

II.1.Introduction :

L'utilisation des ajouts minéraux dans la production des ciments Portland a résolu en grande partie le problème d'autosuffisance nationale en ciments, ainsi que celui de la baisse du coût énergétique. En faisant varier les pourcentages d'ajouts, on pourrait obtenir en fonction des domaines d'utilisation, différents types de ciments avec les propriétés physicomécaniques demandées.

Les ajouts minéraux sont largement utilisés dans la production des ciments à travers le monde. Du point de vue économique, ils présentent un facteur très important dans la production du ciment Portland composé (CPJ-CEMII/ A ou B), du moment que la consommation en clinker baisse en fonction du taux d'ajout utilisé. Dans cette étude, on a utilisé les 'ajouts inertes « les fillers de calcite »

II.2. Définition Les ajouts minéraux:

Les ajouts cimentaires sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment Portland et donnent ses propriétés au mortier, grâce à une activité hydraulique et/ou pouzzolanique.

Les ajouts tels que les fillers, les cendres volantes le laitier granulé de haut fourneau et les fumées de silice, pouzzolanes, etc. Permettent soit d'améliorer les caractéristiques rhéologiques ou mécaniques du mortier ou de lui conférer des propriétés spécifiques.

Contrairement aux adjuvants, les ajouts doivent être pris en compte dans le calcul de la Composition du mortier. [33].

II.3. Classification des ajouts :

Les ajouts peuvent être naturels ou artificiels, inertes ou actifs Les ajouts peuvent réagir en tant que matériau hydraulique, hydraulique latent ou pouzzolanique, ou encore sous forme de fillers.

II.3.1. Les ajouts inertes :

Les ajouts inertes sont des éléments naturels ou artificiels chimiquement inertes qui ne jouent aucun rôle dans le processus de fabrication, 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 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.

II.3.2. Les ajouts minéraux actifs :

Il existe deux types d'ajouts minéraux actifs

II.3.2.1. Ajouts minéraux actifs naturels :

Les ajouts minéraux actifs d'origine sédimentaire sont les dolomites, les tripolis et les gaizes, ils se rapprochent par leurs compositions chimiques.

Les ajouts minéraux actifs d'origines volcaniques sont représentés par les pouzzolanes, les cendres, le tuf et la pierre ponce.

II.3.2.2. Ajouts minéraux actifs artificiels :

Parmi les ajouts actifs artificiels on peut citer :

- Les déchets siliciques actifs.
- Les argiles cuites (déchets de briques et de tuiles).
- Les cendres des combustibles.
- Les laitiers métallurgiques.
- Les déchets siliciques actifs obtenus à la suite de l'extraction de l'alumine à partir de l'argile renferment souvent l'anhydrite sulfurique à quantité élevée.

- Les argiles cuites se présentent sous forme de poudre fine obtenue à la suite de broyage de
- L'argile a teneur élevée en KAOLINITE ($Al_2O_3, 2SiO_2, 2H_2O$) spécialement cuite à une température de 600 à 800°C.
- Les laitiers métallurgiques sont également utilisés dans la production du ciment autant qu'ajouts minéraux actifs.

L'activité des laitiers est déterminée à partir de sa composition minéralogique et du rapport des phases cristallines et vitreuses qui dépendent des conditions de refroidissements.

L'utilisation des ajouts minéraux actifs dans l'industrie du ciment est préférée grâce à leurs avantages par rapport aux ajouts inertes.

Le tableau. (II.1) aux dessous montre la classification des ajouts selon leur réactivité.

Tableau. II.1: Classification des ajouts selon leur réactivité.

Type	Réactivité	Matériau
Hydraulique	Fortement réactif	Ciments spéciaux-chaux hydraulique
Hydraulique Latent		Laitier granule-cendres volantes riche en calcium (calciques)
Pouzzolanique	Fortement réactif	Fumée de silice
	Moyennement Réactif	Cendres volantes pauvre en calcium, pouzzolanes naturelles (verre volcanique, tufs volcanique, trass phonolithe, terres à diatomées)
	Faiblement réactif	Scories cristallines
Inerte	Non réactif	Fillers (farine calcaire,...) fibres, pigments colorants, matières expansives, dispersions synthétique

II.4. L'intérêt de l'utilisation des ajouts minéraux dans le génie civil:

Intérêt L'utilisation d'ajouts cimentaires dans les industries du ciment, béton et de mortier

Ou quelque soit le mortier présente des avantages techniques, économiques et écologiques :

II.4.1. Intérêt fonctionnel :

- ✓ 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 mortier
- ✓ il y a une diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du mortier, 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.

