

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Centre universitaire de Relizane

Cours de MDC II

CHAPITRE I : LE BETON

Les composants du béton

Les ciments-les granulats- l'eau de gâchage- les adjuvants

Le béton, mélange de plusieurs composants très différents dont les uns sont actifs et les autres inertes, présente des caractéristiques qui sont fonction de celles de ces composants.

Une fois connues les propriétés et particularités des différents composants, la troisième partie traitera des méthodes de composition des bétons permettant de calculer les dosages de chacun de ces composants à mettre en œuvre pour obtenir 1 m³ réel de béton capable de répondre aux spécifications de qualité fixées en fonction des différents paramètres en présence, telles résistances mécaniques, conditions de mise en œuvre.

1. Les ciments

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium.

1.1 Constituants principaux

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

Du calcaire-du laitier de haut fourneau- cendre volante- pouzzolane naturelle- fumée de silice, dans le but de modifier certaines de leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit des raisons des conditions d'environnement, soit pour des raisons de performances mécaniques.

1.1.1 Clinker

Le clinker, obtenu à la sortie du four à la suite de la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire (CaCO_3), d'argile (silice-alumine-fer) et de matières de correction, est un matériau hydraulique se présentant sous la forme de petits nodules très durs composés essentiellement des quatre phases cristallines suivantes :

- Silicate tricalcique ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) ou C_3S .
- Silicate bicalcique ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) ou C_2S .
- Aluminate tricalcique C_3A ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$).
- Alumino-ferrite tétracalcique C_4AF ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)

Le ciment Portland (CPA= CEMI) contient au moins 95% de clinker. Les proportions respectives moyennes de ces différentes phases sont en moyenne de :

50 à 70% pour le C_3S ;

5 à 25% pour le C_2S ;

2 à 12% pour le C_3A ;

0 à 15% pour le C_4AF

Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages respectifs de ces différentes phases.

- ✓ Le C_3S qui libère au cours de l'hydratation une quantité de chaleur voisine du double de celle libérée par le C_2S , donne au ciment une résistance rapide, cette phase est responsable des résistances aux premiers âges.
- ✓ Le C_2S permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et long terme.
- ✓ Le C_3A est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées, elle contribue essentiellement à la prise de pâte de ciment alors qu'elle contribue assez peu à la résistance finale. Elle est facilement attaquée par les sulfates.
- ✓ Le C_4AF forme une solution solide de C_2A et C_2F , réagit moins vite que C_3A , son rôle est mineur dans les réactions de durcissement du ciment, cette phase donne le couleur grise de ciment.

En dehors de ces quatre principales phases, le clinker comporte également :

- ✓ De la chaux libre (n'est pas combiné) dont le pourcentage ne doit pas dépasser 2% dans le clinker pour ne pas risquer de provoquer une expansion en présence d'eau.

- ✓ De l'oxyde de magnésium MgO , qui peut être à l'origine d'une expansion par réaction avec l'eau.

2. Principe de fabrication des ciments courants

Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans des proportions respectivement proches de 80 et 20%.

Le calcaire apporte le calcium, l'argile apporte la silice SiO_2 , l'alumine Al_2O_3 et l'oxyde de fer Fe_2O_3 , nécessaire au processus de formation de clinker.

Ces matières premières contiennent d'autres éléments, tel de la magnésie MgO , des alcalis K_2O et Na_2O .

La fabrication de ciment comporte les étapes suivantes :

2.1 Extraction

L'extraction consiste en général pour le calcaire, à abattre la roche à l'explosif, dans des carrières à ciel ouvert, alors que l'argile, beaucoup plus meuble est exploitée au moyen d'excavateur avant d'être transportée par des camions.

2.2 Concassage

Les matériaux extraits des carrières présentant des granulométries grossières, le concassage effectué le plus souvent sur les lieux mêmes de l'extraction a pour but d'en limiter la granulométrie à 50 -100 mm au maximum.

