMPE (1973) ».

- **Mélange et homogénéisation:**

Son principe consiste à disposer le concassé arrivant des carrières sur une surface de 200 à 300m de longueur et 30 à 40m de largeur, on couche horizontalement minces s'empilât les une sur les autres jusqu'à une hauteur de 10 à 20m, on entasse ainsi 40000 tonnes réparties sur 500 couches.

- **La cuisson par voie sèche:**

Nous sommes en possession d'une farine crue homogène et nous la faisons cuire dans le procédé par voie sèche le plus simple et le plus ancien elle est introduite directement dans le four rotatif et chauffée de manière continue, mais on peut distinguer les paliers suivants :

- Evaporation de l'eau 100°C, très faible de l'ordre de 1 %.
- Départ de l'eau combinée à l'argile ...450°C.
- Dessiccation du carbonate de calcium complet à la pression atmosphérique à 894°C.

$$\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$$
- Combinaison de la chaux avec de l'argile 1450°C, à cette température la chaux produite par décarbonation du calcaire se combine avec la silice, l'alumine et le fer pour obtenir les silicates tri et bi calciques, l'aluminate ferrite de chaux : C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF qui constituent le «clinker».

Le clinker qui se présente sous la forme de grains durs et noirs de quelques centimètres de diamètre, est refroidi, puis broyé avec une petite quantité de gypse destinée à régulariser la prise.

On passe le clinker au ciment par l'opération de broyage, il s'agit de réduire les granulats de clinker, broyage très fin $< 100\mu\text{m}$ pratiquement.

On mesure non la dimension des grains mais la surface spécifique celle-ci est la plus souvent déterminée par mesure de perméabilité ainsi au perméabilimètre (Blaine), on doit atteindre de 2500 à 5000 cm^2/g , toutefois une mesure précise de la dimension et du nombre des grains est possible grâce. [3]

Tableau I. 1: Composition des ciments selon la norme NF EN 109-1.

TYPES DE CIMENT	CLINKERK%	AUTRES CONSTITUANTS PRINCIPAUX S/D/P/Q/V/W/T/L/LL %	CONSTITUANTS SECONDAIRES %
CEM I CIMENT PORTLAND	95 à 100	0	0 à 5
CEM II CIMENT PORTLAND COMPOSE	65 à 94	6 à 35 S/D/P/Q/V/W/T/L/LL	0 à 5
CEM III CIMENT DE HAUT FOURNEAU	5 à 64	LAITIER : 36 à 95	0 à 5
CEM IV CIMENT POUZZOLANIQUE	45 à 89	D/P/Q/V/W : 11 à 55	0 à 5
CEM V CIMENT COMPOSE	20 à 64	26 à 80 S/P/Q/V	0 à 5

I.3.1.3. Les différents types de ciment courant:

- CEM I: (Ciment portland) constitue de clinker et de constituants secondaires.
- CEM II: (Ciment Portland composé) constitue de clinker et de laitier de haut fourneau ou de fumée de silice ou de pouzzolanes ou de cendres volantes ou de schistes calciner ou de calcaire ou d'un mélange de ces constituants (de 6 à 20% pour le CEM II/A, de 21 à 35 % pour le CEM II/B).
- CEM III: (Ciment de haut fourneau) constitue de clinker et de laitier de haut fourneau.
- CEM IV: (Ciment pouzzolanique) constitue de clinker et de 11 à 55% d'un mélange de fumée de silice, et de pouzzolanes ou de cendres volantes.
- CEM V: (Ciment composé) constitue de clinker, laitier de haut fourneau, de pouzzolanes ou de cendres volantes siliceuses.

I.3.1.4. Dosage en ciment:

Le dosage en ciment dépend de plusieurs critères tels que le type de béton, la destination de l'ouvrage, la résistance requise, les actions environnementales auxquelles le béton est soumis. Le dosage n'est pas déterminé par un calcul théorique absolu, mais il résulte de l'application de règles dont la pertinence à pu être appréciée à l'usage et

vérifiée expérimentalement. La norme NF EN 206-1 fournit les dosages minimaux à respecter selon les classes d'exposition des bétons, en fonction des actions environnementales (humidité, milieu marin, agressions chimiques, cycles gel-dégel). [3]

I.3.1.5. La résistance mécanique:

Le dosage en ciment a une influence directe sur les résistances mécaniques du béton. Toutes autres conditions égales par ailleurs, on peut dire que dans une certaine plage (300 à 400 kg/m³ de béton) la résistance est sensiblement proportionnelle au dosage en ciment. [3]

I.3.1.6. Propriétés des ciments courants:

a) Comportement physico-chimique de la pâte:

La réaction chimique d'hydratation s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les différentes classes des ciments et la rapidité de prise.

Il faut noter que la quantité d'eau qu'il est nécessaire d'ajouter pour le gâchage correct du ciment est supérieure à celle strictement nécessaire aux seules réactions chimiques.

b) Prise:

Le phénomène de prise, qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important, est lié à de nombreux paramètres :

- ✓ Le type de ciment ;
- ✓ La finesse de mouture ;
- ✓ La température ambiante ;
- ✓ La présence de matières organiques dans l'eau ;
- ✓ L'excès d'eau de gâchage qui agit alors comme retardateur.

c) Durcissement:

Une fois la prise débutée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement qui se poursuit pendant du mois ou des années au cours des quelles les résistances mécaniques continuent de croître.

d) Chaleur d'hydratation:

La dissolution des différents constituants est exothermique et selon leurs pourcentages relatifs, le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important.

e) Le retrait:

C'est la diminution du volume apparent de la matière dont les principaux paramètres agissant sur le retrait sont:

- La teneur en clinker ;
- La nature du ciment ;
- La finesse de mouture ;
- Le dosage en ciment et l'eau ;
- La propreté et la nature des granulats ;
- La protection après coulage ;
- La température ambiante.

f) Expansion:

Les causes possibles de l'expansion proviennent de l'hydratation des oxydes de calcium ou de magnésium que peuvent contenir certains ciments sous forme de chaux ou de magnésie libres.

