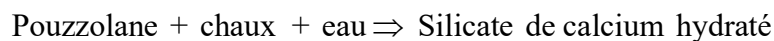


CHAPITRE 3 : Les ajouts minéraux

1. Introduction : Compte tenu de la pression sociétale croissante en faveur d'une gestion durable des déchets et d'une utilisation efficace des ressources, il est nécessaire d'utiliser et les matériaux cimentaires supplémentaires pour atteindre les objectifs de réduction de l'émission du CO₂ dans l'atmosphère et de limitation de la consommation des ressources naturelles. La recherche actuelle, dans l'industrie cimentière, est axée sur le développement de nouvelles matrices liantes, pouvant se substituer partiellement au clinker.

En Algérie, le laitier, les fillers de calcaires, les cendres volantes, la pouzzolane et d'autres minéraux active ou inertes semblent être des ajouts minéraux prometteurs pour résoudre les problèmes liés à la gestion des déchets, à la consommation de l'énergie, l'émission du CO₂ et au coût unitaire de production du ciment. Ce chapitre rapporte les différents ajouts minéraux, leurs caractéristiques ainsi que leurs utilisation à la fabrication des matériaux cimentaire.

La plupart des ajouts minéraux ont en commun de contenir une forme de silice vitreuse réactive qui, en présence d'eau, peut se combiner à la température libérée par l'hydratation du C₂S et du C₃S avec la chaux pour former un silicate de calcium hydraté du même type que celui qui est formé durant l'hydratation du ciment Portland. On peut écrire donc une réaction pouzzolanique de la façon simple suivante :



Il faut noter qu'à la température de la pièce, cette réaction est généralement lente et peut se développer sur plusieurs semaines. Cependant plus la pouzzolane est fine et vitreuse, plus sa réaction avec la chaux est rapide [4].

L'hydratation du ciment Portland libère une grande quantité de chaux par suite de la réaction d'hydratation du C₂S et du C₃S (30 % de la masse anhydre du ciment). Cette chaux contribue à la chute de résistance de la pâte de ciment hydratée. Elle peut même être responsable des problèmes de durabilité puisqu'elle peut être assez facilement lessivée par de l'eau, ce lessivage augmente alors la porosité de la pâte de ciment. Le seul aspect positif de la présence de chaux dans un béton est qu'elle maintient un pH élevé qui favorise la stabilité de la couche de l'oxyde de fer que l'on retrouve sur les armatures d'acier.

Quand on fabrique des bétons, si on utilise 20 à 30% de pouzzolane, théoriquement, on pourrait faire réagir toute la chaux produite par l'hydratation du ciment portland pour la transformer en C-S-H. Cependant, les conditions dans lesquelles on utilise le béton sont très différentes de cette situation idéale et la réaction pouzzolanique n'est jamais complète.

Ces matériaux étant des sous-produits industriels, leurs compositions chimiques sont en général moins bien définies que celle du ciment Portland [4]. On note ici qu'on peut fabriquer des bétons en utilisant seulement du ciment Portland. Cependant la substitution partielle d'une certaine quantité de ciment par un ou plusieurs ajouts minéraux lorsqu'ils sont disponibles à des prix compétitifs peut être avantageuse, non seulement du point de vue économique, mais aussi du point de vue résistance et durabilité.

2. Définitions des ajouts minéraux : Les ajouts cimentaires sont des matériaux minéraux que l'on mélange au ciment Portland afin d'améliorer les propriétés du mortier ou du béton grâce à une activité hydraulique et ou pouzzolanique. L'utilisation d'ajout cimentaire (calcaire) dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques.

a) Avantages techniques :

- L'incorporation des particules fines améliore la maniabilité et réduit la demande en eau (à l'exception des ajouts d'une grande finesse) ,
- Il y a une amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton,
- Il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton, ce qui diminue la fissuration d'origine thermique.
- Ils peuvent modifier la nature et la texture des hydrates formés.
- Prise et durcissement pour les ajouts qui interviennent dans le processus réactionnel du ciment avec l'eau.

b) Avantages économiques : la plupart des ajouts minéraux sont des sous-produits de différentes industries et leur coût est souvent égal au coût du transport et de la manipulation. Comme la production du ciment est un grand consommateur d'énergie, son remplacement par des ajouts minéraux réduit le prix du béton ou mortier pour le coût du combustible.

c) Intérêt Ecologique Et Environnementaux :

- Diminution de l'émission du CO₂ par l'industrie cimentière.
- Elimination des sous-produits de la nature.
- La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique.

