

II-1 Introduction:

L'utilisation accrue des ajouts cimentaires s'avère une méthode éprouvée pour lutter contre les changements climatiques et améliorer la qualité de l'air.

Les ajouts cimentaires sont ajoutés au clinker afin de produire un ciment mélangé ou ajoutés au mélange de béton comme agent complémentaire. [6]

II-2 Les avantages ajouts cimentaires :**II-2-1 Avantages techniques:**

D'abord, l'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée.

L'ajout cimentaire améliore généralement la résistance, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une moindre chaleur d'hydratation des ciments mélangés, l'ajout cimentaire améliore la résistance à la fissuration.[6]

II-2-2 Avantages économiques:

Typiquement, le ciment Portland est le composant le plus coûteux d'un mélange de béton, puisqu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plus part des matériaux (ajouts) susceptibles de remplacer le ciment dans le mortier ou béton sont des sous-produits, et, à ce titre, demandent relativement moins d'énergie, sinon aucune, et sont beaucoup moins coûteux que le ciment Portland.

Toutefois, la distance qui sépare la source des ajouts cimentaires et le coût élevé du transport qui en résulte risquent de l'emporter sur leurs avantages économiques potentiels. De même, le manque de stockage abordable est parfois une barrière à leur utilisation dans certains marchés. Bien qu'il soit difficile à prédire, le prix des ajouts cimentaires pourrait se comparer à celui du ciment si la demande en béton ne diminuait pas, dans ce monde que menace le CO₂. Et c'est bien le gaz carbonique (dioxyde de carbone) qui pourrait finalement décider de la valeur de ces derniers. [6]

II-2-3 Avantages écologiques:

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO₂). De fait, le remplacement du ciment Portland par des ajouts cimentaires réduit d'autant les émissions de CO₂. 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 sur le ciment. [6]