II.4.2. Intérêt économique :

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.

II.4.3. Intérêt écologique et environnementaux :

- ✓ diminution de l'émission du CO₂ par l'industrie cimentière.
- ✓ élimination des sous-produits de la nature.

Remarque :

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique. De fait, le remplacement du ciment Portland par les ajouts cimentaires réduit d'autant les émissions de CO₂. [34]

II.5. 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.2) (donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes.

Tableau. II.2 : Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes. [35]

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.6. Principaux ajouts minéraux inertes :

Selon certains chercheurs, les particules de clinker de dimension supérieure à 60 μm 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.

II.7. Les fillers :

Dans le domaine du génie civil, on donne une définition précise des fillers, ce sont des:

"Produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, basalte, laitiers, kieselguhr, bentonite, cendres volantes ...) naturelles ou non, agissant principalement, grâce à une granularité appropriée, par leurs propriétés physiques sur certaines qualités du ciment (accroissement de maniabilité, diminution de perméabilité et de capillarité, réduction de la fissurabilité). Les fillers sont inertes s'ils n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau ; ils sont actifs s'ils ont, même partiellement, des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques en présence de ciment et d'eau" [36].

- Le domaine d'application des fillers englobe de nombreux produits tels que :
 - les matériaux hydrauliques,
 - les polymères,
 - les peintures...

Leur description est donnée par H.S. Katz et J.V. Milewski [37].

Dans le cas d'une activité chimique, nous distinguons les fillers

- hydrauliques.
- non-hydrauliques.

Hydraulique: propriétés d'un matériau à faire prise en présence d'eau

Les propriétés des fillers issus du concassage de granulats mamocalcaires ont été abordées par R.Bertrand [38], et leur action bénéfique sur la "maniabilité" des liants hydrauliques.

Ils améliorent aussi les propriétés mécaniques des mortiers pour des ajouts allant jusqu'à 8% [39].

Maniabilité : aptitude d'un mortier à être mis en place correctement avec les moyens normaux de serrage.

II.7.1. 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.

Il était admis jusqu'à ce jour que ces fillers avaient principalement un effet physique de comblement de la porosité ; les travaux de R.Bertrand y laissent entrevoir qu'en plus de leur effet physique de charge inerte, leur efficacité pouvait provenir de réactions superficielles entre les grains de filler et le ciment.

II.7.2. La gamme des fillers disponibles sur le marché est large comme :

- poudre minérale (verre, méta kaolin, calcaire)
- particules métalliques
- particules de carbone
- cellulose et autres matières organiques.

II.7.3. Ces fillers sont définis par leurs propriétés principales telles que la :

- morphologie
- granulométrie
- surface spécifique
- compacité
- composition chimique et par leurs propriétés secondaires (optiques, électriques, thermiques..).

La production de matériaux à matrices polymériques à haute valeur ajoutée, exige une grande pureté des fillers.

Ils sont sélectionnés en fonction de leurs propriétés spécifiques et utilisés pour en diminuer le coût sans altérer les propriétés initiales du matériau.

Les fillers améliorent souvent les qualités intrinsèques de la matrice et peuvent lui conférer de nouvelles propriétés [37].

- rigidité,
- dureté
- variations dimensionnelles contrôlées
- propriétés électriques
- résistances mécaniques
- rhéologiques
- aspects (couleur, forme. ••)

II.7.4. Les fonctions des fillers :

Il faut distinguer les fillers qui sont mélangés au ciment, de ceux qui sont utilisés comme adjuvants minéraux dans les mortiers et les bétons :

1) les ciments composés, appelés CPJ, sont produits par les cimentiers en broyant ensemble le clinker, du gypse et le filler. Le filler réduit le coût du ciment.

2) lors de la fabrication d'un béton, on distingue deux cas :

dans les béton à caractéristiques minimales garanties par le bétonnier: B23, B27, ...), où seule est recherchée la résistance à 28 jours, les fillers remplacent une partie du ciment.

Dans les bétons spéciaux (bétons hautes performances, bétons fluides et pompables.), ils sont utilisés pour augmenter les résistances mécaniques ou rhéologiques, sans changer le dosage en ciment. Il ne s'agit pas des mêmes fillers et ils n'ont pas les mêmes fonctions.