En général l'utilisation de calcaire comme ajouts cimentaires ne demande pas un traitement à forte intensité d'énergie. Il convient donc de considérer tous les paramètres avant d'établir les avantages écologiques de l'ajout cimentaire calcaire sur le ciment

d) Les inconvénients d'utilisation des ajouts minéraux :

Retard de prise, résistance à la compression à jeune âge plus faible, mûrissement plus long
Résistance à l'écaillage controversée, le broyage et le transport plus cher.

3. LA CLASSIFICATION DES AJOUTS MINERAUX: Dans la fabrication du ciment et du béton, on utilise généralement les ajouts minéraux comme les cendres volantes, la fumée de

silice, le laitier de haut-fourneau, les fillers calcaires, le méta kaolin et la poudre de verre. Selon la norme [ENV 2006] paragraphe 3.1.5, les ajouts minéraux dans le ciment sont classés en actifs et inertes.

3.1.Ajouts minéraux actifs :

3.1.1. Les pouzzolanes : Les pouzzolanes sont des matériaux naturels ou artificiels riches en silice et en alumine capables de réagir avec la chaux en présence de l'eau et de former à l'issue de cette réaction des produits manifestant des propriétés liantes.

Les matières pouzzolaniques ne durcissent pas lorsqu'elles sont mélangées à de l'eau, mais, lorsqu'elles sont finement broyées et en présence d'eau, elles réagissent à température ambiante normale avec l'hydroxyde dissous ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) pour former des composés de silicate de calcium et d'aluminate de calcium participant au développement des résistances. Ces composés sont similaires à ceux qui se forment lors du durcissement des ciments hydrauliques. Les pouzzolanes se divisent en :

a) Pouzzolane naturelle : Pouzzolane naturelle est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Elle peut être d'origine volcanique: verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire: terre à diatomées, diatomites.

b) Pouzzolane artificielle : Pouzzolane artificielle est une matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour lui assurer des propriétés pouzzolaniques. Les roches traitées thermiquement: argiles, schistes, latérite, bauxite et moler.

c) Propriétés et caractéristiques des pouzzolanes : Les pouzzolanes sont des roches " acides " ayant des teneurs élevées en silice et en alumine (Entre 70 et 80% pour les deux composants ensemble), puis en fer, en alcalins, en magnésie et en chaux. Les pouzzolanes naturelles d'origine sédimentaire ont des teneurs en silice encore plus élevées. (Cas des squelettes siliceux de micro-organismes). Les quantités de chaux sont limitées, ce qui explique par ailleurs, la capacité des pouzzolanes à fixer la chaux.

Les pouzzolanes sont formées surtout d'éléments vitreux. Elles sont plus au moins réactives. La réactivité est l'aspect chimique de fixation de la chaux.

L'activité pouzzolanique s'explique par une attaque lente de la silice et de l'alumine des pouzzolanes par l'hydroxyde de chaux (portlandite). Tous les matériaux appelés « pouzzolanes » ne possèdent pas forcément cette propriété.

On peut dans certains cas, activer les pouzzolanes par certains procédés :

- Ajouts de produits chimiques.

- Broyage à une finesse plus élevée.
- Traitement thermique.

En plus de ces caractéristiques, on cite les propriétés suivantes :

- ✓ **Propriétés hydrauliques** : La pouzzolane réagit avec l'eau, en présence d'une quantité suffisante de chaux, pour former des hydrates stables, peu solubles et résistants à long terme.
- ✓ **Propriétés physiques de remplissage** : En plus de leur effet pouzzolanique, elles jouent un rôle de remplissage des pores des produits hydratés et de correcteurs granulaires, ce qui améliore la compacité et diminue la perméabilité [6].



Figure1 Quelques types de pouzzolane

.....