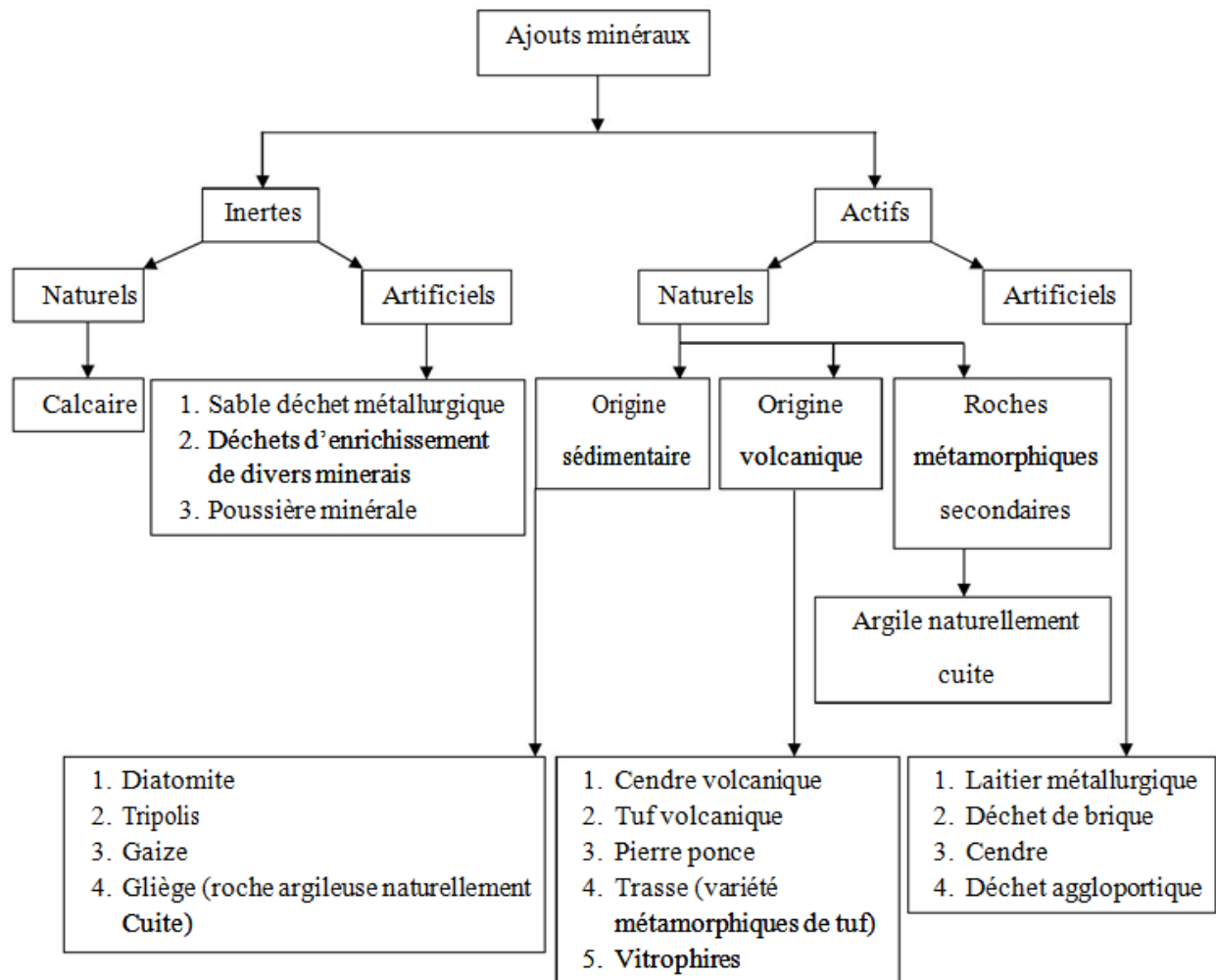
II-3 Définition des ajouts cimentaires

Les ajouts sont des matières premières naturelles, artificielles, sous produits d'une autre industrie, résidus industriels ou déchets industriels polluant, ils sont ajoutés soit au mélange de matières premières avant le broyage, soit à la farine crue, soit au clinker portland avant ou après le broyage, leurs pourcentages dans la masse varient suivant le but de l'addition et le rôle qu'elle peut jouer, ainsi on trouve des ajouts en faibles teneurs, moyennes ou en fortes teneurs. On distingue deux types d'ajouts : inertes et actives. [7]

II-4 Classification des ajouts minéraux:

Il existe deux types d'ajouts selon leurs origines :

- Ajouts minéraux inertes;
- Ajouts minéraux actifs (naturels ou artificiels).



FigureII-1: Différents types d'ajouts cimentaires.

II-4-1 Les ajouts minéraux actifs:

II-4-1-1 La pouzzolane:

Les pouzzolanes sont des matériaux, naturels ou artificiels, capables de réagir en présence d'eau avec l'hydroxyde de chaux pour donner naissance à des composés nouveaux, stables, peu solubles dans l'eau et possédant des propriétés liantes [8].

Les Normes françaises donnent les définitions suivantes des pouzzolanes entrant dans la fabrication des ciments :



Figure II-2 : Pouzzolane

- 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.

-Pouzzolane artificielle :

C'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.

Le professeur Massaza classe les pouzzolanes en trois catégories [8]:

- Les constituants actifs: phase vitreuse plus au moins altérée, opale, terre de diatomées, zéolites cristallisées.
- Les constituants inertes: phase cristallisée autre que les zéolites.
- Les constituants nocifs: substances organiques et argiles gonflantes.

II-4-1-2 Fumée de silice:

La fumée de silice est un sous produit de la fabrication du silicium, de différents alliages de Ferro silicium ou de zircon. 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 [9] et s'échappe vers la partie supérieure du four, il se refroidit, se condense et s'oxyde sous forme de particules ultrafines de silice SiO_2 .



Figure II-3 : Fumée de silice

Ces particules sont récupérées dans un système de dépoussiérage. D'un point de vue chimique, la fumée de silice est essentiellement composée de silice (Tableau II-1).

La teneur en SiO_2 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 SiO_2 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 SiO_2 . 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%. Du point de vue structural, la fumée de silice est essentiellement composée de silice vitreuse.

Du point de vue morphologique, les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des diamètres compris entre $0.03\mu\text{m}$ et $0.3\mu\text{m}$ (le diamètre moyen habituel se situant en dessous de $0.1\mu\text{m}$), 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 II-1 Composition chimique type de certaines fumées de silice [9].

Composés	Silicium (grise)	Ferro silicium (grise)	Blanche
SiO_2	93.7	87.3	90.0
Al_2O_3	0.6	1.0	1.0
CaO	0.2	0.4	0.1
Fe_2O_3	0.3	4.4	2.9
MgO	0.2	0.3	0.2
Na_2O	0.2	0.2	0.9
K_2O	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.

II-4-1-3 Le laitier de haut fourneau:

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.

