



Introduction générale

Introduction Général

Introduction général

On appelle **Béton à Hautes Performances (BHP)** les bétons hydrauliques ordinaires (Sable + Eau + Gravier + Ciment) auxquels on ajoute des adjuvants (fluidifiant et éventuellement des ultra fines) pour augmenter leur performance, dont la résistance, qui doit dépasser les 60 MPa à 28 jours [01]. Cependant, la résistance à la compression élevée n'est pas la seule et la principale propriété des BHP, car plusieurs autres propriétés se trouvent améliorées, telles que la très faible perméabilité donc une durabilité accrue.

Les Bétons à Hautes Performances (BHP) ont d'abord été utilisés pour leur haute résistance. Cette caractéristique facilement mesurable a fait des progrès spectaculaires à partir des années quatre-vingt.

Elle est passée de 30/35 MPa à plus de 100 MPa pour les bétons à très hautes performances, voire plus

(150 à 200 MPa pour des bétons fibrés à ultra hautes performances, BFUP).

Les gains de résistance ne sont pas les seuls avantages de ces bétons qui tirent leurs propriétés de leur microstructure très dense, d'une forte réduction de leur porosité et d'un réseau capillaire non

Connecté. Ces bétons sont, en fait, des matériaux à très haute compacité.

Les BHP sont également, du fait de leur porosité extrêmement réduite, plus résistants aux agents agressifs et, de façon générale, présentent une durabilité accrue. Ils permettent d'optimiser les structures, de réaliser des ouvrages soumis à des contraintes élevées ou subissant un environnement sévère (climat, agressions marines, effets du gel, attaques acides, etc.)

Hautes performances signifient aussi facilité de mise en œuvre et souplesse d'adaptation aux contraintes d'exécution des ouvrages. En effet, les BHP offrent aussi des résistances exceptionnelles à l'état frais (rhéologie, pompabilité, etc.) et des performances aux jeunes âges, ce qui permet par exemple d'accélérer les cadences de fabrication en usine ou sur chantier ou de pomper le matériau sur de longues distances. Ils confèrent une pérennité architecturale aux ouvrages et augmentent considérablement leur durabilité en réduisant corrélativement les frais de maintenance et d'entretien. Les clefs de ces performances sont :

- la réduction de la quantité d'eau opérée par l'ajout de superplastifiants ;
- l'optimisation de la répartition granulométrique des composants. Cette optimisation de leurs performances est due, en particulier, aux récentes évolutions technologiques des adjuvants qui permettent des formulations avec une forte réduction du dosage en eau tout en conservant une maniabilité adéquate et à l'utilisation complémentaire éventuelle d'ultra fines qui complètent les vides du squelette granulaire entre les grains de ciment et améliorent la compacité. Les BHP ont été d'abord employés pour la réalisation de structures exceptionnelles. Les ouvrages d'art ont constitué, historiquement en France, un domaine d'application privilégié des BHP. Ils ont ensuite, pour les ouvrages exceptionnels, fait leurs preuves sur de nombreuses réalisations. Ils sont utilisés depuis de nombreuses années en préfabrication.



Chapitre 1

Généralité sur le BHP

Chapitre I : généralité sur le BHP

I. 1. Généralités

Le BHP n'est pas un matériau révolutionnaire car il contient exactement les mêmes constituants que des bétons classiques. On considère aujourd'hui que des BHP sont des bétons dont la résistance est supérieure à 80 MPa. De plus, ces bétons sont très durables car très faiblement perméables.

Les BHP contiennent les matériaux suivants :

- ciment CEM I à un dosage important (450 à 550 kg/m³),
- de la fumée de silice (généralement entre 5 à 15% de la masse totale de liant),
- parfois d'autres additions minérales (cendres volantes ou des laitiers HF granulés broyés),
- toujours du superplastifiant (5 à 15 litres/m³ selon sa nature et son extrait sec).

Un tel dosage en superplastifiant permet de réduire considérablement la quantité d'eau du béton : celle-ci peut varier de 45 à 75 l/m³.

⇒ Principale différence avec les bétons traditionnels : faible rapport E/C (toujours inférieur à 0.35, quelquefois ne dépassant 0.25, très occasionnellement 0.20).