Les ciments doivent être stables, car les risques d'expansion dans le temps peuvent provoquer des désordres importants par dislocation des maçonneries. [4]

I.3.1.7. Désignation normalisés des ciments :

La désignation des ciments, ainsi que les indications complémentaires figurant sur les sacs ou sur les bons de livraisons, fournissent les indications nécessaires pour un bon usage du ciment.

La désignation normalisée des ciments courants comporte dans l'ordre, systématiquement:

- Le type
- La classe de résistance normale.
- La classe de résistance au jeune âge, quand le ciment appartient à la classe élevée R.
- Et éventuellement les notations complémentaires, PM, ES, CP, cette dernière avec indication de la classe de teneur en sulfures, CP1 ou CP2.

Exemples :

- **CPA-CEM I 42,5** : ciment portland de classe 42,5 (résistance normale à vingt-huit jours), sa classe de résistance au jeune âge est ordinaire (Ce qui se voit à l'absence de la lettre R après 42,5).

- **CPJ-CEM II/A 32,5 R** : ciment portland composé de classe 32.5 R (de résistance normale à vingt-huit jours, sa classe de résistance au jeune âge élevée), contenant de 6 à 20 % de constituants autres que le clinker.
- **CHF-CEM III/B 42,5 PMES**: ciment de classe 42,5, pour travaux à la mer et en eaux à haute teneur en sulfates, contenant entre 66 et 80 % de laitier.
- **CPA-CEM I 42,5 CP1**: CPA-CEM I 42,5 à faible chaleur d'hydratation et à teneur en sulfure limitée (classe I : S^{-2} Inférieure ou égale à 0,5 %). [4]

I.3.1.8. Choix de ciment:

La classe et la qualité du ciment doivent être choisies en fonction de la nature de l'ouvrage construire, de ses caractères structurels, de sa destination et des diverses qualités requises compte tenu notamment des circonstances climatique et locales : temps chaud, temps froid, présence d'eaux agressives, ... etc. [5]

I.3.1.9. Domaine d'utilisation de ciment:

- Béton courant (non armé ou faiblement armé: fondation, portées réduites, décoffrage différé).
- Produits préfabriqués en béton non armé, corps creux...
- Maçonnerie.
- Stabilisation des sols.
- Travaux en grande masse barrage etc....
- Béton routier.
- Fortement sollicité. [6]

I.3.2. GRANULATS:

I.3.2.1. Définition:

On appelle « granulats » les matériaux inertes, sables graviers ou cailloux, qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0 et 125 mm dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage, destinés à la confection des mortiers, des bétons de couche de fondation, de couche de base, de roulement des chaussées et des assises et des ballasts de voies ferrées.

Tableau I. 2:L'origine des granulats. [7]

Roche d'origine	Transformation			Usage
	Aucune	Concassage criblage	Thermique	
Argiles	-	-	Argile expansée	Mortier, béton hydraulique graves traitées ou non enrobées clous ballasts filtres drains
Limons	Tout venant	-	-	
Sables		Fines sables gravillon	Verre, expansée	
Graviers		cailloux ballasts	-	
Pouzzolanes			-	
Roches massives	-		Schistes expansée	
Minerais	-	Barytine	Laitiers	
Autre origines : démolition de bâtiments et de chaussées		Fines, sable gravillon		

I.3.2.2.La nature :

On distingue trois grandes familles :

✓ **Les roches magmatiques :** (éruptives ou cristallines)

Elles proviennent de la consolidation par cristallisation d'un magma en fusion dont la partie se situe dans la base de la lithosphère,

✓ **Les roches sédimentaires :**

Elles sont le résultat d'action superficielles aboutissant au dépôt d'un sédiment meuble, le plus souvent gorgé d'eau qui est transformé en roche plus ou moins indurée par enfouissement progressif des profondeurs modérées.

✓ **Les roches métamorphiques :**

Elles résultent de la transformation des roches sédimentaires soumis aux températures et pression qui règnent aux grandes profondeurs (plus de 10km). [7]

I.3.2.3. Les différentes composantes des granulats: Les granulats sont composés de :

✓ **Gravier:**

Le gravier est composé de particules rocheuses lisses quand elles sont issues d'une rivière ou concassées quand elles proviennent d'une carrière. Il faut impérativement que le gravier soit débarrassé de la boue et des saletés qu'il pourrait contenir avant de fabriquer le béton.

Il existe différents calibres de gravier. Les plus gros calibres sont utilisés en général pour les fondations et les gros œuvres.

La résistance du béton sera d'autant plus grande que vous mélangerez différents calibres de graviers.

✓ **Sable:**

Les sables sont constitués par des grains provenant de la désagrégation des roches, la grosseur de ces grains est généralement inférieure à 5mm. Un bon sable contient des grains de tout calibre mais doit avoir d'avantage de gros grains que de petits

I.3.2.4. Différents types de granulats :

Il existe deux types de granulats

I.3.2.4.1. Granulats naturels :

✓ **Origine minéralogique :** parmi les granulats, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telle que le quartz et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

✓ **Granulats roulés et granulats de carrières :**

a. Les Granulats alluvionnaires : dites roulés dont la forme à été acquise par l'érosion.

Ces granulats son lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et cribles pour obtenir différentes classe de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.

b. Les granulats de carrière : sont obtenus par abattage et concassage. Ce qui leur donne des formes angulaires une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention des granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent, à l'obtention des classes granulaires souhaitées. [7]

I.3.2.4.2. granulats artificiels :

✓ **Sous produit industriels, concassés ou non :**

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau, la masse volumique apparente est supérieur à $1250\text{kg}/\text{m}^3$ pour le laitier cristallisé concassé, $800\text{kg}/\text{m}^3$ pour le granulé. Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routière ou pour les bétons réfractaires.

✓ **Granulats industriels haut caractéristique :**

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallage industriels (granulats ferreux) ou granulats réfractaires.