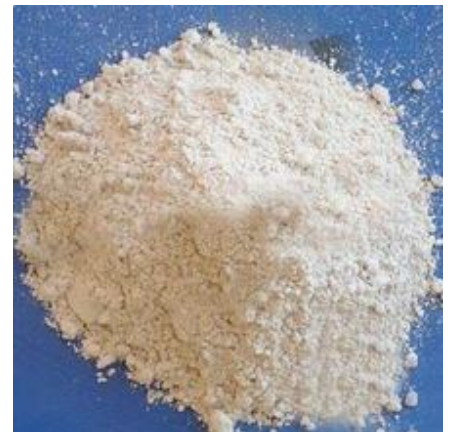


Figure II-4 : Laitier de haut fourneau

D'un point de vue chimique (tableau II-2), 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 II-2: Composition chimique type de laitiers de haut fourneau [10]

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
S	1.5%	-	0.15

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).

II-4-1-4 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.

**Figure II-5 :** Cendres volantes

Cependant, comme on peut le voir dans le tableau (II-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.

Les cendres volantes se divisent en trois catégories :

- Les cendres silico- alumineuses (cendre de houille);
- Les cendres sulfo calciques (cendre de lignite);
- Des cendres non typifiées de composition irrégulière ou de propriétés assez incertaines.

Tableau II-3 Composition chimique type de certaines cendres volantes [11].

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 1µm et 100 µm , 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.

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.

II-4-1-5 La poussière:

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 cm²/ 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.

II-4-1-6 Rôle des ajouts minéraux actifs :

Le rôle des ajouts minéraux actifs consiste à fixer la portlandite Ca(OH)_2 du ciment qui se dégage lors de l’hydratation de C_3S pour former des compositions difficilement solubles (stables) qui contribuent à la résistance du ciment.

Les ajouts minéraux actifs améliorent la compacité du mortier et du béton, cette compacité donne une meilleure protection du ciment à l’agressivité des eaux douces et des sels.
[12]

II-4-2 Principaux ajouts minéraux inertes:

Les ajouts inertes sont des éléments naturels ou artificiels chimiquement inertes qui ne jouent aucun rôle dans le processus de fabrications, d’hydratation, ou de durcissement du ciment Portland mais peuvent modifier les propriétés finales du produit, ils sont généralement utilisés au niveau du broyage du clinker.

Les roches carbonatées telle que le calcaire, craie, dolomie, sont largement utilisées comme ajouts naturels inertes au ciment.

La priorité est accordée aux roches les plus dures pour éviter un éventuel colmatage de la matière lors du broyage.

Les ajouts inertes sont moins connus dans la pratique de l’industrie cimentière, ils sont habituellement utilisés lorsque la cimenterie ne dispose pas de source d’ajouts minéraux actifs.
[12]

II-4-2-1 Fillers calcaires:

Les produits désignés dans le commerce comme fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 microns obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite, cendres volantes). [13]

Les fillers se différencient les uns des autres par :

- leur origine, leurs compositions chimiques et minéralogiques, leurs défauts de structure; les impuretés qu'ils contiennent;
- leur finesse, la forme des grains, leur état de surface;
- leur dureté, leur porosité;

Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

Les différents résultats montrent que les fillers calcaires ajoutés à un CPA peuvent jouer plusieurs rôles :

Un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).

- Un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle;
- Un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C3S et du C3A et à la formation de carboaluminates, germes de cristallisation et points d'ancrage des hydrates;
- Un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat.

II-4-2-2 Le verre

Dans un gaz, les atomes sont en agitation permanente et occupent tout le volume disponible : il est impossible de prévoir la position des atomes à un instant donné. En dehors des chocs, ces atomes ne sont pas en contact entre eux. L'état gazeux est un état totalement désordonné.

Un liquide occupe un volume constant, indépendant de la pression ; les atomes sont en contact entre eux. Même si les atomes ou les molécules sont très mobiles on peut définir leur proche environnement : on dit que les liquides possèdent un ordre à courte distance.

L'état solide est plus ordonné que l'état gazeux ou que l'état liquide : les cristaux en sont une bonne illustration. Il existe des solides apparemment moins ordonnés : verre, polymères vitreux et des solides partiellement ordonnés comme les polymères semi-cristallins. Pour tous ces matériaux non-cristallins, il existe fréquemment une certaine forme d'ordre à courte distance, même si ce n'est pas l'ordre cristallin.