5.1.2. Le laitier de haut-fourneau : Les laitiers de haut-fourneau (LHF) sont des sous-produits de la sidérurgie. Ils sont générés au cours de la production de l'acier, lors de l'étape de l'élaboration de la fonte à partir de minerai de fer. Selon le processus de refroidissement du laitier en fusion, on distingue deux familles :

- **le laitier cristallisé**, obtenu par un refroidissement lent qui le transforme en une roche dure artificielle et chimiquement stable ;
- **le laitier vitrifié**, obtenu par un refroidissement brutal, généralement à l'eau, qui lui confère une structure vitreuse lui permettant de développer des propriétés analogues à celles du ciment.

Pour chaque tonne de fonte la quantité de laitier produite dépend principalement de la masse des oxydes non réductibles enfournés, et est donc en raison inverse de la teneur en fer du minerai de fer.

Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé comme il voudrait peut-être mieux l'appeler est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, c'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 dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 à 35%, de l'alumine entre 12 à 30% ainsi que la magnésie et d'autres

oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

D'un point de vue chimique (tableau 1), les laitiers ont une composition relativement constante à laquelle le métallurgiste porte une certaine attention puisque tout écart par rapport à cette composition chimique optimale se traduit par une augmentation des coûts énergétiques assez importants et donc à des coûts de production plus élevés pour la fabrication de la fonte. Le laitier est fondu à une densité beaucoup plus faible (de l'ordre de 2.8) que celle de la fonte (qui est supérieure à 7.0) de telle sorte que le laitier fondu flotte au dessus de la fonte fondue au bas du haut fourneau si bien que l'on peut soutirer ces deux liquides séparément.

Tableau 1 : Composition chimique type de laitiers de haut fourneau.

OXYDES	Laitier français	Laitier nord U S A	Laitier algérien
% SiO ₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
% Al ₂ O ₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
% CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
% Fe ₂ O ₃	4	0.3 à 20	2.0
% MgO	6	3 à 12	4.7

Le laitier peut être mélangé avec du ciment après avoir été séparé ou après avoir été broyé avec le clinker. Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le ciment Portland et craint donc d'avantage la dessiccation. Par contre il résiste normalement mieux à l'action destructrice des sulfates, à la dissolution de chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique. La réactivité du laitier peut être augmentée de trois façons :

- Broyage poussé.
- Chaleur (étuvage, autoclavage).
- Produits chimiques (la chaux, la soude (Na OH) ou des sels de soude, le sulfate de calcium (gypse) .

5.1.2.1. Fabrications et propriétés des différentes formes de laitiers

a) Laitier rocheux (ou cristallisé) : Le laitier rocheux s'obtient en déversant le laitier liquide dans une fosse et en l'y laissant refroidir le plus lentement possible.

Le laitier est d'abord versé dans des cuves en acier coulé placées sur des chariots circulant sur voie ferrée. Les fosses sont alors installées à distance du haut fourneau, et le laitier y est déversé par basculement des cuves. Après refroidissement, souvent avec arrosage, le laitier est extrait de la fosse par des moyens classiques en travaux publics : pelles sur chenilles et camions de

chantier. Dans tous les cas, il faut au moins deux fosses, l'une étant en remplissage, pendant que l'autre est en exploitation.

b) Laitier granulé : Le laitier granulé est obtenu en mettant brutalement en contact le laitier liquide avec une importante quantité d'eau (environ 10 m³/t de laitier), de façon à le diviser en petits grains et à le refroidir très vite. On exploite différents procédés de granulation :

- **La granulation en bassin**: consiste à verser le laitier liquide dans un bassin de grandes dimensions rempli d'eau ; ce procédé a l'inconvénient de fabriquer une fraction parfois importante de laitier cristallisé à cause de l'augmentation de la température de l'eau pendant la granulation ;
- **La granulation en rigole**: Se fait en laissant couler le laitier liquide dans une goutte parcourue par un fort courant d'eau, qui sert à la fois à granuler et à transporter le sable de laitier
- **La granulation en pot** : Le laitier liquide est divisé et refroidi par un ensemble de jets d'eau issus de fentes pratiquées dans une boîte alimentée en eau ; ce système, qui est le seul mis en place dans les installations nouvelles ou renouvelées, permet d'optimiser le débit d'eau, et, en modifiant les fentes d'injection de l'eau, d'optimiser les conditions de granulation.