✓ **Granulats allèges par expansion ou frittage :**

Ces granulats très utilisés dans de nombreux pays comme les Etats-Unis, n'ont pas eu en France le même développement bien qu'ils allient des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressante.

✓ **Granulats très légers :**

Ils sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé) on voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolations mais également pour la réalisation d'éléments légères : blocs coffrant, blocs de remplissage, ou rechargement sur plancher peu résistants. [7]

I.3.2.5. Propriétés des granulats :

Les granulats étant issus des roches constituent de minéraux, ce sont donc ces derniers qui conditionnent un large mesure les propriétés ou les caractéristiques des granulats.

Néanmoins, et en pratique, rarement l'assemblage des minéraux est parfait du fait de la présence de vides. Ces derniers sont parfois sphériques (pores) et dus au dégazage des roches magmatiques (basaltes vacuolaires, pouzzolanes) ou à une cimentation incomplète des roches sédimentaires (grés, calcaires poreux).

Il se présente parfois sous forme de fissures très fines (microfissuration) dues à des contrainte thermique ou /et mécaniques et peuvent, dans ce cas, affecter toutes les roches.

Pores et fissure conduisent donc à des diminutions de résistance, de même lorsque les cristaux deviennent plus gros (millimétriques et plus).

Il existe, par ailleurs, une autre particularité défavorable vis-à-vis de la résistance et qui conduit également à la production d'élément plats au concassage: c'est l'anisotropie de la roche due à une orientation privilégiée de certains minéraux (micas par exemple) ou à une disposition en lits de minéraux différents. [3]

I.3.2.6. Identification des granulats de carrière:

Les critères d'identification d'une roche sont :

a. Composition minéralogique: elle est déterminée sur des lames minces réalisées par un laboratoire spécialisé et examinée au microscope polarisant, détermine le pourcentage des différents constituants au compteur de point on note également le degré d'altération des minéraux.

b. La structure: Elle est déterminée au cours du même examen, complétée par la détermination de l'indice de qualité de la porosité et de la masse volumique apparente et réelle.

c. L'indice de continuité : $I_Q = 100 (V_{L_m} / V_{L_c})$ c'est le rapport de vitesse de propagation des ondes longitudinales dans un échantillon de roches par la vitesse théorique calculée à partir de la composition minéralogique de la roche. la vitesse V_{L_m} est en effet très sensible à la présence de pores

De microfissures et à l'altération des minéraux, l'indice I_Q est proche de 100 pour les roches saines.

d. La Masse volumique réelle et apparente: La masse volumique réelle est la masse d'un corps par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains (volume absolu).

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume total y compris les vides entre les grains le constituant (volume apparent).

e. La porosité : En pourcentage, elle est le produit de la différence entre la masse volumique réelle et apparente. Un béton sera d'autant plus résistant que la porosité de sa pâte sera plus faible. [8]

I.3.2.7. Fabrication :

L'élaboration des granulats à partir des roches massives ou meubles nécessite un certain nombre d'opération : l'extraction de matière première, le concassage, le criblage et le stockage.