2.3 Préparation du cru

La préparation du cru au cours de laquelle on réalise le mélange homogène du calcaire et de l'argile dans des proportions définies en fonction de leur composition chimique particulières, le résultat final devant permettre l'obtention d'un clinker dont la teneur moyenne des différents oxydes est de l'ordre de :

- 65% de CaO fourchette de 60 à 69%
- 21% de SiO_2 fourchette de 18 à 24%
- 6% de Al_2O_3 fourchette de 4 à 8%
- 2% MgO fourchette de 0 à 5%
- 1% d'alcalis fourchette de 0 à 2%
- 1% de SO_3 fourchette de 0 à 3%

La préparation du cru peut être réalisée suivant deux procédés différents :

- La voie sèche, la plus généralement utilisée en Algérie dont nous résumons les phases aux paragraphes si dessous.
- La voie humide, pratiquement abandonnée parce que grande consommatrice d'énergie et consiste à préparer une pâte, qui est ensuite homogénéisée et stockée. Cette voie s'impose lorsque les matériaux extraits présentent un taux d'humidité élevée.

La fabrication par voie sèche comporte les phases suivantes :

2.4 Préhomogénéisation

Cette phase qui a pour but de réaliser un mélange préliminaire, consiste à déposer les des matériaux constitutifs cru en couches successives, de faible épaisseur.

2.5 broyage-séchage

Le mélange précédent est envoyé à la station de broyage afin d'être réduit en une poudre de grain inférieurs à 160 microns.

2.6 Homogénéisation

C'est au cours obtenu un produit parfaitement homogène, de cette phase que grâce à un brassage pneumatique ou mécanique, peut être obtenu un produit parfaitement homogène, de caractéristiques chimiques uniformes, apte à être cuit.

2.7 Cuisson

Réalisé dans des four rotatifs dont les dimensions les plus courantes sont de l'ordre de 5m de diamètre et de 80 à 100m de longueur dans les procédé par voie sèche, à une température comprise entre 1400 et 1500°C, la cuisson permet la transformation du cru en clinker, le cycle de du traitement comportant les phases suivantes :

- Evaporation de l'eau à 100°C très faible, de l'ordre de 1% ;
- Départ de l'eau combinée à l'argile à 450°C ;
- La décarbonatation du calcaire qui s'effectue à 950°C dans la partie médiane du four $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
- Combinaison de la chaux obtenue avec l'argile, complète à 1450°C pour obtenir les silicates tri et bicalcique, l'aluminate de chaux et l'alumino-ferrite de chaux C_2S , C_3S , C_3A , C_4AF qui constituent le clinker.

2.8 Refroidissement

Cette opération a pour but d'abaisser la température de clinker à environ 50-250°C à la sortie du four. Cette opération a une influence sur la qualité du ciment, un refroidissement trop lent pouvant amener la libération de chaux libre et la transformation du C₃S en C₂S qui entraîne une baisse des résistances.

2.9 Broyage

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granules de clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler la prise), ainsi l'ajout des autres constituants (calcaire, pouzzolane, laitier...) ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés.

2.10 Stockage et expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié en vrac

3. Équations de bogue (1955)

C'est à partir du pourcentage de la composition chimique on détermine la composition minéralogique des éléments qui compose le ciment (C₂S, C₃S..), au moyen d'équations de bogue (1955), Les équations de bogue sont les suivantes :

Si $Al_2O_3/Fe_2O_3 \geq 0.64$

$$\%C_3S = (4.071x\%CaO) - (7.600x\%SiO_2) - (6.718x\%Al_2O_3) - (1.430x\%Fe_2O_3) - (2.852x\%SO_3)$$

$$\%C_2S = (2.876x\%SiO_2) - (0.7544x\%C_3S)$$

$$\%C_3A = (2.650x\%Al_2O_3) - (1.692x\%Fe_2O_3)$$

$$\%C_4AF = (3.043x\%Fe_2O_3)$$

Si $Al_2O_3/Fe_2O_3 < 0.64$

$$\%C_3S = 4.071x\%CaO - 7.600x\%SiO_2 - 4.479x\%Al_2O_3 - 2.859x\%Fe_2O_3 - 2.852x\%SO_3$$

$$\%C_2S = 2.867x\%SiO_2 - 0.7544x\%C_3S$$

$$\%C_3A = 0$$

$$\%C_4AF = 2.100x\%Al_2O_3 + 1.702x\%Fe_2O_3$$

Exemple:

Étant donné la composition d'oxyde suivante d'un clinker de ciment portland.