Si l'on fond des cristaux de quartz naturel, on constate après refroidissement brutal que le matériau manifeste des propriétés différentes de celles du matériau initial. On obtient un verre : silice vitreuse. L'étude approfondie de la silice vitreuse, en particulier par diffraction des rayons X, montre que les distances interatomiques imposées par les liaisons covalentes sont toujours respectées. Les tétraèdres continuent à exister dans la silice vitreuse, comme dans la cristobalite, mais il n'y a pas de motif qui se répète périodiquement (Figure II-6).

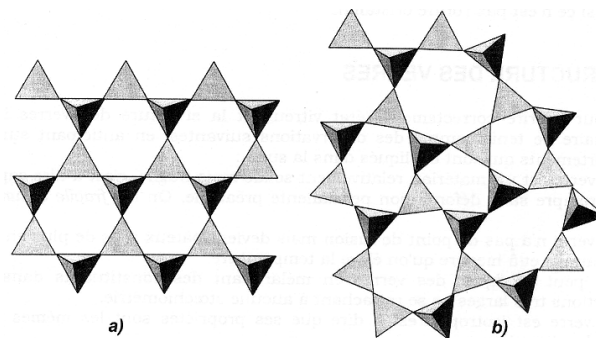


Figure II-6 : a) Structure en anneau de la Cristobalite ; b) Modèle proposé par Zachariasen

les tétraèdres continuent d'exister en formant un réseau continu irrégulier et sont désorientés dans les trois dimensions [14]

En 1921, LEBEDV avait proposé un modèle pour le verre prévoyant l'existence de très petits domaines ordonnés appelés cristallites et reliés les uns aux autres par des domaines désordonnés. La théorie de ZACHARASEN [1932] décrit la silice vitreuse comme un réseau désordonné conservant les assemblages SiO_4 de la cristobalite. Le passage de la cristobalite à l'état vitreux s'explique par une trop grande viscosité du liquide qui empêche les tétraèdres désordonnés de reformer la cristobalite. Le matériau n'est ni totalement désordonné (conservation des tétraèdres), ni dans un état métastable au sens de la thermodynamique mais il évolue simplement vers l'état cristallin avec une cinétique très lente.

ZACHARASEN [1932] a formulé les quatre conditions suivantes pour la formation des verres d'oxydes :

- la coordinance du cation doit être petite;
- un ion oxygène ne doit pas être lié à plus de deux cations;
- les polyèdres construits par les oxygènes ne peuvent avoir en commun que leurs sommets et non leurs arêtes ou leurs faces;
- trois sommets au moins de chaque polyèdre doivent appartenir en même temps à d'autres polyèdres.

L'état vitreux est donc caractérisé par un désordre (Figure II-7), proche de celui d'un liquide qui tend à cristalliser. La cinétique de cristallisation est, en général, suffisamment lente pour que le matériau apparaisse comme stable à l'échelle de la vie humaine.

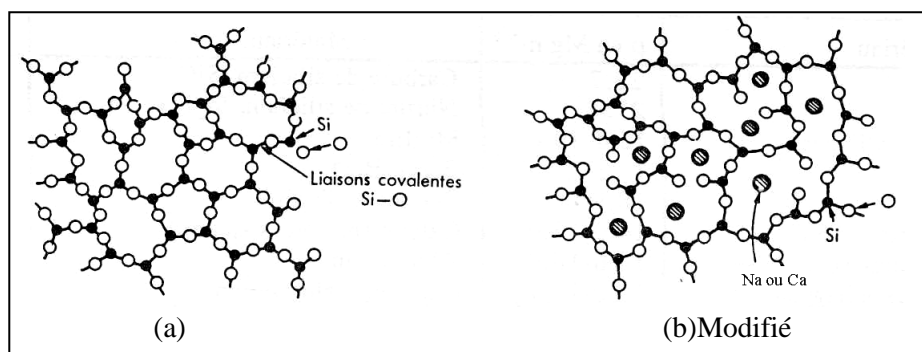


Figure II-7

(a) l'empilement des atomes de la silice amorphe.

(b) l'adjonction de Na₂O et CaO brise des liaisons dans la silice amorphe et donne naissance au verre sodo-calcique [15]

La silice et tous les oxydes qui permettent de telles constructions sont appelés formateurs de réseau. Chaque liaison entre deux polyèdres est effectuée par un atome d'oxygène bivalent : un tel atome est appelé oxygène pontant.