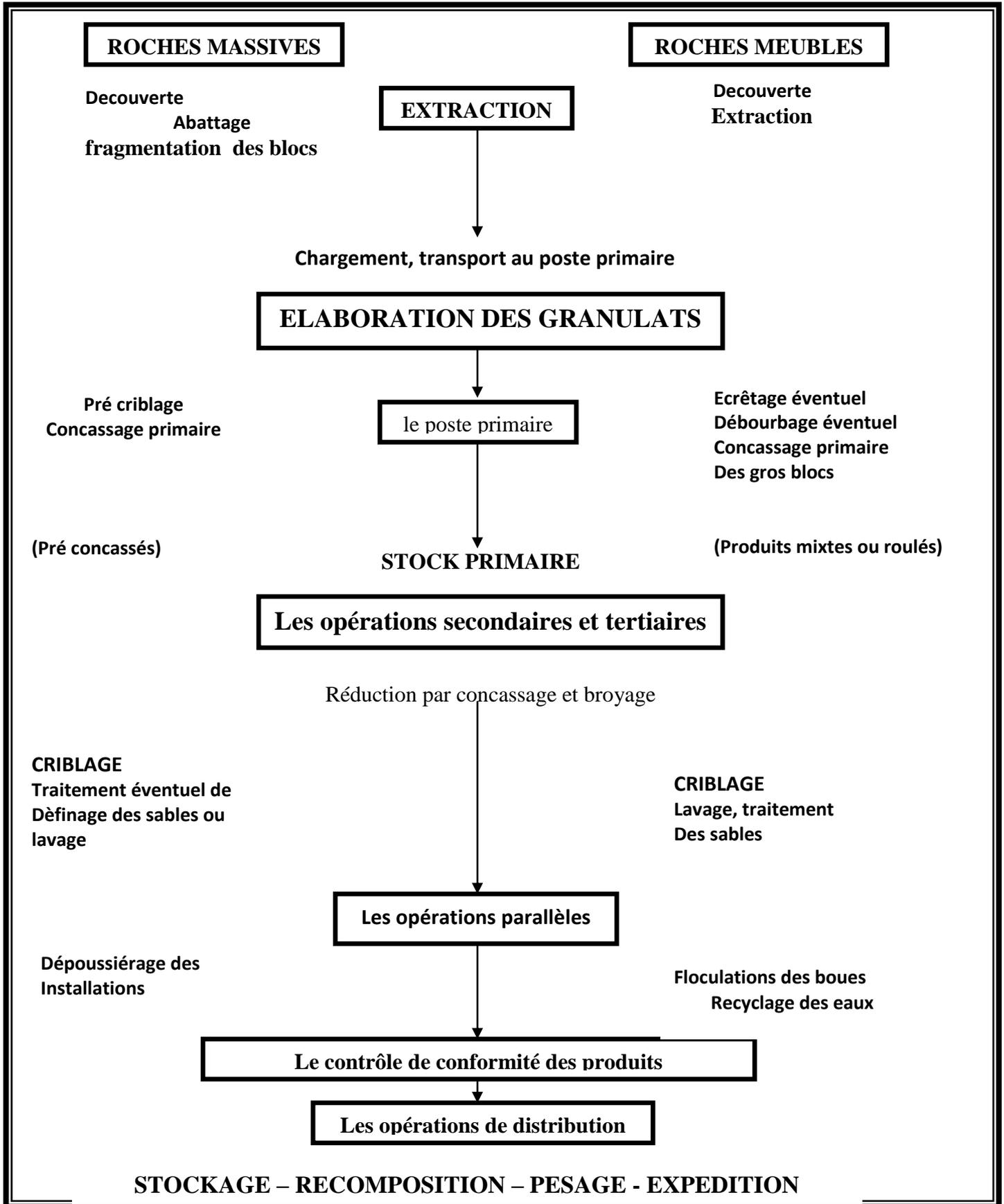


Figure. I. 1 : Extraction et élaboration des granulats. [8]

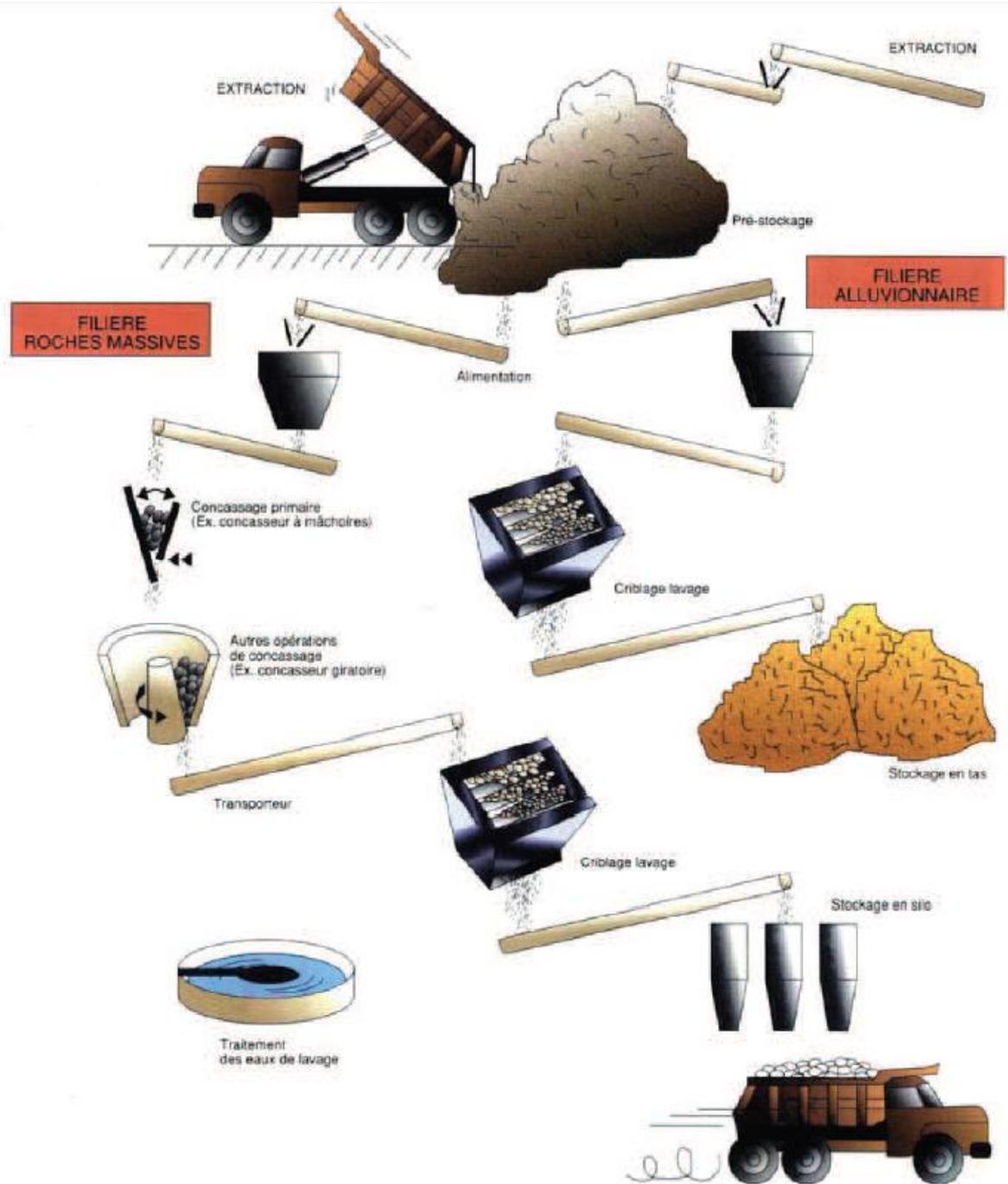


Figure. I. 2: Différentes étapes de production des granulats.

La production des granulats nécessite deux principaux types d'opérations : l'extraction et le traitement.

- L'extraction s'effectue dans des carrières qui utilisent des techniques différentes selon qu'il s'agit de roches massives ou de granulats alluvionnaires meubles, soit à sec, soit en milieu hydraulique.
- Le traitement est réalisé dans des installations de traitement généralement situées sur le site de la carrière. Parfois les installations peuvent se situer à un endroit différent du site d'extraction. Dans tous les cas, on retrouve les cinq mêmes principales étapes de production :
 - décapage des niveaux non exploitables,
 - extraction des matériaux,
 - transfert sur les lieux de traitement,
 - traitement des granulats pour obtenir les produits finis,
 - remise en état du site exploité.

I.3.3. EAU DE GACHAGE:

I.3.3.1. Définition :

Il est nécessaire pour l'hydratation du liant, mouillage du granulat, et le malaxage du béton, et forme la pâte lubrifiante et par conséquent facilite sa mise en œuvre.

Il doit être propre et ne pas contenir plus de 5g /l de matières en suspension (vase, limons...) ni plus de 35g/l de matières et sels solubles, sous réserve que ces sels dissous ne risquent pas de nuire à la conservation des bétons (acides, sulfates, sels corrosifs matières organiques).