Bien que des granulats ordinaires soient utilisés dans des BHP, la résistance propre des granulats peut être critique. Le critère de résistance d'un granulats est valable lorsqu'une résistance à long terme du béton est nécessaire.[1]

Durant les dernières décennies, les chercheurs ont élaboré plusieurs travaux scientifiques dans la perspective d'améliorer les propriétés constructives du béton frais et durci. La vulnérabilité du béton à la pénétration des agents agressifs est en relation directe avec sa porosité, il est donc nécessaire d'explorer des voies visant à optimiser cette porosité afin d'offrir au béton une meilleure performance. D'une part, on vise à réduire l'eau aux quantités indispensables à l'hydratation du ciment par l'emploi d'un super plastifiant, et d'autre part, on remplace une certaine quantité de ciment par des matériaux cimentaires tels que la fumée de silice, les cendres volantes ou les laitiers des hauts fourneaux. L'ajout de tels matériaux permet d'accomplir deux fonctions : l'une physique et l'autre chimique. La première fonction assure le remplissage des micros vides, de l'empilement des grains de ciment tout en améliorant la compacité du mélange. La deuxième fonction (fonction chimique) est la fixation de la portlandite produite lors de l'hydratation du ciment, pour former un composant de silicate de calcium hydraté plus dense et plus résistant que celui des bétons ordinaires.

Durant les années 70, on a vu apparaître aux Etats-Unis des bétons ayant des résistances à la compression comprise entre 50 et 60 MPa utilisés pour construire les colonnes des gratte-ciels.

Ces bétons étaient fabriqués en sélectionnant avec soin les ingrédients entrant dans la composition du béton, en le réduisant d'eau utilisée et en remplaçant une certaine quantité de ciment portland par une cendre volante performante [2]

L'appellation béton à hautes performances s'applique aux bétons dont la résistance caractéristique à la compression à 28 jours (f_{c28}) est supérieure à 60 MPa. Néanmoins la résistance à la compression élevée n'est pas la seule et la principale propriété des bétons à

hautes performances, car plusieurs autres propriétés se trouvent améliorées, telles que la très faible perméabilité donc une durabilité accrue.

I.1.1. La durabilité des BHP

Le béton à haute performance a une très faible perméabilité car la pâte de ciment hydratée d'un BHP présente une structure particulièrement dense avec une discontinuité du réseau capillaire.

RAG : les BHP contenant de la fumée de silice peuvent être considérés comme particulièrement résistants en raison de leur très faible perméabilité (qui limite la mobilité des ions) et leur très faible teneur en eau.

Cycles de gel-dégel : plusieurs aspects du béton à haute performance doivent être considérés.

Premièrement, la structure de la pâte de ciment est telle que très peu d'eau gelable y est présente.

Deuxièmement, l'entraînement d'air pose des problèmes dans les BHP : d'abord, il est très difficile à un rapport eau / ciment très faible et, ensuite, l'air entraîné diminue la résistance du BHP.

Résistance à l'abrasion : très bonne, non seulement en raison de la grande résistance du béton, mais aussi de la bonne adhérence entre les gros granulats et la matrice cimentaire, ce qui préserve la surface du béton d'une usure différentielle.

Résistance au feu : le BHP a une moins bonne résistance au feu que les bétons usuels parce que sa très faible perméabilité ne permet pas la sortie de la vapeur provenant de l'eau de la pâte de ciment hydratée.[3]

I.2. Les constituants

I.2.1. le ciment

Les ciments classiques utilisés dans la construction sont composés principalement de Clinker (mélange de calcaire et d'argile broyé et chauffé à 1750°C), de gypse, et de divers ajouts utilisés pour donner des caractéristiques particulières aux bétons. Tous les ciments ne sont pas adaptés pour la réalisation d'un Béton à Très Hautes Performances. Le choix est complexe ; il fait intervenir les aspects rhéologique et mécanique.

Nous allons détailler, dans un premier temps, la composition chimique d'un ciment portland classique, puis les réactions chimiques provoquées par l'ajout d'eau lors de la prise du ciment.

Enfin nous analyserons les répercussions macroscopiques de cette prise sur la structure [4]

L'obtention de bonnes résistances mécaniques dépend de la finesse de mouture du clinker. On augmente ainsi la proportion d'hydrates dans le ciment durci. La finesse du ciment confère au béton une résistance précoce. La surface spécifique Blaine doit être de l'ordre de 3 500 à 4 000 cm²/g. Cependant, l'augmentation de cette surface conduit à l'obtention d'un ciment à très forte teneur en fines donc à forte chaleur d'hydratation et par suite il y a risque de prise instantanée.