On peut modifier la structure d'un verre en y introduisant des modificateurs de réseau. Ce sont des oxydes alcalins de formule M₂O, comme Na₂O et K₂O ou des alcalino-terreux de formule MO, comme CaO et BaO. En ajoutant les fondants (oxydes alcalins), la température de fusion passe de 1730°C à 1400°C (économie d'énergie) et les possibilités de travail sont facilitées.

Avec Na₂O nous avons (Figure II-8):

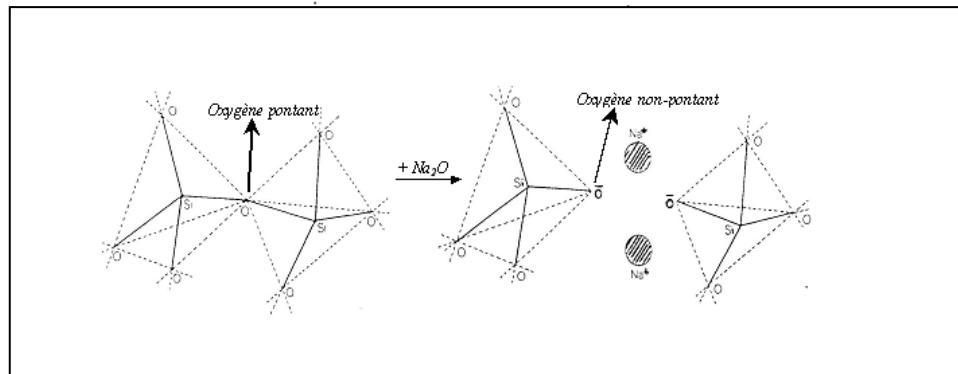


Figure II-8 : Rupture d'un pont Si-O-Si par adjonction d'une molécule de modificateur Na₂O [16]

La présence de Na₂O provoque l'interruption des liaisons du réseau continu non-cristallin, rendant le verre plus fluide à haute température. La formation de ces discontinuités entraîne un affaiblissement de la structure vitreuse dont la solidité augmente avec le nombre de



ponts Si—O—Si.

L'introduction de CaO entraîne l'existence d'ions O²⁻ liés au silicium d'un seul côté et apporte ainsi une certaine discontinuité au réseau. Mais la liaison Ca – O est considérablement plus forte que la liaison Na – O, à cause de la bivalence de l'ion Ca²⁺, de sorte que les deux oxygènes non pontants se trouvent en quelque sorte liés à travers l'ion Ca²⁺ [17].

II-4-2-2-1 Comportement du verre dans un milieu cimentaire

Le verre incorporé dans les bétons peut manifester plusieurs types de comportement, essentiellement en fonction de sa granularité : une granularité grossière tend à provoquer un phénomène d'alcali-réaction générateur de désordres, alors qu'un verre fin développe une action bénéfique identifiable à une réaction pouzzolanique. [18]

II-4-2-3 Le marbre:

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).

Certains types de marbres portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte. Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangée à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2.7. La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleues, roses, gris, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires.

Les produits marbrières algérienne sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : Italienne et françaises en particuliers. Les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde :

- Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et la haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières ;
- Transformation en produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçage avec des pierres ponces.

Le marbre est une roche métamorphique résultant de la transformation d'un calcaire pur « figure II-9 », souvent veiné de couleurs variées. Mis en œuvre dans la construction et la décoration, le marbre se révèle être une matière noble et durable très recherchée.

Les roches métamorphiques sont issues de la transformation de roches préexistantes par une chaleur intense ou/et de très fortes pressions. [12]

Le degré de pureté du marbre est responsable de sa couleur et de son aspect : il est blanc si la roche dont il provient était uniquement composée de calcite « figure II-10 ».



Figure II- 9 : Gisement de marbre.

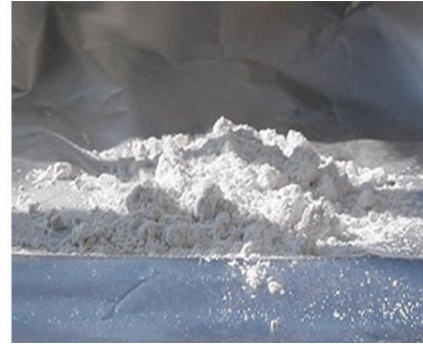


Figure II- 10: Poudre de marbre.