Toute eau doit être soumise à une analyse. [4]

a. L'eau chimiquement liée :

Elle n'est plus considérée comme faisant partie de phase liquide car cette eau est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation. [6]

b. L'eau adsorbée :

Est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des pores. Soumises aux champs des forces électriques superficielles des particules de CSH et à l'action des forces de VAN DER WAALS, la structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas. [6]

c. L'eau libre :

Cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle occupe les macrosespaces. [6]

d. Importance du rapport eau /ciment :

Le dosage d'eau et du ciment sont deux facteurs importants. En effet ouvrabilité et la résistance sont grandement affectés par ces deux paramètres. Plus le rapport eau /ciment est grand, plus ouvrabilité sera grande. En effet, plus il ya d'eau, plus le béton aura tendance à remplir aisément les formes. Le rapport E/C "moyen" est normalement fixe à 0.45.c'est ce rapport qui est le plus souvent utilisé, car le béton obtenu dispose d'une assez bonne ouvrabilité, tout en ayant une bonne résistance. [7]

I.3.3.2. Caractéristiques physiques et chimiques :

Les eaux employées pour le gâchage des bétons ne doivent pas contenir des substances nuisibles à ses constituants tels que le chlore vis-à-vis l'acier (Tableau. I.3).

Les critères qui permettent d'évaluer l'aptitude à l'emploi d'une eau de gâchage ne doivent pas être confondus avec les critères qui permettent de juger de l'agressivité d'une eau vis-à-vis d'un béton durci. Ils peuvent parfois être voisins, mais ils sont souvent différents. [9]

Tableau I. 3: Prescriptions concernant les substances nocives

Substance	Utilisable Substance si P 18-303
Chlorure (Cl)	
Béton précontraint	<500 mg/l
Béton armé	< 1000 mg/l
Béton non armé	<4500 mg/l
Sulfates (SO ₄ < 2000 mg/l ²⁻)	< 2000 mg/l
Sucre	<100 mg/l
Phosphates (P ₂ O ₅)	<100 mg/l
Nitrates (NO ₃)	<500 mg/l
Zinc (Zn ²⁺)	<100 mg/l
Sulfures (S ²⁻)	<100 mg/l
Alcalin (Na ₂ O)	<1500 mg/l
Ph	<4

I.3.4.LES ADJUVANTS:

Sont des matériaux actifs ajoutés en très petite quantité (souvent liquide) dans le but d'influencer certaines propriétés par une action chimique ou physique. Ils ne doivent pas modifier défavorablement la durabilité du béton ou toute autre propriété du béton armé. [8]

I.3.4.1. Les types des adjuvants:**a. Plastifiant réducteur d'eau :**

Il permet de réduire le dosage en eau, et à dosage en eau constant il permet une augmentation de l'affaissement au cône d'Abrams. Il améliore l'ouvrabilité et diminue le ressuage du béton frais il augmente les performances mécaniques à court et à long terme du béton durci. [6]

c. Super plastifiant haut réducteur d'eau :

Sa fonction est identique à celle du plastifiant réducteur d'eau mais la réduction du dosage en eau et l'augmentation d'affaissement au cône d'Abrams sont plus marquées, il diminue considérablement la teneur en eau. Il maintient l'ouvrabilité d'un béton frais dans le temps jusqu'à deux heures, il améliore les résistances mécaniques à court et à long terme et diminue le retrait du béton (du à la réduction du rapport E/C). Il sont généralement utilisés dans les béton courant, les béton à haut performance, les béton autoplaçants les béton architectoniques,....etc. [6]

d. Réteneur d'eau :

Il permet de réduire le départ d'eau par ressuage. Le béton frais a tendance à se compacter légèrement et progressivement depuis le moment où et mis en place dans les coffrages jusqu'au début de prise, une partie de cette eau remonte en surface c'est le phénomène de ressuage. [6]

e. Entraîneur d'air :

Il permet la formation, au moment du malaxage du béton, d'un réseau uniforme de petites bulles d'air qui subsiste dans le béton durci. Ce type d'adjuvant protège le béton contre les cycles de gel/dégel, sel de dévers glaçage. Il améliore la cohésion et diminue la ségrégation du béton. Il facilite la mise en place et améliore l'aspect du béton ou décoffrage. [6]

f. Accélérateur de prise :

Il permet de diminuer le temps du début et le temps de fin de prise du béton, les accélérateurs de prise servent surtout à réduire le temps de prise aux températures plus élevée, ce qui peut être un inconvénient lorsque ce temps est insuffisant pour transporter le béton et le mettre en place. C'est pourquoi la norme impose, d'un coté, un temps de prise suffisamment long. [6]

g. Accélérateur de durcissement :

Il permet d'augmenter la vitesse de développement des résistances initiales du béton. Les accélérateurs de durcissement servent, d'une façon générale, à réduire les délais d'exécution :

Décoffrage, manipulation des pièces, mise en précontrainte, chargement,...etc. [6]

h. Retardateur de prise :

Il permet de retarder le début de prise et de prolonger l'état plastique ou le béton mouable. Les retardateurs de prise servent à augmenter la durée pendant laquelle le béton peut être transporté et mise en œuvre, à maintenir suffisamment longtemps la consistance recherchée du béton frais ou à améliorer la continuité des reprises de bétonnage. [6]

i. Hydrofuge :

Il permet de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques. [6]

Tableau I. 4: Synoptique d'utilisation des principaux adjuvants. [9]