$$CaO=64.9\% \quad SiO_2=22.2\%$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3=5.8\% \quad \text{Fe}_2\text{O}_3=3.1\% \quad \text{SO}_3=0.74\%$$

En utilisant les équations de Bogue calculé la composition minéralogique du clinker

$$\text{C}_3\text{S}=50.02\%$$

$$\text{C}_2\text{S}=2.876*22.2-0.7544*52.1=26.13\%$$

$$\text{C}_3\text{A}=2.65*5.8-1.692*3.1=10.13\%$$

$$\text{C}_4\text{AF}=3.043*3.1=9.4\%$$

Pour voir l'effet de la modification de la composition chimique des oxydes sur la variation de la composition minéralogique, supposons que CaO est de 63,9% et que SiO₂ est de 23,2% et que les autres oxydes sont identiques.

$$\text{C}_3\text{S}=38,4\% , \text{C}_2\text{S}=37,7\% , \text{C}_3\text{A}=10\% , \text{C}_4\text{AF}=9.4\%$$

$$\text{C}_3\text{S} \text{ changé de } 52.1\% \rightarrow 40.4\%$$

$$\text{C}_2\text{S} \text{ changé de } 24.5\% \rightarrow 36.2\%$$

Un changement de 1% dans la composition chimique du CaO & SiO₂ implique un changement de plus de 10% dans la composition minéralogique du C₃S & C₂S.

4. Hydratation du ciment

Le ciment portland possède des propriétés hydrauliques. Les réactions d'hydratation des 4 phases de ciment Portland se passent en même temps et contribuent avec une intensité différente au dégagement de chaleur du ciment.

4.1 Hydratation de C₃S

Le C₃S est la phase la plus importante du ciment. La chaleur dégagée par cette phase est l'une des plus élevée. La majeure partie de son hydratation se passe dans les 28 premiers jours. La réaction complète peut prendre jusqu'à 1 année.

La formule complète de C₃S est: 3CaO.SiO₂

Au contact avec l'eau



Les produits d'hydratation sont le silicate de calcium hydraté (C-S-H) et l'hydroxyde de calcium ou portlandite (CH).

4.2 Hydratation de C₂S

La vitesse d'hydratation de b-C₂S est beaucoup plus faible que celle du C₃S. Le b-C₂S va surtout participer au développement des résistances après 28 jours et dégage une très faible chaleur.

La formule complète de C₂S est: 2CaOSiO₂

Au contact avec l'eau:



Les produits d'hydratation sont le silicate de calcium hydraté (C-S-H) et l'hydroxyde de calcium ou portlandite (CH).

La quantité de CH produite dans ce cas est plus faible d'un tiers que dans le cas du C₃S. La faible quantité de CH va favoriser le développement de meilleures résistances que dans le cas du C₃S

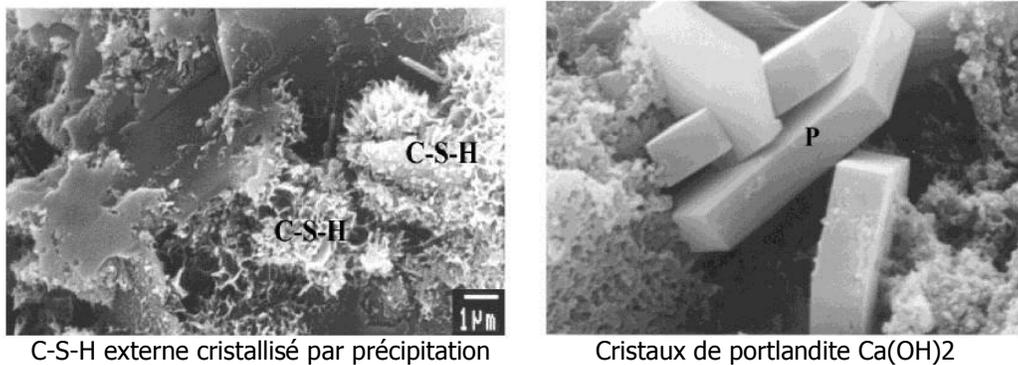


Figure 1 : Produits d'hydratation vus au MEB

4.3 Hydratation de C₃A et C₄AF

La réaction du C₃A avec l'eau est très violente et exothermique, et si rien ne l'empêche, elle causera une prise éclair. C'est pour cette raison que du gypse soit additionné au clinker broyé pour retarder cette réaction. Il réagit avec le C₃A et l'eau pour former des sulfoaluminates de calcium hydratés qui sont insolubles. Le C₃A a une influence sur la prise initiale de la pâte, mais passée cette étape il influence peu le comportement de la pâte sauf en cas d'attaque par les sulfates. Il contribue peu à la résistance de la pâte.

