

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie civil

Option : Conception et Calcul de Construction

Présenté par : MOUMENE SARA

ATHAMNIA GHANIA

Thème : CIMENT ET CIMENTERIES EN ALGERIE : PRODUCTION ET NORMALISATION

Sous la direction de : Pr BENMALEK M.L

Juin 2013

Remerciements

*Nous remercions beaucoup, et avant tout, le seul, le puissant
et le grand Allah, pour la force et la puissance qui nous
adonné tout au long de nos années d'étude.*

*Nous tenons à remercier les enseignants du département
Génie Civil qui ont participé à notre formation au cours de
toutes nos années d'études, et particulièrement, notre
encadreur*

« Pr : BENMALEK M.L »

*Je remercie les membres de jury d'avoir accepté de juger
mon présent travail.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont soutenu et
aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.*

Merci à tous

SOMMAIRE

Chapitre I : Généralités sur le ciment

I-1) Définition.....	01
I-2) Historique.....	01
I-3) Principe de fabrication.....	03
I-3.1) La fabrication des ciments portland.....	04
<i>a) Extraction et concassage.....</i>	<i>04</i>
<i>b) La préparation du cru.....</i>	<i>05</i>
<i>c) Les différentes étapes de la cuisson.....</i>	<i>06</i>
<i>d) Le broyage ciment.....</i>	<i>07</i>
<i>e) Stockage et expédition de ciment.....</i>	<i>08</i>
I-3.2) Procédés de fabrication du ciment.....	10
I-3.2.1) Fabrication par voie humide.....	12
I-3.2.2) Fabrication par voie semi-humide.....	14
<i>a) La voie semi-humide avec filtre presse et tour de préchauffage.....</i>	<i>14</i>
<i>b) La voie semi-humide avec filtre presse et grille lepol.....</i>	<i>15</i>
I-3.2.3) Fabrication par voie sèche.....	16
<i>a) La voie sèche avec tour de préchauffage.....</i>	<i>18</i>
<i>b) La voie sèche avec tour de pré-calcination.....</i>	<i>19</i>
I-3.2.4) La voie semi-sèche.....	20
<i>a) La voie semi-sèche avec sole de granulation et grille lepol.....</i>	<i>20</i>
I-4) Contrôle qualité des produites.....	21
I-5) Utilisation.....	22
I-6) Constituants de base de ciment.....	23
<i>a)</i>	<i>C 23</i>
<i>linker.....</i>	
<i>b) Les constituants secondaires.....</i>	<i>23</i>
I-7) Composition chimique minéralogique du ciment.....	26

I-8) Classification des ciments.....	27
I-8.1) Classification des ciments en fonction de leur composition.....	27
I-8.2) Classification des ciments en fonction de leur résistance normale.....	29
<i>I-8-3) Domaine d'emploi des ciments.....</i>	30

Chapitre II : les ciments en Algérie

II-1) Les unités de production.....	32
II-1.1) Introduction.....	32
II-1.2) Les cimenteries algériennes.....	37
II-1.2.1) Les cimenteries 100% Algérienne.....	39
<i>1-Société des ciments d'Ain El Kebira (SCAEK).....</i>	37
<i>2-Société des ciments d'Ain touta(SCIMAT).....</i>	45
<i>3-Enterprise des ciments de Chlef (ECDE).....</i>	49
<i>4-Société des ciments De Saida,Spa (SCIS).....</i>	51
<i>5-Société des ciments De Tébassa(SCT).....</i>	52
<i>6-Société des ciments de l'Algérois (SCAL).....</i>	53
<i>7-Société des ciments de hamma bouziane (SCHB).....</i>	53
II-1.2.2) Les cimenteries 65% Algérienne.....	54
<i>1-La société des ciments de la Mitidja (S.C.MI).....</i>	54
<i>2-La société des ciments Béni-Saf (SCIBS).....</i>	59
<i>3-La société des ciments de Zahana (SCIZ).....</i>	59
<i>4-La société des ciments de Hadjar Essoud.....</i>	60
<i>5-La Société des ciments de Sour El Ghozlane(SCSEG).....</i>	63
II-2) Les principales catégories de ciment Algérienne.....	65
II-2.1) Classification des ciments en fonction de leur composition.....	65

II-2.2) Les valeurs de résistance à la compression des classes de ciment.....	67
II-2.3) Le temps de début de prise des ciments.....	68
II-2.4) Les compositions chimiques des ciments.....	69
II-2.5) Les domaines d'utilisation des ciments.....	70
II-2.6) L'emballage du ciment.....	71

Chapitre III : Principales caractéristiques des ciments

III-1) Masse volumique du ciment.....	73
III-1.1) Masse volumique absolue.....	73
III-1.2) Masse volumique apparente.....	75
III-2) Finesse du ciment.....	76
III-3) Consistance normalisée du ciment.....	78
III-4) Essai de prise.....	80
III-5) Résistance mécanique à la compression et à la traction (EN196-1).....	82
<i>a)-traction par flexion</i>	82
<i>b)-compression</i>	84
III-6) Retraits et gonflements.....	87
III-6.1) Retraits et gonflements.....	87
III-6.2) Mécanismes des retraits et gonflements après prise.....	88
	89
Conclusion générale.....	

LISTE DES FIGURES :

Chapitre I :

Figure I-1 : Processus général de fabrication du ciment. **Page(3)**

Figure I-2 : Etapes de transport les matières premières. **Page(4)**

Figure I-3 : Gisement calcaire. **Page(5)**

Figure I-4 : Gisement marne. **Page(5)**

Figure I-5 : Les étapes de la transformation des matières premières à la crue. **Page (5)**

Figure I-6 : Etapes de transformation du cru en clinker. **Page(6)**

Figure I-7 : Transport et stockage du clinker. **Page(7)**

Figure I-8 : Etapes de transformation du clinker au ciment. **Page(8)**

Figure I-9 : Stockage et expédition. **Page(8)**

Figure I-10 : Schéma de fabrication de ciment portland. **Page(9)**

Figure I-11 : Processus de fabrication du ciment par voie humide. **Page(12)**

Figure I-12 : Usine avec une voie humide. **Page (14)**

Figure I-13 : Processus de fabrication du ciment par voie semi-humide avec filtre presse et tour de préchauffage. **Page(14)**

Figure I-14 : Processus de fabrication du ciment par voie semi-humide avec filtre presse et grille lopol. **Page(15)**

Figure I-15 : Schéma de processus de fabrication du ciment par voie sèche. **Page(17)**

Figure I-16 : Usine avec une voie sèche. **Page(18)**

Figure I-17 : Voie sèche avec tour préchauffage. **Page(18)**

Figure I-18 : Voie sèche avec tour pré-calcination. **Page(19)**

Figure I-19 : Voie semi-sèche avec sole de granulation et grille lepol. **Page(20)**

Figure I-20 : Contrôle qualité des produites. **Page(21)**

Chapitre II :

Figure II-1 : Localisation des cimenteries d'Algérie. **Page(37)**

Figure II-2 : Taux de Contribution Ventes Ciments à l'échelle Groupe GICA-Année 2012.
Page(38)

Figure II-3 : Taux de Contribution en Ciment à l'échelle Groupe GICA -année 2012- **Page (39)**

Figure II-4 : Vue d'ensemble de la cimenterie d'Ain el kebira. **Page(39)**

Figure II-5 : Sac de ciment CPJ-CEM II/A 42.5. **Page(40)**

Figure II-6 : Sac de ciment CRS 400. **Page(41)**

Figure II-7 : Graphique des chiffres d'affaire entre 2005 et 2011. **Page(42)**

Figure II-8 : Graphique des valeurs ajoutées entre 2005 et 2011. **Page(43)**

Figure II-9 : Graphique des résultats bruts entre 2005 et 2011. **Page(43)**

Figure II-10 : Graphique de la production de clinker entre 2005 et 2011. **Page(44)**

Figure II-11 : Graphique la production de ciment entre 2005 et 2011. **Page(44)**

Figure II-12 : Graphique du vent de ciment entre 2005 et 2011. **Page(44)**

Figure II-13 : Graphique les capitaux propre entre 2005 et 2011. **Page(45)**

Figure II-14 : Graphique de la production de ciment entre 2010 et 2012. **Page(47)**

Figure II-15 : Graphique du vent de ciment entre 2010 et 2012. **Page(47)**

Figure II-16 : Graphique des frais de la formation entre 2010 et 2012. **Page(47)**

Figure II-17 : Graphique les nombres de formés entre 2010 et 2012. **Page(48)**

Figure II-18 : Graphique les chiffres d'affaire entre 2010 et 2012. **Page(48)**

Figure II-19 : Vue d'ensemble de la cimenterie de Chleff. **Page(49)**

Figure II-20 : Vue d'ensemble de la cimenterie de Saida. **Page(51)**

Figure II-21 : Vue d'ensemble de la cimenterie de Hamma Bouziane (SCHB). **Page(53)**

Figure II-22 : Sac de ciment CPJ-CEM II/A 42, 5. **Page(56)**

Figure II-23 : Le réseau de distribution à travers le territoire nationale de la SCIBS. **Page(57)**

Figure II-24 : Graphique de la production de clinker en tonne entre 2005 et 2012. **Page(58)**

Figure II-25: Graphique de la production de ciment en tonne entre 2005 et 2012. **Page(58)**

Figure II-26: Graphique du l'expédition de ciment entre 2005 et 2012. **Page(58)**

Figure II-27: La société de zahana. **Page(59)**

Figure II-28: Vue d'ensemble de la cimenterie de Hadjar Essoud. **Page(60)**

Figure II-29: Sac de ciment CPJ-CEM II/A 42, 5. **Page(61)**

Figure II-30: Graphique du Chiffre d'affaire entre 2005 et 2011. **Page (62)**

Figure II-31: Graphique de la production de clinker entre 2005 et 2011. **Page (62)**

Figure II-32: Graphique de la valeur ajoutée en MDA. **Page(63)**

Figure II-33: Vue d'ensemble de la cimenterie de Sour El Ghozlanne. **Page(63)**

Chapitre III :

Figure III-1 : Densimètre le Chatelier. **Page (73)**

Figure III-2 : Pycnomètre. Page (74)

Figure III-3 : Balance. Page (74)

Figure III-4 : Mode opératoire : Essai de la masse volumique absolue. Page (75)

Figure III-5 : Matériel nécessaire. Page (75)

Figure III-6 : Mode opératoire : Essai de la masse volumique apparente. Page (76)

Figure III-7 : Principe de fonctionnement du perméabilimètre de Blaine. Page (77)

Figure III-8 : Appareil de Vicat. Page (79)

Figure III-9 : Détermination du temps de début de prise. Page (80)

Figure III-10 : Détermination du temps de fin de prise. Page (81)

Figure III-11 : Appareil de Vicat muni de l'aiguille amovible. Page (82)

Figure III-12 : Bâti de flexion. Page (82)

Figure III-13 : Dispositif pour l'essai de résistance à la traction par flexion. Page (83)

Figure III-14 : Les vannes. Page (83)

Figure III-15 : L'appareil de contrôle de l'essai. Page (83)

Figure III-16 : Résistance du mortier Normal. Page (84)

Figure III-17 : Bâti de compression. Page (85)

Figure III-18 : Dispositif de rupture en compression. Page (85)

Figure III-19 : La presse. Page (86)

Figure III-20 : La vanne de vitesse. Page (86)

Figure III-21 : Appareillage pour la mesure du retrait. Page (88)

LA LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I :

Tableau I-1 : Durée de stockage en fonction des conditions de stockage. **Page(9).**

Tableau I-2 : Procédés généraux de fabrication du ciment. **Page(10).**

Tableau I-3 : Composition chimique du laitier granulé. **Page(24).**

Tableau I-4 : Composition chimique moyenne des cendres de houille **Page(24).**

Tableau I-5 : Les fumées de silices. **Page(25).**

Tableau I-6 : Teneur moyenne des oxydes constitutifs du clinker. **Page(26).**

Tableau I-7 : Composition minéralogique du ciment. **Page(27).**

Tableau I-8 : *Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition.*
Page(28)

Tableau I-9 : *Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe.* **Page(29).**

Tableau I-10 : *Limite des classes et sous classes de résistances (nouvelle norme AFNOR)*
Page(29).

Tableau I-11 : *Domienne d'emploi des différents types des ciments.* **Page(31).**

Chapitre II :

Tableau II-1 : La production de ciment par société. **Page(34)**

Tableau II-2 : Caractéristiques Chimiques de Ciments Portland aux Ajouts. **Page(41)**

Tableau II-3: les caractéristiques chimiques de ciment Résistant aux Sulfates(CRS).**Page(42)**

Tableau II-4 : la production physique en Tonne. **Page(50)**

Tableau II-5 : la production et du chiffre d'affaires (2000/2006). **Page(50)**

Tableau II-6 : Caractéristiques chimiques de CPJ CEM II/A 42.5.**Page(51)**

Tableau II-7 : Caractéristiques physiques de CPJ CEM II/A 42.5. **Page(51)**

Tableau II-8 : Chiffre d'Affaires. **Page(52)**

Tableau II-9 : Evaluation du Potentiel de Production. **Page(53)**

Tableau II-10 : Evolution de la production physique. **Page(57)**

Tableau II-11 : *Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition.*
Page(66)

Tableau II-12 : Valeurs de résistance à la compression des classes de ciments. **Page(68).**

Tableau II-13 : Temps de début de prise des ciments (min). **Page(68).**

Tableau II-14 : compositions chimiques des ciments. **Page(69).**

Tableau II-15 : Domaines d'utilisation des ciments. Page(71).

Résumé

Le travail que nous présentons dans ce mémoire concerne les ciments produits en Algérie ainsi que les cimenteries implantées dans ce pays. Il concerne également la réglementation qui régit la constitution et l'utilisation de ces produits. Il s'agissait d'élaborer une sorte de guide regroupant l'essentiel des informations relatives aux ciments en Algérie.

Dans une première partie, d'ordre bibliographique, nous avons rassemblé tout ce qui est relatif à la définition, historique, composition et le processus de fabrication des ciments.

Dans une deuxième partie, nous avons regroupé l'ensemble des résultats de notre investigation qui a porté sur les ciments et les cimenteries Algériennes (au nombre de 12), leurs implantations, leurs productions et leurs caractéristiques.

Dans une troisième partie, les principales caractéristiques des ciments ont été décrites dans le but de présenter les modes opératoires pour les déterminer.

Enfin dans les annexes du mémoire, nous avons mis à la disposition du lecteur les normes relatives aux matériaux de construction en général, dont les ciments, ainsi que la réglementation régissant les ciments en Algérie.

Abstract

The work that we present in this memory concerns the cements produced in Algeria as well as the cement factory implanted in this country. He/it also concerns the regulation that governs the constitution and the use of these products. It was about of elaborates guide's sort regrouping the essential of the relative information to the cements in Algeria.

In a first part, of bibliographic order, we gathered everything that is relative to the definition, historic, composition and the process of manufacture of the cements.

In a second part, we have regrouped the set of the results of our investigating that was about the cements and the Algerians cement factory (number =12), their implantations, their productions and their characteristics.

In a third part, the main features of the cements have been described in the goal of present the operative fashions to determine them.

Finally in appendices of the memory, we put in general at the disposal of the reader the relative norms to the materials of construction, of which the cements, as well as the regulation governing the cements in Algeria.

Chapitre 01

GENERALITES SUR LE CIMENT

I-1) DÉFINITION : [26]

Le ciment est un liant hydraulique. On entend par là une substance qui, mélangée à l'eau dite de gâchage, est capable ensuite de durcir aussi bien à l'air que sous l'eau. La pâte de ciment durci est pourvue d'une résistance mécanique élevée et elle ne se dissout plus dans l'eau.

Le terme " ciment " est issu du latin *coementum* qui signifie mortier, liant des maçonneries. Ce sens étymologique a donc été à peu près conservé ; il s'est toutefois restreint aux seuls liants dits hydrauliques – parce qu'ils sont capables de durcir sous l'eau –, dont le durcissement est dû aux réactions chimiques d'hydratation des silicates et des aluminates de chaux.

Le ciment est généralement fabriqué en cuisant vers 1 450°C des mélanges de calcaire et d'argile. On obtient alors des nodules durs, appelés clinkers ; c'est en broyant très finement ceux-ci, additionnés d'un peu de gypse, qu'on produit le ciment Portland. D'autres types peuvent être obtenus en mélangeant ce clinker broyé avec des constituants, broyés également, qui présentent des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques : ce sont soit des laitiers de hauts fourneaux granulés, soit des cendres volantes ou encore des pouzzolanes, naturelles ou artificielles.

Il existe, en outre, des ciments spéciaux, tels les alumineux ou les sur sulfatés. La principale utilisation du ciment est le béton, dont il est le composant actif, mais il entre aussi dans la composition des mortiers pour maçonneries ou pour enduits.

I-2) HISTORIQUE : [26]

Dans la préhistoire et au début de l'Antiquité, les maçonneries étaient soit liées à l'argile, soit réalisées sans liant, comme les murs pélasgiques de Grèce ou les murs Incas. À Babylone, les maçonneries de briques étaient liées au bitume. Les Égyptiens utilisèrent pour les pyramides, notamment, un plâtre grossier produit par cuisson d'un gypse (sulfate de calcium) impur. Les Grecs furent parmi les premiers constructeurs employant la chaux obtenue par cuisson du calcaire (carbonate de chaux). Les Romains se servirent beaucoup de la chaux dans leurs constructions, mais améliorèrent ce liant dès le Ier siècle avant J.-C., en l'additionnant de pouzzolane soit naturelle comme les cendres volcaniques actives, soit artificielles comme les briques pilées. Ils obtinrent ainsi un liant hydraulique, appelé ciment

romain, qui est en fait intermédiaire entre une chaux et un véritable ciment. Celui-ci permit de construire de grands ouvrages hydrauliques, tel le pont du Gard, ou maritimes tels les ports.

Aucun progrès ne fut accompli sur les liants pendant le Moyen Âge, dont les principales constructions – cathédrales, châteaux... – doivent leur réussite surtout aux progrès réalisés dans l'art de tailler et d'assembler les pierres.

C'est seulement au XVIIIe siècle, les procédés de cuisson s'améliorant, que des chaux hydrauliques, intermédiaires entre les chaux et les ciments, furent produites. En 1756, l'Anglais Smeaton, en mélangeant celles-ci avec des pouzzolanes, obtint un mortier aussi dur que la pierre de Portland. Cette élaboration fut reprise par ses successeurs. Ainsi fut introduite progressivement dans le langage l'appellation de ciment Portland.

En 1817, le Français Louis Vicat, étudiant scientifiquement et non plus empiriquement, comme ses prédécesseurs, les chaux hydrauliques, découvrit les principes chimiques des ciments et définit leurs règles de fabrication. Aussi en est-il considéré comme l'inventeur.

En 1824, l'Anglais Aspdin prit un brevet pour la fabrication d'un ciment de Portland, mais celui-là comportait encore beaucoup de points obscurs. C'est seulement en 1845 que l'Anglais Johnson indiqua de façon précise les règles de fabrication de ce produit. À la fin du XIXe siècle, en France, Le Chatelier étudia la composition chimique des divers constituants des ciments ; son œuvre fut perfectionnée et achevée par l'Américain Bogue au XXe siècle.

En 1890, on comprit l'intérêt du laitier granulé ajouté au ciment, et, après 1945, celui des cendres volantes. Les ciments spéciaux sont d'invention plus récente : le ciment alumineux fut découvert par Bied, en 1908.

I-3) PRINCIPE DE FABRICATION: [01]

Le ciment Portland artificiel, le CPA, résulte du broyage du clinker avec environ 5% de gypse pour réguler la prise. Le clinker est une roche artificielle obtenue par cuisson à 1450°C, constitué le plus souvent d'un mélange d'environ 80% de calcaire (apportant la CaO) et d'environ 20% d'argile (apportant la silice SiO_2 , l'alumine Al_2O_3 , et le fer Fe_2O_3). Les clinkers peuvent être très différents les uns des autres du fait de la composition du cru, du mode de cuisson et du refroidissement. C'est dire qu'en les broyant à des finesses variées avec des teneurs en gypse plus ou moins importantes, on obtiendra des ciments portland artificiels n'ayant pas les mêmes caractéristiques.

On fabrique des ciments encore plus variés grâce à l'ajout de constituants secondaires tels que les laitiers de haut fourneau (L), les cendres volantes (C) les pouzzolanes (z), et les fumées de silice (D).

Schématiquement selon [21], la fabrication des ciments se réduit aux 5 étapes principales constituant le processus de fabrication du ciment :

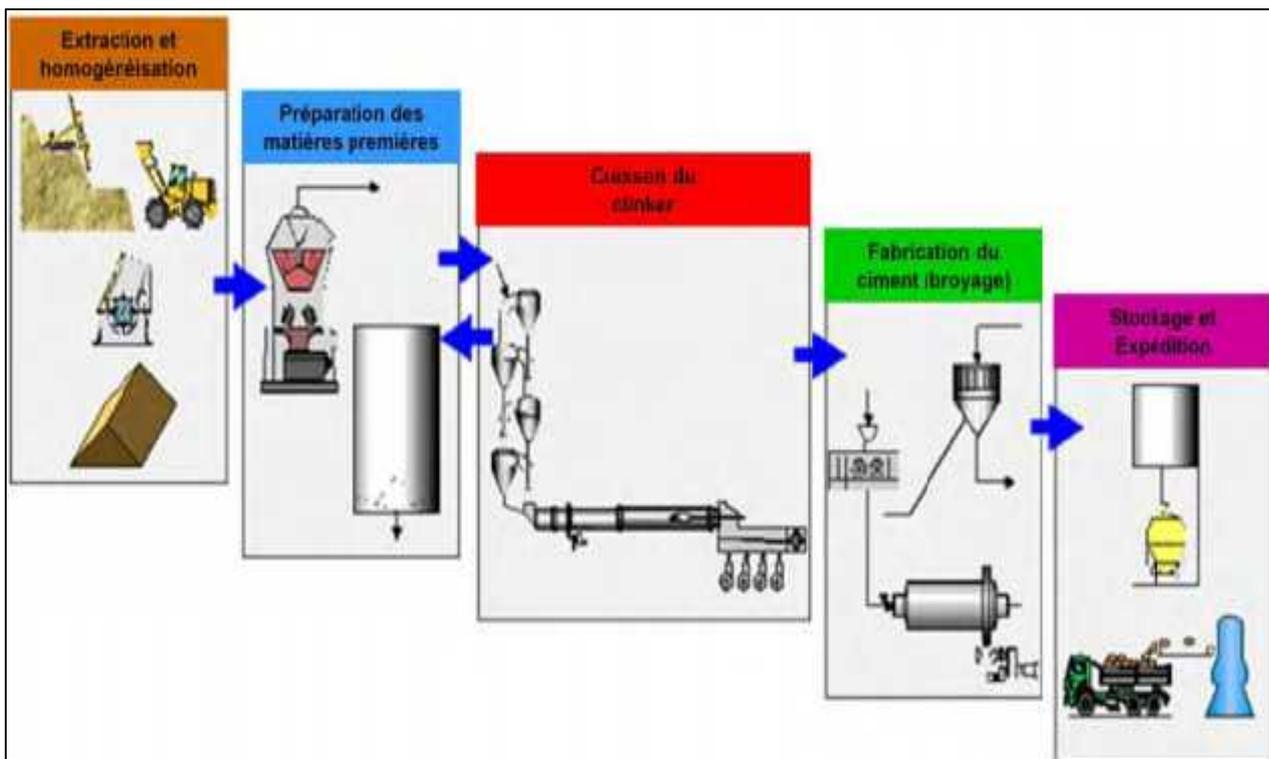


FIG I-1 : Processus général de fabrication du ciment.

1. L'extraction de la matière dans la carrière et son homogénéisation ;
2. La préparation des matières premières afin de constituer le cru (ou la pâte) ;
3. La cuisson aboutissant à la création du clinker ;

4. Le broyage du clinker et des ajouts pour fabriquer le ciment ;
5. Le stockage et l'expédition des ciments.

La fabrication du ciment peut avoir lieu indépendamment de celle du clinker et inversement.

En effet, le clinker issu de la cuisson de la matière première provenant de la carrière est stocké dans un hall ou un silo à clinker. Le broyeur, quant à lui, utilise le clinker stocké comme matière première. La consommation de ciment étant très cyclique (forte utilisation en été, faible en hiver), cette indépendance permet ainsi de maintenir une production constante de clinker, et de réduire ou augmenter la production de ciment en utilisant les capacités de stockage d'une usine (en clinker et en ciment) comme tampon.

I-3-1) La fabrication des ciments portland : [28]

❖ Le constituant principal des ciments est le clinker qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de 80% de calcaire et 20% d'argile.

❖ Les principales étapes de la fabrication du ciment sont la préparation du cru (composition et mélange des matières premières), la transformation de celui-ci par procédé de cuisson, et la transformation du produit de la cuisson (le clinker) en ciment.

Les étapes de la fabrication de ciment portland :

a) Extraction et concassage :

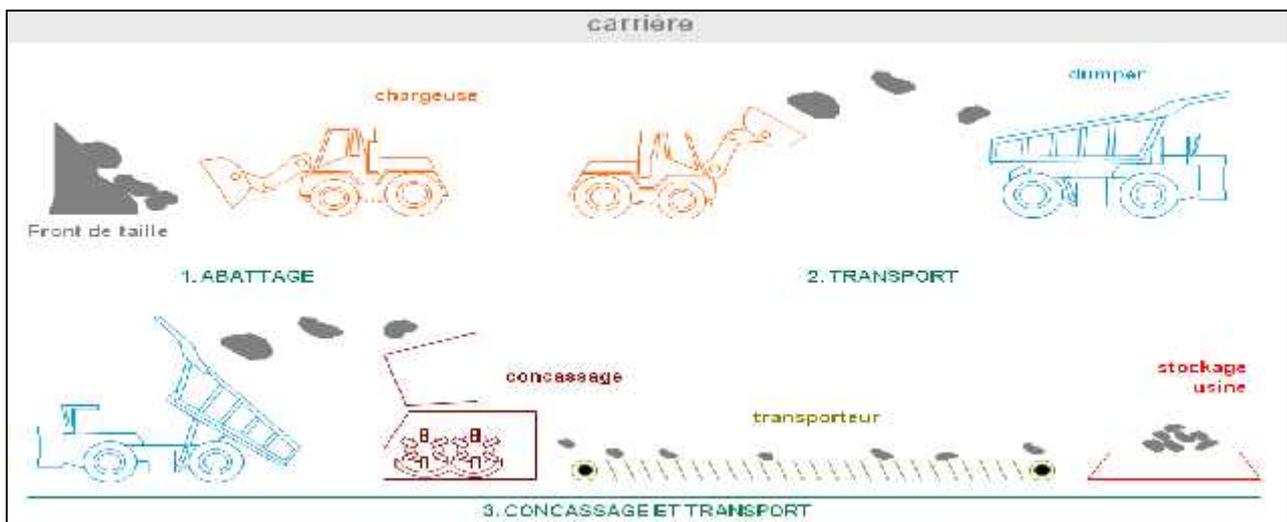


FIG I-2: Etapes de transport des matières premières.

-Le calcaire et la marne sont extraits par manutention mécanique une fois la roche abattue à l'explosif et par ripage au niveau de deux carrières. Les tout venants transportés par des Dumpers de charges utiles de 26 à 60 tonnes.

-Le calcaire et la marne sont concassés séparément dans des ateliers de concassage pour une réduction de 0-25mm.

-Le calcaire est concassé par un concasseur à percussions d'un débit nominal de 1000t/h.

-La marne est concassé par un concasseur à percussions d'un débit nominal de 250 t/h

-Les matières traitées sont transportées vers l'usine par tapis roulant vers un hall de stockage et de pré homogénéisation.



FIG I-3: Gisement calcaire [29]



FIG I-4 : Gisement marne [29]

b) La préparation du cru : [23]

Transformation des matières premières à la farine.

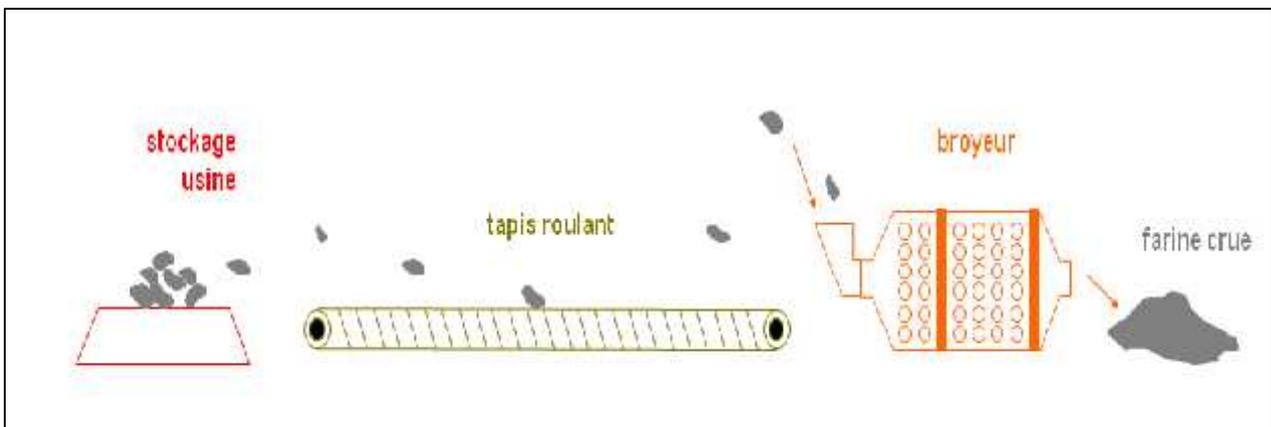


FIG I-5 : Etapes de transformation des matières premières en crue. [28]

- **Formulation du cru :**

L'étude du gisement des matières premières permet de définir la composition exacte du cru avec les besoins en ajouts qu'exige le procédé de fabrication. La qualité et la régularité requises pour les matières premières assurent, au final, la qualité de ciment recherchée. Le ciment nécessite des teneurs proportionnées des différents composants : chaux, silice, alumine

et oxyde ferrique. Le composant principal du mélange est le calcaire 80%, riche en carbonate de calcium. L'argile 20% est utilisée comme composant d'appoint.