c) Laitier bouleté : Le bouletage consiste à refroidir le laitier dans des conditions telles qu'il se forme des boulettes quasi sphériques, dont l'intérieur est creux. Ce traitement se pratique dans une installation qui comprend : *Un déversoir, un couloir d'alimentation incliné, un tambour des injections d'eau.*

d) Laitier expansé : C'est un laitier cristallisé dans lequel, pendant le refroidissement, on a provoqué la formation d'alvéoles. Plusieurs méthodes peuvent être employées pour favoriser l'expansion, elles comprennent toujours une injection d'eau (environ 1 m³ /t de laitier), complétée éventuellement par une injection d'air et de vapeur d'eau. Le produit obtenu est un granulat dont la masse volumique est de 0,3 à 1,1 t/m³, d'où une masse volumique en vrac de 0,2 à 0,75 t/m³ ; sa conductivité thermique est faible, de même que sa résistance mécanique (1 à 8 MPa à la compression).

5.1.2.2. Influence sur les caractéristiques des bétons :

a) *Influence sur les caractéristiques des bétons frais* : L'utilisation du laitier dans le béton permet d'améliorer l'ouvrabilité par rapport à un béton conventionnel. ceci est expliqué par les caractéristiques des surfaces des grains de laitiers qui permettent un meilleur glissement intergranulaire dans la pâte.

Les bétons contenant du laitier ont des temps de prise un peu plus longs que les bétons conventionnels, surtout dans le cas de bétonnage par temps froid. L'addition du laitier favorise l'augmentation de la quantité totale et le taux de ressuage dans le béton, quel que soit le type du laitier. Ceci peut être expliqué par la faible absorptivité des particules de laitier et le retard de prise dans le béton.

b. Influence sur les caractéristiques des bétons durcis : les bétons avec le laitier ont des résistances moins élevées que les bétons ordinaires durant les premiers jours. Ces bétons commencent à se rattraper au bout de sept jours à 20°C. Les laitiers permettent aussi de réaliser des bétons résistant à l'action des eaux agressives, surtout en immersion complète.

Les mortiers aux laitiers sont de 10 à 100 fois moins perméable à l'eau que les mortiers de ciment portland. Un remplacement de 10% du ciment par le laitier permet de réduire l'épaisseur de la zone de transition. L'effet bénéfique des bétons aux laitiers sur la résistance aux sulfates surtout pour les taux de remplacement élevés, grâce à la réduction de la perméabilité, à la diminution de la chaux libre de la teneur en aluminates. Les réactions alcalis-silice décroissent avec l'augmentation de la teneur en laitier due à la fixation par ce dernier des ions sodium.

.....

5.1.3. Les cendres volantes: Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérages des gaz des chaudières des centrales thermiques. Les cendres volantes peuvent avoir différentes compositions chimiques et différentes compositions de phase parce que Celles – ci sont reliées exclusivement au type d'impuretés qui sont contenues dans le charbon que l'on brûle dans la centrale thermique. Des charbons provenant de la même source et utilisés dans la même centrale thermique produisent des cendres volantes très semblables. Cependant, comme on peut le voir dans le tableau.3. La composition chimique des cendres volantes qui proviennent de différentes usines peut varier beaucoup. Les particules de cendres volantes peuvent avoir des formes très différentes les unes des autres. Elles peuvent avoir une forme sphérique, avec une distribution granulométrique semblable à celle du ciment Portland, elles peuvent contenir des sphères creuses et même dans certains cas, elles peuvent contenir seulement des particules angulaires.

5.1.3.1. Les catégories des cendres volantes: Les cendres volantes se divisent en trois catégories :

- a) Les cendres silico- alumineuses (cendre de houille)
- b) Les cendres sulfo calciques (cendre delignite)

- c) Des cendres non typifiées de composition irrégulière ou de propriétés assez incertaines.