I.2.1.1 Produits de l'hydratation du ciment

Ce paragraphe présente les principaux composés produits par l'hydratation du ciment les plus importants vis à vis de la microstructure et des propriétés mécaniques du béton.

L'hydratation des composés bi et tricalciques donne le gel tobermoritique et la portlandite.

Le gel tobermoritique est un composé appartenant à la famille des silicates de calcium hydratés $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (ou C-S-H).

Comportement mécanique des BTHP sous sollicitations multiaxiales

Ce composé représente environ 50 à 70% du volume de la pâte de ciment hydratée. C'est de lui dont dépendent les caractéristiques mécaniques du matériau.

La portlandite (Ca(OH)_2) n'a pas un rôle primordial en ce qui concerne la résistance mécanique ; elle n'a d'influence que sur la durabilité. Elle cristallise en plaquettes hexagonales empilées entre les grains de ciments. On la retrouve en forte quantité dans l'auréole de transition ou en bordure de bulles d'air.

L'hydratation du C3A en présence de gypse forme de l'Ettringite primaire, ce composé joue le rôle de régulateur de l'hydratation du C3A en évitant la précipitation des aluminates[4]

I.2.2. Les granulats

Les granulats occupent environ 70 % du volume du matériau et, à ce titre interviennent directement sur les propriétés du béton à l'état frais comme à l'état durci. Ils semblent même plus sollicités dans les BHP que dans les bétons classiques [5]. D'une manière générale, les qualités demandées aux granulats pour l'obtention des BHP concernent essentiellement la forme et l'état de surface, la porosité, la granularité, les propriétés mécaniques et la nature minéralogique.

I.2.3. Porosité

Les caractéristiques mécaniques sont intimement liées à la microstructure. De nombreuses études ont mis en évidence le lien entre les paramètres mécaniques (résistance, rigidité) et la porosité du matériau.

La porosité volumique, la forme et les dimensions des pores sont des indicateurs pertinents des performances mécaniques des bétons. Ils caractérisent la compacité du matériau et donc les capacités mécaniques qui en découlent.

La porosité des mortiers et des bétons est caractérisée en trois familles de pores :

Macropores : (rayon de l'ordre du millimètre) principalement due à l'air occlus pendant le malaxage

Pores capillaires : (rayon de l'ordre du micromètre), cette taille de pore correspond aux vides dans la structure cristalline. Elle est fonction du dosage en eau.

Pores relatifs aux hydrates : (rayon de l'ordre du nanomètre); il s'agit de la caractéristique intrinsèque des hydrates formés.[6]

I.2.4. Nature minéralogique

Elle est caractérisée par la résistance mécanique des grains, la texture (la rugosité de surface) et la possibilité des réactions à l'interface granulat – pâte de ciment.

Les granulats présentant des risques de réactions alcali – granulat sont à proscrire car ces réactions détruisent l'étanchéité des enceintes et la stabilité à long terme des ouvrages [7].

La présence des poussières ou d'argile sur les granulats réduit l'adhérence et exige une augmentation de la teneur en eau entraînant une chute des résistances.

I.3..Caractéristiques des BHP

I.3.1.caractéristique physique

Ce facteur primordial peut varier comme pour les bétons classiques et l'on obtient facilement des affaissements au cône d'Abrams appelés slumps de 15 à 18 cm, mais il faut impérativement étudier :

- ❖ les granulats (module de finesse du sable);
- ❖ le choix du ciment et du superplastifiant;
- ❖ les dosages de ces différents matériaux, de la fumée de silice et de l'eau pour la plasticité désirée, en fonction des plus ou moins grandes difficultés de mise en œuvre dans les coffrages et l'embarras des armatures;
- ❖ la plasticité désirée qui doit être garantie au moins une heure après le malaxage pour tenir compte des délais inévitables de transport et de mise en œuvre.

L'ouvrabilité du béton dépend de plusieurs facteurs :

- ❖ type et quantité de ciment.
- ❖ type et quantité des able.
- ❖ teneur en eau.
- ❖ aspect et grosseur des agrégats.