- **La pré-homogénéisation :**

Après concassage des blocs extraits de la carrière, on mélange, de façon aussi homogène que possible, leurs différents composants et les ajouts déterminés lors de la formulation. C'est la phase de pré-homogénéisation.

- **Broyage du cru :**

Le broyage procède par fragmentations successives des grains jusqu'à obtenir des grains de faible dimension pour faciliter leur cuisson. L'échange thermique et les réactions chimiques sont en effet d'autant plus intenses lors de la cuisson que les surfaces de contact entre les grains de matière et les gaz sont importantes.

- **L'homogénéisation :**

Ultime étape avant la cuisson, l'homogénéisation, par un brassage intime, confère à la matière crue une composition chimique stable. De cette stabilité dépend la régularité des propriétés du clinker.

c) Les différentes étapes de la cuisson :

Transformation du cru au clinker.

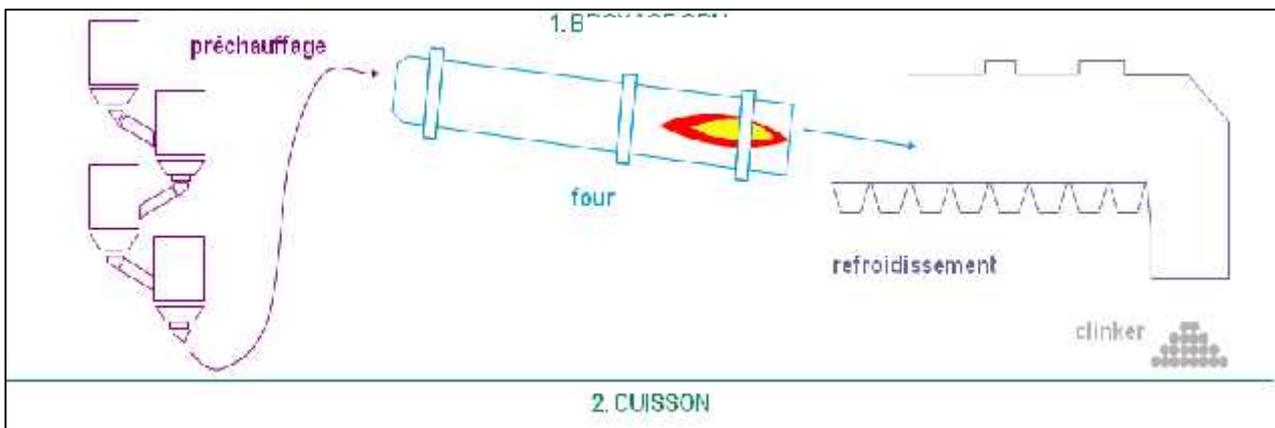


FIG I-6 : Etapes de transformation du cru en clinker. [28]

- **Le préchauffage :**

L'opération commence par l'évaporation de l'eau que le mélange cru contient et se poursuit par la décarbonatation. Le préchauffage se fait dans une série de cyclones, disposés verticalement sur plusieurs étages, appelée "préchauffeur". La matière froide, introduite dans la partie supérieure, se réchauffe au contact des gaz. D'étage en étage, elle arrive partiellement décarbonatée, jusqu'à l'étage inférieur, à la température d'environ 800°C.

- **La pré-calciation :**

Elle se fait dans le pré-calciateur placé entre le préchauffeur et le four. La décarbonatation commencée dans le préchauffeur se fait pour l'essentiel dans le pré-calciateur et se termine dans le four. Cette opération, qui s'effectue à des températures entre 650 et 900°, permet de libérer le gaz carbonique pour obtenir la chaux nécessaire à la fabrication de clinker.

- **La clinkérisation :**

Cette opération a lieu dans le four. Portés à haute température, entre 1450 et 1550°, la chaux, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer, apportés par les matières premières, se combinent entre eux pour former les nouveaux composés chimiques qui entrent dans la composition minéralogique du clinker. Après refroidissement, le clinker se présente sous la forme de granules d'environ (0.5 à 4 cm) de diamètre.

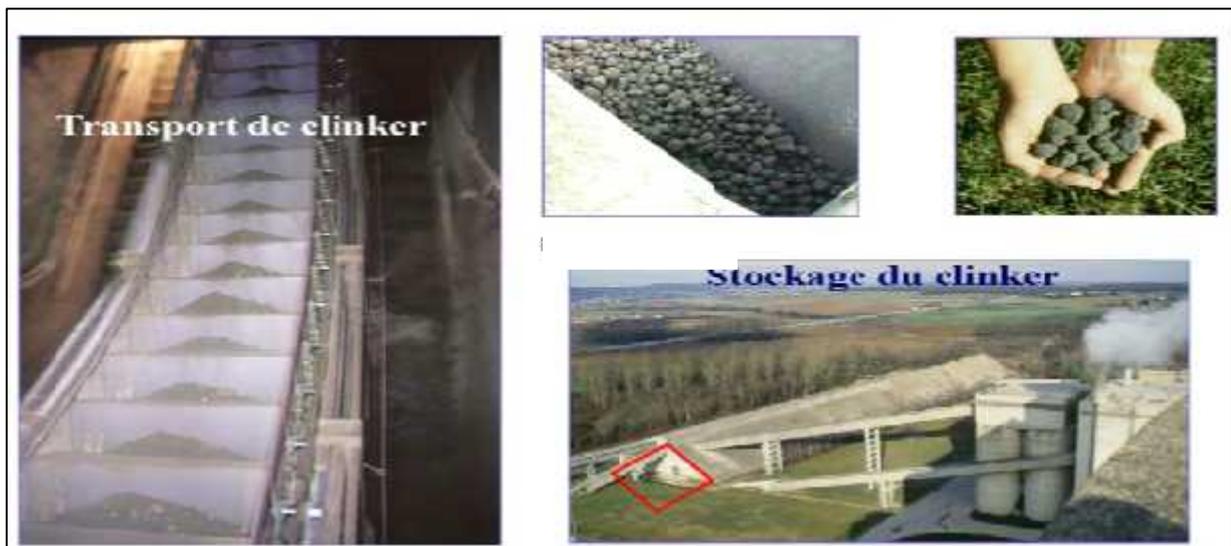


FIG I-7 : Transport et stockage du clinker. [21]

Le clinker évacué par tapis vers le hall/silo à clinker où il sera stocké en attendant d'être broyé pour faire du ciment.

La capacité de stockage peut atteindre plusieurs dizaines de milliers de tonnes (60 000 tonnes en bas).

d) Le broyage ciment :

Transformation du clinker au produit fini.

Le ciment est obtenu par broyage de clinker, de gypse, d'ajouts et d'additifs secondaires.

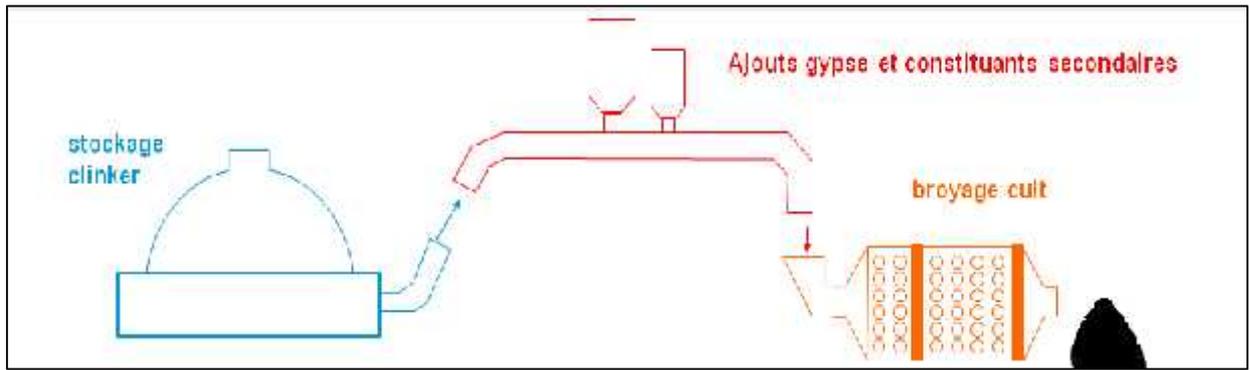


FIG I-8 : Etapes de transformation du clinker en ciment. [28]

- **Le broyage :**

Comme pour le cru, le broyage procède par fragmentations successives des grains pour augmenter la réactivité du clinker en augmentant la surface de contact. Ce traitement développe les propriétés hydrauliques du ciment.

- **Le gypse :**

Additionné à toutes les classes de ciment, le gypse opère comme régulateur du temps de prise du ciment lorsqu'on le mélange à l'eau. Il assure l'ouvrabilité du ciment, c'est-à-dire la possibilité de manipuler le mortier et le béton avant leur durcissement.

- **Les ajouts :**

Les ajouts déterminent les propriétés et certaines des qualités d'usage des ciments. Parmi ceux-ci, on trouve la pouzzolane, le laitier, la fumée de silice, les schistes calcinés et le calcaire. Le calcaire est l'additif le plus généralement utilisé (ils utilisés dans une proportion excédant 5 %, en_masse). On détermine la nature et les proportions des ajouts en fonction du type de ciment et de la classe de résistance recherchés. Le ciment est livré en sac ou en vrac.

e) Stockage et expédition de ciment: [24]

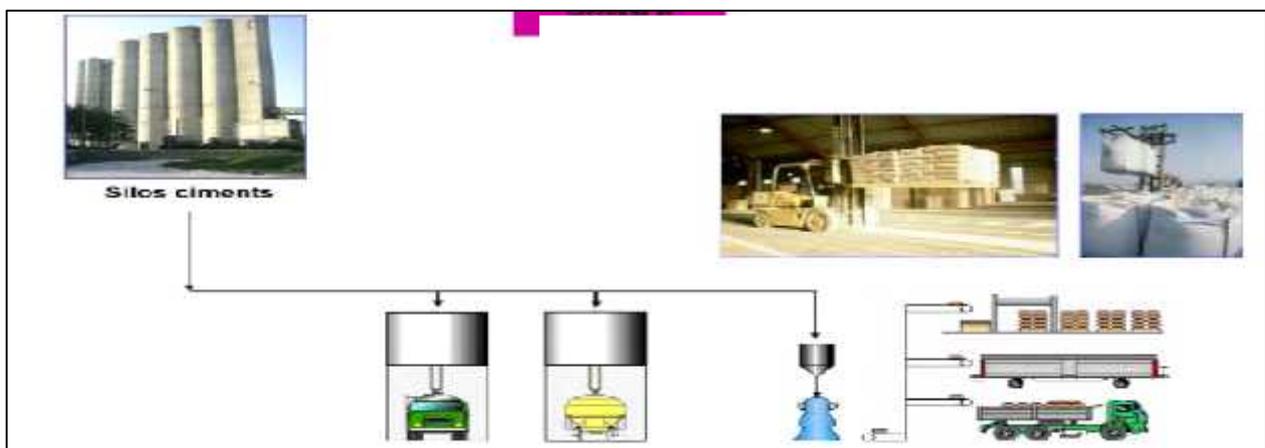


FIG I-9 : Stockage et expédition. [21]

Après le broyage, les ciments sont envoyés dans des silos. Un silo ne peut recevoir qu'une qualité de ciment bien définie. La capacité courante est de l'ordre de 2000 à 5000 tonnes, mais peut varier selon les usines et les produits à conserver.

Le ciment est ensuite commercialisé, en vrac, par camions ou en train pour alimenter des dépôts (proches des agglomérations), soit en sacs (50kg) pour alimenter les négociants de matériaux et les grandes surfaces de bricolage (GSB).

Parfois il peut être mis en «big bags» (ou poches) pour alimenter des chantiers particuliers avec certains produits spécifiques, ou pour l'exportation par mer.

Conditions de stockage	Durée de stockage
Silo hermétiquement fermé	Durée illimitée
Local sec + protection en polyane	10-12 mois
À ciel ouvert	2-4 mois en hiver et 12 en été

Tableau I-1: Durée de stockage en fonction des conditions de stockage.

- Le schéma suivant (FIG I-10) explique le processus global de la fabrication du ciment, selon [24].

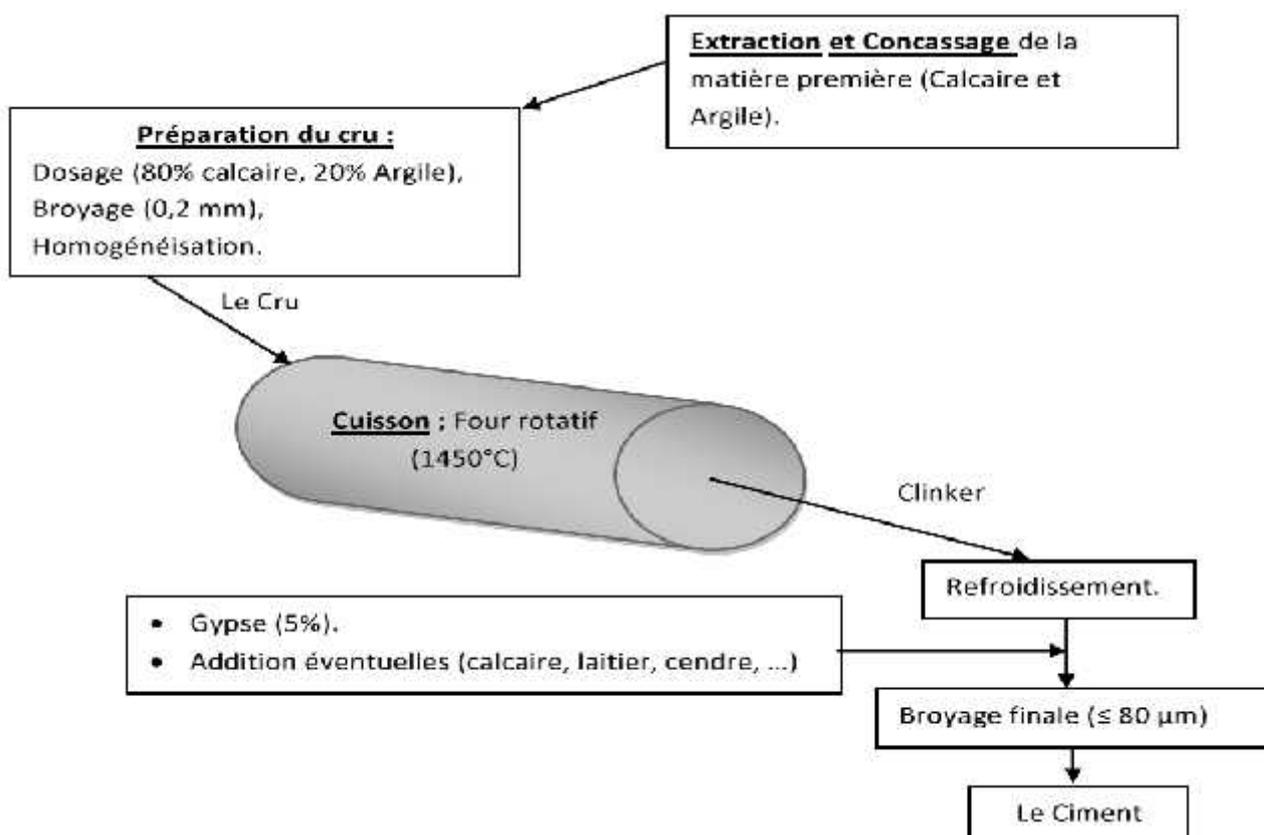


FIG I-10: Schéma de fabrication de ciment portland.

I-3-2) Procédés de fabrication du ciment : [01]

- Les 04 voies de fabrication de ciment et les principales étapes de préparation du cru jusqu'à la cuisson.

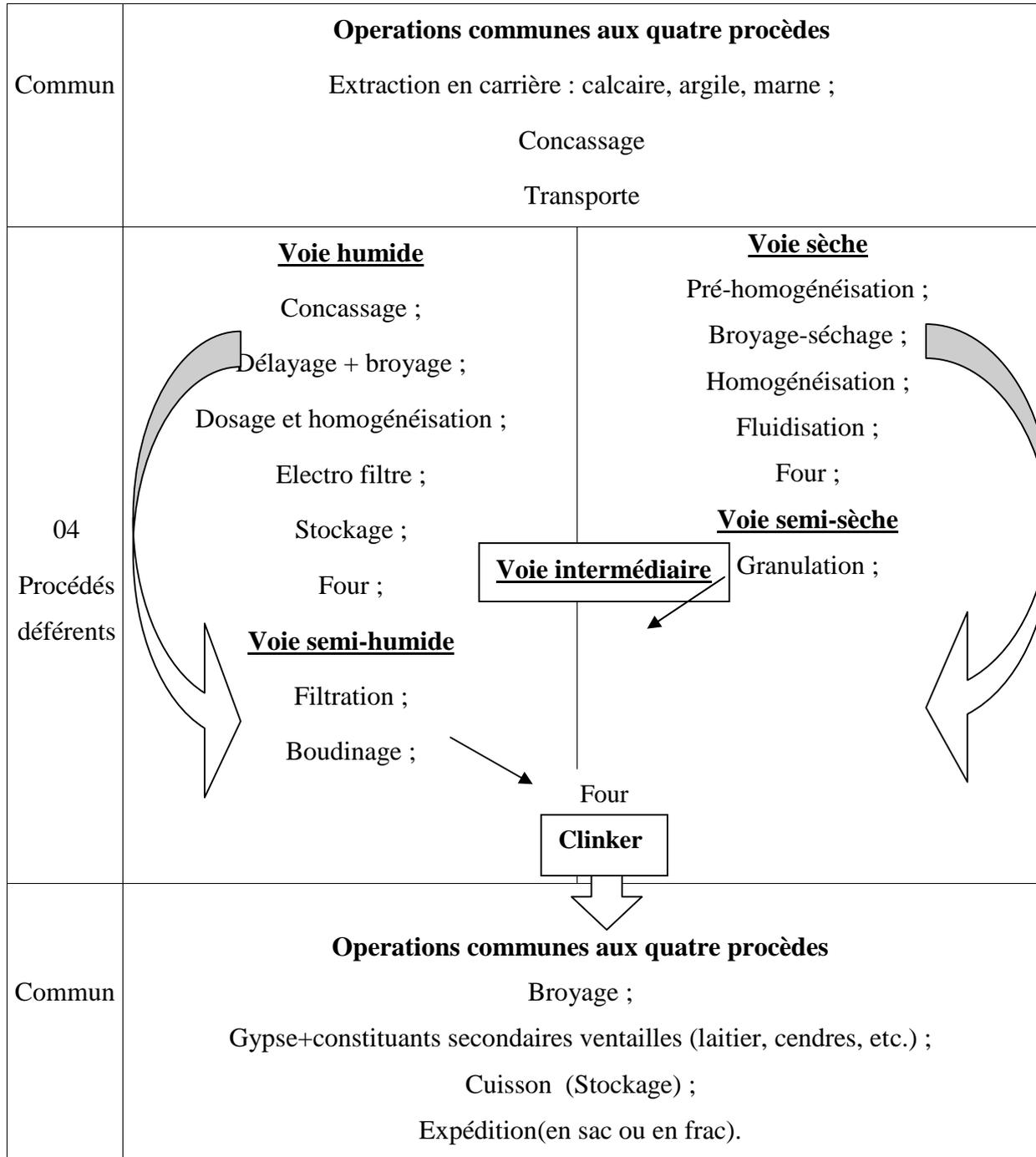


Tableau I-2 : Procédés généraux de fabrication du ciment.

Selon [22], il existe 4 types de processus différents (ces deux derniers étant des processus intermédiaires) :

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).

- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche).

Le composé de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃), et l'oxyde de fer (Fe₂O₃). La chaux nécessaire est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et en particulier Fe₂O₃, l'oxyde ferrique.

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant: calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

Un mélange d'argile et de calcaire est chauffé. Au début, on provoque le départ de l'eau de mouillage, puis au delà de 100 °C, le départ d'eau d'avantage liée. A partir de 400°C commence la composition en gaz carbonique (CO₂) et en chaux (CaO), du calcaire qui est le carbonate de calcium (CaCO₃).

Le mélange est porté à 1450-1550 °C, température de fusion. Le liquide ainsi obtenu permet l'obtention des différentes réactions. On suppose que les composants du ciment sont formés de la façon suivante: une partie de CaO est retenu par Al₂O₃ et Fe₂O₃ en formant une masse liquide. SiO₂ et CaO restant réagissent pour donner le silicate bicalcique dont une partie se transforme en silicate tricalcique dans la mesure où il reste encore du CaO non combiné.

I-3-2-1) Fabrication par voie humide : [22]

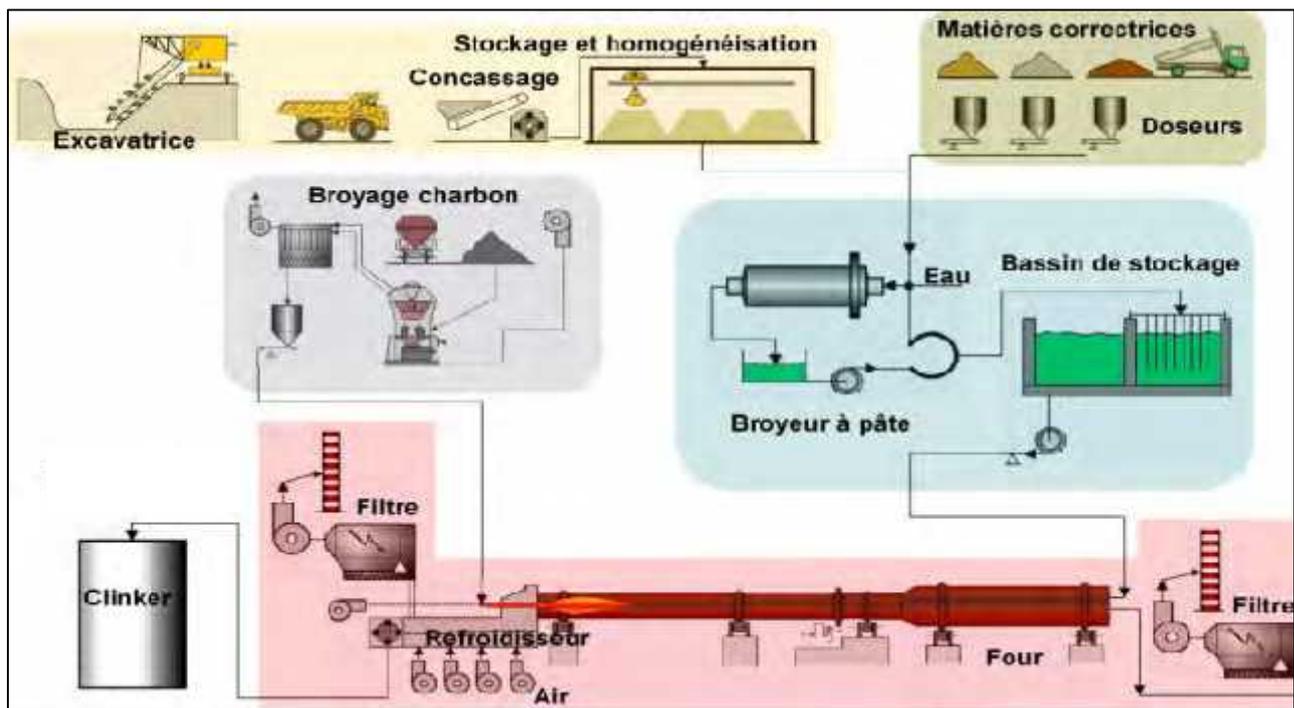


FIG I-11 : Processus de fabrication du ciment par voie humide. [21]

Cette voie est utilisée depuis longtemps. C'est le procédé le plus ancien, le plus simple mais qui demande le plus d'énergie.

Dans ce procédé, le calcaire et l'argile sont mélangés et broyés finement avec l'eau de façon, à constituer une pâte assez liquide (28 à 42% d'eau). On brasse énergiquement cette pâte dans de grands bassins de 8 à 10 m de diamètre, dans lesquels tourne un manège de herse.

La pâte est ensuite stockée dans de grands bassins de plusieurs milliers de mètres cubes, où elle est continuellement malaxée et donc homogénéisée. Ce mélange est appelé le cru. Des analyses chimiques permettent de contrôler la composition de cette pâte, et d'apporter les corrections nécessaires avant sa cuisson.

La pâte est ensuite envoyée à l'entrée d'un four tournant, chauffé à son extrémité par une flamme intérieure. Un four rotatif légèrement incliné est constitué d'un cylindre d'acier dont la longueur peut atteindre 200 mètres. On distingue à l'intérieure du four plusieurs zones, dont les 3 zones principales sont:

- Zone de séchage.
- Zone de décarbonatation.
- Zone de clinkerisation.

Les parois de la partie supérieure du four (zone de séchage - environ 20% de la longueur du four) sont garnies de chaînes marines afin d'augmenter les échanges caloriques entre la pâte et les parties chaudes du four.

Le clinker à la sortie du four, passe dans des refroidisseurs (trempe du clinker) dont il existe plusieurs types (refroidisseur à grille, à ballonnets). La vitesse de trempe a une influence sur les propriétés du clinker (phase vitreuse).

De toutes façons, quelque soit la méthode de fabrication, à la sortie du four, on a un même clinker qui est encore chaud de environ 600-1200 °C. Il faut broyer celui-ci très finement et très régulièrement avec environ 5% de gypse CaSO_4 afin de «régulariser» la prise.

Le broyage est une opération délicate et coûteuse, non seulement parce que le clinker est un matériau dur, mais aussi parce que même les meilleurs broyeurs ont des rendements énergétiques déplorables.

Les broyeurs à boulets sont de grands cylindres disposés presque horizontalement, remplis à moitié de boulets d'acier et que l'on fait tourner rapidement autour de leur axe (20t/mn) et le ciment atteint une température élevée (160°C), ce qui nécessite l'arrosage extérieur des broyeurs. On introduit le clinker avec un certain pourcentage de gypse en partie haute et on récupère la poudre en partie basse.

Dans le broyage à circuit ouvert, le clinker ne passe qu'une fois dans le broyage. Dans le broyage en circuit fermé, le clinker passe rapidement dans le broyeur puis à la sortie, est trié dans un cyclone. Le broyage a pour but, d'une part de réduire les grains du clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse (environ 4%) pour réguler quelques propriétés du ciment portland (le temps de prise et de durcissement).

A la sortie du broyeur, le ciment à une température environ de 160 °C et avant d'être transporter vers des silos de stockages, il doit passer au refroidisseur à force centrifuge pour que la température de ciment reste à environ 65 °C.

La figure **(I-12)** qui suit-il présente les différente zones de l'usine, ici une voie humide (on distingue un bassin d'homogénéisation), selon **[21]**.

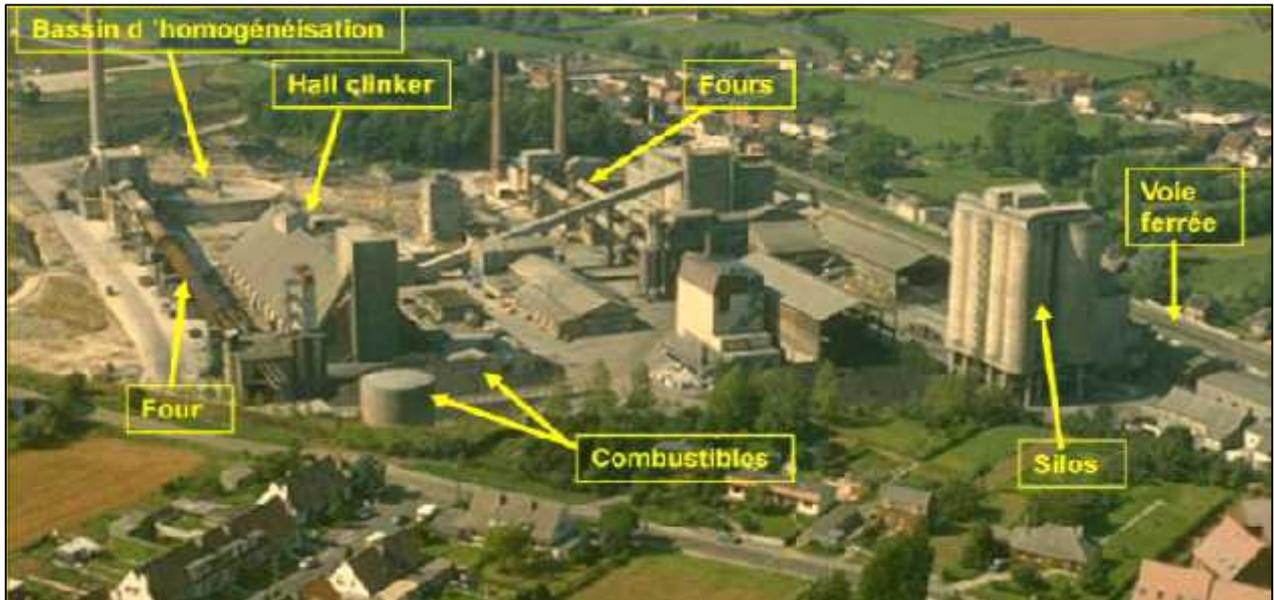


FIG I-12 : Usine avec une voie humide.