La formule complète de C₃A est: 3CaOAl₂O₃

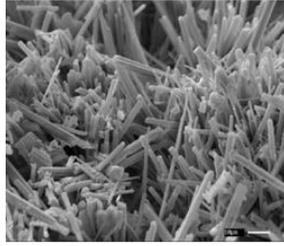


Figure 2 : PHOTO MEB : Ettringite primaire

5. Différents types de ciment courants

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme, le tableau ci-dessous donne la liste des différents types de ciments normalisés.

Tableau. I Classe des ciments selon la norme NF. EN. 197-1

Désignation	Types de ciments	Teneur en Clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivants : laitier – pouzzolanes – cendres – calcaires- schistes - fumées de silice	Teneur en constituants secondaires
CPA- CEM I	Ciment Portland	95 à 100%		0 à 5%
CPJ –CEM II/ A	Ciment Portland composé	80 à 94%	- de 6 à 20 de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10 %	0 à 5%
CPJ-CEM II/B		65 à 79%	-de 21 à 35% avec les mêmes restrictions que ci- dessus .	0 à 5%

CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fourneau	35 à 64%	-36 à 64 % de laitier de haut fourneau .	0 à 5%
CHF-CEM III/B		20 à 34%	- 66 à 80 % de laitier de haut –fourneau.	0 à 5%
CLK-CEM III/C		5 à 19%	-81 à 95 % de laitier de haut fourneau	0 à 5%
CPZ – CEM IV/A	Ciment Pouzzolaniques	65 à 90%	-10 à 35% de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10%	0 à 5%
CPZ - CEM IV/B		45 à 64%	-36 à 55 % comme ci- dessus	0 à 5%
CLC - CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64%	-18 à 30 % de laitier de haut– fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes.	0 à 5%
CLC – CEM V/ B		20 à 39%	-31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci – dessus	0 à 5%

5.1 Utilisations des ciments

CIMENT	Usages
CEMI	<p>Béton armé en général coulé sur place ou préfabriqué.</p> <p>Béton précontraint. Décoffrage rapide, mise en service rapide</p> <p>Bétonnage jusqu'à une température extérieure entre 5 et 10° C.</p> <p>Béton étuvé ou auto-étuvé.</p>
CEM II / A ou B	<p>Ces ciments sont les plus couramment utilisés</p> <p>CEM II/A ou B classe R : travaux nécessitant une résistance initiale élevée (décoffrage rapide par exemple).</p> <p>Béton en élévation, armé ou non, d'ouvrages courants.</p> <p>Fondations ou travaux souterrains en</p>

	<p>milieu non agressifs. Dallages, sols industriels. Maçonneries. Stabilisation des sols.</p>
<p>CEM III / A,B ou C CEM V / A ou B</p>	<p>Travaux souterrains en milieu agressifs (terrains gypseux, eaux d'égouts, eaux industrielles...).</p> <p>Ouvrages en milieux sulfatés : les ciments utilisés sont tous ES, ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates, en conformité à la norme NF P 15-319.</p> <p>Travaux à la mer : les ciments utilisés sont tous PM, ciments pour travaux à la mer, en conformité à la norme NF P 15-317.</p> <p>Bétons de masse. Travaux en béton armé ou non, hydrauliques et souterrains (fondations). Travaux nécessitant une faible chaleur d'hydratation. Stabilisation des sols.</p>

5.2 Ajouts cimentaire

Les ajouts cimentaires sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment, quelquefois également au béton. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des propriétés spécifiques. Les ajouts sont souvent meilleur marché que le ciment Portland et permettent d'obtenir un ciment composé plus économique (voir la figure 3.5).