La fluidité du mélange de béton croît avec l'augmentation de la quantité d'eau. Le mortier de ciment, non seulement remplit les vides et enrobe les grains des agrégats, mais les écarte également les uns des autres, en créant entre eux des couches abondantes qui diminuent le frottement entre les grains : ceci augmente la fluidité.

Si les agrégats sont plus gros, la surface spécifique est en général moindre, par conséquent, pour une même quantité de mortier de ciment, les couches intermédiaires entre les grains des agrégats se trouvent plus épaisses ce qui rend le mélange de béton plus fluide. L'augmentation de la quantité de sable au-dessus de la quantité optimale, diminue la fluidité de la pâte par suite de l'accroissement de la surface totale des agrégats. La forme des grains influe sur la fluidité, si la surface des grains est arrondie et lisse, la surface de contact et le frottement entre eux seront plus petits donc le mélange plus fluide que le mélange formé avec des granulats concassés

[8]

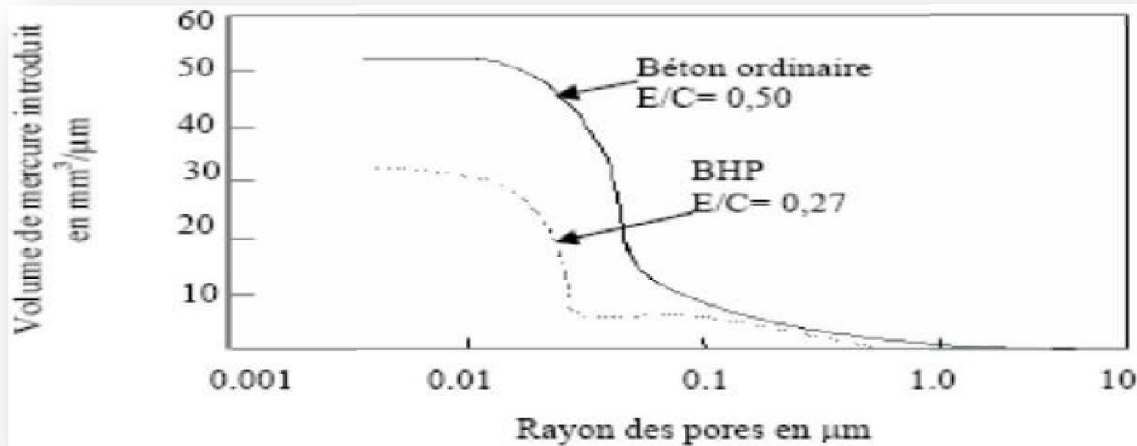


Figure I. 1 : Porosité des bétons ordinaires et des BHP [13].

Tant que les granulats et particulièrement les plus gros, sont suffisamment résistants, au fur et à mesure que la porosité de la pâte de ciment décroît, la résistance du béton augmente. Ainsi, la sélection et la composition des ingrédients d'un BHP sont beaucoup plus critiques que dans le cas des bétons usuels [9].

I.3.1.2.Perméabilité

La perméabilité est caractérisée par la valeur de débit de transport des fluides et des gaz (eau, chlorure, sulfates, oxygène...) à travers des pores capillaires et des fissures du béton.

A cause de leur très grande compacité, les BHP ne sont que très peu perméables. On peut s'en rendre compte lorsqu'on brise des échantillons de béton conservés pendant un an dans l'eau, on constate que le cœur de l'éprouvette est absolument sec.

Cette imperméabilité peut s'expliquer aussi par la présence de très nombreuses particules de ciment non hydratées qui arrivent à stopper la progression de l'eau vers l'intérieur du béton tout en le rendant encore plus imperméable. Des mesures allemandes de perméabilité de mortier conduisent à des valeurs comprises entre 0,64 10^{-12} m/s pour $E/C = 0,40$ et à 440 10^{-12} m/s pour $E/C = 0,75$. Ces résultats confirment des essais américains anciens qui montraient que la perméabilité d'un béton était réduite d'un facteur égal à 1000 lorsque le rapport E/C passait de 0,80 à 0,40 [10].

La perméabilité d'un béton à faible rapport E/C est donc appréciée par la mesure du débit d'air ou d'autre gaz (oxygène, oxyde de carbone) et par celui des ions chlore transitant dans le béton sous l'effet d'un gradient de pression ou de courant.