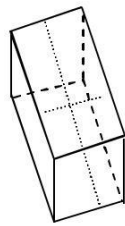
Cette pierre est souvent parcourue de veines et veinules de teintes très variées : de la grise pâle au rouge vif qui donne l'aspect marbré. La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le marbre blanc, il existe des variétés beiges, bleues, roses, grises, jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires. Selon l'aspect des rayures, on a des produits veinés, zonés, bigarrés, ramagés, etc.

Très souvent, des inclusions variées de minerais métalliques leur donne des couleurs très vives (sels de plomb, de zinc, d'antimoine, de molybdène, de magnésium ou d'étain).

Les géologues distinguent deux formes de métamorphismes :

- Le métamorphisme de contact provoqué par la chaleur d'une remontée magmatique ;
- Le métamorphisme régional qui se produit à l'occasion du plissement des chaînes de montagne.

Le marbre est un carbonate de calcium plus ou moins pur, de densité de 2.7 à 2.9. Selon ses configurations cristallines hexagonales ou orthorhombiques, on observe une transformation de l'ortho vers l'hexagonal autour de $+520^{\circ}\text{C}$. Le point de fusion est de $+1340^{\circ}\text{C}$ ($\pm 10^{\circ}\text{C}$).

SYSTEME ORTHORHOMBIQUE**SYSTEME HEXAGONAL**

Prisme
Orthorhombique



Bipyramide
orthorhombique



Prisme
hexagonal



Pyramide
hexagonale

II-4-2-3-1 Composition minéralogique :

Le marbre contient surtout de la calcite, mais peut contenir plus ou moins de la dolomite. On peut y trouver de la brucite, de l'olivine, de la serpentine, de la trémolite, du phlogopite en cas de transition vers les calcaires à silicates et la skarn. Les marbres sont facilement rayés par le canif, ce qui sert à les distinguer des quartzites blancs qui sont beaucoup plus durs. Le marbre a des cristaux généralement rhomboédriques.

Le marbre blanc est une roche de calcaire très pur « CaCO_3 », aussi c'est une calcite, qu'elle est l'un des minéraux les plus communs avec la dolomite représente 22% des roches sédimentaires soit 273 millions de kilomètres cubes de roches carbonatées. Pendant très longtemps la calcite n'était connue que sous son nom de spath calcaire ou de chaux carbonatée. Peut-être est-ce Haidinger qui lui a donné le nom de calcite sous lequel elle est maintenant universellement connue. [12]

II-4-2-3-2 Utilisation

Du fait de sa résistance, de sa durabilité, de son aptitude au façonnage, de son adaptabilité architecturale et de son aspect esthétique, le marbre constitue depuis les temps historiques un important matériau de construction. L'industrie du marbre comprend deux branches principales: le marbre taillé et le marbre concassé et broyé. Le terme marbre taillé s'applique aux marbres exploités pour obtenir des blocs ou des plaques répondant à des spécifications de dimensions et de forme. Les fragments de marbre concassés et broyés vont des gros blocs aux granulés fins; on les utilise, par exemple, comme agrégats, ballasts, éclats pour toiture, charges, pigments, matériau pour le chaulage, etc. [19]

II-4-2-3-3 La poudre de marbre

La poudre de marbre est une matière calcaire d'un blanc pur, au grain légèrement plus gros que la craie. Dans les temps anciens, elle a été utilisée comme fond, pour les fresques en raison de son imperméabilité parfaite. Elle a aussi servi comme matière de charge pour apprêts, pâtes de modelage et pigments.

Pour le béton, des travaux ont vu le jour ces dernières années sur l'utilisation de cette poudre comme addition au béton.

II-5 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.

II-6 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 Beni – Saf. Le tableau (II-4) (donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes).

Tableau:II-4 Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes [20].

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	
	Hamma Bouziane	
	H'djarEssaoud	Laitier
	Tebessa	
ERCC	Meftah	Tuf / Calcaire
	RaissHamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

II-7 Conclusion :

Un des arguments souvent avancé en faveur de l'utilisation des ajouts minéraux est qu'ils permettent d'économiser de l'énergie et de préserver les ressources naturelles comparées au ciment Portland. Cet argument est en partie juste, mais le principal argument en faveur de l'incorporation de ces matériaux dans les mortiers et les bétons est en réalité qu'ils apportent des avantages techniques considérables. En effet, ils affectent la cinétique de la réaction d'hydratation, améliorent les caractéristiques physiques des mortiers et bétons à l'état frais et contribuent positivement aux résistances mécaniques des mortiers et bétons à état l' durci et ceci en raison de leur composition chimique, de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leurs éléments.