I-3-2-2) fabrication par voie semi-humide : [21]

a)- la voie semi-humide avec filtre presse et tour de préchauffage :

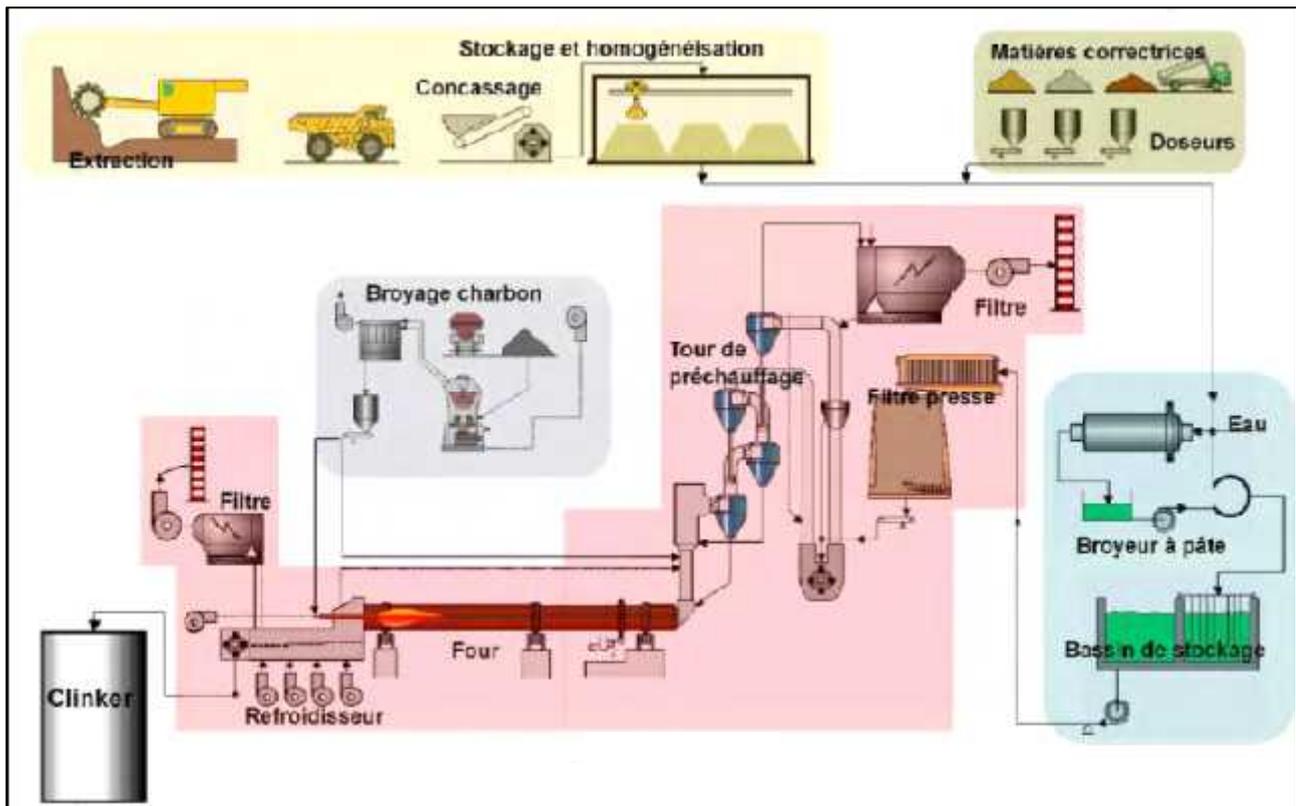


FIG I-13: Processus de fabrication du ciment par voie semi-humide avec filtre presse et tour de préchauffage.

❖ Dans le processus semi-humide, on retrouve les mêmes étapes de préparation des

matières premières, excepté le fait que la pâte va être filtrée au travers d'un filtre presse puis introduite dans une tour de préchauffage.

❖ Dans cette tour, les gâteaux de pâte, qui ne contiennent plus que 17 à 21 % d'eau, rencontrent les gaz issus du four dans des cyclones et se transforment petit à petit en une farine par déshydratation.

❖ Cette farine entre ensuite dans un four rotatif, plus court que celui présent dans le processus voie humide, puisqu'il n'est plus nécessaire à ce niveau d'éliminer l'eau de la pâte.

b)- la voie semi-humide avec filtre presse et grille lepol ;

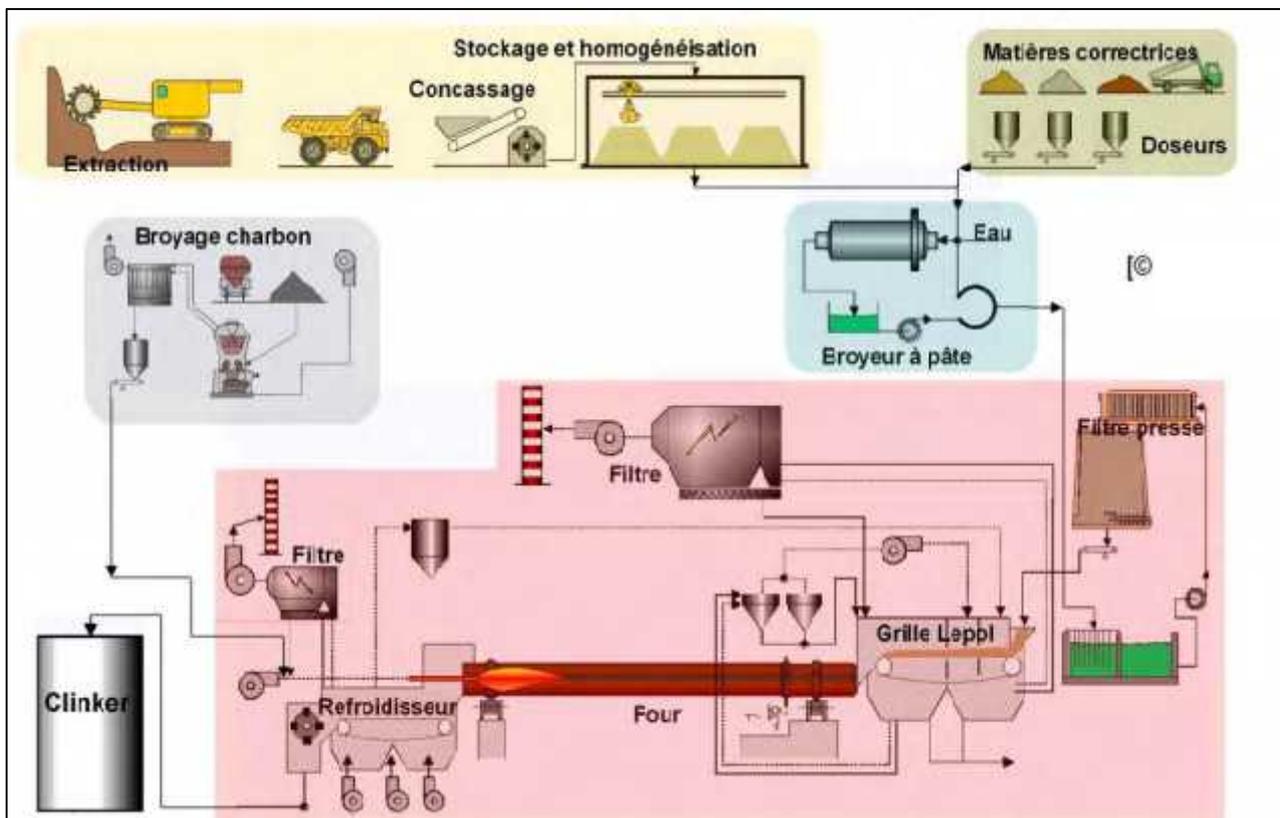


FIG I-14 : Processus de fabrication du ciment par voie semi-humide avec filtre presse et grille lepol.

❖ Dans le processus semi-humide, avec grille Lepol, les gâteaux de pâte provenant du filtre presse ne sont pas introduits dans une tour, mais dans un préchauffeur à grille Lepol.

❖ Dans ce préchauffeur, les gâteaux de pâte tombent sur des grilles perforées, au travers desquelles passent les gaz de combustion, provenant du four. Les gâteaux sont ainsi déshydratés et

Partiellement décarbonatés avant de pénétrer dans le four rotatif.



Le reste

du processus est analogue au précédent et on obtient le clinker en sortie du four rotatif.

I-3-2-3) fabrication par voie sèche : [22]

Les ciments usuels sont fabriqués à partir d'un mélange de calcaire (CaCO_3) environ de 80% et d'argile ($\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$) environ de 20%. Selon l'origine des matières premières, ce mélange peut être corrigé par apport de bauxite, oxyde de fer ou autres matériaux fournissant le complément d'alumine et de silice requis.

Après avoir finement broyé, la poudre est transportée depuis le silo homogénéisateur jusqu'au four, soit par pompe, soit par aéroglisseur. Les fours sont constitués de deux parties:

- Un four vertical fixe, préchauffeur (cyclones échangeurs de chaleur).
- Un four rotatif.

Les gaz réchauffent la poudre crue qui circule dans les cyclones en sens inverse, par gravité. La poudre s'échauffe ainsi jusqu'à 800 °C environ et perd donc son gaz carbonique (CO_2) et son eau. La poudre pénètre ensuite dans un four rotatif analogue à celui utilisé dans la voie humide, mais beaucoup plus court.

La méthode de fabrication par voie sèche pose aux fabricants d'importants problèmes techniques:

1. La ségrégation possible entre argile et calcaire dans les préchauffeurs. En effet, le système utilisé semble être néfaste et en fait, est utilisé ailleurs, pour trier des particules. Dans le cas de la fabrication des ciments, il n'en est rien. La poudre reste homogène et ceci peut s'expliquer par le fait que l'argile et le calcaire ont la même densité ($2,70 \text{ g/cm}^3$). De plus, le matériel a été conçu dans cet esprit et toutes les précautions ont été prises.
2. Le problème des poussières. Ce problème est rendu d'autant plus aigu, que les pouvoirs publics, très sensibilisés par les problèmes de nuisance, imposent des conditions draconiennes. Ceci oblige les fabricants à installer des dépoussiéreurs, ce qui augmente considérablement les investissements de la cimenterie. Les dépoussiéreurs sont constitués de grilles de fils métalliques portés à haute tension et sur lesquels viennent se fixer des grains de poussière ionisée. Ces grains de poussière s'agglomèrent et sous l'action de vibreurs qui agitent les fils retombent au fond du dépoussiéreur où ils sont récupérés et renvoyés dans le four. En dehors des pannes, ces

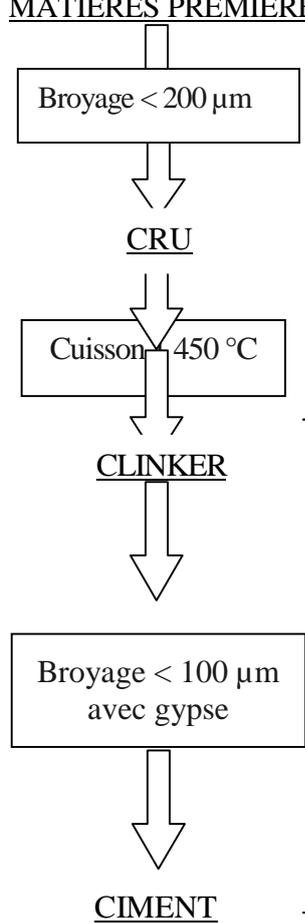
appareils ont des rendements de l'ordre de 99%, mais absorbent une part importante du capital d'équipement de la cimenterie.

3. Le problème de l'homogénéité du cru est délicat. Nous avons vu comment il pouvait être résolu au moyen d'une pré-homogénéisation puis d'une homogénéisation.

➤ Le schéma **FIG (I-15)** suivant illustre le processus global de la fabrication du ciment par la technique de la voie sèche selon [27]. C'est la technique la plus couramment utilisée dans les cimenteries algériennes.

STADES DE FABRICATION

(Voie sèche, la plus usuelle)
MATIÈRES PREMIÈRES



COMPOSITION

80% de calcaire (CaCO₃) 20 % d'argile (SiO₂ - Al₂O₃)
Correctifs: bauxite, oxydes de fer, laitier de haut fourneau...

Composition chimique (poids)			
chaux ferrique (CaO)	Silice (SiO ₂)	Alumine (Al ₂ O ₂)	Oxyde (Fe ₂ O ₃)

4 phases cristallines principales

Notation symbolique	Nom	Formule chimique	% en poids moyen
C ₃ S	*silicate tricalcique ou alite	3 CaO, SiO ₂	62
C ₂ S	*silicate bicalcique ou bélite	2 CaO, SiO ₂	22
C ₃ A	*aluminat tricalcique	3 CaO, Al ₂ O ₃	8
C ₄	Clinker + autres constituants éventuels: laitier de haut fourneau, cendres volantes, calcaires, fumées de silice.		

FIGI-15 : Schéma de processus de fabrication du ciment par voie sèche.

La figure **(I-16)** qui suite il présente les différente zones d'une autre usine, ici une voie sèche on distingue la carrière (pierre dure) et les cyclones, échangeurs thermiques permettant le réchauffement de la matière et la décarbonatation du calcaire dans le cru, avant l'introduction dans le four proprement dit, selon [21].

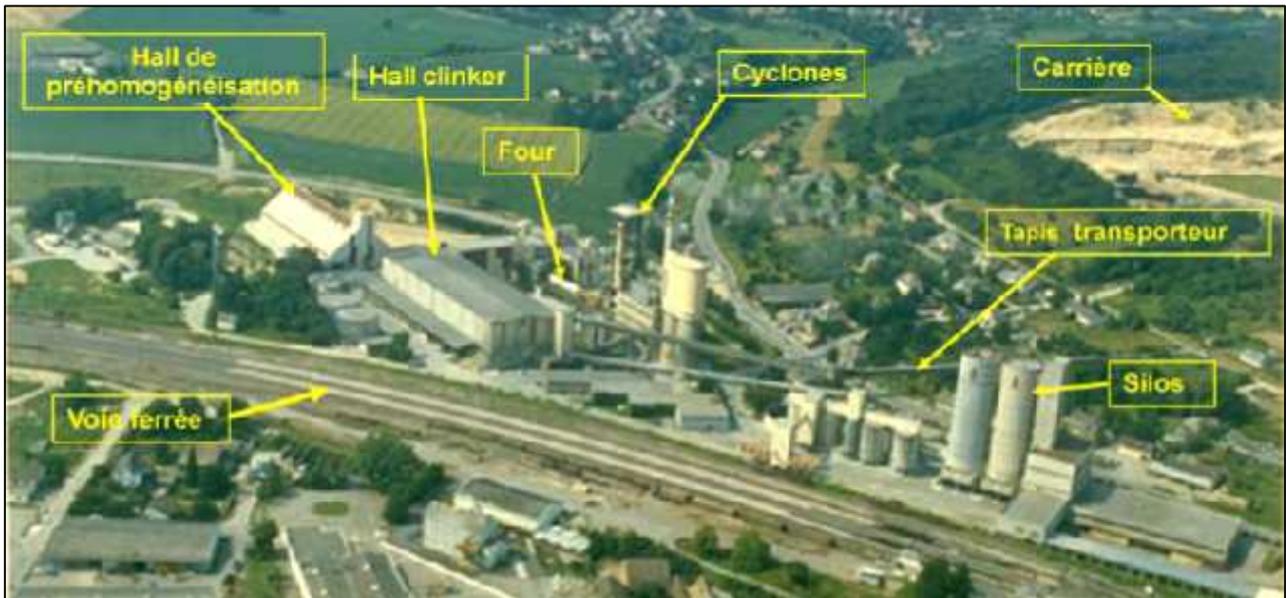


FIG I-16: Usine avec une voie sèche.

Les usines, autres les routes, sont souvent situées à proximité de voies ferrées et/ou de voies d'eau, permettant d'expédier les produits finis sur de longues distances, en général dans les grandes agglomérations.

a) - La voie sèche avec tour de préchauffage : [21]

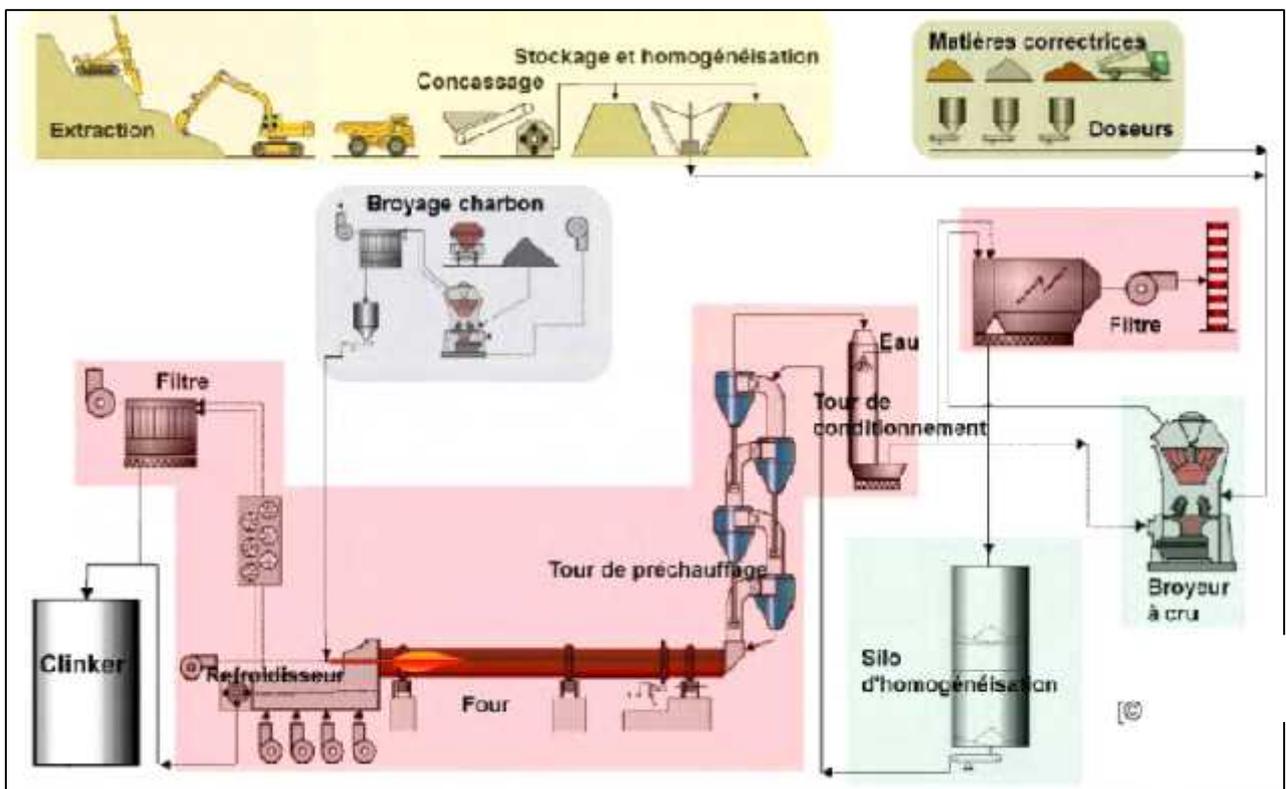


FIG I-17 : Voie sèche avec tour préchauffage.

❖ Le procédé sec a été mis au point pour éliminer l'étape d'évaporation d'eau contenu dans la pâte, il nécessite un calcaire dur contenant peu d'humidité

❖ Dans ce processus, on a amélioré l'étape d'homogénéisation des matières premières, en utilisant des systèmes de stockage radial ou circulaire, équipé de système de reprise capable de prélever les matières de manière plus homogène.

❖ Les matières premières et correctrices sont ensuite introduites dans un broyeur à cru vertical, capable également de séparer les grosses et les fines particules et enfin capable de sécher également les matériaux.

❖ La farine obtenue avec ce broyeur est ensuite homogénéisée dans un silo aéré puis elle est introduite dans la tour de préchauffage. Elle y rencontre les gaz de combustion circulant en sens inverse et l'échange thermique ainsi créé permet d'économiser une énergie considérable.

❖ Les gaz sortant de la tour de préchauffage vont être partiellement refroidis dans la tour de conditionnement et vont ensuite être réutilisés en partie dans le broyeur à cru, pour réchauffer la farine.

❖ En sortie du four rotatif, on obtient le clinker comme dans les autres processus.

b)-la voie sèche avec tour de pré-calcination: [21]

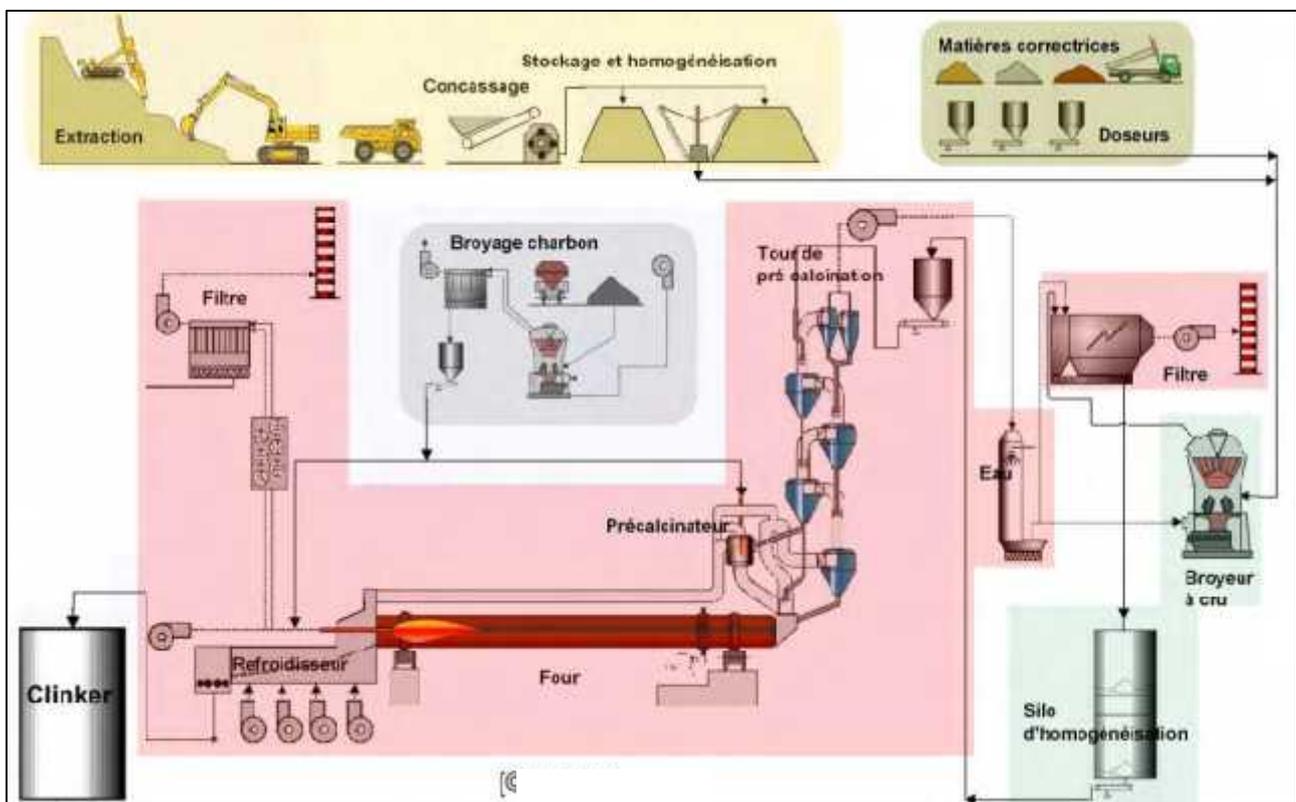


FIG I-18 : Voie sèche avec tour de pré-calcination.

- ❖ Le procédé utilisant une tour de pré-calcination est très similaire au précédent.
- ❖ La différence essentielle réside dans le fait que lorsque la farine descend en passant de l'un à l'autre des cyclones dans la tour, elle passe dans une chambre de pré-calcination où elle va atteindre une température de l'ordre de 1000 °C. Dans cette chambre de pré-calcination, on peut injecter jusqu'à 40 % de la totalité des combustibles utilisés dans ce processus.
- ❖ Lorsque la matière entre dans le four rotatif, on ne peut plus vraiment parler de farine, et comme cette matière est plus ou moins décarbonatée, la longueur du four rotatif peut être réduite considérablement.
- ❖ Lorsque aujourd'hui une nouvelle usine est construite, c'est en général ce processus qui est choisi parce qu'il est le plus économique et permet d'atteindre de très grandes capacités de production.

I-3-2-4) La voie semi-sèche : [21]

a)-La voie semi-sèche avec sole de granulation et grille lepol :

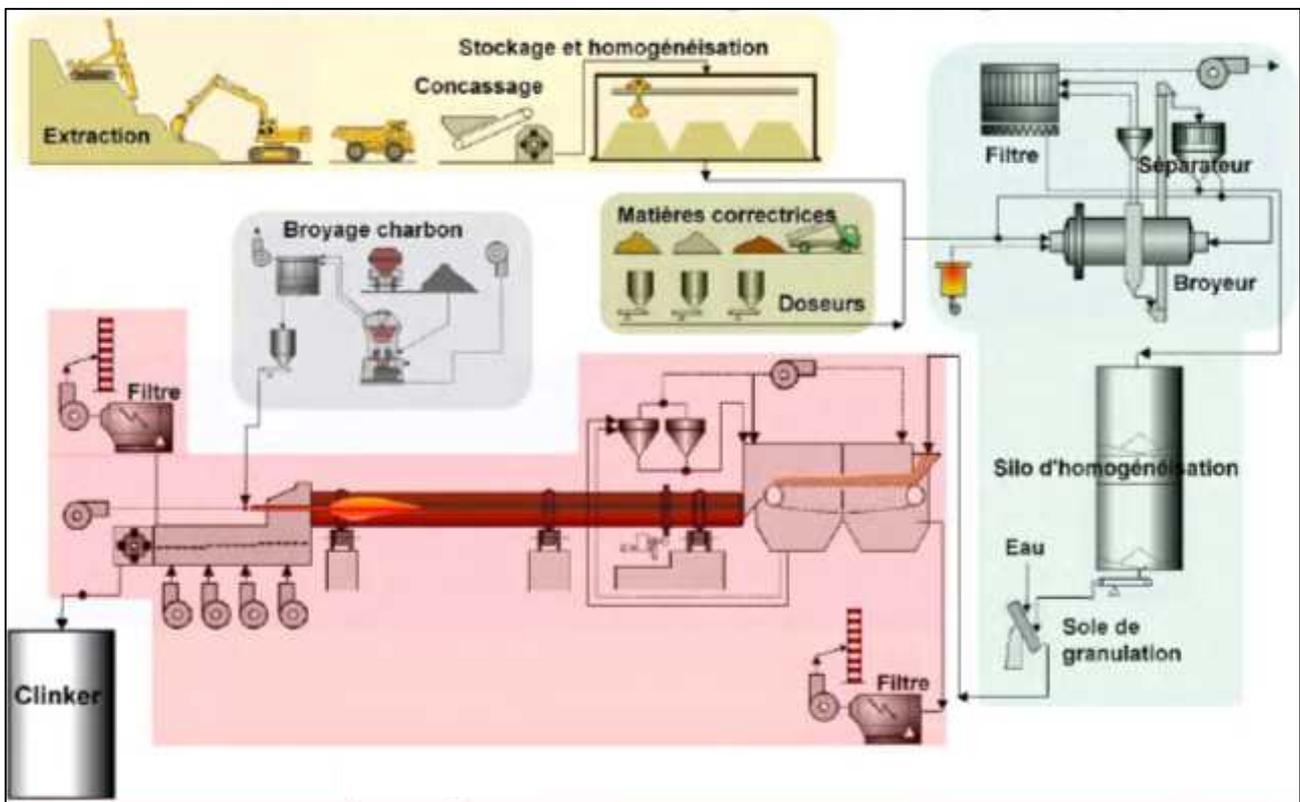


FIG I-19 : Voie semi-sèche avec sole de granulation et grille lepol.

- ❖ Dans le procédé semi-sèche, on ne fabrique plus de pâte.

❖ Les matières premières sont broyées et homogénéisées avant d'être introduites sur une sole de granulation où, en étant mélangées avec de l'eau, elles donnent naissance à des granules. Le pourcentage en eau des granules est de l'ordre de 10 à 12 %.

❖ Ces granules sont ensuite introduites sur la grille Lepol, à travers laquelle passent les gaz de combustion, comme lors du procédé précédent.