Adjuvants	Utilisation
Super plastifiants	<ul style="list-style-type: none"> -Nécessité d'une bonne ouvrabilité. -Préfabrication. -Bétons à hautes résistances. - Béton très ferrailé
Plastifiants	<ul style="list-style-type: none"> -Transport pneumatique du béton (béton pompe, ciment gun). -Béton coule sous l'eau (délavage diminue). - Béton maigre : blancs, blocs manufacturés. - Béton routier. -sable manquant de fines. -Béton très ferraille. -injection (coulis et mortiers).
Accélérateurs	<ul style="list-style-type: none"> -Décoffrage rapide. -Temps froids-préfabrication. -Travaux d'étanchement, cachetage, travaux à la mer (entre deux marées). -réparation rapides, pistes d'aérodromes, routes. -scellements.
Retardateurs	<ul style="list-style-type: none"> -Temps chaud. -injection à grande profondeur (élévation de température). -voile étanchéité. -transport de béton sur longue distance. -reprise de bétonnage-confection de béton avec granulats apparents (parement laves). -paroi moulée dans le sol. -coulage en contenu.
Entraîneurs d'air antigélifs	<ul style="list-style-type: none"> -routes, barrage, ponts, travaux maritimes. -ouvrage exposés au gel, à l'action des eaux agressives, bétons extrudés (ex : glissières de sécurité en béton -bordures).

I.3.4.2.Choix et dosage des adjuvants

Selon la propriété recherchée pour le béton, on a rarement recours à l'adjuvant approprié: accélérateur de prise, plastifiant, entraîneur d'air... Compte tenu de la diversité des produits disponibles, on se conformera aux prescriptions du fabricant pour leur emploi et leur dosage, et on vérifiera leur compatibilité avec le ciment. [8]

I.3.5.LES ADDITIFS:

Sont des matériaux en fines particules qui peuvent être ajoutés en quantités limitées pour influencer certaines propriétés ou obtenir des propriétés particulières. On peut distinguer les additifs à caractère hydraulique latent (ex: cendres volantes,...) qui renforcent le pouvoir de liaison ciment et les additifs neutres (ex: poudres colorantes,...). Ces additifs doivent bien sûr être sans danger pour le béton. [7]

I.3.5.1.Les types des additifs :

a. Le laitier vitrifié moulu de haut fourneau :

Le laitier vitrifié moulu est une addition de type II. Il provient du laitier (granulé ou bouleté), coproduit de la fabrication de la fonte, obtenu par tempe du laitier de haut fourneau en fusion.

Les laitiers de fonte non trempés (cristallisés et donc non vitrifiés) sont exclus de cette norme. Les laitiers d'aciéries et tous les laitiers de métaux non ferreux qui peuvent contenir des éléments nuisibles aux bétons (sels métalliques) sont aussi exclus de cette norme se classent en deux catégories A et B ; mais seuls ceux de la classe B sont substituables au sens et sous les conditions les normes XP P18 305(finesse $>3250\text{cm}^2/\text{g}$).

b. Les cendres volantes :

Est une addition de types II. C'est une poudre fine constituée principalement de particules vitreuses de forme sphérique, dérivée de la combustion du charbon pulvérisé, ayant des propriétés pouzzolanique et composées essentiellement de SiO_2 et Al_2O_3 R2 réactive constituant au moins 25%) en masse.

c. La fumée de silice :

Est une addition de type II .c'est une poudre amorphe finement divisée résultant de la production d'alliages de silicium ou contenant du silicium. Suivant la finesse et la composition chimique (taux de silice) ; les fumées de silice sont divisées en deux classes, classe A (riches en silice et les plus fines ; surface spécifique de $200000\text{à}350000\text{cm}^2/\text{g}$) et la classe B (moins riches en silice et moins fines) ; leur proportion est limitée à 10% et leur emploi est réservé aux bétons contenant des super plastifiants séminaires.

d. Les additions siliceuses:

Ils sont des produits finement divisés, constitués, à plus de 96% par de la silice exprimé en SiO_2 mesurée sur produits secs et obtenus par broyage et/ ou sélection de constituants de roches quartzeuse ou de cristobalites synthétiques. Les additions siliceuses de roches quartzeuse sont de type A ($M_{va}=2600\text{à}2700\text{kg/m}^3$) et les cristobalites sont de type B ($M_{va}=2250\text{ à }2450\text{kg /m}^3$). leurs surfaces spécifique Blaine doivent être supérieures à $1500\text{cm}^2/\text{g}$. [6]

e. Les additions calcaires :

Ils sont des produits secs finement divisés, obtenus par broyage et /ou sélection, provenant de gisements de roches calcaires pouvant être dolomitiques, massives ou meubles. [6]

I.3.6. ROLE DES DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUANTS LE BETON :

- **Ciment:** c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.
- **Les granulats:** ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au Béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.
- **Le sable:** il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.
- **L'eau:** c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable. [1]

I.2.7. PROPRIETES DES BETONS :

Pour utiliser au mieux le béton, il faut bien connaître ses propriétés: d'une part à l'état frais, alors qu'il est plastique et qu'on peut le travailler; d'autre part, à l'état durci, alors que sa forme ne peut plus être modifiée mais que ses caractéristiques continuent à évoluer durant de nombreux mois, voire des années. : [3]

I.2.7.1. Le béton frais :

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité, qui le rend apte à remplir n'importe quel volume, à condition que sa composition ait été étudiée en conséquence et que les moyens de mise en œuvre soient appropriés. L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton à remplir les coffrages et à enlever convenablement les armatures.

De nombreux facteurs influent sur l'ouvrabilité: type et dosage en ciment, forme des granulats, granulométrie, emploi d'adjuvants et, bien entendu, dosage en eau. Il ne

faut ce pendant pas considérer que le dosage en eau peut être augmenté au - delà d'une certaine valeur dans le seul but d'améliorer l'ouvrabilité. Un excès d'eau se traduit, par un phénomène de «ressuage», qui est la création à la surface d'une pièce en béton, d'un film d'eau, générateur de fissures après évaporation. Les autres conséquences d'un trop forte teneur en eau sont:

- ✓ la diminution de la compacité et, corrélativement, des résistances;
- ✓ une porosité accrue;
- ✓ un risque des agrégations des constituants du béton;
- ✓ un retrait augmenté;
- ✓ un état de surface défectueux se traduisant notamment par du bullage.