Figure 3 : Ajouts cimentaire

5.2.1 Avantages des ajouts cimentaires

- **Avantages fonctionnels**

- Amélioration de la maniabilité et la réduction de la demande en eau;
- Diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton;
- Amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton;

- **Avantages économiques**

- Le coût des ajouts minéraux des sous-produits industriels est souvent égal au coût du transport et de la manipulation;
- Réduction de la consommation d'énergie, ce qui réduit le prix du ciment.

- **Avantages écologiques**

- Diminution de l'émission du CO₂ dégagée par l'industrie cimentaire.
- Elimination des sous-produits de la nature.

5.2.2 Classification des ajouts cimentaires

Selon la norme **ENV 206**, il existe deux types d'addition:

- a- **Les additions de type I:** Ce sont des matériaux quasiment inertes, spécialement sélectionnées qui, par leur composition granulométrique, améliorent les propriétés physiques du ciment portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau...). Parmi ces additifs on distingue le calcaire et la poussière;
- **Fillers :** les fillers sont des produits obtenus par broyage de certaines roches (calcaires, Basaltes, laitiers, Bentonites, ...). Ces produits agissent grâce à une granulométrie appropriée sur certaines qualités du ciment. Les roches dures, comme le quartz, produisent généralement des particules plus anguleuses, dont la demande en eau est supérieure à celle demandée par les fillers calcaires. Les fillers présentent une certaine activité physico-chimique. Ils jouent tout d'abord un rôle de nucléation vis-à-vis de l'hydratation du clinker. Cet effet n'est cependant notable qu'aux jeunes âges. A long terme, les fillers siliceux peuvent contribuer faiblement à une réaction pouzzolanique, alors qu'en présence d'aluminates, les fillers calcaires conduisent à une formation rapide de composés appelés carbo-aluminates, ayant un certain pouvoir liant.
- **Additions calcaire :** le calcaire (CaCO₃) appartient aux roches carbonatées riches en chaux (CaO). Il est contenu dans la calcite, l'aragonite ou la marne. Le calcaire constitue une matière première pour la fabrication du ciment. Des études ont montré certains avantages de l'utilisation du calcaire comme ajout en remplacement du gypse (EL-Alfi, 2000). Les deux principales caractéristiques du calcaire normalisé sont :

- la teneur en carbonate de calcium (CaCO_3) supérieure ou égale à 75 % en masse ;
- une valeur faible de l'indice d'activité.

b- Les additions de type II: Ce sont des matériaux finement broyés pouzzolanique. Ils ont une teneur élevée en dioxyde de silicium seul ou, en dioxyde de silicium et oxyde d'aluminium combinés. Parmi ces additifs on distingue la fumée de silice, le laitier, les cendres volantes et les pouzzolanes naturelles.

- **Pouzzolane naturelle**

Les pouzzolanes naturelles sont des produits d'origine volcanique, présentant des propriétés pouzzolanique, elles sont essentiellement composées de silice réactive (dans des proportions supérieures à 25%), d'alumine et oxyde de fer.

- **Laitier de haut fourneau**

Le laitier, sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidir par aspersion d'eau, est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium (CaO) dans des proportions de l'ordre de 40 à 50%, de la silice entre 25 et 30%, de l'alumine entre 12 et 30% et d'autres oxydes en très faibles quantités.

- **Cendre volante**

Les cendres volantes, produits pulvérulents de grande finesse, provienne du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques, du point de vue minéralogique, les cendres volantes se divisent en deux catégories qui diffèrent l'une de l'autre par leur teneur en CaO , selon la norme ASTM C 618-94 (1995):

- Classe F : les cendres volantes contenant moins de 10 % de CaO produit de la combustion de l'antracite et du charbon bitumineux ;
- Classe C : les cendres volantes contenant entre 15 % et 35 % de CaO produit de la combustion du lignite ;

- **Les fumées de silice**

Les fumées de silice sont formées de particules sphériques très fines (100 fois plus petites que les grains de ciment), ayant une très haute teneur en silice amorphe (au moins 85% de silice réactive). Leur très grande finesse ($20 \text{ m}^2/\text{g}$) provoque, dans le béton frais, une agglomération importante, ou l'utilisation des super plastifiants est impératif pour dé flocler cette agglomération. On restaure ainsi une partie de la finesse originelle des

particules, qui ont alors la capacité de se déplacer dans les interstices des grains de ciment, diminuant la demande en eau du mélange (effet filler) lors de l'hydratation, le processus Pouzzolanique prend place, avec une intensité et une cinétique très grande à celle que l'on rencontre en présence des cendres volantes. La proportion de fumée de silice dans le ciment est limitée à 10 % en masse, selon NA 442 et EN 197-1.