I-4) CONTROLE QUALITE DES PRODUITES : [21]

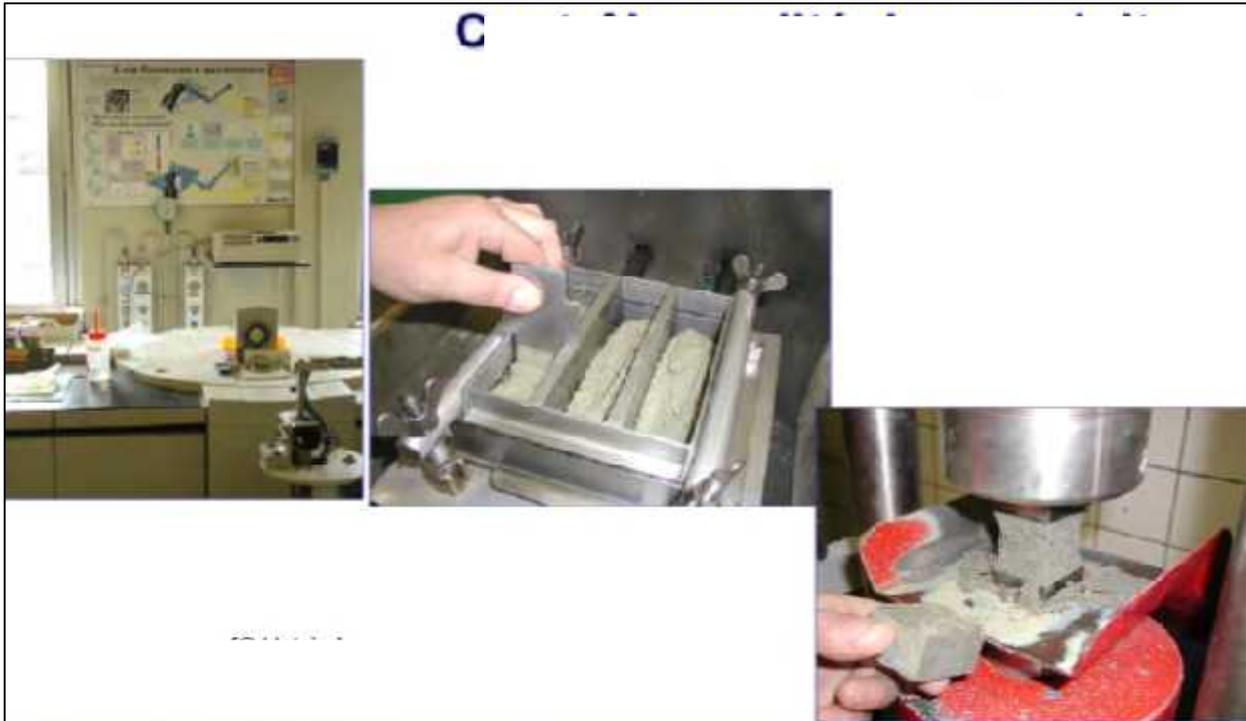


FIG I-20 : Contrôle qualité des produits.

A chaque étape du processus de fabrication, des contrôles qualité sont effectués : sur le cru pour vérifier si la composition est conforme au cahier des charges, sur le clinker pour vérifier sa composition et certains paramètres de cuisson, sur les produits finis pour en accepter la commercialisation et vérifier leur conformité aux normes en vigueur.

Les essais sont donc réalisés tant sur les produits semi finis ou finis (analyses chimiques et minéralogiques), que sur les mortiers, voire les bétons, pour en vérifier leurs caractéristiques (prise, résistance mécanique, ...).

I-5) UTILISATION : [26]

Le domaine essentiel d'utilisation du ciment est constitué, nous l'avons dit, par le béton et ses applications et, dans une bien moindre mesure, par les mortiers. Nous considérerons donc ici seulement le béton.

À partir des différentes catégories de ciment et de leur dosage, il est possible d'obtenir une infinité de bétons aux caractéristiques pouvant varier en fonction de la nature des granulats, de leur mélange, des colorants, des adjuvants, de la mise en œuvre, des traitements ultérieurs, etc. Ainsi, le béton s'adapte aux exigences de chaque réalisation par ses performances comme par son aspect : on peut lui demander une résistance mécanique aux chocs, à l'usure, aux agents agressifs, ainsi que des caractéristiques de légèreté, lourdeur, isolation thermique et/ou phonique, étanchéité, durabilité, bel aspect...).

À côté des bétons " courants ", que l'on utilise pour de très nombreux ouvrages : fondations, structures, murs, ouvrages industriels, ponts... on peut disposer de bétons " légers ", de 0,400 à 1,700 t/m³, qui ont des propriétés isolantes, ou de bétons " lourds ", de 2,8 à 6,0 t/m³ que l'on emploie dans des fonctions de lestage ou de protection, aussi bien mécanique pour des chambres fortes que vis-à-vis des rayonnements nucléaires. Les bétons peuvent aussi être conçus pour rester " apparents " ; leur composition est alors soigneusement étudiée, et ils reçoivent généralement un traitement de surface pour mettre en valeur les teintes des ciments ou l'éclat des granulats.

Répondant à la fonction d'étanchéité, des bétons peuvent être " étanches " pour les travaux dits hydrauliques : canaux, châteaux d'eau, piscines, stockage, etc. L'évolution des techniques a conduit à l'apparition des bétons de hautes performances, dont les résistances peuvent être de trois à cinq fois, ou plus, supérieures à celles des bétons classiques ; leur intérêt réside alors dans l'allègement des grandes structures – immeubles de grande hauteur ou franchissement –, là où le poids propre joue un rôle prépondérant. Les " bétons de fibres " constituent également un champ d'application qui fait partie du vaste domaine des matériaux composites. Les fibres sont de verre, d'acier, de polypropylène, voire de carbone, apportant chacune des caractéristiques particulières qui font l'objet de nombreuses études.

Le béton, application majeure du ciment, fait partie de notre cadre de vie. Il est présent dans tous les types de construction, qu'il s'agisse de logements, d'écoles, d'hôpitaux, de bureaux, d'usines, d'ateliers, de commerces...). Il est aussi présent dans de nombreuses applications routières ou d'aménagement – routes à faible trafic, autoroutes, glissières de

sécurité, sols urbains, zones piétonnes – et aussi, bien entendu, dans de grands ouvrages tels que les ponts, les grands complexes industriels et de production d'énergie, ou les grandes édifices publics.

I-6) CONSTITUANTS DE BASE DE CIMENT : [21]

a)-Clinker :

Les principaux composants anhydres obtenus lors du refroidissement rapide du clinker sont:

- Le silicate tricalcique $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C_3S) (50-70% du clinker).
- Le silicate bicalcique $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (C_2S) (10-30% du clinker).
- L'aluminate tricalcique $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) (2-15% du clinker).
- L'alumino-ferrite tétracalcique (Ferro-aluminate tétracalcique) $4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) (5-15% du clinker).

Le clinker contient encore en faibles quantités, sous forme de solution solide ou pris dans des combinaisons complexes, des alcalis (Na_2O , K_2O), de la magnésie (MgO), diverses traces de métaux.

La teneur en alcalis et magnésie doit rester faible, car ces matières peuvent influencer défavorablement la stabilité du ciment durci.

A l'aide du microscope, on peut distinguer la structure minéralogique du clinker en trois phases, auxquelles les chercheurs donnèrent les noms suivants:

- A = alite (phase cristallisée), se présente sous la forme de cristaux polygonaux assez grands (grains anguleux foncés) de l'ordre de 50μ .
- B = bélite (phase vitreuse), se trouve sous forme impure dans le clinker (grains légèrement arrondis et rayés).
- C = célite (phase vitreuse légèrement foncée et claire), se trouve dans le clinker sous forme impure et de phase vitreuse.

Selon la norme **NA 442** le rapport en masse $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$, ne doit pas être inférieur à 2,0. La

teneur en oxyde de magnésium (MgO) ne doit pas dépasser 5,0 en masse.

b)-Les constituants secondaires :

Le ciment portland est composé de clinker moulu auquel on ajoute une quantité de gypse, destiné à régulariser la prise. Pour modifier les propriétés du ciment, on ajoute les autres constituants associés au clinker grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques.

Les constituants les plus utilisés sont:

- **Le laitier de haut fourneau (L) : [02]**

Le laitier est un sous-produit de l'industrie métallurgique ayant des propriétés hydrauliques. Il est obtenu par refroidissement rapide (trempe) de certaines scories fondues provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau.

La composition chimique est produite au niveau du tableau suivant :

Elément	Pourcentage(%)
CaO	40 ÷ 50
SiO ₂	26 ÷ 32
Al ₂ O ₃	12 ÷ 20
AgO	2 ÷ 6

Tableau I-3 : Composition chimique du laitier granulé.

La composition du laitier granulé doit être constituée d'au moins deux tiers, en masse, de la somme (CaO, MgO, SiO₂). Le rapport en masse $\frac{\text{CaO}+\text{MgO}}{\text{SiO}_2}$ doit dépasser 1,0.

En Algérie c'est principalement l'usine sidérurgique d'El hadjar (filiale du groupe Idien Mittal steel) qui fournit le laitier granulé aux cimenteries.

- **Les cendres volantes (V ou W): [02]**

- ❖ Elles sont les produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de combustion des centrales thermiques. On distingue:
- ❖ Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques;
- ❖ Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois. pouzzolaniques.

La composition chimique moyenne des cendres est produite dans le tableau **I-4, [01]** suivant :

Elément	Pourcentage
---------	-------------

SiO ₂	50
Al ₂ O ₃	30
Fe ₂ O ₃	8
CaO	2
Na ₂ O	5

Tableau I-4 : Composition chimique moyenne des cendres de houille.

- **les pouzzolanes(P): [01]**

Elles peuvent être d'origine volcanique (cendres de volcans), animale ou végétale. Certains matériaux comme l'argile, les schistes peuvent, après chauffage, broyage, développer des propriétés analogues.

- **La fumée de silice: [01]**

Les fumées de silices sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1 µm). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent être présentes pour au moins 85 % (en masse). Les fumées de silices utilisées dans l'industrie cimentaire doivent satisfaire aux conditions suivantes :

Silice amorphe	SiO ₂ 85 en masse
Perte au feu	4% en masse
Aire massique	15 m ² /g

Tableau I-5 : Les fumées de silices.

- **Les schistes calcinés: [21]**

Ils sont produits dans un four à 800°C, ils contiennent des phases de clinker, des petites quantités de chaux libres (CaO) et des sulfates de calcium, ainsi que des oxydes en quantité plus importantes. Ils ont de fortes propriétés hydrauliques pouzzolaniques.

Les schistes calcinés, finalement broyés, doivent avoir une résistance à la compression d'au moins 25MPa à 28 jours. Leur expansion doit être inférieure à 10mm en utilisant un mélange de 30% en masse de schistes calcinés broyés et de 70% en masse de ciment de référence.

- **Les Calcaires: [22]**

Lorsqu'ils sont utilisés dans une proportion excédent 5% en masse les calcaires doivent satisfaire aux spécifications suivantes :

- ❖ Teneur en calcaire : CaCO_3 75% en masse ;
- ❖ Adsorption de bleu méthylène : 1,20 g/100g ;
- ❖ Teneur en matières organiques : (TOC) 0,50% en masse.

- **Les fillers (F) :** [22]

Ce sont des “constituants secondaires” des ciments, donc ils ne peuvent jamais excéder 5 % en masse dans la composition du ciment. Ce sont des matières minérales, naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

- **Le sulfate de calcium :** [21]

Le sulfate de calcium doit être ajouté en faible quantité aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication, en vue de réguler la prise.

Le sulfate de calcium peut être du gypse (sulfate de calcium déshydraté, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) de l'hémihydrate ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$), de l'anhydrite de calcium anhydre (CaSO_4) ou tout mélange de ceux-ci.

- **Les additifs :** [22]

Ce sont des constituants qui ajoutés au ciment permettent d'améliorer la fabrication ou les propriétés du ciment.

La quantité totale de ces additifs ne doit pas dépasser 0.5% en masse, dans tous les ciments, à l'exception des ciments CHF –CEM III/A, CHF –CEM III/B et CLK-CEM III/C, dans lesquels il peut être ajouté des sels chlorés dans la limite de 1%.

I-7) COMPOSITION CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE DU CIMENT :

Lors de la cuisson du CRU, les constituants principaux Tableau I-6, [24] de la matière première réagissent entre eux pour former principalement quatre (04) composés minéralogiques Tableau I-7, [24].

Oxydes constitutifs	Teneur limites(%)	Sources (matière première)
CaO	60 à 69	Calcaire
SiO ₂	18 à 24	
Al ₂ O ₃	4 à 8	Argile

Fe ₂ O ₃	1 à 8	Calcaire et Argile
MgO	0 à 5	
Alcali (K ₂ O et Na ₂ O)	0 à 2	
SO ₃	0 à 3	

Tableau I-6 : Teneur moyenne des oxydes constitutifs du clinker.

Composés	Composition	Appellation abrégée	Taux
Silicate tricalcique	3 CaO.SiO ₂	3	45 à 65%
Silicate bicalcique	2 CaO.SiO ₂	C ₃ S	15 à 35%
Aluminate tricalcique	3 CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A	4 à 14%
Aluminoferrite tétracalcique	4 CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	10 à 18%

Tableau I-7: Composition minéralogique du ciment. [24]

I-8)- CLASSIFICATION DES CIMENTS :

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale.

I-8-1) Classification des ciments en fonction de leur composition : [22]

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes NF **P15-301** et **EN 197-1**. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse):

- CEM I: Ciment portland (CPA - dans la notation française) : contient au moins 95 % de clinker et au plus 5% de constituants secondaires.
- CEM II A/B: Ciment portland composé (CPJ) : contient au moins 65% de clinker et au plus 35 % d'autres constituants : laitier de haut-fourneau, fumée de silice (limitée à 10%), pouzzolane naturelle, cendres volantes, calcaires.
- CEM III A/B: Ciment de haut fourneau (CHF) : contient entre 36 et 80% de laitier de haut-fourneau et 20 à 64% de clinker.

Calcaires (L ou LL)	*			*	*	*	*	*	*	*
Fillers (F)	*	*		*	*	*	*	*	*	*

Tableau I-8: Désignation des différents types de ciment en fonction de leur composition.

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans le tableau **I-8**. Les constituants marqués d'une étoile (*) sont considérés comme constituants secondaires pour le type de ciment concerné; leur total ne doit pas dépasser 5%. (Les fillers sont considérés comme des constituants secondaires).

I-8-2) Classification des ciments en fonction de leur résistance normale : [22]

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours; des sous classes "R" sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32,5, classe 42,5, classe 52,5. Elles doivent respecter les spécifications et valeurs garanties du **tableau I-9**. Les valeurs entre parenthèses sont les valeurs garanties lorsqu'elles peuvent être inférieures aux valeurs spécifiées.

Classe	Résistance à la compression (Mpa) EN 196-1 (et P 15-301)				Retrait à 28jours (1) P 15-433 (µm/m)	Début de prise EN 196-3 (min)	Stabilité EN 196-3 (mm)
	au jeune âge		à 28 jours				
	2 jours	7 jours	mini	max			
32.5 N		17.5	32.5 (30)	52.5	800	90	10
32.5 R	13.5 (12)	/	32.5 (30)	52.5	1000	90	10
42.5 N	12.5 (10)		42.5 (40)	62.5	1000	60	10
42.5 R	20 (18)		42.5 (40)	62.5	1 000	60	10
52.5 N	20 (18)		52.5 (50)			60	10
52.5 R	30 (28)		52.5 (50)			60	10

Tableau I-9: Spécification et valeurs garanties en fonction de la classe.

	sous classe	Résistance à la compression
--	--------------------	------------------------------------

Désignation	éventuelle	à 28 jours minimaux	à 28 jours	
			minimale	maximale
350	-	-	250	450
450	- R(rapide)	- 150	350 350	550 550
550	R (rapide)	- 225	450 450	650 650
THR hautes performances	-	300	550	-

Tableau I-10: Limite des classes et sous classes de résistances (nouvelle norme AFNOR).

1-8-3) Domaine d'emploi des ciments :

Type de ciment	Domaine d'emploi
<u>A/Ciments courants</u> CEM I	<ul style="list-style-type: none"> ● Béton armé en général coulé sur place ou préfabriqué. ● Béton précontraint. ● Décoffrage rapide, mise en service rapide (de préférence classe R). ● Bétonnage jusqu'à température extérieure entre 5 et 10°C. ● Béton étuvé ou auto-étuvé.
CEM II / A ou B Ces ciments sont les plus couramment utilisés.	<ul style="list-style-type: none"> ● Béton en élévation, armé ou non, d'ouvrages courants. ● CEMII/ A ou B classe R: travaux nécessitant une résistance initiale élevée (décoffrage rapide par exemple). ● Fondations ou travaux souterrains en milieux non agressifs. ● Dallages, sols industriels. ● Maçonneries. ● Stabilisation des sols.
	<ul style="list-style-type: none"> ● Travaux souterrains en milieux agressifs (terrains gypseux, eaux d'égouts, eaux industrielles, etc.).

<p>CEM III / A, B ou C</p> <p>CEMV/ A ou B</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Ouvrages en milieux sulfatés: les ciments produits sont tous ES, ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates, en conformité à la norme NF P 15-319. ● Travaux à la mer; les ciments produits sont tous PM, ciments pour travaux à la mer, en conformité à la norme NF P 15-317. ● Travaux en béton armé ou non, hydrauliques et souterrains (fondation) ● Travaux nécessitant une faible chaleur d'hydratation. ● Stabilisation des sols.
<p><u>B/Autres ciments usage spécifique :</u></p> <p>Le ciment alumineux fondu</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Ouvrages exigeant une résistance élevée à court terme. ● Bétonnage par temps froid (jusqu'à - 10°C pour des bétons massifs). ● Pour béton devant subir des chocs thermiques ou une forte abrasion (utilisation de granulats synthétiques alumino-calciques). ● Pour béton devant résister à des températures jus- qu'à 1250°C. ● Travaux à la mer. ● Travaux en milieu fortement agressif A3* (pH de 4 à 5,5). ● Travaux en milieu très fortement agressif A4* (pH <4) – milieu industriel et égouts urbains et ouvrages d'assainissement.
<p><u>Le ciment prompt naturel</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Ouvrages nécessitant une prise très rapide: scelle- ments courants, blocages, aveuglements, voies d'eau, calfatages. ● Enduits, moulages, tableaux, arêtes, repères, charges importantes. ● Réhabilitation de façades de toutes compositions en mélange avec

	<p>les chaux HL ou NHL.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Petits ouvrages: chaînages, regards, appuis. ● Milieux agressifs A2* (eaux pures, eau de mer). ● Travaux à la mer: ce ciment est PM, ciment pour travaux à la mer, en conformité à la norme NF P 15-317.
--	---

Tableau I-11 : Domienne d'emploi des différents types des ciments.

Les caractéristiques complémentaires des ciments PM, ES ou CP seront requises pour les usages suivants.

- **En milieux agressifs:**
 - des ciments pour travaux à la mer (PM) (**NF P 15-317**);
 - des ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates (ES) (**NF P 15-319**).
- **Pour le béton précontraint** : des ciments à teneur en sulfures limitée (CP) (**NF P 15-318**).

Chapitre 02

LES CIMENTS EN ALGERIE

II-1) LES UNITES DE PRODUCTION :

II-1.1) Introduction :[28]

La production de ciment en Algérie a été multipliée par 12 depuis l'indépendance à ce jour, passant de 1,5 million de tonnes/an seulement en 1962, à plus de 18 millions de tonnes actuellement, une évolution remarquable mais qui reste en deçà des besoins sans cesse grandissants du marché.

Le besoin en ce matériau stratégique a fortement augmenté au cours des dix dernières années avec le lancement de grands chantiers inscrits dans le programme du gouvernement comme l'autoroute est-ouest, le rail, les barrages et les différents projets de réalisation de plus de 2.5 millions de logements.

La production nationale actuelle de ciment estimée à plus de 18 millions de tonnes (secteur privé et public) n'arrive pas à satisfaire la forte demande sur ce produit, dans un marché accusant un déficit de 3 millions de tonnes, selon les estimations du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA), qui a entamé un processus d'importation de ce matériau durant les périodes de tensions pour combler ce déficit.

La production de ciment consomme une grande quantité de matières premières non renouvelables (minerais et combustibles fossiles). Sa fabrication est également à l'origine d'importantes émissions de CO₂. Pour répondre à ce défi environnemental, Lafarge s'est engagé pour une écologie industrielle, dès le milieu des années 1970, en repensant les processus industriels pour transformer les déchets de certaines industries en ressources pour les autres.

Les investissements déjà réalisés dans le secteur étaient importants mais pas suffisants pour absorber les besoins du marché en ce matériau, essentiel pour la réalisation de grands chantiers notamment dans le secteur du Bâtiment et des Travaux publics", a indiqué le PDG du groupe GICA, M.Yahia Bachir, dans une déclaration à l'APS. Mais malgré l'insuffisance de l'offre, l'industrie algérienne du ciment a connu une évolution "remarquable" au fil des années étant donné que le secteur qui ne comptait que les cimenteries de Meftah (Blida), de Rais Hamidou (Alger) et de Zahana (Mascara) à l'indépendance, a vu la réalisation de neuf autres sociétés des ciments, implantées sur tout le territoire national. Ainsi, les trois usines détenues par le cimentier français Lafarge, ont été nationalisées en 1967, date de la création de la Société Nationale des Matériaux de Construction (SNMC), qui, en plus du ciment, récupéra également les produits rouges, la céramique et les agrégats. Avec la restructuration générale de

l'économie nationale à partir de 1983, la SNMC fut réorganisée par secteurs d'activités et les ciments éclatés en quatre entreprises régionales à l'Ouest, au Centre, à l'Est et à Chlef.

Le secteur du ciment a connu également dans le passé des restructurations, passant du portefeuille des "Fonds de participation", au Holding, "Bâtiment et Matériaux de construction", à la Société de gestion des participations : Industrie des ciments (SGP-GICA) au Groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA), créé en 2009.

Les partenaires étrangers:

Actuellement, le secteur compte 12 cimenteries publiques situées à Hadjar-Soud (Skikda), Ain Kebira (Sétif), Hamma Bouziane (Constantine), Tébessa, Ain Touta (Batna), Sour El Ghazlane (Bouira), Rais Hamidou (Alger), Zahana (Mascara), Béni-Saf (Ain Temouchent), Saida, Oued Sly (Chlef) et Meftah (Blida), fermée en 1972 et remplacée trois ans après par une autre usine dans la même ville.

Dans le but d'accroître la production de ciment, de mettre à niveau les cimenteries et de lancer de nouveaux investissements, le capital social de certaines cimenteries publiques a été ouvert à hauteur de 35% aux partenaires étrangers durant la période 2005-2008.

- C'est ainsi que les sociétés des ciments de Hadjar-Soud et de Sour El Ghazlane ont conclu des partenariats, en janvier 2008, avec la société italienne Buzzi Unicem, spécialisée dans la production du ciment et ses dérivés.

- La cimenterie de Béni-Saf a, quant à elle, signé en juillet 2005 un accord de partenariat avec la société saoudienne "Pharaon investment", alors que celle de Zahana avait noué un accord en décembre 2007 avec le groupe égyptien ASEC. La cimenterie de Meftah a noué un partenariat en juin 2008 avec le leader mondial des matériaux de construction, le français Lafarge.

La couverture de la demande nationale en ciment :

La couverture de la demande nationale en ciment constitue le cheval de bataille du groupe (GICA) qui a lancé un important programme quinquennal d'investissement visant à résorber le déficit en ce produit, estimé à 3 millions de tonnes/an.

D'un financement de 365 milliards de DA (environ 5 milliards de dollars), ce plan ambitionne "d'augmenter les capacités de production des cimenteries, de réduire le recours à l'importation, et de se placer par la suite sur le marché international", a souligné le patron de GICA. Il porte sur l'extension des capacités de production des cimenteries d'Ain El Kebira, de Béni Saf, de Chlef, de Zahana et de Sour El Ghazlane pour une production supplémentaire de 8,15 millions de tonnes.

La réalisation de nouvelles cimenteries notamment à Bechar, Relizane et Djelfa figure également parmi les projets inscrits dans ce programme pour porter la capacité de production de GICA à 20 millions de tonnes en 2016 et à 29 millions de tonnes en 2018, a-t-il ajouté.

La cimenterie de Relizane, qui produira 2 millions de tonnes par an, sera réalisée en partenariat entre GICA et le Fonds national de l'investissement (FNI) pour la partie algérienne ainsi que par la société chinoise China State Construction Engineering Corporation (CSCEC) pour la partie étrangère. D'une capacité d'un (1) million de tonnes de ciment par an, Celle de Bechar sera réalisée par le groupe GICA seul.

Un projet de construction d'une cimenterie à Djelfa, d'une capacité de production de 3 millions de tonnes, est à l'étude entre GICA et la société égyptienne ASEC. Les responsables du groupe sont également intéressés par la réalisation de mini cimenteries dans le grand sud du pays, d'une capacité de production annuelle de 200.000 à 250.000 tonnes, si des gisements sont identifiés.

Le groupe GICA, qui emploie 1500 travailleurs et prévoit la création de 3000 postes de travail directs, compte 23 filiales dont 12 cimenteries, 3 sociétés de production de granulats et 3 sociétés de distribution et de commercialisation de matériaux de construction.

La production de ciment dans le secteur public: [28]

Les douze cimenteries publiques relevant du groupe industriel des ciments (GICA) totalisent une production de près de 11,5 millions de tonnes par an.

Voici les productions par société:

Cimenterie	mise en service	Production en tonnes/an
Oude sly (chlef)	1978	2 .1 millions
Ain El Kebira (Setif)	1986	1.2 millions
Sour El Ghozlane, Bouira	1983	1.1 millions
Béni-Saf, Ain Temouchent	1978	1 millions
HammaBouziane, Constantine	1982	1 millions
Hadjar Soud (Skikda)	2002	1 millions
Mitidja (Blida)	1975	926.000
Zahana (Mascara)	1976	760.000
Ain Touta (Batna)	1986	767.000
Tébessa	1995	580.000

Saida	1979	500.000
Rais Hamidou, Alger	1958	175.000

Tableau II-1: La production de ciment par société.

Importation Algérienne en ciment :[28]

La production nationale est de 18 millions de tonnes par an

➤ Durant le premier semestre 2012, les importations algériennes de ciment ont dépassé 1,22 million de tonnes pour une valeur estimée à plus de 8,45 milliards de dinars :

➤ Durant la même période, en 2011, 665.500 tonnes ont été importés pour une valeur de plus de 4,14 milliards de dinars, soit une nette augmentation de plus de 100% en valeur et en quantité, a appris l'Econews auprès du Centre national de l'informatique et des statistiques (CNIS).

C'est pratiquement la même quantité enregistrée durant le deuxième semestre de 2010, où l'Algérie a acheté une quantité de 1,29 million de tonnes pour une valeur qui avoisine 8,6 milliards de dinars.

➤ Durant l'année 2003, l'Algérie a atteint un record historique en matière d'importations du ciment évaluée à 3 millions de tonnes, pour plus de 12 milliards de dinars. Par ailleurs, tout porte à croire que les importations vont augmenter puisque le groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) a décidé de lancer au mois d'août dernier un avis d'appel d'offres international pour la fourniture de 450.000 tonnes de ciment afin de réduire la tension sur ce produit sur le marché national.

➤ Pour satisfaire la forte demande, atténuer la flambée des prix accentuée par la spéculation et éviter ainsi le retard dans les délais de réalisation des projets, le Groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) a entamé, dès le mois de juin, des importations mensuelles de ciment durant cette période de "forte" tension. Le déficit de l'Algérie en ciment dépasse les 2,5 millions de tonnes/an, selon les estimations du groupe GICA. Ce manque de l'offre provoque souvent une flambée des prix sur le marché, notamment avec les différents projets en cours de réalisation des secteurs du BTPH. La production nationale, actuelle, de ciment est de plus de 18 millions de tonnes/an, dont 11,5 millions de tonnes sont assurés par les 12 cimenteries publiques.

Le groupe GICA ambitionne de produire 20 millions de tonnes à l'horizon 2016 et 29 millions de tonnes d'ici 2018.

Marché du ciment :[28]

Contrairement aux années précédentes de forte tension, le marché du ciment enregistre un équilibre entre l'offre et la demande en cette période estivale où, habituellement, la demande est plus forte, a estimé M. Benalia Deghim, P-DG de la Société de Distribution des Matériaux de Construction "Sodismac".

Actuellement, "l'offre et la demande sur le marché national du ciment sont équilibrées en comparaison avec le mois de juillet des années précédentes, où le marché connaissait des tensions", a indiqué M. Deghim dans une déclaration à l'APS. "Je n'ai jamais constaté, depuis des années, une offre de ciment égale à la demande comme c'est le cas en ce mois de juillet", a ajouté le P-DG de "Sodismac", filiale du Groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA), qui commercialise une quantité de 4.000 tonnes par jour ciment.

La vente de ce matériau "a connu ses plus bas niveaux" entre septembre 2010 et mars 2011 du fait que le programme quinquennal (2005-2009) était arrivé à terme et était en phase d'évaluation, a expliqué ce gestionnaire qui prévoit "une hausse de la demande" pour la réalisation des grands chantiers prévus dans le programme (2010-2014). M. Deghim a anticipé, à ce propos, la persistance de la même tendance pour le mois de ramadhan, avec une demande de ciment qui sera au même niveau que celle de juillet malgré l'idée reçue que les constructions baissent durant la même période."

En Août, la Sodismac va distribuer du ciment autant qu'en juillet", a précisé le dirigeant de cette société qui compte quatre unités de distribution, à savoir celle de Baraki, Tizi-Ouzou, Bejaia et Bouira, et commercialise près de 300.000 tonnes de ciment par an, soit un quart de la production du groupe GICA. Selon M. Deghim, "les cas de spéculation se font en dehors des cimenteries", notant que les quantités écoulées sur le marché noir représentent près de 2 millions de tonnes, alors que la production nationale globale (secteurs public et privé) avoisine les 18 millions de tonnes.