Tableau.3 *Composition chimique type de certaines cendres volantes d'après Aitcin.*

Composés	Classe F	Classe F	Classe C	Sulfo –calcique	Sulfo-calcique
SiO ₂	59.4	47.4	36.2	24.0	13.5
Al ₂ O ₃	22.4	21.3	17.4	18.5	5.5
Fe ₂ O ₃	8.9	6.2	6.4	17.0	3.5
CaO	2.6	16.6	26.5	24.0	56
MgO	1.3	4.7	6.6	1.0	1.8
Na ₂ O	2.2	0.4	2.2	0.8	
SO ₃	2.4	1.5	2.8	8.0	15.1
Perte au feu	2.0	1.5	0.6		
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	90.7	74.9	60	59.5	22.5
Chaux libre		...			28.0

La plupart des particules ont un diamètre compris entre 1µ m et 100µm, leur surface spécifique Blaine se situe généralement entre 250 et 600 m²/kg. La grande surface spécifique des cendres volantes signifie que le matériau réagit facilement avec l'hydroxyde de calcium.

5.1.3.2. Utilisation des cendres volantes : D'une façon générale, l'introduction des cendres volantes dans le béton:

- Diminue la porosité et la perméabilité.
- Elle diminue la sensibilité du béton aux eaux agressives, en fixant progressivement la chaux.
- La cendre volante permet au béton de conserver sa compacité et de rester imperméable.
- Il est reconnu que l'emploi des ciments aux cendres volantes entraîne une diminution du retrait hydraulique et thermique du béton.

En plus des propriétés décrites, lorsque 'elles sont utilisées comme une fraction liante, les cendres volantes jouent également d'autres rôles dans le béton tels que l'amélioration de l'ouvrabilité, la diminution de la proportion d'eau pour le béton frais et l'imperméabilité des surfaces.

5.1.3.3. la fumée de silice : La fumée de silice est un sous-produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de Ferro silicium ou de zircone. Le silicium et les alliages de silicium sont produits dans des fours à arc électrique où le quartz est réduit en présence de charbon (et de fer pour la production de Ferro silicium). Durant la réduction de la silice dans l'arc électrique, un composé gazeux, SiO se forme et s'échappe vers la partie supérieure du four, il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice

SiO₂. Ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage.

a) **Composition du fumée de silice de point de vue chimique:** la fumée de silice est essentiellement composée de silice (Tableau III.2). La teneur en SiO₂ de la fumée de silice varie selon le type d'alliage produit. Plus la teneur en silicium de l'alliage est élevée plus la teneur en SiO₂ de la fumée de silice est élevée. Les fumées de silice produites durant la fabrication de silicium métal contiennent en général plus de 90% de SiO₂. La fumée de silice produite lors de la fabrication d'un alliage Fe –Si à 75% à une teneur en silice généralement supérieure à 85%.

b) **Composition du fumée de silice de point de vue structural :** La fumée de silice est essentiellement composée de silice vitreuse.

c) **Composition du fumée de silice du point de vue morphologique:** Les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des diamètres compris entre 0.03 µ m et 0.3 µ m (le diamètre moyen habituel se situant en dessous de 0.1 µ m), de telle sorte que la dimension moyenne des sphères de fumée de silice est 100 fois plus faible que celle d'une particule de ciment avec un diamètre moyen de l'ordre de 1/ 10 de micron .

Tableau III.2 Composition chimique type de certaines fumées de silice.

Composés	Silicium (grise)	Ferro silicium (grise)	Blanche
% SiO ₂	93.7	87.3	90.0
% AL ₂ O ₃	0.6	1.0	1.0
% CaO	0.2	0.4	0.1
% Fe ₂ O ₃	0.3	4.4	2.9
% MgO	0.2	0.3	0.2
% Na ₂ O	0.2	0.2	0.9
% K ₂ O	0.5	0.6	1.3
% Perte au feu	2.9	0.6	1.2

Les caractéristiques très particulières de la fumée de silice en font une pouzzolane très réactive à cause de sa très forte teneur en silice, de son état amorphe et de son extrême finesse. Les effets bénéfiques de la fumée de silice sur la microstructure et les propriétés mécaniques du béton sont dus essentiellement à la rapidité à laquelle la réaction pouzzolanique se développe et à l'effet physique particulier aux particules de fumée de silice qui est connu sous le nom d'effet filler. Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique des fumées de silice .Ajoutons cependant que la fumée de silice est un matériau peu économique.

La fumée de silice est aussi appelée micro silice ou fumée de silice condensée, mais le terme fumé de silice est le plus généralement utilisé. La densité de la fumée de silice est généralement de 2,2, mais aussi un peu plus élevée lorsque la teneur en silice est plus faible. Elle est moins dense que le ciment Portland dont la densité est 3,1.