La microstructure de la pâte de ciment hydraté du béton de 20 MPa est très ouverte et l'on peut y voir des pores, de grands cristaux d'ettringite et de portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ avec de plus petites aiguilles de silicate de calcium hydraté.

Il est possible de voir que la zone de transition entre la pâte de ciment et les granulats est très poreuse dans le cas du béton usuel. A l'inverse, il est impossible de discerner les moindres cristaux dans la microstructure du BHP qui a un rapport eau/liant de 0,25 ; la pâte de ciment

hydraté a un aspect amorphe et est très compacte.

Cette différence de microstructure des BHP a deux conséquences très importantes du point de vue résistance à la compression et du point de vue perméabilité : la résistance à la compression d'un BHP augmente au fur et à mesure que le rapport eau/liant diminue et la perméabilité d'un BHP est considérablement plus faible, pratiquement impossible à mesurer selon Torrent et Jornet [11] sauf si l'on recourt à la mesure de la « perméabilité » dite aux ions chlore selon la norme ASTM C [12].

Un béton qui a un rapport eau/liant de 0,45 a une « perméabilité aux ions chlore » qui varie entre 3 000 et 5 000 coulombs, alors qu'elle n'est que de 100 à 500 coulombs pour un BHP qui contient de la fumée de silice et qui a un rapport eau/liant inférieur à 0,25. Cette très faible « perméabilité aux ions chlore » des BHP indique qu'il existe encore un réseau de capillaires très fins interconnectés, mais que ces capillaires sont suffisamment fins pour que l'eau ne s'y écoule pas d'elle-même.

I.3.2. Caractéristiques mécaniques

On sait très bien que la formation des silicates de calcium hydratés créés durant l'hydratation des silicates di et tricalciques soit essentiellement responsable des gains de résistance de béton.

Les phénomènes complexes liés à l'hydratation du ciment (mouvements thermiques ou retrait) provoquent la création des défauts. Dans le cas des bétons classiques, ces défauts sont particulièrement localisés dans l'auréole de transition.

Dans les BHP cette zone est inexistante [19] et, les défauts prennent naissance dans la matrice, siège des phénomènes d'hydratation. C'est à partir de ces défauts (microfissures, microcavités ...) que vont se développer les micro ruptures lors des sollicitations mécaniques..

I.4. Autres propriétés des BHP :

Fluage : les BHP présentent un fluage (déformation différée sous chargement permanent) plus faible que les bétons traditionnels.

Tenue aux attaques gel/ dégel : les BHP correctement formés résistent aux cycles gel /dégel grâce à leur forte compacité et à leur résistance mécanique élevée.

Carbonatation : de nombreuses études ont démontré que la durabilité des BHP vis-à-vis de la carbonatation est très nettement supérieure à celle d'un béton traditionnelle

I.4.1. Résistance en compression

En compression le comportement présente une non linéarité plus marquée qu'en traction. Après une phase linéaire Jusqu'à 30-40% de la contrainte au pic crée) au cours de laquelle le comportement est réversible, le développement de la méso fissuration dans l'interface pâte/granat provoque l'apparition d'un non linéarité du comportement jusqu'à 90% de crée a 90% de crée il y a modification du mode de propagation de la fissuration. La fissuration se propage de l'interface dans la pâte de ciment, cette propagation a un caractère orienté. Les fissures se propagent alors parallèlement à l'axe de chargement. Cette phase se caractérise par une augmentation du volume de l'échantillon et une anisotropie induite.

Ce mode d'endommagement est dit transmis par opposition à l'endommagement direct en traction. Les mécanismes de propagation de fissure en compression sont extrêmement complexes, et ne peuvent s'expliquer totalement par l'ouverture des fissures par effet Poisson, ou la différence de rigidité entre les deux composants principaux du matériau : la pâte et la matrice. Les mécanismes de propagation de fissures font intervenir des efforts de frottement sur les lèvres des microfissures, les modes de propagation sont appelés modes mixtes I et II. Ce frottement explique aussi le gain de résistance en compression bi axiale.

Au cours de la partie post pic on observe le phénomène d'adoucissement du matériau (diminution de la contrainte axiale, augmentation de la déformation et du volume). C'est un phénomène très complexe. La complexité de ce phénomène réside dans le fait qu'il est fonction de la structure étudiée. En effet, la technique de la stéréophotogrammétrie appliquée au béton a montré que le pic d'effort est une conséquence de la localisation des déformations. Après cette localisation, le champ des déplacements n'est plus homogène, dans la partie Post-Pic nous sommes donc en présence d'un comportement de structure [14]

Une explication de cette augmentation de la résistance est due au rôle accélérateur de la fumée de silice, selon la nouvelle loi de Féret [15].