II-1.2) Les cimenteries algériennes :[29]

Les ciments sont produits en Algérie par le groupe Industriel des ciments d'Algérie « **Groupe GICA** » qui a été créé par décision de l'Assemblée Générale Extraordinaire, suite à la transformation juridique de l'ex Société de Gestion des participations « Industrie des Ciments » en date du 26 novembre 2009.

Le Groupe Industriel des Ciments d'Algérie « Groupe GICA », est une société par actions au capital de : 25.358.000.000 dinars. L'adresse du siège social de groupe c'est le Route de Dar El Beida -Meftah, Wilaya de Blida.

Le Groupe « GICA » est constitué par Douze (12) cimenteries totalisant une capacité de production de 11,5 millions de tonnes/an de ciment.

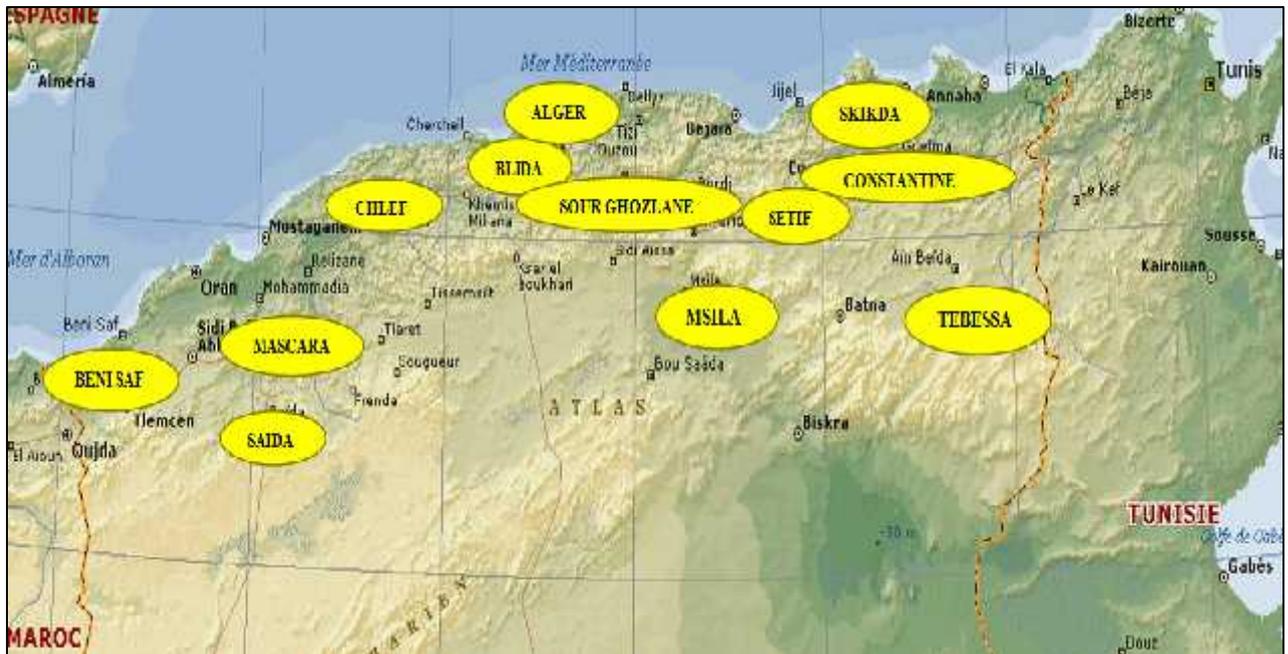


FIG II-1: Localisation des cimenteries d'Algérie.

- 07 Cimenteries dont le Capital social est détenu à 100 %.

- Société des Ciments d'Ain El Kebira (SCAEK) ;
- Société des Ciments d'Ain Touta (SCIMAT) ;
- Société des Ciments de Hamma Bouziane (SCHB) ;
- Société des Ciments de Tébessa (SCT) ;
- Société des Ciments de l'Algérois (SCAL) ;
- des Ciments de Saida (SCIS),
- Entreprise des Ciments de Chlef (ECDE).

- 05 Cimenteries dont le Capital Social est détenu à 65% :

- Société des Ciments de Béni Saf (SCIBS), dont le capital social a été ouvert à hauteur de 35% au profit du Groupe Pharaon (Arabie Saoudite).
- Société des Ciments de Zahana (SCIZ), dont le capital social a été ouvert à hauteur de 35% au profit de la Société ASEC (Egypte).
- Société des Ciments de Sour El Ghzlane (SCSEG), dont le capital social a été ouvert à hauteur de 35% au profit de la Société BUZZI UNICEM (Italie).

- Société des Ciments de Hadjar Soud (SCHS), dont le capital social a été ouvert à hauteur de 35% au profit de la Société BUZZI UNICEM (Italie).
- Société des Ciments de la MITIDJA (SCMI), dont le capital social a été ouvert à hauteur de 35% au profit du Groupe Lafarge (France).

Production Ciment (tonne) :

- Clinker : 9 492 463 tonnes.
- Ciment : 11 216 140 tonnes.
- Expéditions : 11 032 215 tonnes

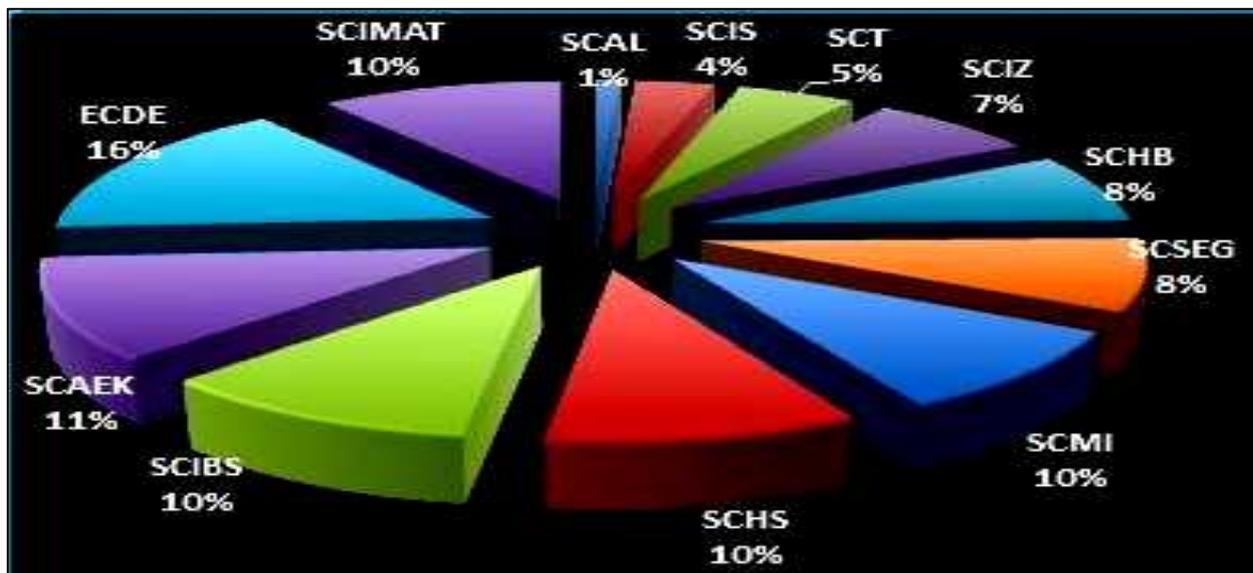


FIG II-2 : Taux de contribution ventes ciments à l'échelle groupe GICA Année 2012.

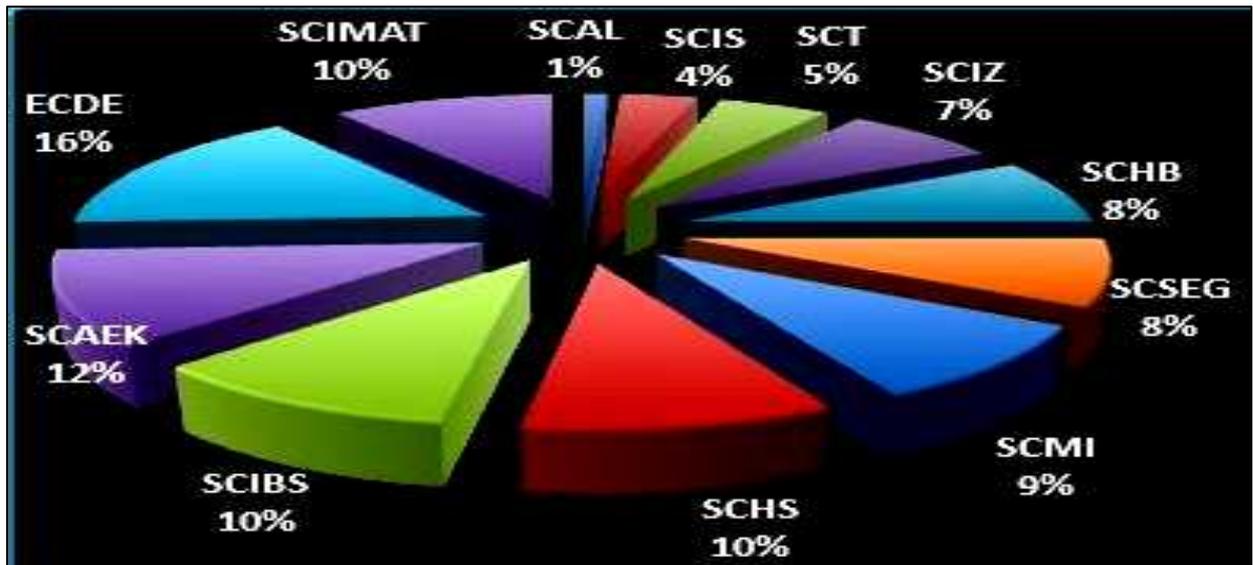


FIG II-3: Taux de contribution en ciment à l'échelle groupe GICA année 2012.[31]

II-1.2.1) Les cimenteries 100% Algériennes :

1. Société des Ciments d'Ain El Kebira (SCAEK) ;[30]



FIG II-4: Vue d'ensemble de la cimenterie d'Ain El Kebira.

La société des ciments d'Ain El Kebira est une filiale du groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) détenteur à 100%. C'est une société par action. Elle a été réceptionnée en Mai 1998. La capacité nominale de la cimenterie est 1.000.000 Tonnes de clinker.

La cimenterie est située à 320 Km à l'est d'Alger, à 20 Km au Nord - Est du chef-lieu de la wilaya de Sétif, à 7 Km au sud de la daïra d'Ain El Kebira et à l'Est de la commune de Ouled Adouane. Il Couvrant une superficie de 204 hectares, elle tire ses principales matières

premières à partir des gisements de calcaires (djebel Medjounes) et d'argile « marne » de (Theniet Mouloutou).Le siège de la direction générale se trouve dans la ville de Sétif.

Capacité nominale:

La capacité nominale de production de la cimenterie est de 1.000.000 de tonnes de clinker. Le ciment est fabriqué par le procédé à voie sèche.

Volume de production en 2007 :

- Ciments : 1 107 651 Tonnes ;
- Clinker : 901 011 Tonnes ;
- Chiffre d'affaires total en 2007 : 4 121 108 000DA ;
- Ciments : 4 099 488 000DA.

Volume de production en 2011 :

- Ciments : 1 219 000 Tonne ;
- Clinker : 1 0 22 000 Tonnes ;
- Chiffre d'affaires total en 2011 : 6 136 834 KDA ;
- Ciments :6 043 502KDA.

Produits fabriqués :

La société fabrique actuellement deux types de ciment :

1.

L

es Ciments Portland aux Ajouts:

Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts.

Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

C'est un ciment conforme à la norme **NA 442:2000**.



FIG II-5: Sac deciment CPJ-CEM II/A 42.5.

Composition:

- Clinker : 80 à 94%
- Ajouts : 0 à 20% (Laitier, pouzzolane, calcaire)

Caractéristiques Chimiques :

Ciment	S03	S 3,5%
	Chlorures (Cl-)	S 0,1%

Tableau II-2: Caractéristiques Chimiques des Ciments Portland aux Ajouts.

Caractéristiques Physiques :

- Temps de début de prise mesuré sur pate pure ;
- Retrait à 28 jours d'âge mesuré sur mortier normal s 1000 mm ;
- Stabilité mesurée sur éprouvette de pate pure s 10 mm.

Caractéristiques Mécaniques :

Les Résistances mécaniques à la compression font apparaitre une valeur moyenne des résultats à 28 jours voisine de 52,5 N/mm².

Les valeurs limites garanties sont :

$\geq 10,0$ N/mm² à 02 jours ;

$\geq 40,0$ N/mm² à 28 jours.

2. Le Ciment Résistant aux Sulfates :

CRS 400 selon la norme **NA 443/2002**. Le ciment CEMI 42,5 est un ciment pour travaux dans les milieux fortement agressifs Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise. C'est un ciment conforme à la norme **NA 443 :2002**.



FIGII-6: Sac de ciment CRS 400.

Composition:

- Clinker : 95 à 100% ;
- Ajouts: 0 à 3% (Laitier, pouzzolane, calcaire).

Caractéristiques Chimiques :

Ciment	S03	S 2,5%
	Chlorures (Cl-)	S 0,1%

TableauII-3 :Caractéristiques chimiques de ciment Résistant aux Sulfates (CRS).

Caractéristiques Physiques :

- Temps de début de prise mesuré sur pate pure;
- Retrait à 28 jours d'âge mesuré sur mortier normal s 1000 mm ;
- Stabilité mesurée sur éprouvette de pate pure s 10 mm.

Caractéristiques Mécaniques :

Les valeurs limites des résistances à la compression sont :

$\geq 10,0$ N/mm² à 02 jours ;

$\geq 40,0$ N/mm² à 28 jours.

Données et chiffres de la société :

L'évolution positive des résultats financiers de la société des ciments d'Ain El Kebira constitue une base solide pour sa stratégie de croissance et la preuve d'une politique qualité efficace et adaptée.

Evolution des chiffres d'affaire :

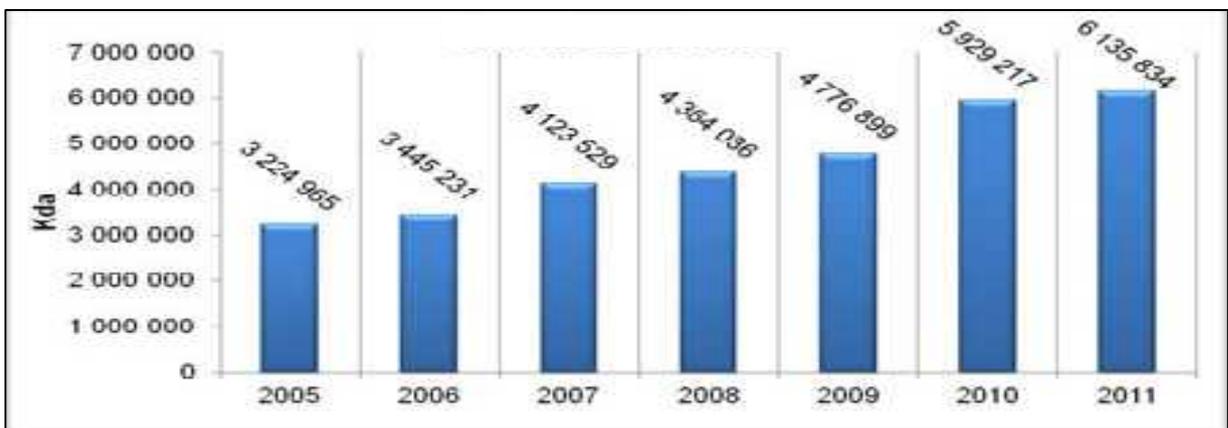


FIG II-7:Graphique des chiffres d'affaire entre 2005et 2011.

Les ventes de la filiale ont atteint un record historique en 2011 en dépassant le seuil des 6 milliards de dinars. Cette performance est le couronnement de l'effort d'investissement consenti par la filiale durant la période de 2003-2010.

Evolution des valeurs ajoutées :

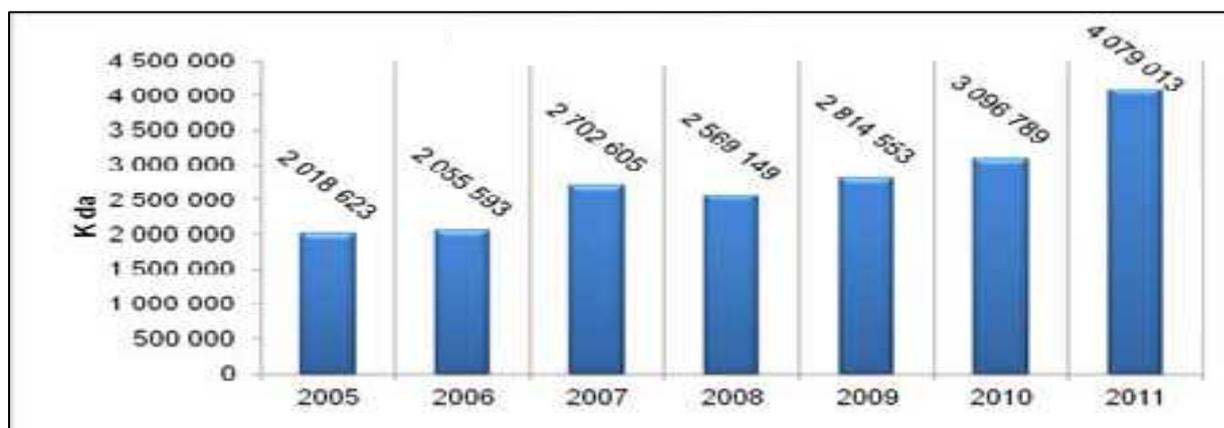


FIG II-8:Graphique des valeurs ajoutées entre 2005 et 2011.

Parallèlement au chiffre d'affaires, la valeur ajoutée, qui mesure la richesse créée par la filiale, connaît une nette évolution. Cela s'explique par d'une part, l'évolution des ventes en volume et d'autre part, par la maîtrise des coûts de la maintenance suite à l'amélioration du rapport maintenance préventive par rapport à la maintenance curative.

Evolution des résultats bruts :

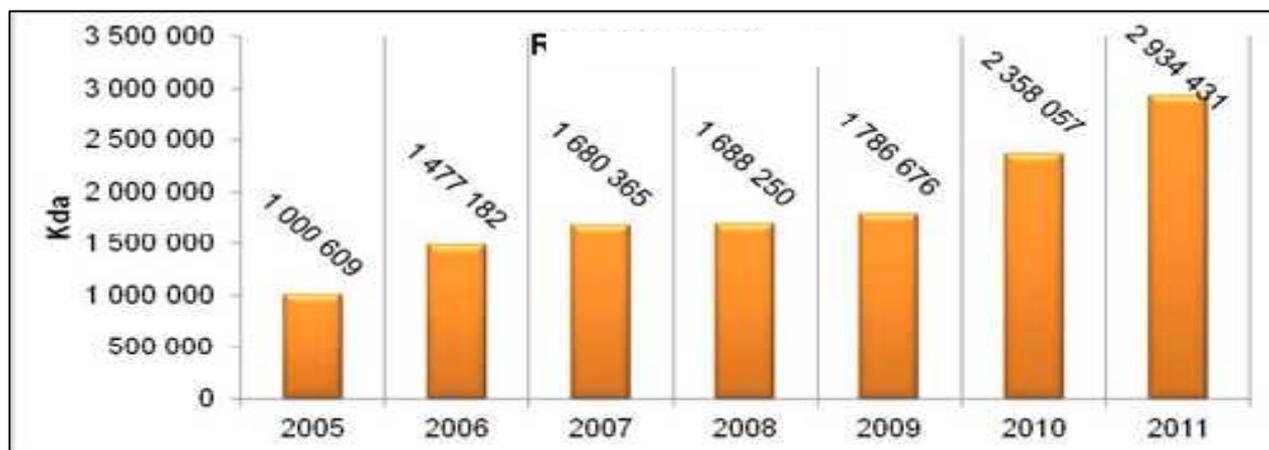


FIG II-9:Graphique des résultats bruts entre 2005 et 2011.

Evolutions de la production de clinker

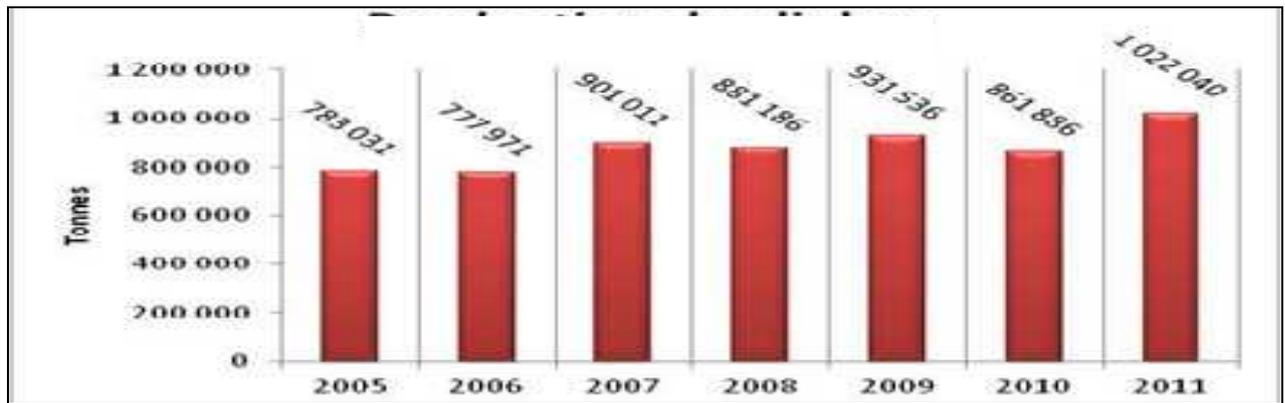


FIG II-10: Graphique de la production de clinker entre 2005 et 2011.

Evolution de la production de ciment :

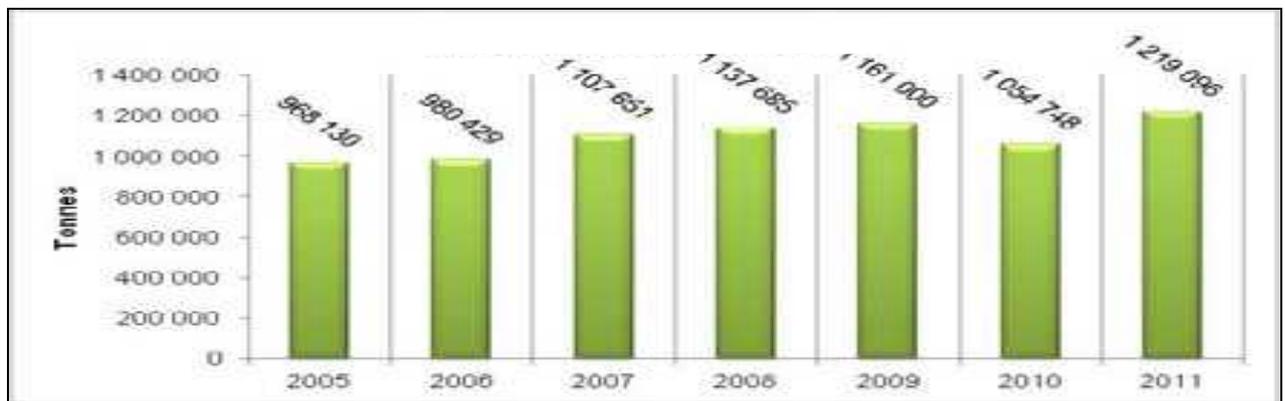


FIG II-11: Graphique la production de ciments entre 2005 et 2011.

Evolutions des ventes de ciment

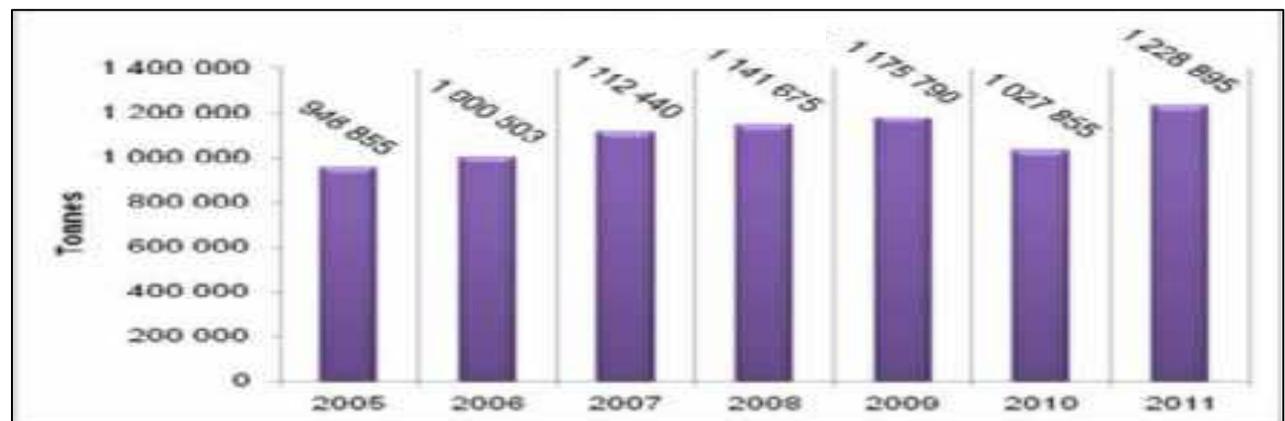


FIG II-12: Graphique de vente de ciments entre 2005 et 2011.

Evolution de Capitaux propre :

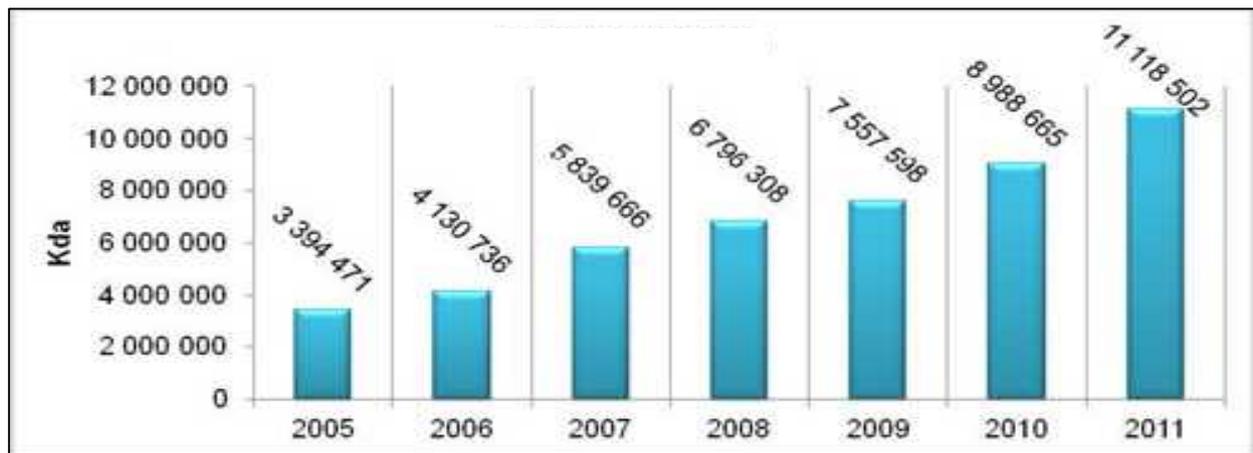


FIG II-13: Graphique les capitaux propres entre 2005 et 2011.

2. Société des ciments d'Ain touta(SCIMAT):[31]

La société des ciments de Ain-Touta SCIMAT est une entreprise de fabrication et ventes des ciments et des agrégats au Capital social : 2.250.000.000,00 DA. Elle fait partie du Groupe Industriel des ciments de l'Algérie GICA. La Société des ciments d'Ain-Touta est une société par action. L'adresse du Siège Social c'est 73 Bis, rue Benflis la verdure, Batna 05000

Produits fabriqués :

La SCIMAT produit des ciments de qualité qui sont contrôlés périodiquement par le Centre d'Études et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction CETIM (selon le référentiel ISO 17025). La société fabrique actuellement deux types de ciment :

1. CPJ-CEM II/A 42,5 :

Les ciments CPJ-CEM II/A contiennent :

- 80% à 94% de clinker (K) ;
- Un complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, pouzzolane (Z), calcaire (L), etc.
- Des sulfates de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

Spécifications mécaniques et physiques :

Les résistances la compression du CPJ-CEM II/42,5 déterminées selon la norme NA

Font l'objet d'un contrôle statistique faisant apparaître une valeur moyenne des résultats obtenus à 28 jours voisine 55 N/mm².

La majorité des résultats obtenus se situe entre 42,5 N/mm² et 62,5 N/mm². Ces deux dernières valeurs sont les limites inférieures et supérieures des spécifications mécaniques du ciment CPJ-CEM II/A 42,5.

En tout état de cause, les valeurs minimales garanties sont :

- 10,0 N/mm² à 02 jours ;
- 40,0 N/mm² à 28 jours.
- Le temps de prise déterminé selon la norme **NA 230** est supérieur à 60 minutes.

Spécifications chimiques :

- La proportion des sulfates (SO₃) dans le ciment CPJ-CEM II/A 32,5 est inférieure à 3,5%.
- La teneur en chlorures (Cl) est inférieure à 0,10%.