La teneur en eau doit être strictement limitée au minimum compatible avec les exigences d'ouvrabilité et d'hydratation du ciment. [3]

I.3.7.2.L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton, elle peut se définir comme la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité permettant sans conséquences fâcheuses, une certaine et nécessaire latitude par rapport aux bonnes et plus ou moins rigoureuses règles à appliquer pour une exécution optimale de l'ouvrabilité dépendent, en effet, la plupart des qualités de l'ouvrage : compacité et qualité réelle du béton dans l'ouvrage lui-même, enrobage et adhérence des armatures, cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité. C'est pourquoi l'ouvrabilité doit être considérée par le laboratoire la confection de belles éprouvettes, doivent être modifiées sur le chantier par défaut d'ouvrabilité qui, on l'obélie trop souvent, risquerait d'entraîner pour le béton dans l'ouvrage un certain nombre de défauts dont. En particulier, des résistances localement insuffisantes.

L'ouvrabilité ou maniabilité peut s'apprécier de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité. La résistance à été longtemps considérée comme les qualités essentielles pour ne pas dire la seule, à rechercher pour un béton; ouvrabilité et résistance sont à étudier de pair car elles sont étroitement dépendantes l'une de l'autre et d'autant plus qu'elles varient en sens inverse en fonction de certains facteurs essentiels de la composition du béton.

Il existe un très grand nombre d'appareil de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autre un temps découlement ou encore utilisent l'énergie potentielle du béton ou nécessitent un apport d'énergie extérieure.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers.

I.3.7.2. Les essais sur béton frais :

La bonne maniabilité procure à la fois une garantie de mise en œuvre satisfaisante et une garantie de qualité du béton durci par la maîtrise du dosage en eau. Les principaux facteurs influençant la maniabilité sont granulométrie, le dosage en eau.

Il est intéressant d'avoir le contrôle du béton frais, à sa sortie du malaxeur et, de ce fait, c'est sur le dernier point concernant le dosage en eau qu'il est encore possible d'agir.

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. On citera le plus couramment utilisé. [10]

a. Essai d'affaissement au cône d'Abrams :

C'est un essai est incontestablement car il est utilisé des simples matériels, et facile à mettre en œuvre. Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône d'Abrams de béton frais sous l'effet de son poids propre.

Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.

b. Classe d'affaissement :

Tableau I. 5: Classement des bétons selon la valeur d'affaissement au cône d'Abrams – norme NFEN206-1

Classe	Consistance du béton	Affaissement(en mm) au cône d'Abrams
S1	Ferme	10-40
S2	Plastique	50-90
S3	Très plastique	100-150
S4	Fluide	160-210

I.3.7.2. Le béton durci:

I.3.7.2.1. La porosité:

Une caractéristique essentielle du béton durci est sa porosité – rapport du volume des vides au volume total. Les études de Férét (début du xx^e siècle) avaient déjà établi le lien entre la porosité du béton et sa résistance. L'importance de cette caractéristique sur la résistance du béton aux agents agressifs, sur la carbonatation et sur la tenue au gel a été démontrée depuis. C'est donc un facteur déterminant de la durabilité du béton.

La recherche d'une porosité minimale doit nécessairement passer par :

– l'augmentation de la compacité du béton frais grâce à une bonne composition du

béton et à des moyens de mise en œuvre adaptés.

– l'augmentation du dosage en ciment et le choix de son type ont une influence favorable sur la diminution de la porosité ; les hydrates formés par l'hydratation du ciment ont un rôle essentiel de colmatage des capillaires.

On améliore la compacité du béton en jouant sur la granulométrie des granulats dans la fraction des éléments fins, et sur la réduction d'eau.

La faible porosité d'un béton présente de nombreux avantages déterminants pour sa durabilité.

- Un béton en contact avec un milieu agressif (eau pure, eaux séléniteuses, eau contenant des acides organiques) subira une attaque beaucoup plus lente si les capillaires du béton sont moins nombreux et plus fins.
- Dans le cas du béton armé, une faible porosité est indispensable, pour protéger les armatures contre les risques de corrosion.

L'acier est en effet protégé contre son oxydation tant qu'il est dans un milieu de pH basique ; or, l'hydratation du ciment produit suffisamment de chaux pour créer ce milieu basique. En revanche, si cette chaux est mise en contact avec le gaz carbonique de l'air, elle se carbonate pour former du carbonate de calcium CaCO_3 de pH acide. La diffusion de l'air dans les capillaires du béton sera d'autant plus lente que le béton présente une faible porosité retardant ainsi sa carbonatation et la protection des armatures contre la corrosion. [3]

I.3.7.2.2. Caractéristiques mécaniques du béton durci :

a. Masse volumique:

Effectués sur le béton durci, la masse volumique est la masse d'une éprouvette occupant l'unité de volume, tous vides inclus. Cette caractéristique est très importante, elle indique la qualité en termes de compacité et par conséquent en termes de résistances mécaniques. [3]

b. Essai de compression :

Le but est de déterminer la résistance à la compression d'un cylindre de béton soumis à une charge croissante jusqu'à la rupture. La dimension du cylindre est normalisée NA427, de hauteur est deux fois le diamètre. L'essai lui-même doit être conduit rigoureusement pour obtenir de bons résultats,

On observera en particulier :

- ❖ Un bon centrage de l'éprouvette;
- ❖ Une vitesse de chargement progressive ;
- ❖ La transcription immédiate du résultat. [3]

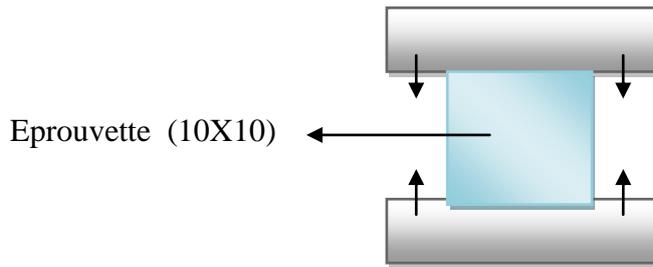


Figure. I. 3: Essai de Compression.

c. Essai de traction par flexion :

Il consiste à soumettre une éprouvette prismatique à un effort de traction, par application de forces de compression radiales suivant deux génératrices diamétralement opposées.