II.7.4.1. Dans les ciments :

Les ciments dans lesquels on introduit les fillers appartiennent à une classe de résistance inférieure ou moyenne.

Les ciments fillérisés, CPJ sont avant tout des ciments d'intérêt économique et écologique. Ils permettent l'utilisation des cendres volantes et des laitiers qui sont des sous-produits industriels. Ils peuvent contenir aussi des fillers naturels (calcaires, pouzzolanes_).

Leur fabrication ne doit pas entraîner de surcoût.

Les ciments aux laitiers et aux cendres (CLC), les ciments de hauts fourneaux (CHF) et les ciments de laitier au clinker (CLK) dont la chaleur d'hydratation est faible et dont les ajouts ont des propriétés pouzzolaniques confèrent au matériau final une durabilité intéressante. Ils sont utilisés dans les milieux agressifs comme : une construction en eau de mer ...

II.7.4.2. Dans les bétons :

Les fillers sont indispensables pour la confection de bétons hauts performances. Ils agissent comme

➤ **Correcteur de la granulométrie :**

Les fumées de silice et les fines calcaires sont ajoutées à la composition du béton pour rendre l'empilement granulaire plus compact [30].

➤ **apport d'une cohésion inter granulaire :**

L'utilisation des fines et ultrafines ne se fait pas sans l'emploi d'adjuvant organique.

Le couple filler et adjuvant organique modifie la rhéologie du béton frais dans le sens d'une amélioration de sa maniabilité

Ces deux fonctions du filler diminuent la porosité du matériau durci et donc améliorent ses résistances et sa durabilité [41] [42].

II.8. Les fillers calcaires :

Sont des produits très fin.

Ils sont :

- soit récupérés lors du concassage des granulats calcaires et contiennent alors des résidus argileux et des matières organiques,
- soit obtenus par broyage du matériau cru.

Leur composition chimique est celle du carbonate de calcium. Ils peuvent contenir de l'oxyde de magnésium, il s'agit alors de calcaires dolomitiques.

Les calcaires peuvent avoir des origines géologiques différentes :

- origine métamorphique, il s'agit de marbres
- origine sédimentaire

Le carbonate de calcium existe sous plusieurs formes polymorphiques calcite, aragonite, vaterite.

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.

Un filler est dit un filler de calcite s'il contient seulement le carbonate de calcium (100 % CaCO_3)

II.9. Les fillers de calcite:

L'utilisation de la poudre de calcite comme matériau de remplacement a été étudiée. On a démontré que la présence de poudre de calcite dans la matrice cimentaire améliore la résistance à la compression au jeune âge. On a précisé l'effet de filler de la poudre de calcite. La maniabilité des bétons n'est pas affectée mais la résistance mécanique diminue pour une grande quantité de poudre de calcite (200 kg/m³). Selon d'autres auteurs, l'incorporation de plus de 8 % de poudre de calcite comme conséquence une réduction des résistances des mortiers. Cependant, une augmentation significative des résistances est observée par l'incorporation de brique broyée (22 %) en plus de la poudre de calcite. [43]

La calcite est une roche métamorphique résultant de la transformation d'un calcaire pur. 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 (100 % CaCO_3). Mis en œuvre dans la construction et la décoration.

Afin de réduire la consommation d'énergie et d'émissions de CO_2 et augmenter la production, les fabricants de ciment utilisent des additions minérales telles que le laitier, la pouzzolane et le calcaire. [44]

C'est dans ce sens que cette partie expérimentale étudie l'influence de fillers de calcite sur le comportement des mortiers au jeune âge, d'une substitution partielle de ciment Portland, par des fillers de calcite.

II.9.1. Propriétés physico-chimiques de la calcite :

- Dureté : 3 (MPa)
- Trace : blanche
- Couleur : incolore, blanche, jaune, brune, rouge, noire
- Transparence : transparente, translucide
- Éclat : vitreux, nacré
- Densité : 2,6 à 2,8
- Indice de réfraction : de 1,48 à 1,65
- Luminescence : blanche, jaunâtre, bleuâtre, rougeâtre, orange, verdâtre
- Composition chimique : 100% CaCO_3
- Propriétés chimiques : Éclate dans la flamme et libère CO_2 , le CaO naissant colore la flamme en orange, bouillonne dans HCl [45].

II.10. 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 l'incorporation de ces matériaux dans les mortiers 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 contributeurs positivement aux résistances mécaniques des mortiers à l'état durci et ceci en raison de leur composition chimique, de leur granulométrie ainsi que de la forme de leur élément.