2. CPA-CEM I 42,5 ES

Composition :

- Clinker : au moins 97%.
- Ajouts : la proportion de constitutions secondaires est limitée à 03%.

Spécifications mécaniques et physiques :

Le ciment CPA- CEM I 42.5 ES de l'ERCE répond aux exigences de la norme **NA 433 :2002**

Caractéristiques Physiques

- Temps de début de prise mesuré sur pâte pure 60 minutes ;
- Retrait à 28 jours d'âge sur mortier normal 1000 µm / m ;
- Stabilité mesurée sur éprouvette de pâte pure 05 mm.

Caractéristiques Mécaniques :

- Les résistances mécaniques à la compression font apparaître une valeur moyenne des résultats à 28 jour voisine de 52,5 N / mm².
- Les valeurs limitées garanties sont :

10,0 N / mm² à 02 jours.

40,0 N / mm² à 28 jours.

Evolution de production ciment:



FIG II-14: Graphique de la production de ciment entre 2010 et 2012.

Evolution de vente de ciments :

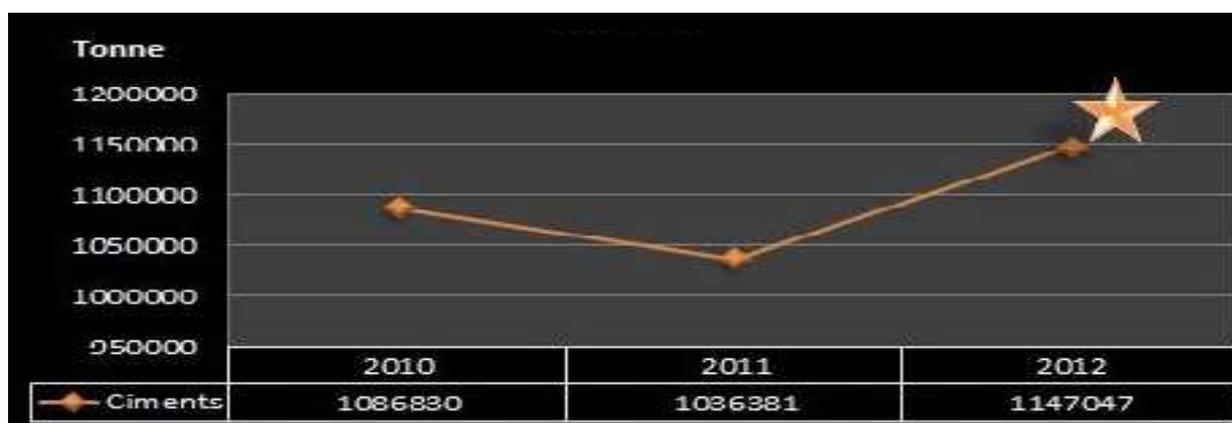


FIG II-15: Graphique du vente de ciment entre 2010 et 2012.

Evolution des frais de la formation :



FIG II-16 : Graphiques des frais de la formation entre 2010 et 2012.

La SCIMAT accorde une importance particulière à la formation et au développement de la compétence de son personnel.

Evolution nombre de formés :



FIG II-17: Graphique les nombres de formé entre 2010 et 2012.

Evolution de chiffre d'affaire KDA : [31]

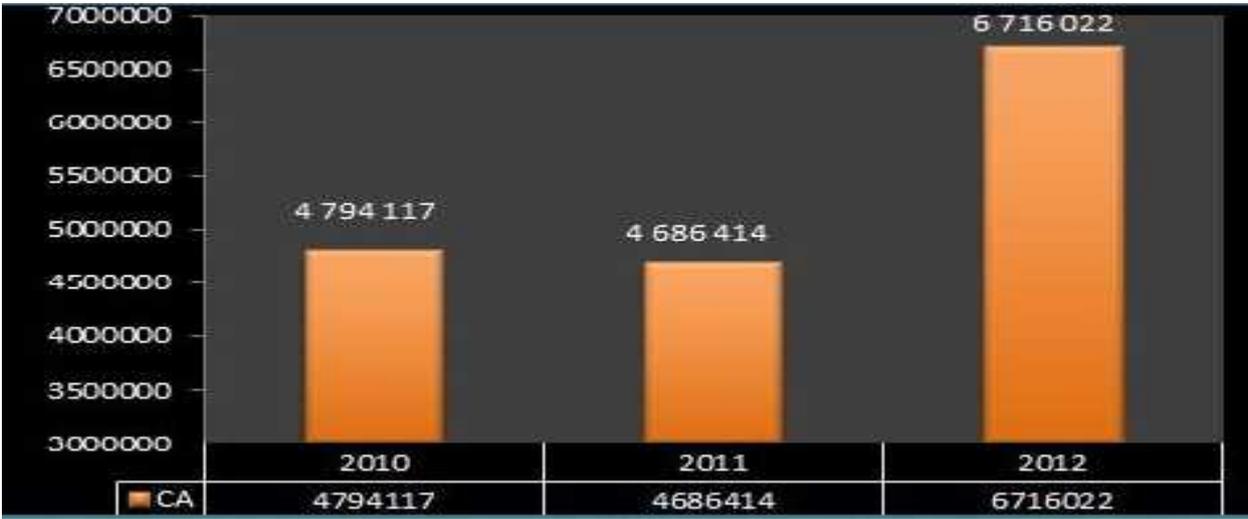


FIG II-18: Graphique des chiffres d'affaire entre 2010 et 2012.

3. Société des ciments de Chlef (ECDE) :[32]



FIG II-19 : Vue d'ensemble de la cimenterie de Chlef.

La société des ciments de Chlef ECDE est une filiale du Groupe Industriel des ciments de l'Algérie **GICA** détenteurs à 100% .C'est une société par action. La Part du marché de l'ECDE : 16 % du marché national.La Capacité nominale de la cimenterie est 1 000.000 Tonnes de clinker, ilcouvre une superficie de 40 hectares, l'effectif total est 930.

Evolution de la production physique (en Tonne) :

Année	Clinker	Ciment	Expédition
1978	469 454	470 751	425 107
1979	706 803	652 872	658 367
1980	1 075 285	1 061 218	1 092 875
1981	1 000 290	1 091 856	1 097 948
1982	912 759	876 424	832 445
1983	818 209	812 340	824 788
1984	951 135	1 003 285	1 023 575
1985	1 114 260	1 211 800	1 167 253
1986	1 150 520	1 224 370	1 236 703
1987	1 015 270	1 063 400	1 113 459
1988	717 290	844 480	803 301
1989	651 612	714 674	710 395
1990	774 740	805 010	800 103
1991	832 265	953 615	948 088
1992	972 985	949 570	947 386
1993	787 464	839 723	858 823
1994	502 207	622 018	611 875
1995	701 526	810 888	792 069
1996	913 494	1 043 541	1 029 666
1997	526 952	542 571	524 131

1998	1 061 342	1 227 435	1 248 718
1999	914 558	1 014 500	1 006 773
2000	945 678	1 047 012	1 038 173
2001	934 008	1 105 591	1 105 801
2002	1 200 363	1 351 924	1 354 446
2003	974 003	1 015 019	1 001 552
2004	1 676 105	1 825 080	1 828 727
2005	1 900 062	2 077 977	2 092 062
2006	2 022 604	2 246 886	2 240 877
2007	1 982 326	2 341 727	2 341 640

Tableau II-4: Laproduction physique en Tonnes.

Evolution de la production et du chiffre d'affaires (2000/2006):

Année	Ciment (Tonne)	Chiffre d'affaires (KDA)
2000	1 047 013	3 138 756
2001	1 105 591	3 500 965
2002	1 351 924	4 619 649
2003	1 015 019	3 457 126
2004	1 825 080	6 250 044
2005	2 077 977	7 255 446
2006	2 240 877	7 861 976
2007	2 341 727	8 831 339

TableauII-5:Laproduction et chiffre d'affaires (2000/2006).

Produits fabriqués :

CPJ CEM II/A 42.5 :

Une capacité de production dépasseles deux millions de tonnes de ciment.

L'activité principale de l'entreprise est la fabrication et la commercialisation du ciment portland composé CPJ CEM II/A 42.5. ECDE produit à la commande d'autres types de ciments tels que : Le CPJ CEM II/A 52.5 et le CPJ CEM II/A 32.5Le CPJ-CEM II/A 42,5 de l'ECDE répond aux exigences de la norme **NA 442- 2000**.

Composition :

Le ciment Portland composé CPJ-CEM II/A 42.5 est constitué de:

- 80 à 94% de clinker Portland ;
- 6 à 20% maximum d'ajouts (calcaire pur) ;
- Constituants secondaires (0 à 5% sulfate de calcium comme régulateur de prise).

Caractéristiques chimiques:

Caractéristiques Chimiques	
Norme NA 442	Ciment ECDE
Sulfates SO ₃ 3.5 %	SO ₃ 2.00 %
Chlorures Cl ⁻ 0.1 %	Cl ⁻ 0.08 %

Tableau II-6:Caractéristiques chimiques duCPJ CEM II/A 42.5.

Les caractéristiques physiques :

Caractéristiques Physiques	
Norme NA 442	Ciment ECDE
Début de prise 60 mn	Début de prise > 60 mn
Stabilité à chaud 10mm	Stabilité à chaud < 7mm
Retrait 28j 1000 µm/m	Retrait 28j < 650 µm/m

Tableau II-7:Caractéristiques physiques duCPJ CEM II/A 42.5.

4.Société des Ciments de Saida, Spa (SCIS) :[33]



FIG II-20: Vue d'ensemble de la cimenterie de Saida.

La société des ciments de Saida (SCIS) est une filiale du groupe industriel GICA détenteur à 100% c'est société par action le siège social est 95 BP Saida.La part de la cimenterie dont le marcher nationale égale à 4%.D'une **Capital Social** 1 050 000 000 DZDet **le Chiffre d'Affaires en 2009**est 2 046 222 897 DZD.

Produits fabriqués :

Le ciment CPJ CEM II/A 42.5

L'activité principale de l'entreprise est la fabrication et la commercialisation du ciment portland composé CPJ CEM II/A 42.5.L'utilisation des ajouts conformément à la norme **NA 442-V.200**.

Il employé en:

- Béton courant (non armé ou faiblement armé).
- Remplissage de fondations, portées réduites, décoffrage différé.
- Béton armé sollicité pour structures porteuses.
- Béton routier.
- Travaux de fondations en milieu non agressif.
- Travaux en grandes masses moyennement sollicités qui exigent une chaleur d'hydratation modérée.

5. Société des Ciments de Tébessa(SCT) :[34]

La société des ciments Tébessa (SCT) est une filiale du groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) détenteur à 100%. C'est une société par action.LaCapacité de production de la cimenterie est 525 000 Tonnes de clinker/ ans,au Capital social : 2 700 millions de DA.

La cimenterie est située sur la route de Constantine BP 83 RB. La superficie de l'usine est363 140m². L'effectif des agents en 2007 est 338 agents, la part du marché de SCT égale à 5% du marché nationale.La société fabriqué le ciment par le procédé à voie sèche.

Production des Ciments :

2002	2003	2004	2005	2006
1 935	1 888	2 048	2 073	2 193

Tableau II-8: Chiffre d'Affaires U=10⁶.

Potentiel de Production :

Produits	Unité	Capacités de production annuelle	Production		Marché National	Part de Marché détenue	Part de marché
							National %
Ciment	Tonne	525 000	2002	612 294	15899448	650 428	4
			Année 2007				
			2003	601 020			
			2004	590 125			
			2005	602 621			
			2006	610 069			
			2007	650 428			

Tableau II-9:Evaluation dupotentiel de production.

6. Société des Ciments de l'Algérois (SCAL) : [35]

La Société des Ciments l'Algérois (SCAL) est une filiale du groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) détenteur à 100%. C'est une société par action, la part du marché de SCAL égale 1% du marché national.

LaCapital social :1 000.000.000 de DA, La cimenterie est située àAvenue Hamid Kabladji.Rais Hammidou.Bp n°16Alge.La société fabrique le ciment par le procédé à voie sèche.

7.Société des Ciments de Hamma Bouziane (SCHB) :[36]



FIG II-21 : Vue d'ensemble de la cimenterie de Hamma Bouziane (SCHB).

Dans le cadre du programme d'investissement, est vu que l'unité sera économique compétitive et réalisable, la réalisation de cette unité en décembre 1974 par une entreprise française C.L.E "CREUSOT-LOIRE", le prix de revient de unité a été estimé à 929.804.000 DA avec un délai de réalisation de 35 mois, unité a démarré sa production en avril 1982.

La Société des Ciments Hamma Bouziane (SCHB) est une filiale du groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) détenteur à 100%. C'est une société par action, la part du marché de SCHB égale 8% du marché national.

REMARQUE :

Les trois sociétés (cimenteries de l'Algérois, Hamma Bouziane et Tébessa) disposent du même site web : www.gic-erce-dz.com mais ne fournissent que très peu d'informations sur leurs produits et leurs productions.

II-1.2.2) Les cimenteries 65% Algérienne :

1. Société des Ciments de la Mitidja (S.C.MI) :[37]

Est une filiale de groupe industriel des ciments d'Algérie GICA. En partenariat avec Lafarge Depuis juin 2008, date de signature et mise en vigueur du contrat de management. La SCMI enregistre d'ailleurs une production historique de ciment durant l'année 2011. Pour le seul premier semestre 2011, celle-ci a connu une nette hausse atteignant les 500 000 tonnes, soit 80 % de plus par rapport à l'exercice précédent.

La cimenterie est implantée dans la commune de Meftah, daïra de Meftah, Wilaya de Blida. L'usine est située à 60 m au-dessous du niveau de la mer, la carrière à 150 m. Le projet s'est inscrit dans le cadre du plan quadriennal 1970-1973.

Produits fabriqués :

Le ciment Portland (Composé CPJ –CEM II / A 32.5) :

Le ciment Portland SCMI constitue un matériel de construction de base économique et de qualité supérieure utilisé dans presque toutes les formes d'ouvrages.

Les compositions :

Le ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO₂) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al₂O₃) et le fer (Fe₂O₃). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°C. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

Le ciment portland composé présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme **NA 442** et la norme **EN 197-1**.

Analyses et caractérisation

Propriétés physiques :

- Consistance normale de la pâte de ciment (%) : 24,5 – 27,50 ;
- Finesse suivant la méthode de Blaine (**NA 231**):3050 – 4050 ;
- Retrait à 28 jours en µm/m ;
- Expansion en mm : 0,3 – 1,5.

Temps de prise à 20 °C (NA 230) :

- Début de prise (min) : 75 ;
- Fin de prise (min) : 220 – 290.

Résistance à la compression (NA 234) :

- 02 jours (Mpa) : 10 – 18 ;
- 28 jours (Mpa) : 32.5.

Analyses chimiques :

- Perte au feu (%), (**NA 5042**) : 2.0 – 8.5 ;
- Résidus insolubles (%), (**NA 5042**) : 0,7 – 2,00 ;
- Teneur en sulfates SO₃ (%), (**NA 5042**) : 1,80 – 2,40 ;
- Teneur en oxyde de magnésium MgO (%) : 2,00 – 2,20 ;
- Teneur en chlorures (%), (**NA 5042**) : 0,01 – 0,04 ;
- Teneur équivalent en alcalis (%) : 0,4 – 0,58.

Composition hypothétique du clinker (Bogue) :

- Silicates tricalciques C₃S (%) : 53 – 59 ;
- Silicates bicalcique C₂S (%) : 12 – 18 ;
- Aluminate tricalciques C₃A (%) : 7,00 – 9,00 ;
- Aluminoferrites tetracalciques C₄AF (%) : 10,00 – 12,00.

2.Société des Ciments Béni-Saf (SCIBS) :[38]

La Cimenterie de Béni-Saf a été réalisée dans le cadre du plan de développement quinquennal des années 70 par la Société Nationale des Matériaux de Construction (SNMC) entre 1974 et 1978. Elle est entrée en production en novembre 1978. Le 1er sac de ciment est sorti en février 1979. En juillet 2005, la S.C.I.B.S réalise son partenariat et signe un contrat de management sur 10 ans avec le Groupe PHARAON. A partir de cette date, la société est gérée au titre d'un mandat de gestion par Pharaon Commercial Investment Group Limited.

Actuellement L'effectif total est de 500 agents ; la production annuelle atteint 1 100 000 tonnes de clinker et 1 250 000 tonnes de ciment expédié.

Produits fabriqués :

Le ciment CPJ-CEM II/A 42 ,5 :



FIGII-22:Sac deciment CPJ-CEM II/A 42, 5.

Le Ciment produit par la cimenterie de BENI-SAF est un ciment portland composé à la pouzzolane naturelle de la classe CPJ-CEM II/A 42 ,5 selon la norme **NA 442/2000** est constitué de :

- Minimum de 80-94 % de clinker ;
- 6 – 20 % de la pouzzolane naturelle.

Caractéristiques Physico mécaniques :

Résistance à la compression (N/mm²) :

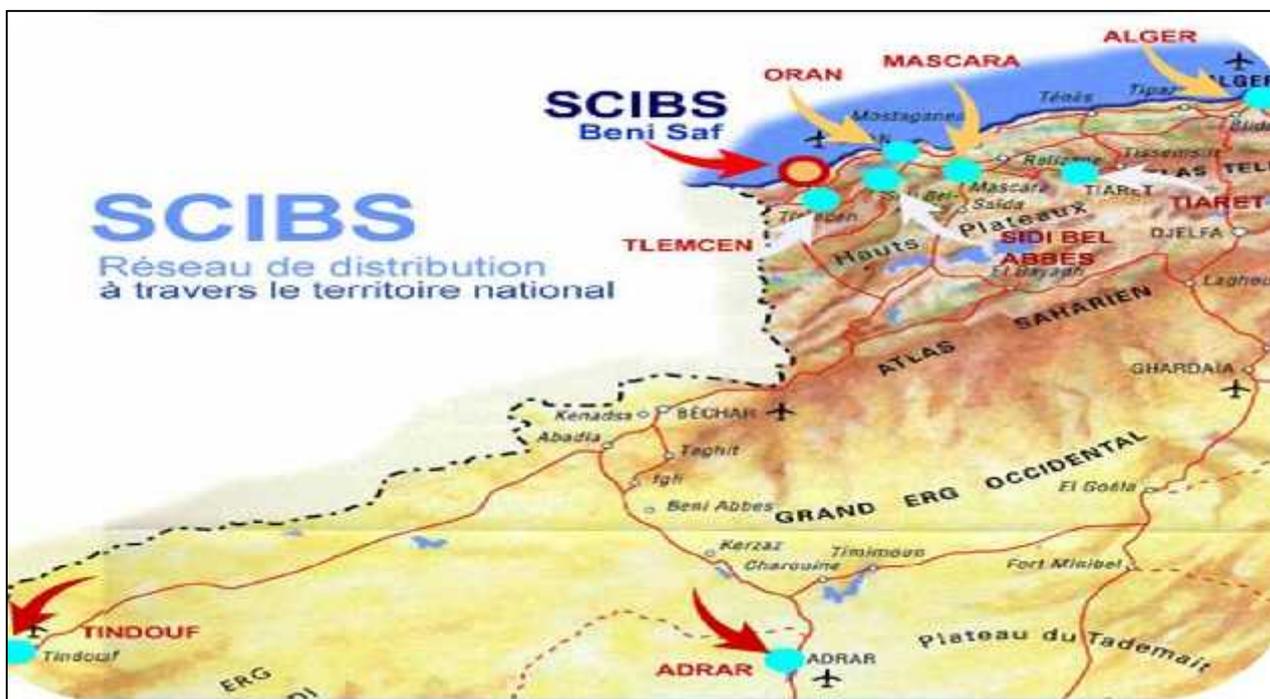
- Résistance au jeune âge (02 jours): limite inférieure (Li) 12.5 N/mm²
- Résistance normale (28 jours):limite inférieure (Li) 42.5 N/mm²
- Limite supérieure (Ls) 62.5 N/mm²
- Retrait du CPJ-CEM II (28 jours) $\mu\text{m/m}$: 60 min
- Temps de début de prise (min) : 60 min

- Stabilités (mm) : 10mm

Production:

La Cimenterie de Beni-Saf est devenue l'une des plus performantes unités de production dans le pays en termes de capacité de production et de distribution et qui couvre une bonne partie du territoire national.

La capacité de production de l'usine est passée à plus de 1.200.000 de tonnes de ciments en 2007 et ainsi elle vient de pulvériser les records d'expédition des exercices antérieurs. Cette performance vient confirmer le bien fondé de la stratégie adoptée par la SCIBS.



FIGII-23:Le réseau de distribution à travers le territoire nationale de la SCIBS.

Evolution de la production physique (en Tonne) :

Année	Clinker	Ciment	Expéditions
2005	691 246	824 003	831 752
2006	868 370	1 014 663	1 013 273
2007	1 050 300	1 219 964	1 223 527
2008	1 097 090	1 249 140	1 268 973
2009	1 034 921	1 205 650	1 206 325
2010	1 012 315	1 163 302	1 128 886
2011	964 551	1 040 541	1 049 217
2012	1 083 841	1 147 385	1 154 409

Tableau II-10: Evolution de la production physique.

Evolution de la production de clinker

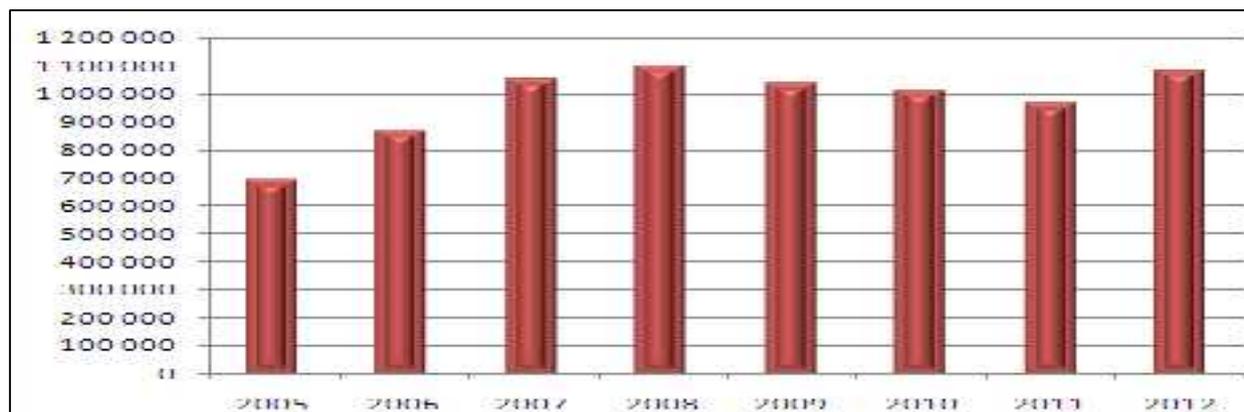


FIG II-24: Graphique de la production de clinker en tonnes entre 2005 et 2012.

Evolution de la production de Ciment :

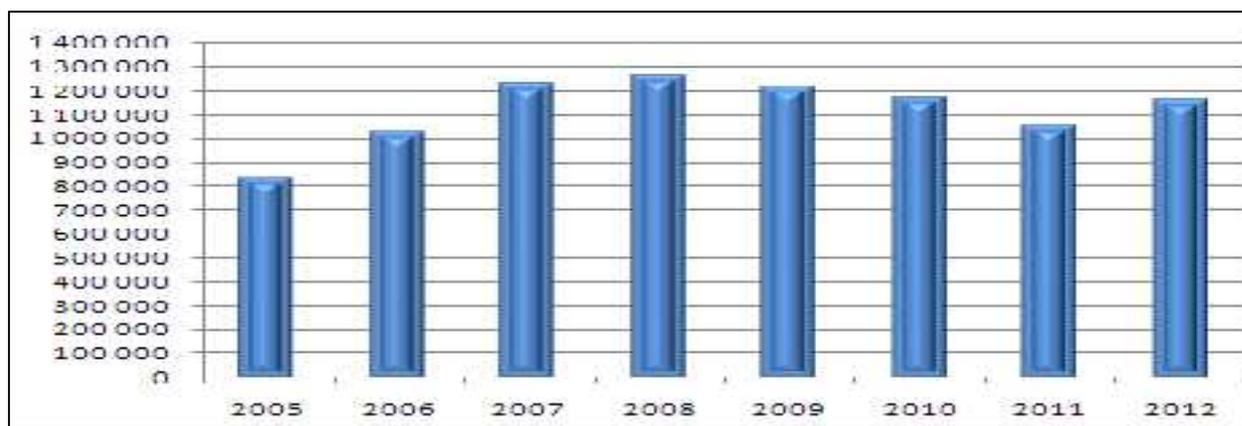


FIG II-25: Graphique de la production de ciment en tonnes entre 2005 et 2012.

Evolution de l'expédition de ciment :

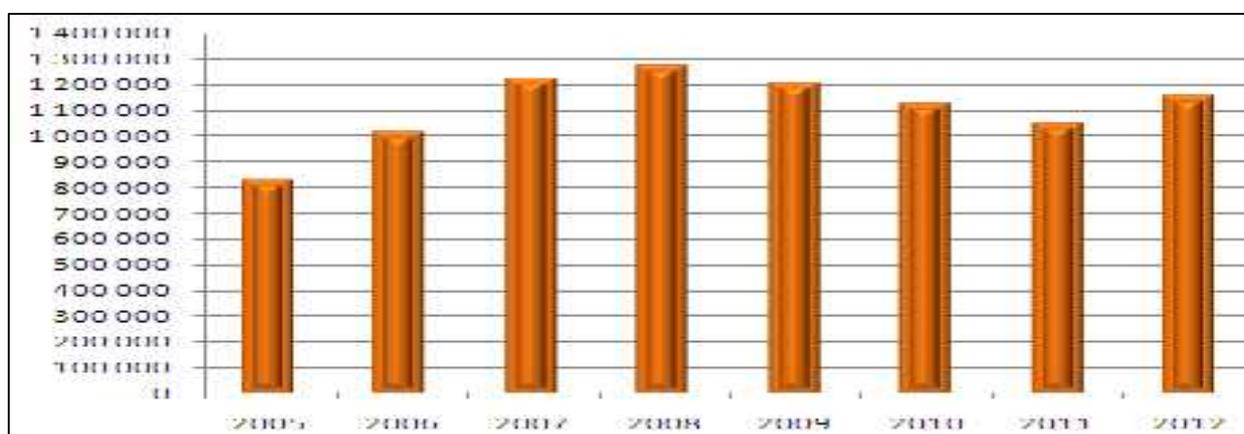


FIG II-26: Graphique de l'expédition de ciment entre 2005 et 2012.

3. Société des Ciments de Zahana (SCIZ) : [39]



FIG II-27 : La Société de Zahana.

La Société des Ciments de Zahana dénommée « S.CI.Z », filiale du G.I.C ERCO est implantée dans la wilaya de Mascara à proximité de la route nationale N°13 et du réseau ferroviaire reliant les villes d'Oran et de Sidi-bel-abbès. Elle est située au nord de Mascara et à environ 40 Km d'Oran.

La Cimenterie de Zahana anciennement appelée CADO, est née à la fin de la deuxième guerre mondiale dans le cadre du plan Marchal. A l'origine, il s'agissait d'une usine à voie humide.

En 1968 : Nationalisation de la Cimenterie et rattachement à la société nationale des matériaux de construction «SNMC».

En 1995 : Remplacement des anciennes lignes de production à voie humide par une nouvelle installation de production toujours à voie humide, destinée à la fabrication des ciments spéciaux d'une capacité nominale de deux cent mille tonnes par an (200 000 Tonnes/an).

En date du 26 décembre 1997, et dans le cadre de la filialisation de l'entreprise ERCO, la cimenterie de Zahana est érigée en société par actions avec un capital social de 1.920.000.000 DA, filiale du Groupe ERCO.

La capacité de production de la cimenterie de Zahana est actuellement évaluée à 900 000 t de clinker par an. La part du marché de la cimenterie est de 7%.

4. Société des Ciments de Hadjar Essoud:[40]



FIG II-28: Vue d'ensemble de la Cimenterie de Hadjar Essoud.

L'entreprise de cimenterie de Hadjar Essoud, (que nous avons en l'honneur de visiter dans le cadre de ce travail de PFE en date 24/04/2013) est située dans la commune d'Azzaba, wilaya de Skikda, est managée par la société italienne Buzzi-Unicem, l'un des leaders mondiaux de la production de ciment.

La société des ciments de Hadjar-Soud (SCHS) est une filiale du groupe GICA de capital social de 1 550 000.000 DA, à partir du 01 février 2008 est rentré en partenariat avec le partenaire social italien BUZZI-UNICEM d'un pourcentage de 35%, le groupe GICA est majoritaire de 65 %.

La Cimenterie de Hadjar Soud est située sur l'axe de la route N°44 reliant ANNABA-CONSTANTINE et SKIKDA, soit à 50Km d'ANNABA. La cimenterie fait partie de la commune de Bekkouche Lakhdar Daira de Ben Azzouz Wilaya de Skikda.

La superficie de l'assiette du terrain de la cimenterie est de 29 ha 52a 40 ca. Elle longe la ligne du chemin de fer à laquelle elle est raccordée par un tronçon de voie interne.

La cimenterie qui est opérationnelle depuis 1973 intègre dans sa globalité le processus de production du ciment : Gisements de matières premières.

Transport – Production de clinker et ciment – Stockage – Expédition :

La cimenterie est constituée de deux lignes fabrication avec une capacité contractuelle de production de 900 000 tonnes :

- 1ere Ligne : Date du démarrage 1973, capacité 1250T/J de Clinker
- 2eme Ligne : date du démarrage 1975 (Adjonction d'un précalcinateur en 1993 pour porter la capacité à 1800t/j de clinker).