Cet essai à pour but de déterminer la résistance du béton d'éprouvette à la traction. [3]

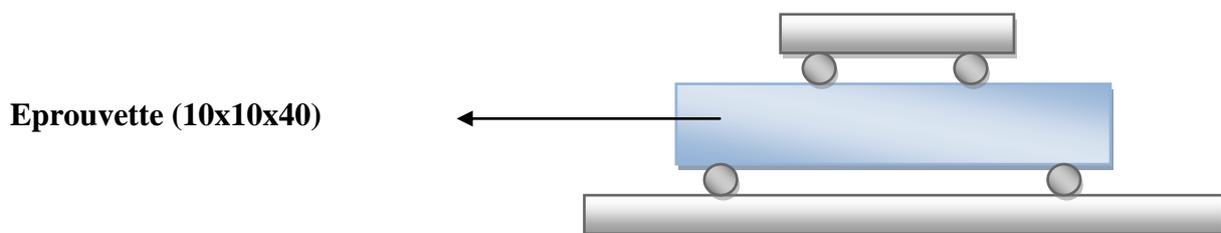


Figure. I. 1: Essai de Traction par flexion

I.3.9.LES DIFFERENTES TYPE DES BETONS :

a. Les bétons fluides :

Les progrès dans la fluidification du béton ont été rendus possibles par des plastifiants réducteurs d'eau. Ses propriétés entraînent des avantages :

- Rapidité de mise en œuvre et de serrage.
- Facilite de bétonnage des éléments fortement ferrailles.

Le béton fluide trouve ses applications lorsqu'intervient l'une des conditions suivantes :

- Manutention par pompage.
- Ouvrage en béton de forme complexe ou fortement ferrailles, ouvrages minces.
- Ouvrage horizontaux (dallage, voiries et plancher).

Parmi les applications usuelles on peut citer :

- Les travaux routiers.
- Les fondations, les radiers généraux, les voiles minces, les poteaux fortement armés. [6]

b. Les bétons de hautes et très hautes performances (BHP) : Les bétons à hautes performances ont d'abord été appelés «béton de hautes résistances », car c'est cette caractéristique facilement mesurable qui a fait des progrès spectaculaires. Elle est passée de 30 à 35 Mpa il y a quelques années, à plus de 100 Mpa pour les bétons à très hautes performances «BTHP », l'accroissement des performances élargit le champ d'application des ouvrages de travaux publics ou de bâtiment nécessitant haute résistance à court ou long terme, allègement des structures et durabilité. [6]

c. Les bétons légers : Les bétons usuels ont une masse volumique de 2300 à 2400 kg/m³, qu'il est économiquement et techniquement intéressant de pouvoir réduire, tout en obtenant pour les bétons ainsi allégés des caractéristiques correspondantes aux exigences des domaines d'emploi. Les bétons légers sont soit manufacturés. Soit fabriqués et coulés sur le chantier.

Dans les éléments manufacturés entrent les petits éléments : blocs, hourdis, éléments creux pour les conduits de ventilation ou de fumée ou les éléments de plus grandes dimensions : cloisons, dalles pour bardages, éléments de planchers.

Le béton coulé sur chantier se trouve de nombreuses applications dans le bâtiment, mais aussi comme matériau de remplissage ou en sous couche dans les sols et les chaussées. [6]

d. Les bétons lourds : A l'inverse des bétons légers, l'emploi de granulats très denses permet la réalisation de béton de masse volumique dépassant 3000 kg/m³.

Ces bétons sont utilisés dans la protection contre les radiations ou pour réaliser des culées, des contrepoids. [6]

e. Les bétons de fibres : L'idée d'incorporer des fibres dans le béton pour améliorer ses caractéristiques est déjà ancienne et constitue la transposition des renforcements utilisés depuis fort longtemps dans des matériaux comme la terre, l'argile ou le plâtre.

L'objectif recherché est de procurer au béton un meilleur comportement à la traction et à la déformation, permettant ainsi de réaliser les éléments de faible épaisseur, plus ductiles et présentant une bonne résistance à l'usure ou aux chocs.

Les domaines d'emploi des fibres sont multiples. Le choix d'une fibre dépend de la nature de l'ouvrage à réaliser, des possibilités de mise en œuvre, des sollicitations physico-chimiques auxquelles est soumis l'élément, mais aussi des conditions économiques.

Les bétons de fibres sont utilisés dans des domaines variés : pièces minces architectoniques, élément décoratif, dallages industriels, bardages, tuyaux. [6]

f. **Le béton de ciment alumineux fondu** : Dans le cas où est recherchée une résistance précoce, on utilise un béton à base de ciment alumineux fondu qui permet d'obtenir des résistances de l'ordre de 30MPa au bout de 6 heures, autorisant ainsi la remise en service rapide de l'ouvrage. Les bétons de ciment alumineux fondu sont également utilisés dans le cas d'ouvrage sollicités par la corrosion ou l'abrasion et pour les bétonnages par temps froid. [6]

g. **Le béton réfractaire** : Lorsqu'un béton doit résister à des températures élevées pouvant atteindre 1300°C,

On a recours au mélange ciment alumineux /granulats réfractaires ou granulats isolants (pouzzolane, vermiculite, argile expansée). [6]

I.4.CONCLUSION :

Nous pensons qu'aujourd'hui on sait fabriquer du béton grâce aux travaux et recherches à l'application de leurs méthodes dans les laboratoires et compte tenu de l'expérience acquise sur les chantiers où l'on apporte souvent un dosage plus au moins théorique prévu par le laboratoire et le petit coup de pouce qui permet d'obtenir un béton acceptable pour le chantier.

Le problème revient donc à choisir les matériaux, leurs dosages ...ect ; afin d'obtenir un béton homogène et qui conserve cette homogénéité pendant le transport et la mise en œuvre.