Où : - f_{c28} est la résistance moyenne en compression du béton à 28 jours.

- ❖ E, C et S sont le poids respectif d'eau, du ciment et de fumée de silice par mètre cube de béton.
- ❖ kg est un paramètre qui dépend de la qualité des granulats (pour des granulats courants $K_g = 4,91$).

Résistances à la compression simple et module d'élasticité des bétons (Confectionnés avec différents types de granulats) et des mortiers, en fonction du rapport E/L [15]

Tableau I.1 : Présente quelques résultats d'essais de compression

Rapport E/L		Résistance à la compression (MPa)			Module d'élasticité (GPa)		
		0,50	0,27	0,22	0,50	0,27	0,22
Béton de calcaire	28j	56,2	92,1	117,2	33	42	48
	90j	69,4	111,2	126,5	36	44	52
Béton de granite	28j	59,5	100,3	127,4	32	42	45
	90j	64,1	118,3	134,5	34	43	47
Béton de quartz	28j	53,4	93,4	103,3	33	45	42
	90j	58,5	113,4	118,6	34	47	52
Béton de grès	28j	57,2	113,3	118,6	21	30	31
	90j	64,7	127,6	121,2	22	31	35
Mortier	28j	45,1	88,6	104,6	30	39	42

I.5. Domaine d'utilisation de BHP

Le béton haute résistance (BHP), qui à une grande durabilité, assure un niveau élevé de performance structurale, par rapport au béton à résistance normale (BRN) utilisé traditionnellement. Auparavant employé pour les ponts, les constructions en mer et les infrastructures, il est de plus en plus utilisé dans les immeubles de grande hauteur, en particulier pour les poteaux. Sa plus grande résistance à la compression permet de réaliser des poteaux de diamètre réduit, ce qui diminue l'encombrement. [16]

I.6. Avantages des BHP

Le béton à hautes performances apporte en outre des avantages multiples par rapport au béton ordinaire. Parmi les avantages du BHP :

- ❖ La maniabilité est accrue sans risque de ségrégation lors de la mise en œuvre.
- ❖ La durabilité des structures est améliorée par la forte compacité du béton avec une perméabilité à l'air et à l'eau réduite, une résistance aux agressions, et une meilleure résistance à l'alcali-réaction, une plus grande résistance à l'abrasion, une meilleure tenue aux cycles degel/dégel.
- ❖ La conception des structures plus minces grâce à l'augmentation des caractéristiques mécaniques (compression, traction, module d'élasticité) tant au jeune âge qu'à terme, Cependant les propriétés améliorées des bétons à hautes performances ne peuvent être obtenues que grâce à plusieurs dispositions simultanées comme:
 - ❖ Les granulats qui doivent être de bonne qualité, la résistance du béton pouvant être limitée par celle des granulatseux-mêmes,
 - ❖ L'emploi d'adjuvants spécifiques, notamment des super plastifiants réducteurs d'eau ainsi que des ajouts minéraux tels que la cendre volante, le laitier du haut fourneau, la fumée de silice....etc.,
 - ❖ L'emploi de ciments de classe élevée à des dosages compris entre 400 et 550 kg/m³. L'utilisation du béton à hautes performances progresse constamment dans le domaine de construction et le nombre d'édifices en béton à hautes performances ne cesse d'augmenter car les concepteurs et les maîtres d'œuvre réalisent la valeur et la durabilité de ce béton.[17]

I.7. Les ajouts cimentaires

I.7.1.Rôle granulaire des ajouts cimentaires

Les ajouts cimentaires combler les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide en permettant la diminution de la quantité d'eau.