Elle tire ses principales matières premières à partir des gisements de calcaires (djebel safia) à une distance de 8 Km de l'usine, reliant la cimenterie par des transporteurs. Elle s'étale sur une superficie de 162 ha. Et d'argile « marne » de (Oued El-kebir) à une distance de 4 Km de l'usine. Reliant l'usine par route servant au transport de l'argile par camion. Sa superficie est de 72 ha.

Produit fabriqués :

CPJ-CEM II/A 42,5 :

Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse, en tant que régulateur de prise. C'est un ciment conforme à la norme **NA 442 :2000**.

Composition :

- Clinker : 80 à 94%
- Ajouts : 06 à 20% (Laitier)

Caractéristiques Physiques :

- Temps de début de prise mesuré sur pâte pure = 60 minutes ;
- Retrait à 28 jours d'âge sur mortier normal = 1000µm/m ;
- Stabilité mesurée sur éprouvette de pâte pure = 10 mm.



FIGII-29:Sac de ciment CPJ-CEM II/A 42, 5.

Caractéristiques Mécaniques :

Les résistances à la compression font apparaître une valeur moyenne des résultats à 28 jours d'âge voisine 42,5 MPa.

Les valeurs limites garanties sont :

- 10,0 MPa à 02 jours ;
- 40,0 MPa à 28 jours.

Caractéristiques Chimiques :

- La teneur en sulfates (SO₃) dans le ciment < 2.5% ;
- La teneur en chlorures (Cl⁻) = 0,1%.

Données et chiffres de la société:

L'évolution positive des résultats financiers de la société des ciments de Hadjar soud constitue une base solide pour sa stratégie de croissance et la preuve d'une politique qualité efficace et adaptée.

Evolution de chiffre d'affaire en Millions de DA.

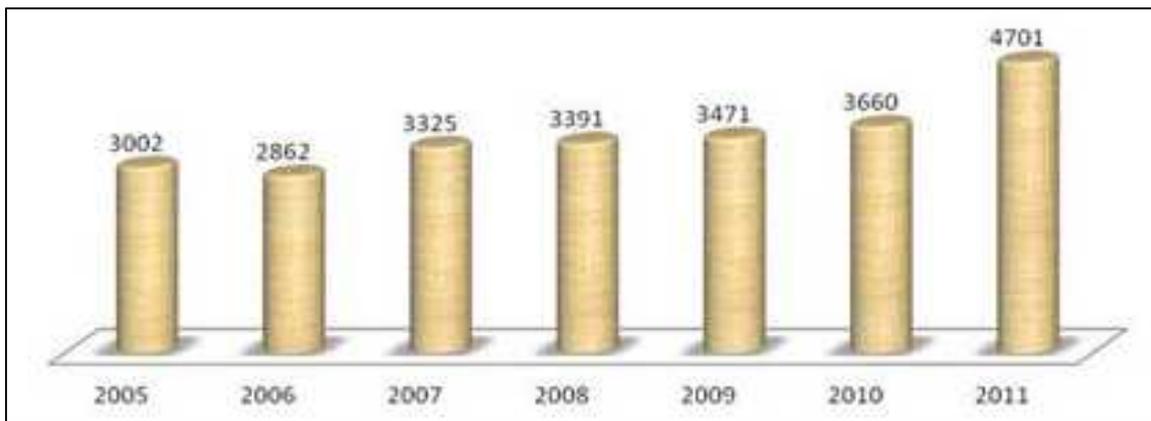


FIG II-30: Graphique du Chiffre d'affaire entre 2005 et 2011.

Evolution de production de ciment en tonne :

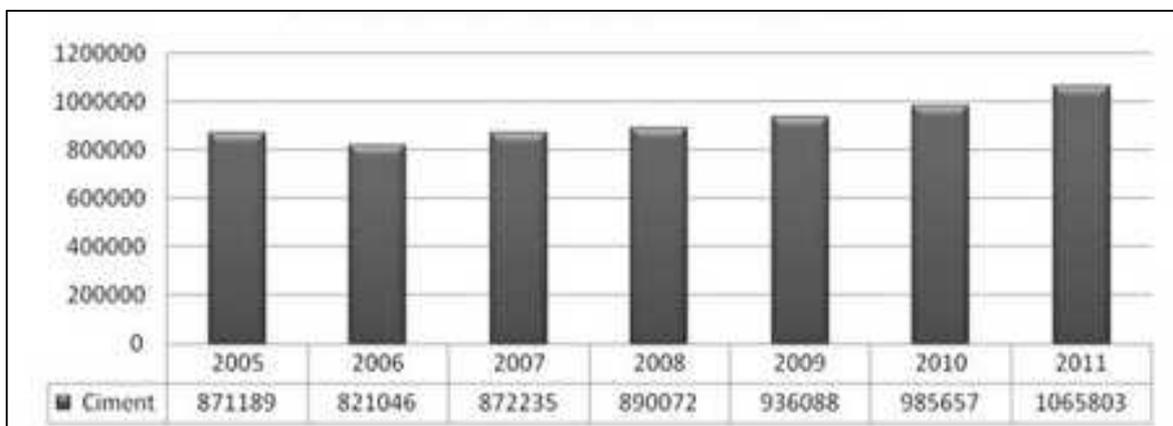


FIG II-31: Graphique de laproduction de clinker entre 2005 et 2011.

Evolution de la valeur ajoutée en Millions de DA :

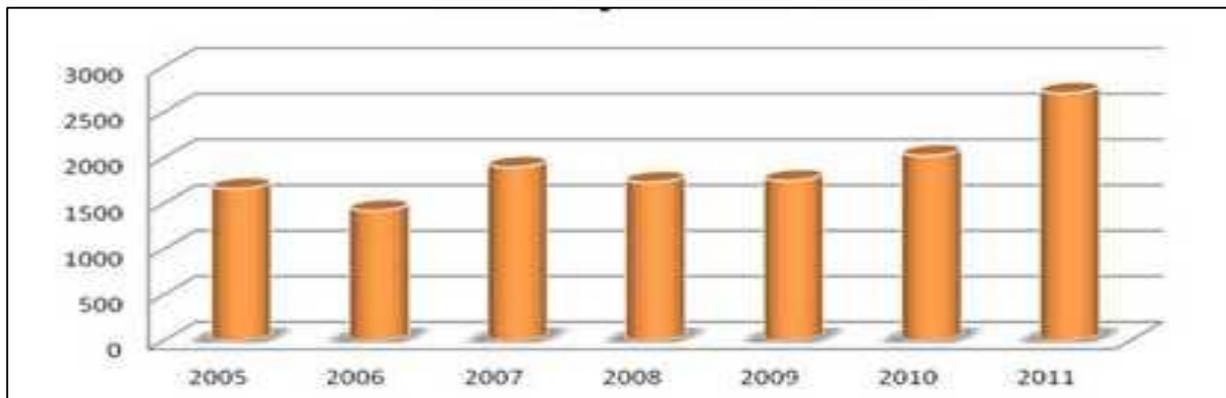


FIG II-32:Graphique de la valeur ajoutée en MDA.

Les représentations graphiques montrent une évolution tant sur la production physique clinker et ciment que sur indicateurs économiques.

5. Société des Ciments de Sour El Ghozlane(SCSEG):[41]



FIGII-33 :Vue d'ensemble de la cimenterie de Sour El Ghozlane.

L'entreprise de cimenterie de Sour El Ghozlane, située dans la colline de Becouche. Sour El Ghozlane wilaya de Bouira. La date de création de la cimenterie est 02/01/1998. Elle est gérée par la société italienne Buzzi-Unicem, l'un des leaders mondiaux

de la production de ciment. D'un pourcentage de 35%, le groupe GICA est majoritaire de 65 %.

La Société des Ciments de Sour El Ghoulane (SCSEG) est une filiale du groupe GICA de capital social de 1 900 000 000,00 DA. La part du marché de SCSEG égale 8 % du marché national.

Le produit fabriqué :

CPJ- CEM II/A 42.5 :

Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Le sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse, en tant que régulateur de prise. C'est un ciment conforme à la norme **NA 442 :2000**.

Composition :

- Clinker : 80 à 94%
- Ajouts : 06 à 20% (Laitier)

Caractéristiques Physiques :

- Temps de début de prise mesuré sur pâte pure = 60 minutes ;
- Retrait à 28 jours d'âge sur mortier normal = 1000µm/m ;
- Stabilité mesurée sur éprouvette de pâte pure = 10 mm

Caractéristiques Mécaniques :

Les résistances à la compression font apparaître une valeur moyenne des résultats à 28 jours d'âge voisine 42,5 MPa.

Les valeurs limites garanties sont :

- 10,0 MPa à 02 jours ;
- 40,0 MPa à 28 jours.

Caractéristiques Chimiques :

- La teneur en sulfates (SO_3) dans le ciment < 2.5%
- La teneur en chlorures (Cl^-) = 0,1%.

II-2) Les principales catégories des ciments Algériens : [03]

Toutes les normes algériennes sont élaborées par : L'institut Algérien de Normalisation (IANOR).

Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normales, selon l'arrêté interministériel du 3 Rabie Ethani 1424 correspondant au 4 juin 2003 portant sur les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments.

II-2.1) Classification des ciments en fonction de leur composition : [03]

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux par les normes **NA442-2000**. Les dispositions du présent arrêté s'appliquent aux principaux types de ciments normalisés suivants :

- Ciment Portland : CPA- CEM I ;
- Ciment Portland Composé : CPJ – CEM II/A ou B ;
- Ciment De Haut Fourneau : CHF – CEM II/A ou B et CLK – CEM III/C ;
- Ciment Pouzzolanique : CPZ – CEM IV/A ou B ;
- Ciment au Laitier et aux Cendres : CLC – CEM V/A ou B.

Les constituants de ces types de ciments doivent être conformes aux valeurs fixées dans **le tableau 10** qui suit :

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans **le tableau 11** :

1. les valeurs indiquées se réfèrent au « noyau de ciment » (*), à l'exclusion des sulfate de calcium et des additifs.
2. les constituants secondaires peuvent être du filler ou bien un ou plus des constituants principaux, sauf lorsque ceux-ci sont incorporés en tant que constituants principaux du ciment.
3. la proportion de fumées de silice est limitée à 10% dans tous les ciments.
4. la proportion de filler est limitée 5%.
5. le fabricant est tenu à une déclaration de composition stipulant les constituants utilisés et la proportion de chacun d'eux ; il s'engage à ne pas faire varier ces proportions au-delà d'une fourchette de plus ou moins 5 point, de clinker étant aussi un constituant.

La forme et les modalités d'application de cette déclaration sont définies dans l'annexe **B** de la norme **NA 442-2000**.

(*)Le noyau des ciments est une fraction ne comprenant que les constituants principaux et secondaires, dont ni le sulfate de calcium ni les additifs éventuels.

N.B : Les lettre A, B, C fournissent une information sur la proportion de constituants autre que le clinker.

II-2.2) Les valeurs de résistance à la compression des classes de ciments : [03]

Les ciments sont répartis en trois classes de résistance normale : classe 32.5, classe 42.5 et classe 52.5.

Chaque classe de résistance normale comprend deux classes de résistance au jeune âge qui sont définies dans **le tableau 12** qui suit.

Les classes de résistance sont définies par l'intervalle délimité par les résistances minimales à 28 jours et, selon le cas, par la résistance minimale à 2 ou 7 jours.

Les valeurs de résistance à la compression sont consignées dans **le tableau 12**, joint en annexe du présent arrêté.

La résistance du ciment est déterminé sur des éprouvette de mortier de ciment (Mortier normalisé ; 3sable/1ciment/0,5 Eau).

classe	Résistance à la compression (N/mm ²) ou (MPA)						
	Résistance au jeune âge				Résistance normale		
	2 jours	Li	7jours	Li	Li	28 jours	Li
32.5	---		---		32.5		52.5
32.5 R(*)	13.5		---				
42.5	12.5		---		42.5		62.5
42.5 R(*)	20		---				
52.5	20		---		52.5		---
52.5 (*)	30		---				

Tableau II-12 : Valeurs de résistance à la compression des classes de ciments.

(*) La lettre R indique que le ciment a une résistance élevée au jeune âge.

1. Li : limite inférieure nominale pour une spécification donnée, respectée avec probabilité de 95% pour les résistances et de 90% pour les autres propriétés.
2. Ls : limite supérieure nominale pour une spécification donnée respectée avec une probabilité de 90%.

II-2.3) Le temps de début de prise des ciments :

Les temps de début de prise des ciments doivent être conformes aux valeurs fixées dans le **tableau 13** qui suit.

Classe	Temps de début de prise (min)
32.5	90
32.5 R	
42.5	60
42.5 R	
52.5	
52.5 R	

Tableau II-13: Temps de début de prise des ciments (min).

II-2.4) Les compositions chimiques des ciments : [03]

La composition chimique des ciments doit satisfaire aux valeurs consignées dans le **tableau 14** qui suit.

Propriété	Type de ciment	Classe de résistance	Exigence %
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	Touts classes	5.0
Oxyde de magnesium (MgO)	CPA-CEM I	Touts classes	5.0
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM II CLK-CEM III	Touts classes	5.0

Sulfate (SO ₃) Limite supérieure	CPA-CEM I CPJ-CEM II ⁽²⁾	32.5 32.5 R 42.5	3.5
	CPZ-CEM IV CLC-CEM V	42.5 R 52.5 52.5 R	4.0
	CHF-CEM III ⁽³⁾	Touts classes	
Chlorures	Tous types ⁽⁴⁾	Touts classes sauf 52.5 R	0.10
		52.5 R	0.05
Pouzzolanicité	CPZ-CEM IV	Touts classes	Satisfait à l'essai

Tableau II-14: Compositions chimiques des ciments.

1. Les exigences sont données en pourcentage en masse.
2. Cette indication couvre tous les types de ciments CPJ-CEM II/A et CPJ-CEM II/B à l'exception des ciments ne contenant que des schistes calcines (T) comme constituants principale autre que clinker pour lesquels la limite supérieure est 4.5 % de SO₃ pour toutes les classes de résistance.
3. le type CLK-CEM III/C peut contenir un maximum de 4.5% de SO₃
4. les ciments de type CHF-CEM III/A ou B et CLK-CEM III/C peuvent contenir plus de 0.10% de chlorures mais, dans ce cas, la teneur réelle en chlorures doit être déclarée.

II-2.5) Les domaines d'utilisation des ciments :

Les domaines d'utilisation des ciments sont indiqués dans **le tableau 15** qui suit.

Type de ciment	Domaine d'utilisation
A/ciments usuels : 1/CPA-CEM I	*béton armé en général coulé sur place ou fabriqué. * béton précontraint * décoffrage rapide, mise en service rapide, (préférence de classe R). * décoffrage jusqu'à température extérieure entre 5et 10°C ; * béton étuvé ou auto-étuvé.
	Ces ciments sont les plus couramment utilisés. * CPJ-CEM II/A ou B classe R : travaux nécessitant une résistance

<p>2/CPJ-CEM II/A ou B</p>	<p>initiale élevée (décoffrage rapide par exemple).</p> <ul style="list-style-type: none"> *béton en élévation, armé ou non d'ouvrage courant. *fondation ou travaux souterrains en milieux non agressifs. *dallages, sols industriels. *maçonneries. *stabilisation des sols.
<p>3/ CHF-CEM III/A ou B CLK-CEM III/C CLC- CEM V/A OU B</p>	<ul style="list-style-type: none"> * travaux souterrains en milieux agressifs (terrains gypseux, eaux d'égouts, eaux industrielles...). *Ouvrages en milieux sulfatés : les ciments produits sont tous ES, ciments pour travaux dans les milieux fortement agressifs en conformité à la norme NA 443. *Travaux à la mer : les ciments produits sont tous PM, ciments pour travaux dans les milieux moyennement agressifs, en conformité à la norme NA 5033. * béton en masse * travaux en béton armé ou non, hydrauliques et souterrains (fondation). <ul style="list-style-type: none"> * travaux en nécessitant une faible chaleur d'hydratation. * stabilisation des sols.
<p>B/autres ciments à usage spécifique : la plupart des ciments conviennent aux emplois les plus usuels; néanmoins certains sont mieux adaptés que d'autre à des emplois spécifiques. parmi ces ciments, non définis à l'article 2, on cite :</p> <p>1/Le ciments alumineux fondu (CA).</p>	<ul style="list-style-type: none"> * ouvrages exigeant une résistance élevée à court terme. * bétonnage par temps froid (jusqu'à 10° pour des bétons massif). * pour béton devant subir des chocs thermiques ou une forte abrasion (utilisation de granulats synthétiques alumineux-calciq). * pour béton devant résister à des températures jusqu'à 1250°C. * travaux à la mer. * travaux en milieux fortement agressifs (PH4à5.5). * travaux en milieux très fortement agressifs (PH<4). *milieu industriel ; *égouts urbains et ouvrages d'assainissement.
	<ul style="list-style-type: none"> * Ouvrages nécessitant une prise très rapide : scellements courants, blocages, aveuglements, voies d'eau, calfatages. * Enduits, moulages, tableaux, arêtes, repères, charges importants. * Réhabilitation de façades de toutes compositions en mélange avec les

<p>2/ Le ciment prompt naturel(CNP).</p>	<p>chaux HL ou NHL.</p> <p>* Petits ouvrages : chainages, regards, appuis.</p> <p>* Milieux agressifs : eaux pures, eau de mer.</p> <p>* Travaux à la mer : ce ciment est PM, ciment de mer pour travaux dans les milieux moyennement agressifs, en conformité à la norme NA 5033.</p>
--	--

Tableaux II-15: Domaines d'utilisation des ciments.

II-2.6) L'emballage du ciment : [03]

1. le ciment est conditionné dans des emballages appropriés conformément à la norme algérienne en vigueur.
2. Le ciment doit être conditionné dans des emballages d'une contenance de cinquante (50) kilogrammes.

Un contrôle métrologique en masse des sacs de ciment doit être effectué sous la responsabilité du fabricant, du conditionneurs et ou de l'importateurs à l'aide d'instruments de mesure légaux appropriés, en tenant compte des phénomènes physique qui peuvent se traduire par une variation du poids net du ciment emballé.

La masse nette moyenne de vingt (20) sacs prélevés au hasard doit être égale à mille (1000) kilogrammes à plus ou moins dix (10) kilogrammes.

3. L'étiquetage du ciment en sac doit être lisible, visible et indélébile et comporter les indications suivantes :
 - type de ciment tel que défini à l'article 2 ci-dessus ainsi que la référence de la norme algérienne équivalente ;
 - quantité nette exprimée en kilogrammes ;
 - nom du pays d'origine pour le produite importé ;
 - nom de raison sociale et adresse du fabricant, du conditionneur et / ou de l'importateurs ;
 - date de fabrication ;
 - numéro de lot ;
 - liste additifs éventuellement utilisés ainsi que leurs proportions.

Toutefois, pour les ciments livrés en vrac et non destinés à la vente au détail, il est admis, à l'exception du nom et type de produit, que les mentions d'étiquetage visées au présent article puissent figurer uniquement sur les documents d'accompagnement.

Chapitre 03

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES CEMENTS

III-1) Masse volumique du ciment :

III-1.1) Masse volumique absolue :

Objectif de l'essai : [02]

Il s'agit de mesurer la masse volumique absolue du ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment, tout en restant comprise entre 3,0 et 3,2 g/cm³.

Principe de l'essai :(avec le pycnomètre)

On opère en comparant la masse (m_c) d'un volume connu de ciment (v_c) à la masse (m_t) d'un même volume d'un liquide dont la masse volumique (ρ_t) est connue. La masse volumique du ciment (ρ_c) s'en déduit en écrivant :

$$\rho_c = \rho_t \frac{m_c}{m_t}$$

Principe de la mesure: (densimètre le chatelier) [22]

Il consiste à mesurer le déplacement du niveau de liquide contenu dans un récipient à col étroit, lorsqu'on y introduit la poudre dont on cherche la masse volumique absolue. La méthode nécessite également une balance au décigramme, volumétre et un liquide inerte vis-à-vis de la poudre: ce sera par exemple du tétrachlorure de carbone, si la poudre est du ciment (ou bien on peut remplacer le tétrachlorure par le pétrole).



FIG III-1: Densimètre Le Chatelier. [44]

Equipement nécessaire : [02]

- Un pycnomètre d'une contenance minimale de 50 cm³.
- Un liquide qui ne doit pas être réactif avec le ciment, du toluène par exemple (le benzène, cancérigène, ne doit plus être utilisé).

• Une balance. La précision de la balance devra être adaptée à la masse de l'échantillon utilisé. Soit m_c cette masse et Δ_m la précision de la balance ; alors :

$$\Delta_m \leq 2 \times 10^{-4} m_c$$

• Un thermomètre, précis à 0,1 °C, permettant de connaître la température du laboratoire.

• Une spatule

Si l'essai est réalisé avec de l'alcool à brûler, il est nécessaire de connaître sa masse volumique.

• Masse volumique de l'alcool à brûler : $\rho_{\text{alcool}} = 0,9 \text{ kg/dm}^3$.

Mode opératoire [44]

La détermination de la masse volumique absolue est réalisée à partir de deux mesures.

• Remplir le pycnomètre d'alcool (ou d'eau) et peser cet ensemble M_0 .



FIG III-2: Pycnomètre.

• Vider le pycnomètre

• Introduire à l'aide de la spatule environ 70 g de ciment dans le pycnomètre, noter cette masse M_1 .



FIG III-3: Balance.

• Remplir ensuite le pycnomètre à moitié, chasser les bulles d'air

- Finir de remplir le pycnomètre
- Peser cet ensemble M2



FIG III-4: Mode opératoire.

Résultats :

Le résultat de la mesure est vérifié par deux déterminations dont la moyenne est considérée comme la masse volumique.

Valeurs courantes :

Selon leur nature, la masse volumique absolue des ciments est comprise entre 2,90 et 3,15 g/cm³.

III-1.2) Masse volumique apparente :

Matériel nécessaire :



FIG III-5: matériel nécessaire.

- Un entonnoir monté sur trépied
- Un récipient calibré (de volume connu et de masse connu).
- Une règle à araser
- Une balance

Mode opératoire :

- Peser une mesure de 1 dm³ vide (M_0)
- Verser ciment au travers de l'entonnoir jusqu'à refus Araser et peser (M_1)

- La masse de ciment est: M_1



FIG III-6: Mode opératoire.

Résultats :

Connaissant la masse de ciment et le volume du récipient calibré, on peut calculer la masse volumique apparente du ciment.

III-2) La finesse du ciment (EN 196-6) : [02]

Objectif de l'essai :

Les ciments se présentent sous forme de poudre finement divisée. Cette finesse est une caractéristique importante: lors du gâchage, plus la surface de ciment en contact avec l'eau est grande et plus l'hydratation est rapide et complète.

La finesse d'un ciment est généralement exprimée par sa surface massique: c'est la surface totale des grains contenus dans une masse unité de poudre. La surface massique est généralement exprimée en cm^2 de surface des grains de ciment par gramme de poudre. L'objectif de l'essai est d'apprécier cette surface.

Principe de l'essai :

L'essai a pour but de calculer le débit d'air susceptible de passer à travers la poudre. La surface massique de ciment étudié n'est pas mesurée directement, mais par comparaison avec un ciment de référence dont la surface massique est connue. Il s'agit de faire passer un volume d'air connu au travers d'une poudre de ciment. Toutes choses étant égales par ailleurs, plus la surface massique de cette poudre est importante et plus le temps t mis par l'air pour traverser la poudre est long: Dans les conditions normalisées décrites, la surface est proportionnelle à \sqrt{t} .

Equipement nécessaire :

L'appareil utilisé pour déterminer la finesse de mouture de ciment est appelé «Perméabilimètre de Blaine». Cet appareil est schématisé sur **FIG III-7**. Il se compose pour l'essentiel d'une cellule dans laquelle est placé le ciment à tester et d'un manomètre constitué d'un tube en verre en forme de U rempli, jusqu'à son repère inférieur (n°4) d'une huile légère. La cellule est équipée d'une grille en sa partie inférieure. Un piston sert à tasser le ciment dans la cellule sous un volume V défini.

- Une balance précise à 0,001g près.
- Un chronomètre précis à 0,2 s près.
- Du ciment de référence de surface massique (S_0) et de masse volumique (ρ_0) connues.
- Des rondelles de papier filtrent adaptées au diamètre de la cellule.
- Du mercure pour mesurer le volume V de la couche tassée.
- Un thermomètre précis à 0,1 °C près pour mesurer la température de l'air ambiant.

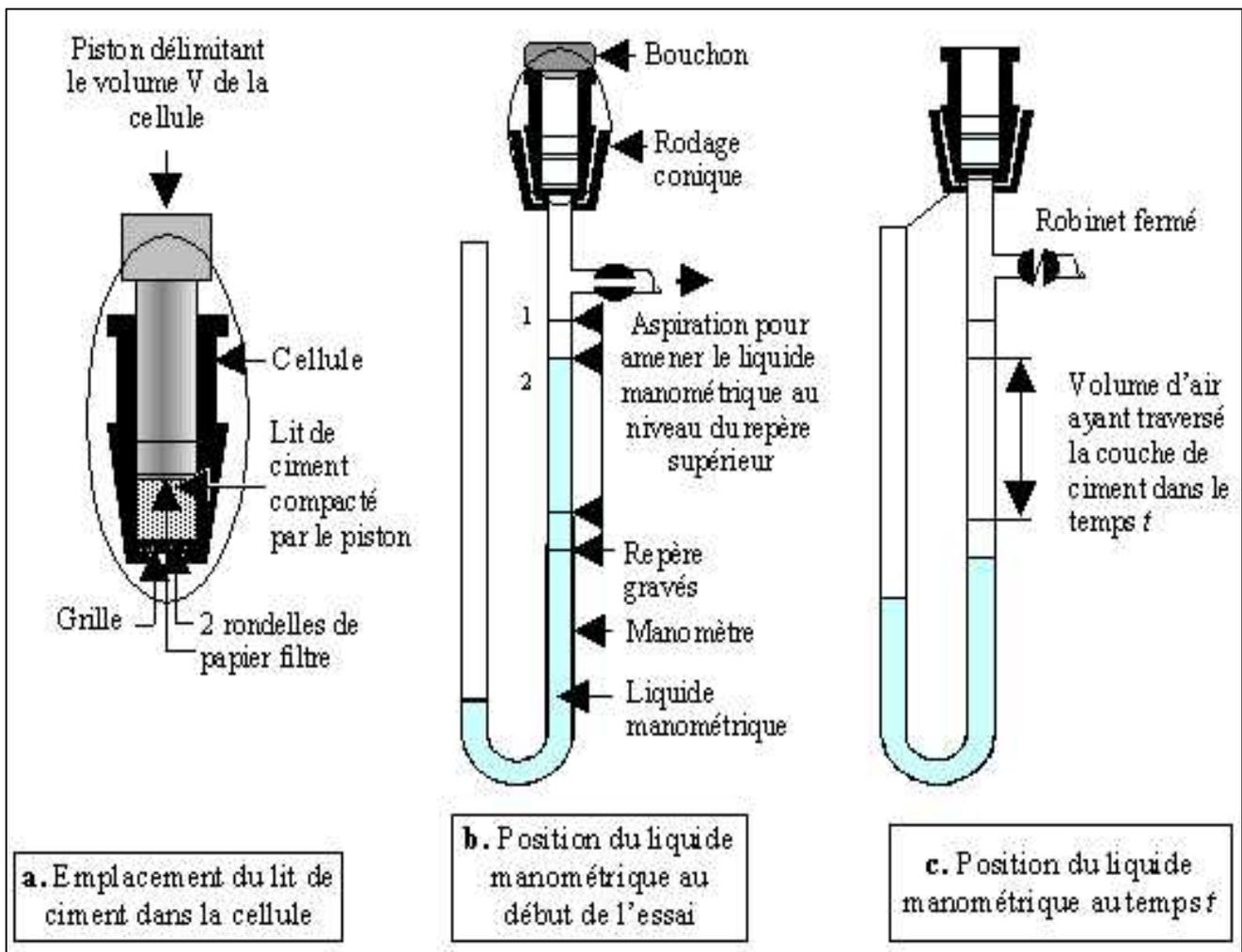


FIG III-7: Principe de fonctionnement du perméabilimètre de Blaine.

III-3) Consistance normalisée du ciment (EN 196-3) :

Objectif de l'essai : [22]

La consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité. Il y a deux types d'essai, qui permettent d'apprécier cette consistance.

1-L'essai de consistance effectué avec l'appareil de Vicat conformément à la norme **EN 196-3**.

2-L'essai d'écoulement au cône, conformément à la norme **NF P-18-358**.

La consistance de la pâte de ciment est une caractéristique qui évolue au cours du temps. Pour pouvoir étudier l'évolution de la consistance en fonction des différents paramètres il faut pouvoir partir d'une consistance qui est la même pour toutes les pâtes étudiées. L'objectif de cet essai est de définir une telle consistance dite "consistance normalisée"

Principe de l'essai :

La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement, dans la pâte d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge. La consistance évaluée de cette manière sera appelée "consistance Vicat".

Equipement nécessaire : [44]

- Une balance, permettant de peser à 1 g près.
- Une éprouvette graduée de 250 ml.
- Un malaxeur à mortier de 5 litres environ.
- Une règle à araser, une truelle (langue de chat).
- Un chronomètre au dixième de seconde.
- Un appareil de Vicat et ses accessoires décrits à la **FIG III-8**, équipé d'une sonde de consistance : tige de 10 mm de diamètre.
- Un moule tronconique (anneau), reposant sur une plaque support.