- Métakaolin

le méta kaolin est obtenu par calcination d'argile kaolinitique à une température comprise entre 650 et 850 °C, suivie d'un broyage permettant d'atteindre une finesse très élevée. La formation du métakaolin est sensiblement influencée, par la présence d'impuretés ou par l'état de cristallisation du minéral de départ. Le matériau obtenu présente une pouzzolanité élevée et peut être considéré comme une addition très active.

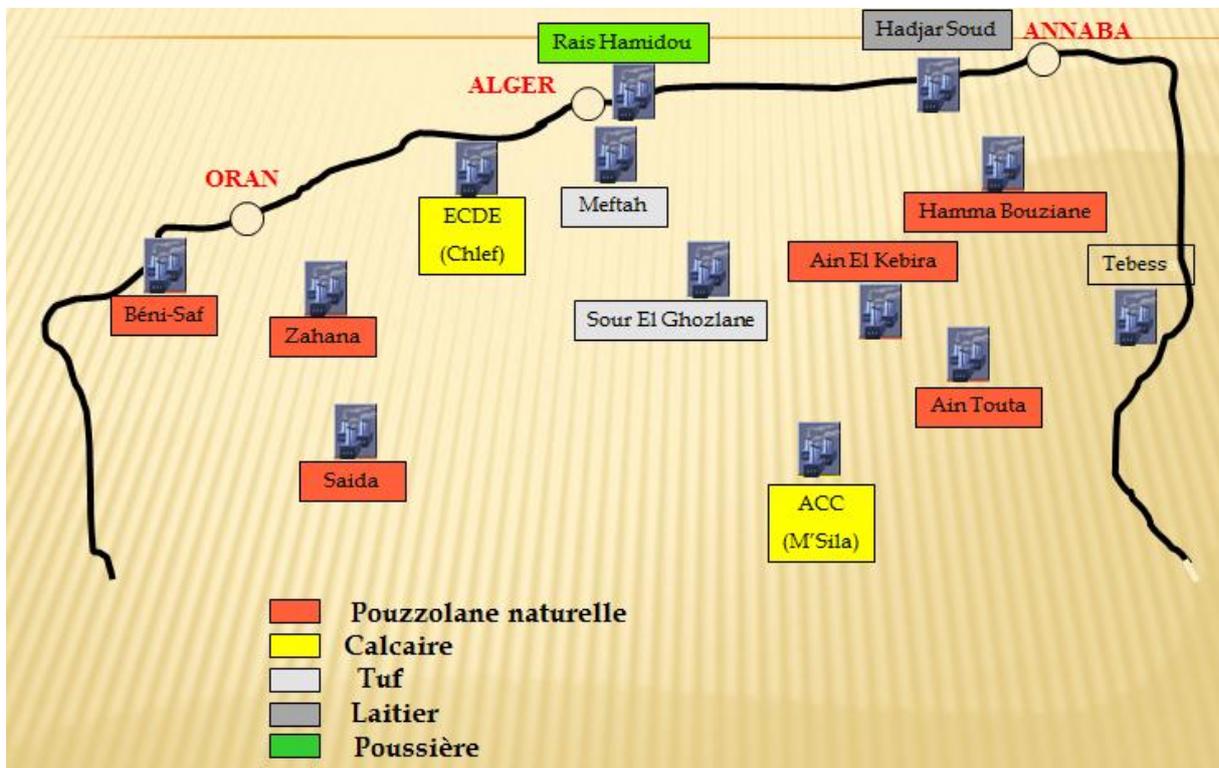


Figure 4 : implantation des cimenteries en Algérie

6. Eau de gâchage

Seule l'eau potable peut être reconnue pour la fabrication du béton.

L'eau de mer est interdite pour les bétons armés et précontraints.

Toutes les eaux usées, de rejets industriels, de ruissellements doivent faire l'objet d'un contrôle selon la norme NF.