Ce produit se présente sous la forme d'une poudre ultra fine de couleur claire ou grise. Lorsque l'on considère les propriétés du béton aux fumées de silice, il importe de garder à l'esprit qu'on utilise ces dernières de deux manières différentes :

- ✓ Comme substitue du ciment, pour réduire les quantités de ciment utilisées, en général pour des raisons d'économie .
- ✓ Comme ajout, pour améliorer les propriétés du béton, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci .

.....

5.2. Ajouts minéraux inertes

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à 60 μ m ne subissent pas une hydratation complète même au cours du durcissement à long terme, pour cette même raison les particules de clinker de telle dimension pourraient être remplacées par celles de matériaux inertes (N F P 18- 305)

En outre, les particules les plus fines d'un ajout inerte servent à remplir les pores de la pâte de ciment, ils jouent le rôle de micro agrégats.

Ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment Portland (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau, ...). Parmi ces additifs on distingue les fillers calcaires et la poussière .

5.2.1. Les fillers de calcaires : L'utilisation des fillers calcaires dans l'industrie du ciment et du béton est assez récente. Les additions calcaires dans les matrices cimentaires ont déjà fait l'objet de plusieurs études, essentiellement en France et aux Etats-Unis d'Amérique [33].

Ils sont soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et peuvent alors contenir des résidus argileux et des matières organiques, soit obtenus par broyage du matériau cru.

Leur composition chimique est celle du carbonate de calcium (CaCO_3) mais ils peuvent contenir aussi du magnésium (sous forme $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), s'il réagit de calcaires dolomitique. Les calcaires peuvent avoir des origines géologiques différentes, métamorphique (il s'agit de

marbres) ou sédimentaire. Ils peuvent aussi exister sous plusieurs formes polymorphiques (calcite, aragonite, vaterite).

- **Influence sur les caractéristiques des bétons frais :** La rhéologie des pâtes, des mortiers et des bétons dépend de la qualité du filler et de sa finesse. Si le filler est finement broyé, il y aura une réduction de la quantité d'eau pour une maniabilité fixe, surtout pour des rapports E/C < 0,40.

La présence du filler calcaire peut augmenter le retrait plastique du béton frais et permet de densifier la matrice du mortier et peut également contribuer au contrôle du temps de prise par la formation de carboaluminate de calcium .

4.2.1.1. Influence sur les caractéristiques des bétons durcis : Les fillers calcaires contribuent à la formation de monocarboaluminates et à la modification de la microstructure. L'addition du CaCO_3 accélère l'hydratation du C_3S au jeune âge par modification de la surface de ce dernier et de son effet de nucléation.

Une augmentation des résistances mécaniques au jeune âge due à l'effet accélérateur et à l'effet filler du calcaire. On note que pour une finesse de 300 à 350 m^2/kg , il y a seulement l'effet filler. Le retrait augmente avec la présence de filler du calcaire et aussi avec sa finesse, sauf dans le cas d'une granulométrie optimisée. L'addition de filler calcaire ne change pas le taux de carbonatation dans le béton. Au contraire, certains trouvent que pour des résistances mécaniques équivalentes, la profondeur de carbonatation augmente avec l'ajout du filler calcaire.

L'addition du filler calcaire diminue la résistance à l'eau de mer puisque le monocarboaluminate n'est pas stable chimiquement. La résistance aux cycles de gel-dégel n'est généralement pas affectée, sauf pour des taux de remplacement supérieurs à 15%.

.....

5.2.2. les poussières de roche. La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000 cm^2/g . le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel-dégel comparable à celle du ciment sans ajouts. Le temps de prise, le fluage et le retrait augmente avec l'augmentation du pourcentage d'ajout .

L'utilisation des ajouts en Algérie

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de

développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Béni – Saf. Le (tableau III.4) donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes.

Tableau III.4. Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes .

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
	Ain Touta	Laitier+ calcaire
	Ain El Kebira	Laitier + pouzzolane
	Hamma Bouziane	Laitier + calcaire
	H'djar Essaoud	Laitier
	Tebessa	Laitier
	Meftah	Tuf / Calcaire
	Raïss Hamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
	Béni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	