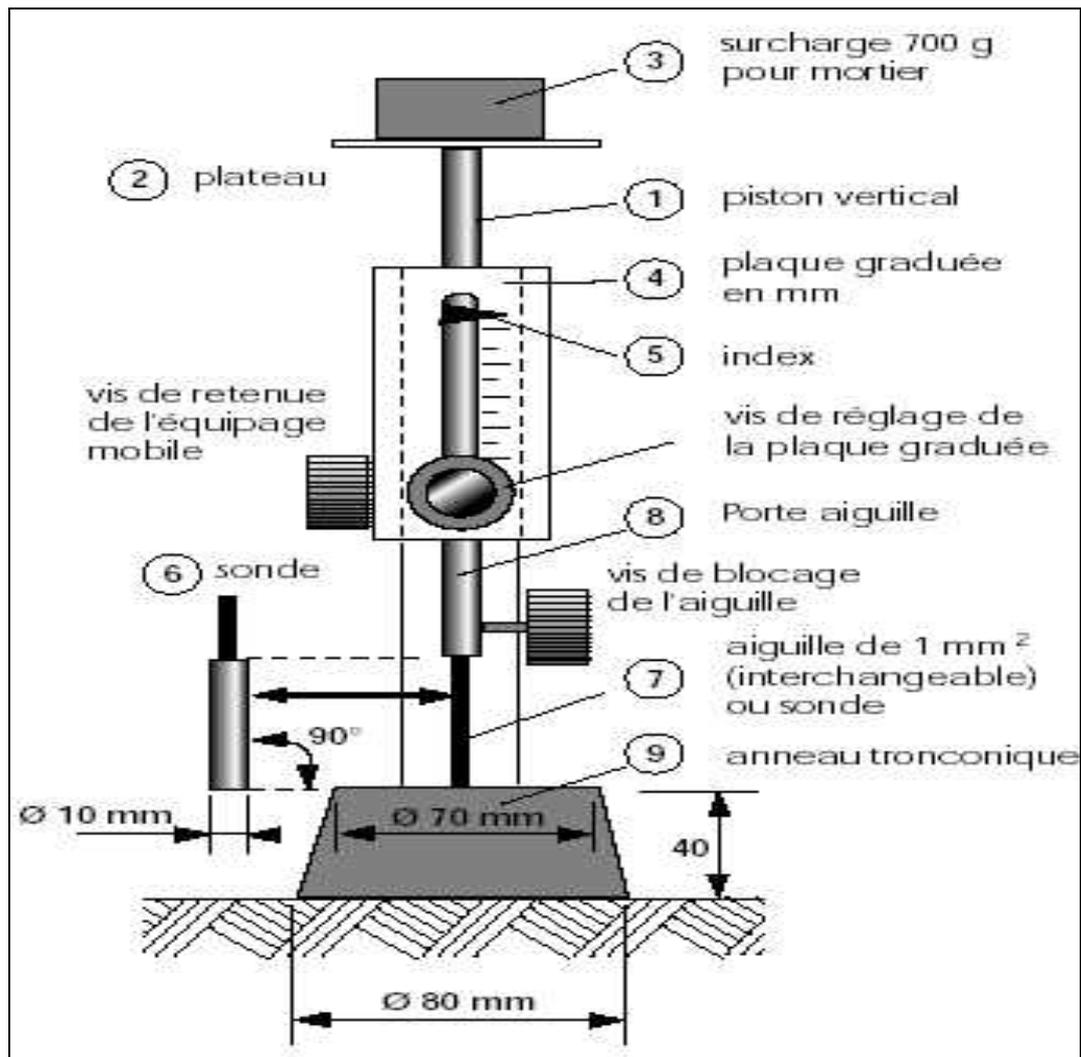


FIG III-8: Appareil de Vicat.

Composition de l'appareil de Vicat : [44]

Un piston vertical 1 mobile, muni à son sommet d'un plateau 2 destiné à recevoir une surcharge amovible 3 et, sur sa partie antérieure, d'une plaque graduée 4 devant laquelle se déplace un index 5. A sa partie inférieure, le piston peut recevoir soit une sonde de consistance 6, soit une aiguille de Vicat 7 avec porte-aiguille 8.

La partie mobile avec la sonde ou l'aiguille et le porte-aiguille, pèse, plateau nu $300 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ et avec surcharge $1\ 000 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$.

Détermination de la consistance normalisée : [44]

❖ Malaxage de la pâte de ciment :

Procéder à l'introduction des matériaux et au malaxage comme le décrit le paragraphe 5.2.1 de la norme **EN 196-3**.

❖ Remplissage du moule :

L'opération est décrite au paragraphe 5.2.2 de la norme **EN 196-3**.

❖ Essai de pénétration :

- L'appareil de Vicat sera utilisé sans surcharge.
- L'essai de pénétration de la sonde set décrit au paragraphe 5.2.3 de la norme **EN 196-**

3.

• Le paragraphe 5.2.3 de cette norme précise qu'il faut répéter l'essai avec des pâtes ayant des teneurs en eau différentes jusqu'à ce qu'il s'en trouve une donnant une distance de $6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ entre la sonde et la plaque de base, mais on admettra que la pâte à consistance normale puisse être trouvée graphiquement.

- Noter la teneur en eau de cette pâte.

III-4. Essai de prise :

Objectif de l'essai : [22]

Il est nécessaire de connaître les début et fin de prise des pâtes de ciment (des liants hydrauliques) afin de pouvoir évaluer le temps disponible pour la mise en place correcte des mortiers et des bétons qui seront ensuite confectionnés

Les essais se font à l'aide de l'aiguille de Vicat qui donne deux repères pratiques: Le début de prise et la fin de prise.

Selon [02], le début de prise correspond au moment où l'on observe une augmentation de la viscosité, ou raidissement de la pâte, ce qui, dans la pratique, se mesure au moyen de l'aiguille normalisée (appareil de Vicat) et correspond au temps écoulé depuis le gâchage de la pâte jusqu'au moment où l'aiguille s'arrête à une distance ($d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) du fond de l'anneau de 40mm de hauteur remplie de pâte pure de ciment.

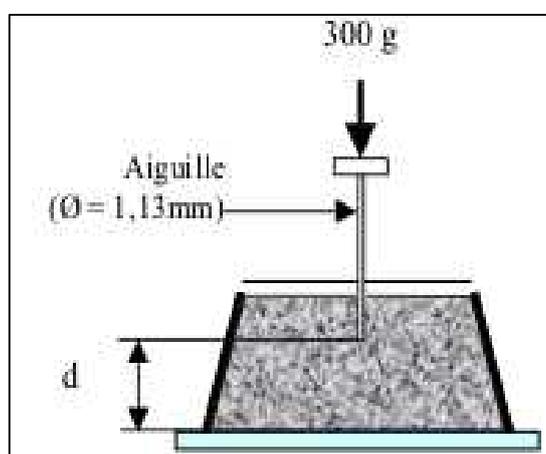


FIG III-9: Détermination du temps de début de prise.

De même, la fin de prise correspond au moment où l'aiguille ne s'enfonce plus dans l'anneau.

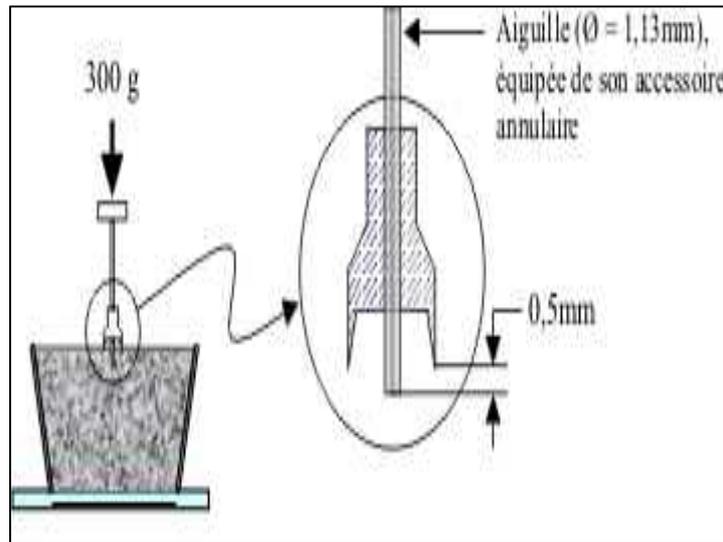


FIG III-10: Détermination du temps de fin de prise.

Principe de l'essai : [02]

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée; l'appareil utilisé est appareil de VICAT équipé d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre. Quand sous l'effet d'une charge de 300 g l'aiguille s'arrête à une distance d du fond du moule telle que $d = 4\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ on dit que le début de prise est atteint. Ce moment, mesuré à partir du début du malaxage, est appelé « TEMPS DE DEBUT DE PRISE ». Le « TEMPS DE FIN DE PRISE » est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm.

Equipement nécessaire : [22]

- Salle climatisée: L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- Malaxeur normalisé: avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (dites lente 140 tr/mn et rapide 285 tr/mn).

- Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français). L'appareil est composé d'un moule tronconique de 40 mm de hauteur et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre.

- Balance précise à 0,1 g près.

- Chronomètre précise à 0,1 s près
- Une éprouvette graduée de 250 ml.
- Une règle à araser, une truelle (langue de chat).

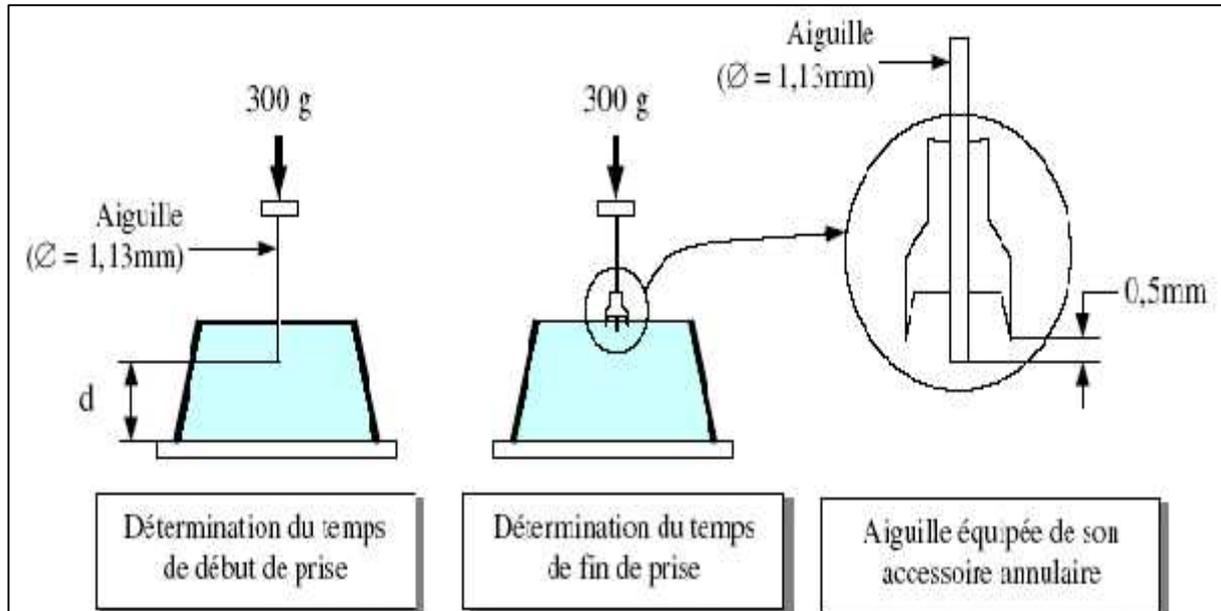


FIG III-11: Appareil de Vicat muni de l'aiguille amovible.

III-5.Résistance mécanique à la compression et à la traction (EN196-1) :

Objectif de l'essai : [02]

Il s'agit de définir les qualités de résistance d'un ciment.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature du liant hydraulique la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du liant utilisé.

a)-traction par flexion :

Matériel nécessaire : [44]

- Une presse
- Un bâti de flexion



FIG III-12: Bâti de flexion.

Mode opératoire : [44]

Placez l'éprouvette dans le dispositif de flexion avec une face latérale de moulage sur les rouleaux d'appui comme l'indique la **FIG III-13**.

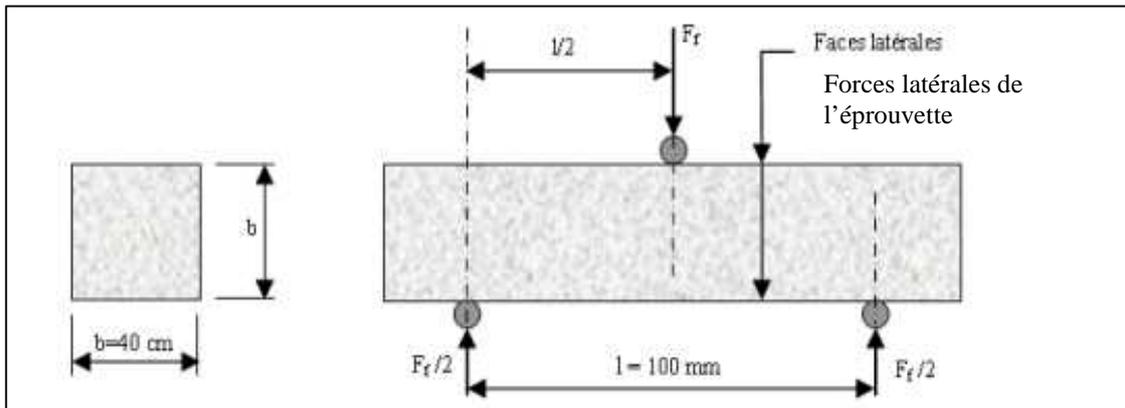


FIG III-13: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction par flexion.

• Abaissez manuellement la grosse vis jusqu'au contact du plateau supérieur avec le bâti de flexion ;

- Fermez la porte de sécurité ;
- Fermez la vanne d'évacuation ;
- Ouvrir la vanne 600 KN ;
- Fermez les 2 autres vannes.



FIG III-14: Les vannes.

- Tournez la vanne de vitesse démise en charge au minimum (-)
- Mettre la pompe en route
- Choisissez la voie V2 en appuyant sur la touche V
- Mettez les valeurs à 0 en appuyant sur la touche R et/ou T



FIG III-15: L'appareil de contrôle de l'essai

- Appliquez la charge en tournant la vanne de vitesse de mise en charge de 10 tours environ (+)
- Laissez ainsi jusqu'à rupture relevez la valeur de la charge maxi F_f
- Dès l'éprouvette rompue, tournez la vanne de mise en charge au minimum (-)
- Ouvrir la vanne d'évacuation
- Arrêter la pompe
- Relever la grosse vis et nettoyer la presse

RESULTAT

La résistance en flexion R_f en MPa est donnée par la formule: $R_f = 1,5 \cdot F_f / b^3$
 F_f est la charge appliquée au milieu de l'éprouvette à la rupture en Nb est le coté de la section carrée de l'éprouvette en mml est la distance entre les appuis en mm.

b)-compression : [22]

Les résistances mécaniques des ciments sont déterminées par les essais sur mortier dit "normal", à 28 jours d'âges en traction et en compression des éprouvettes 4 x 4 x 16cm. La résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du ciment. Elle dépend de la classe de ciment et est exprimée en MPa.

Le mortier utilisé est réalisé conformément à la norme **EN 196-1**. Le sable utilisé est un sable appelé "sable normaliser **CEN EN 196-1**".

Pour chaque type de ciment, il existe effectivement plusieurs classes de résistances pour lesquelles les fabricants garantissent des valeurs minimales et maximales.

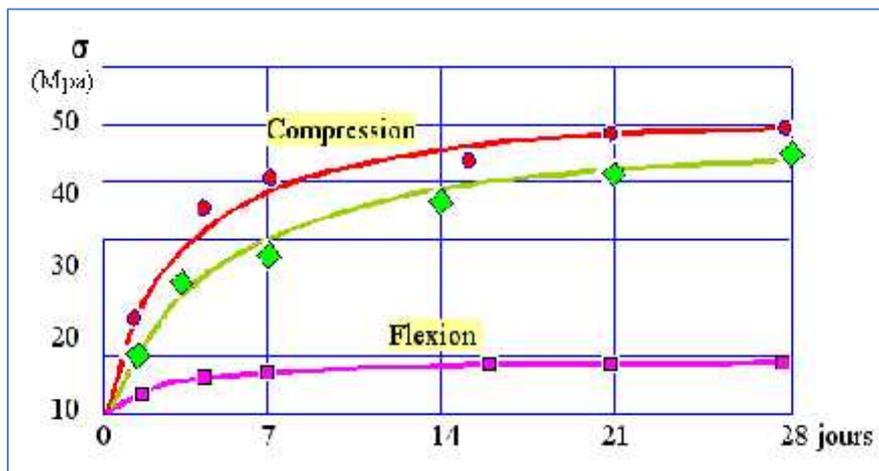


FIG III-16: Résistance du mortier Normal

Matériel nécessaire : [44]

- Une presse
- Un bâti de compression



FIG III-17: Bâti de compression.

Mode opératoire :

- Placez l'éprouvette dans le dispositif de compression avec une face latérale de moulage sur chaque enclume d'appui comme l'indique la **FIG III-18**.

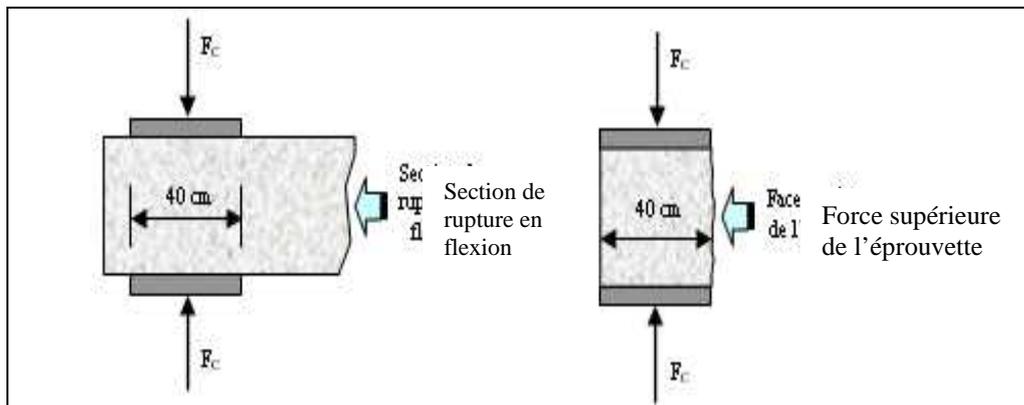


FIG III-18: Dispositif de rupture en compression.

- Abaissez manuellement la grosse vis jusqu'au contact du plateau supérieur avec le bâti de compression.
- Fermez la porte de sécurité



FIG III-19: La presse.

- Fermez la vanne d'évacuation
- Ouvrir la vanne 600 KN
- Fermez les 2 autres vannes
- Tournez la vanne de vitesse de mise en charge au minimum (-)
- Mettre la pompe en route
- Choisissez la voie V2 en appuyant sur la touche V
- Mettez les valeurs à 0 en appuyant sur la touche R et/ou T
- Appliquez la charge en tournant la vanne de vitesse de mise en charge de 10 tours environ (+)
- Laissez ainsi jusqu'à rupture relevez la valeur de la charge maxi F_c .
- Dès l'éprouvette rompue, tournez la vanne de mise en charge au minimum (-)
- Ouvrir la vanne d'évacuation
- Arrêter la pompe
- Relever la grosse vis et nettoyer la presse



FIG III-20: La vanne de vitesse.

Résultat :

La résistance en flexion R_c en MPa est donnée par la formule: $R_c = F_c/1600$

F_c est la charge appliquée sur l'éprouvette à la rupture en N $1600 = 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ surface comprimée.

III-6. Retraits et gonflements : [02]

Immédiatement après le gâchage, on observe une diminution de volume de la pâte fraîche de ciment ; c'est le « premier retrait » ou retrait plastique. Ce retrait se poursuit après la prise, puis diminue pour faire place à un gonflement plus ou moins important. Entre 24 h et 48 h, si l'éprouvette est conservée dans l'air, ce gonflement fait place à nouveau à un retrait appelé

« Second retrait ». Soit l la dimension de l'éprouvette étudiée dans la direction considérée ; soit Δl variation de longueur correspondante (positive s'il s'agit d'un gonflement, négative s'il s'agit d'un retrait). La mesure du retrait consiste à évaluer les variations de $\Delta l/l$ en fonction du temps t .

III-6.1) Mesure du retrait sur éprouvettes de mortier (NF P 15-433) :

Objectif de l'essai : [02]

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

Principe de l'essai :

On compare, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette $4 \times 4 \times 16$, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

Equipement nécessaire :

Il est décrit dans la norme **NF P 15-433**.

- Une salle dont la température est maintenue à $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ et l'humidité relative à

$50\% \pm 5\%$.

- Eventuellement deux bains d'eau dont la température est maintenue à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ et $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

- Un malaxeur normalisé.

- Des moules équipés de plots de retrait en laiton. Les plots sont vissés au moule au moment de la mise en place du mortier puis désolidarisés du moule avant le démoulage. Après durcissement, les éprouvettes $4 \times 4 \times 16$ sont donc munies à leurs deux extrémités de plots comme indiqué sur la **FIG III-21**.

- Un déformètre (tel que celui schématisé sur la **FIG III-21** équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une exactitude inférieure ou égale à $0,005$ mm. Une tige de 160 mm de longueur doit permettre de régler le zéro du déformètre. Cette tige est en Invar de façon à ce que les variations de température qu'elle peut connaître au cours de la manipulation n'entraînent pas de modification appréciable de sa longueur.

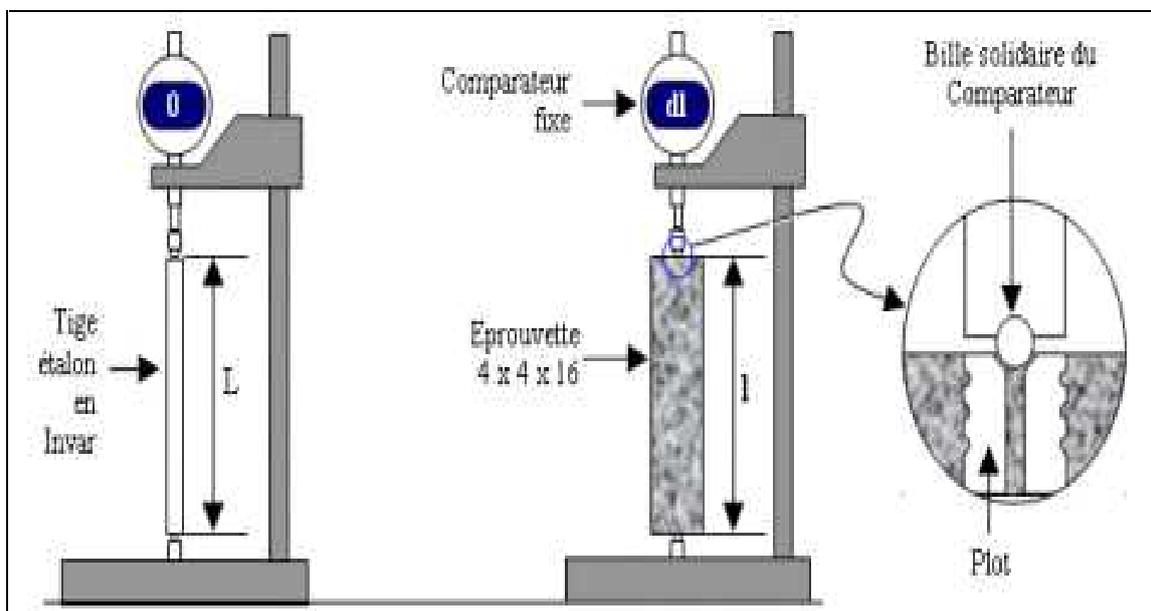


FIG III-21: Appareillage pour la mesure du retrait.

III-6.2) Mécanismes des retraites et gonflements après prise : [02]

Retrait

On sait que l'hydratation du ciment s'accompagne, du fait de la contraction le Chatelier, de la création d'un fin réseau de pores capillaire à l'intérieur de la pâte de ciment hydratée. Dans un premier temps ces capillaires sont saturés en eau. Mais

lorsque la consommation d'eau pour l'hydratation du ciment provoque leur assèchement, cela aboutit à la formation de ménisques. On s'accorde à expliquer le retrait par les forces de traction (capillaires ou autres) qui se développent de ce fait à l'intérieur des capillaires les plus fins. Le départ d'eau par évaporation a les mêmes conséquences.

Gonflement

Le gonflement observé après la prise est dû à la constitution d'hydrates massifs comme la portlandite, Ca(OH)_2 , dont la croissance fait pression sur l'ensemble de la structure et en provoque la dilatation. Ce gonflement s'oppose en partie au retrait et est lié à la quantité de chaux libre non hydratée restant après le début de la prise. Si cette quantité est faible, le gonflement pourra être négligeable.

CONCLUSION GENERALE :

Ce travail sur les ciments et les cimenteries en Algérie nous a permis de traiter tous les aspects liés à ces matériaux de base pour l'élaboration des bétons et des mortiers.

La première partie, d'ordre bibliographique, nous a renseignés sur l'historique, sur les principes et les processus de fabrication ainsi que sur la composition et les utilisations du ciment.

Dans la deuxième partie, nous avons recensé les cimenteries dispersées à travers le territoire, qui sont au nombre de 12.

Elles ont été implantée en Algérie par le groupe industriel GICA, 7 d'entre elles appartiennent à l'état qui détient 100% du capital social tandis que les 5 autres sont gérées comme des sociétés mixtes (Etat-privé).

Nous avons également recensé les types de ciments fabriqués par ces cimenteries et leurs capacités de production.

Nous devons noter à ce sujet que les informations sur certaines d'entre elles ne sont pas encore très visibles (ni sur le web, ni ailleurs).

D'un autre côté, nous avons présenté dans cette deuxième partie la normalisation relative aux catégories de ciments produits en Algérie avec leurs classes de résistance et leurs compositions chimiques et leurs utilisations possibles.

Dans la troisième partie, nous avons présenté les principales caractéristiques des ciments avec modes opératoires et interprétation des résultats des essais normalisés.

Certaines annexes utiles à ce thème ont été rattachées au présent document. Il s'agit de

- ministère de l'Habitat et l'urbanisme (Arrête Ministériel de 04 juin 2003)
- Recueil des Normes Algériennes Secteur des Travaux Publics
- Historique de ciment depuis 1973 (cimenterie Hadjar Essoud)

Enfin nous pouvons conclure que nous avons tenté d'établir une sorte de canevas sur les ciments en Algérie, que nous avons partiellement réussi et qu'un travail complémentaire sur certaines cimenteries reste à faire. Les déplacements sur sites seront peut être nécessaires à l'instar du déplacement que nous avons même effectué à la cimenterie de Hdjar Essoud dans la wilaya de Skikda.

BIBLIOGRAPHIE

[01] : *Eléments de matériaux de construction et essais*, Dr cherait Yacine et Mr Nafa zahreldine

Direction de la publication Universitaire de Guelma 2007.

[02] : *Granulats, sole, ciments et bétons Caractérisation des matériaux de génie civile par laboratoire*, R.dupain- R. Landion –J-C.Sait- Arroman, Edition casteilla 25 rue monge 7500 Paris.

[03] : Arrêté interministériel du 3 Rabie Ethani 1424 correspondants au 4 juin 2003 portant sur les spécifications technique et les règles applicables aux ciments.

[21] : http://www.materiaux_cimentaires.com/cours.php?action.

[22] : http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_deux.html.

[23] : <http://www.infociments.fr/ciments-chaux-hydrauliques/caracteristiques-applications/mortiers/prise-durcissement-maniabilite>.

[24] : <http://www.ench.dz/files/cours/.../chapitre%2012%20-%20le%20ciment.pdf>

[25] : http://www.ciments_calcia.fr.

[26] : http://www.lafarge.fr/wps/portal/6_5_4_1_PVD_ET?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Lafarge.com/AllPV/VI47/ViFr#

[27] : <http://www.cimbéton.com>.

[28] : http://www.radioalgerie.dz/27622-industrie_du_ciment.

[29] : <http://www.sgp-gica.dz/ecde.htm>.

[30] : <http://www.scaek.dz/contact.asp>.

[31] : <http://www.scimat.dz/?action=recrutement&lang=fr>.

[32] : <http://www.ecde-chlef.dz/contact>.

[33] : <http://www.scis.dz>.

[34] : <http://www.sct.dz/action>.

[35] : <http://www.sgp-gica.dz/groupe-ERCO/scseg.htm>.

[36] : http://www.dissertations_gratuits/dissertation/cimenterie/411045.html.

[37] : http://www.scmi.les_projets-en_cours.com.

[38] : http://www.scibs-dz.com/ns_distribution.php.

[39] : <http://www.scizahana.com>.

[40] : <http://www.SCHS.dz/produit.asp>.

[41] : <http://www.SCSEG.dz/produit.asp>.

[42] : http://www.lec_news.com.

[43] : <http://www.elmodjahid.com/fr>.

[44]:[http://www. Sinanrdm.free.fr/document/fiche-synthes-ciments-materiaux.pdf](http://www.Sinanrdm.free.fr/document/fiche-synthes-ciments-materiaux.pdf)