I.7.2.LAITIER

I.7.2.1.Le laitier de haut fourneau :

Le laitier est un sous-produit de la transformation du minerai de fer dans un haut fourneau en fer pur. Durant cette transformation, le laitier en fusion flotte sur la fonte en fusion et est granulé au cours d'un refroidissement rapide par trempe dans de l'eau ou par un procédé de pelletisation, pour produire un matériau vitreux s'apparentant à du sable et qui est caractérisé par une réactivité hydraulique. Ce matériau est ensuite broyé à une finesse de moins de 45 µm pour former du laitier granulé de haut fourneau (LGHF), également appelé ciment de laitier, ou est utilisé comme ingrédient dans la fabrication de ciments composés. En présence d'eau et d'un activateur, l'hydroxyde alcalin (du NaOH ou du KOH) ou du Ca(OH)₂, fourni par le ciment Portland, le laitier granulé s'hydrate et prend de la même manière que le ciment Portland, pour fournir une pâte plus dense, plus résistante et moins perméable que celle produite par la seule utilisation du ciment Portland. Le laitier présente des propriétés tant pouzzolaniques qu'hydrauliques.

I.7.2.2. Effet du laitier de haut fourneau

En général, le laitier s'hydrate de la même manière que les cendres volantes de la classe C. Cependant, son effet sur la résistance commence à se faire sentir à partir de 7 jours, tandis que les cendres de la classe F ne développent des résistances qu'à partir de 4 semaines. Les particules de laitier <10 µm contribuent à la résistance à jeune âge (jusqu'à 28 j), tandis que les particules entre 10 et 45 µm contribuent au développement des résistances ultérieures. Les particules > 45 µm ont de la difficulté à s'hydrater.[25]

I.7.3.La fumée de silice

La fumée de silice est un produit minéral amorphe obtenu essentiellement lors de la fabrication du silicium et de ses alliages.

Le silicium est obtenu par réduction du quartz en présence de carbone à 2 000 °C dans des fours à arc électrique. Les fumées contiennent du monoxyde gazeux (SiO) qui s'oxyde et se condense en particules vitrifiées amorphes extrêmement fines.

Ces particules sont lisses et sphériques (100 000 billes de fumées recouvrent entièrement un grain de ciment).

Leur couleur est le plus souvent gris clair.

I.8. Les adjuvants

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment portland, on a commencé les recherches sur l'incorporation de produit susceptible d'améliorer certaines propriétés. À partir de 1930 [19] les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés, ils seront suivis par les antigels et les produits de cure. Depuis 1960 [20], avec le développement du béton manufacturé et du béton prêt à l'emploi.

Le développement des normes d'adjuvants, à partir 1984 [21] à la mise en place d'une certification par la marque NF adjuvants, véritable label de qualité. Il faut enfin préciser que les adjuvants ont permis des progrès considérables en matière de bétons

I.8.1 Mécanismes d'action des adjuvant superplastifiants

Lorsque les molécules organiques des super plastifiants sont introduites dans une suspension d'un matériau cimentaire, une grande partie d'entre elles vient se fixer à la surface des particules de ciment (adsorption).

Ces dernières réduisent les forces attractives d'interactions inters particulaires, qui existe entre les atomes des différentes particules [22]

Les adjuvants super plastifiants, par leur effet physique modifiant les forces inter particulaires, peuvent intervenir dans les processus chimiques de l'hydratation et notamment de la nucléation et la croissance cristalline [23]

I.9. Domaines d'utilisation les adjuvants super plastifiants [24]

Les super plastifiants sont utilisés dans les cas suivants:

- Bétons à compacité, et donc durabilité.
- Bétons à haute performance.
- Bétons autoplacants.

Conclusion

Dans ce premier chapitre nous nous sommes attachés à présenter le béton à très hautes performances. En conclusion de ce chapitre nous pouvons faire une rapide synthèse de l'état de la microstructure et des caractéristiques de ces bétons.

La caractérisation des trois bétons étudiés dans ces travaux a montré que, conformément à la littérature, l'ajout de fumées de silice et l'ajout de super plastifiant permettaient une densification de la matrice et une diminution notable de la porosité. L'ajout de fumées de Silice permet également la création d'une porosité plus fine, en effet, nous avons noté une diminution du rayon poreux moyen de nos matrices et de nos bétons

Dans notre cas on a utilisé pour la confection de notre béton la fumée de silice, de ce fait on a expliqué les étapes de fabrications, les différents types et les avantages de la fumée de silice. La deuxième partie de ce chapitre a été consacré aux adjuvants. On a commencé par exposé les différents adjuvants connus avec leurs définitions, ensuite on a donné une classification des adjuvants selon leur efficacité, finalement on a expliqué le mécanisme d'action des différents adjuvants.