La teneur en chlorure dans l'eau ne doit jamais excéder 500 mg/litre

Les sels de divers nature (NaCl-CaCl₂...) leur action sont corrosive sur les armatures, et qui provoque en outre une accélération du phénomène de prise, la quantité de chlorure dans l'eau doit être ajoutée aux autres possibilités d'introduction de chlorure dans le béton (chlorure des adjuvants, de certain sable d'origine marine) pour rester dans les valeurs limites.

Son rôle :

- Permettre l'hydratation de la pâte de ciment
- Mouiller la surface des granulats pour que la pâte de ciment puisse y adhérer.
- Favoriser la maniabilité du béton (essai slump-test, par exemple).
- Un rapport important dans la formulation Le rapport : Eau/ciment influent sur la :-
résistance- porosité- retrait

Exemple : E/C=0.6 à évité

E/C=0.5 béton courant

E/C=0.3 BHP OU BUHP

7. Les Adjuvants

7.1 Généralités

L'adjuvant est un produit incorporé au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse du poids de ciment du béton, pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et / ou à l'état durci. Chaque adjuvant est défini par une fonction principale et une seule. Un adjuvant peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires.

7.2 Les Catégories d'adjuvants suivant la Norme NF EN 934-2

Adjuvants modificateurs de la rhéologie du béton

- Plastifiants-Réducteurs d'eau
- Superplastifiants - Haut réducteurs d'eau

Adjuvants modificateurs de prise et de durcissement du béton

- Accélérateurs de prise
- Accélérateurs de durcissement
- Retardateurs de prise

Autres catégories normalisées d'adjuvants

- Hydrofuges de masse
- Entraîneurs d'air

7.2.1 Plastifiants Réducteurs d'eau

Adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent l'affaissement / l'étalement, ou qui produisent les deux effets à la fois.

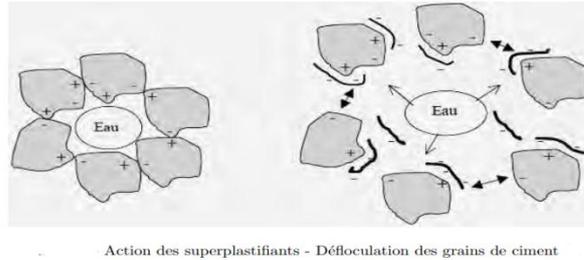


Figure 5 : effet du plastifiant sur les grains de ciment

Effets sur le béton frais

- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Maintien dans le temps.
- Diminution du ressuage.
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.
- Réduction du retrait hydraulique.

Effets sur le béton durci

- Amélioration des performances mécaniques à court et à long terme.
- Diminution de la porosité.
- Augmentation de la durabilité.
- Amélioration de la cohésion ciment/granulats.
- Amélioration de l'adhérence acier/béton.

7.2.2 Superplastifiants Haut réducteurs d'eau

Adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton donné, ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent considérablement l'affaissement / l'étalement, ou qui produisent les deux effets à la fois.

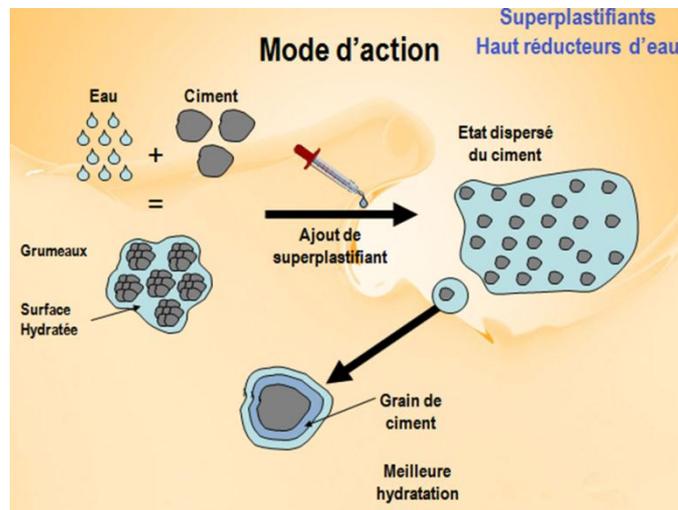


Figure 6 : superplastifiant haut réducteurs d'eau

Effets sur le béton frais

- Diminution de la teneur en eau.
- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 2h30 – 3h00 à 20°C).
- Diminution du ressuage.
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.
- Réduction du retrait hydraulique.

