

INTRODUCTION GENERALE

Le ciment est nécessaire à la fabrication du béton. Selon certaines études, la fabrication d'une tonne de ciment génère environ une tonne de CO₂ (la moitié vient de la calcination du CaCO₃ et l'autre moitié du combustible). Il est responsable d'environ 5 % des émissions de ce gaz sur la planète. Cette situation doit être prise au sérieux car le béton est appelé à jouer un rôle de plus en plus important dans le développement et le maintien de l'activité humaine (en 1997, selon CEM BUREAU la production du ciment a été de 1,6 billion tonnes, c'est-à-dire de 1m³ de béton par habitant où de 2,5tonnes de béton par habitant si on utilise 250 Kg de ciment pour 1m³ de béton).(Aitcin, 1999). Cette demande va rester en hausse pendant les prochaines années. (la demande de ciment en Algérie est estimée à 14 millions de tonnes annuellement, tandis que la production ne couvre que 10 à 11 millions de tonnes).

Face à cette demande, il est donc primordial de trouver différentes façons de baisser l'émission de CO₂.

L'industrie cimentière est un grand consommateur d'énergie ce qui également devient un sérieux problème. Elle a réussi avec différentes améliorations du procédé à abaisser la consommation d'énergie de 7GJ en 1970 à 5,5 GJ en 1991 par tonne de ciment. (Cahn et al, 1997).

Le recours aux ajouts minéraux est certainement la voie la plus prometteuse à suivre afin d'assurer un développement durable à l'industrie du béton.

L'utilisation des ajouts minéraux en remplacement du ciment est très importante car en plus des économies d'énergie et de la diminution de l'émission de CO₂, les ajouts minéraux améliorent les propriétés du béton frais et durci.

Le laitier du haut fourneau est l'ajout le plus connu et le plus fiable pour sa qualité. C'est un sous produit dans la production du fer dans les hauts fourneaux, présentant des caractéristiques et des propriétés que l'on a appris à connaître de mieux en mieux, et la voie a été ouverte à d'assez nombreuses utilisations.

Dans le monde, on dispose d'a peu près de 250 millions de tonnes par an de laitier du haut fourneau, cependant l'utilisation des ajouts minéraux n'est que d'environ 90 millions de tonnes (Bucchi, 1986), en Algérie la production du laitier par les hauts fourneaux d'Annaba

avoisine un demi million de tonnes (avec un taux de granulation de 50 %), le reste est refroidi lentement à l'air en se cristallisant.

En Algérie, l'utilisation du laitier granulé en cimenterie comme ajout ne dépasse pas 20 % (en remplacement du ciment portland). Le reste du laitier s'entasse en crassier, occupant des surfaces immenses de terres fertiles, sans considérables applications ; une telle production du laitier (granulé ou cristallisé) reflète d'immenses possibilités de son utilisation dans le domaine des matériaux de construction et des travaux routiers (comme ciment, granulats fins ou granulats grossiers), afin de protéger l'environnement des stocks grandissants des résidus industriels, et de ne pas épuiser les sources naturelles (matières premières pour la fabrication des ciments et les réserves des granulats). Et enfin de réaliser le rêve de plus de la moitié de la population.

L'étude suivante s'inscrit dans le cadre de la valorisation du laitier d'El-hadjar de Annaba (le laitier granulé, et le laitier cristallisé) afin d'assurer un bon avenir des ciments et des bétons au laitier, dans ce but les sujets suivants sont étudiés :

1. L'utilisation du laitier granulé finement broyé, en guise de ciment sans clinker avec des accélérateurs de durcissement de laitier (les activants) pour la confection des bétons. Certains alcalis tels que les silicates de sodium et de potassium soluble ayant la forme chimique ($R_2O \text{ m } SiO_2$) sont avantageux, de même les alcalis caustiques de la forme (R-OH) et leurs sels sont efficaces, et présentant des coûts réduits.

2. L'utilisation du laitier cristallisé, concassé et classé suivant les mêmes classes granulaires que les granulats traditionnels en tant que squelette granulaire pour pouvoir établir des paramètres fonctionnels et de déterminer les propriétés physico-mécaniques correspondantes afin de choisir des compositions convenables pour les bétons lourds et ordinaires et améliorer certains critères de durabilité.

3. L'association du ciment au laitier activé à un squelette granulaire en laitier cristallisé, pour étudier la compatibilité entre ces deux composants en laitier du fait que les granulats ne sont pas réellement inertes, et leurs propriétés physiques, thermiques et dans certains cas, chimiques influencent les performances du béton.

En général, les sables et les graviers naturels alluvionnaires obtenus par criblage, ou parfois par concassage sont satisfaisants, de même les roches éruptives ou sédimentaires concassées.

Le recours à des granulats artificiels tel que le laitier cristallisé concassé, permet d'élargir la gamme des matériaux de construction, de formuler des bétons de densité réduite, présentant des propriétés mécaniques et physiques intéressantes.

Cette thèse est structurée en six chapitres.

La première partie (chapitre 1,2 et 3) est consacrée à une synthèse bibliographique.

Dans le premier chapitre on a évoqué le problème des déchets industriels, en donnant des stratégies pour les traiter ; la valorisation des déchets présente la solution la plus convenable. Dans ce même chapitre, on a présenté les sous produits : laitier granulé et laitier cristallisé, nous exposons les conditions de leur formation, et nous décrivons les différents processus industriels de refroidissement des coulées du laitier.

Et pour finir nous donnons leurs plusieurs utilisations dans les différents domaines (génie civil, travaux publics, ...).

Le deuxième chapitre traite le ciment au laitier activé : tout d'abord le laitier finement broyé comme ajout cimentaire utilisé pour la première fois en 1882 en Allemagne, et méritant aujourd'hui une place équivalente au ciment portland. Nous exposons ensuite, sa composition chimique, sa réactivité et les facteurs qui l'influence passant ensuite à l'activation du laitier, de la plus classique à la récente (activation alcaline).

L'hydratation du laitier est suivi sous différents angles : (chimique, physique et mécanique).

Vers la fin de ce chapitre, l'étude du béton à base du laitier activé (béton basique) s'avère très importante. Ces propriétés, et les aspects de sa durabilité sont étudiés soigneusement.

Nous présentons ensuite dans le troisième chapitre le squelette granulaire qui constitue le squelette du béton, en représentant les trois quarts de son volume, conditionnant à la fois ses caractéristiques et son coût, nous exposons les différentes classes de granulats, leurs composition minéralogique et leurs propriétés essentielles.

La deuxième partie (chapitre 4, 5 et 6) est une partie expérimentale consacrée au travail effectué.

Les principales caractéristiques chimiques et minéralogiques des divers matériaux que nous avons utilisés et les traitements que nous leurs avons fait subir sont présentés dans le détail dans le quatrième chapitre.

Le cinquième chapitre traite l'activation alcaline du ciment au laitier (sans clinker), à partir de l'étude des propriétés physiques de la pâte durcissante et ses propriétés mécaniques, l'étude du mortier normalisé complète ce chapitre.

Enfin, dans le sixième chapitre nous avons présenté l'influence des différents types de granulats (naturels et artificiels) sur le comportement du béton basique à l'état frais et durci notamment sa résistance et sa durabilité.