Effets sur le béton durci

- Amélioration des résistances mécaniques à court et long terme.
- Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C et à l'augmentation du rapport Granulat/Ciment).
- Amélioration de la compacité.
- Amélioration de la liaison béton / acier.
- Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment.
- Diminution du coefficient de la perméabilité.

7.2.3 Accélérateurs de prise

Adjuvants qui diminuent le temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide.

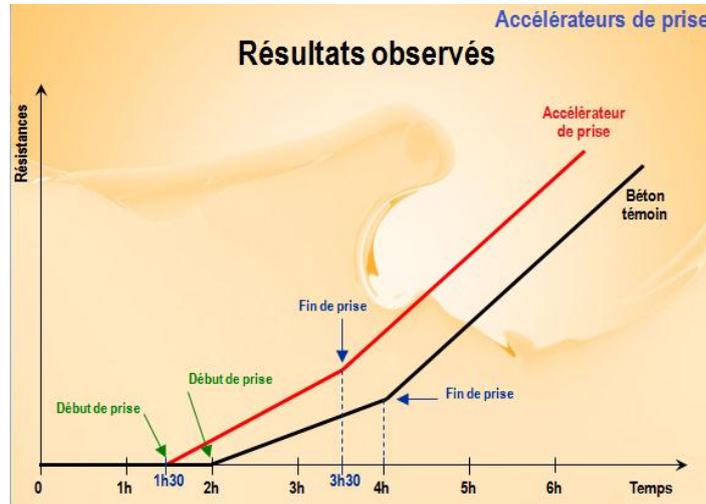


Figure 7 : Accélérateur de prise

7.2.4 Accélérateurs de durcissement

Adjuvants qui augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise.

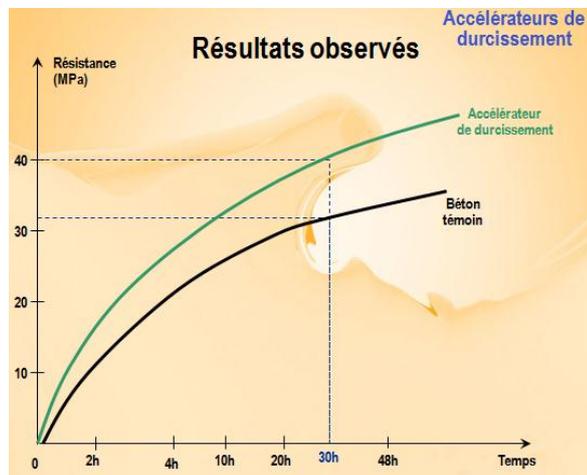


Figure 8 : Accélérateur de durcissement

7.2.5 Retardateurs de prise

Adjuvants qui augmentent le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide.

Ils régulent le dégagement de chaleur due à l'hydratation du ciment.

Le retard de prise favorise le transport du béton sur de longues distances et la reprise de bétonnage.

La diminution de la chaleur d'hydratation favorise le bétonnage en grande masse.

7.2.6 Hydrofuges de masse

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

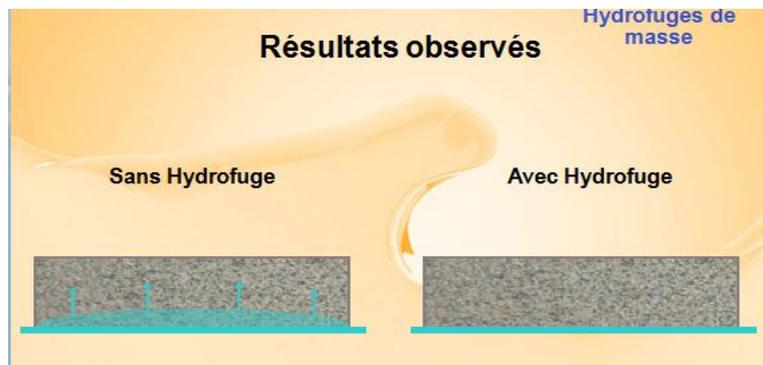


Figure 9 : Hydrofuges de masse

7.2.7 Entraîneurs d'air

Adjuvants qui permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraîné uniformément réparties et qui subsistent après durcissement.