

République Algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université SAAD DAHLEB Blida -1-



Faculté de Technologies

Département de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master II

Option : Matériaux

Sous le thème :

***Présentation des différentes cimenteries en Algérie et
étude d'un silo en béton armé***

Présenté par :

Mr DEBOUB Omar

Mr ZERAOULIA Yasser

Devant le jury :

Mr YAHIAOUI Président USDB1

Mr BRAHMA A. Examineur USDB1

Mme MEGUENI K. Promotrice USDB1

Mr DERBAL. Co-promoteur USDB1

Année universitaire : 2020 - 2021



Remerciement

En tout premier, on aimerait remercier Allah tout puissant qui nous a donné la volonté et le courage de réaliser ce travail.

A notre Promotrice Mme **MEGUENI Karima**.

On ne cessera point de vous remercier, de nous avoir transmis votre savoir pratique et théorique, votre aide et votre patience ont fait qu'on a pu réaliser ce travail dans de bonnes conditions.

Veillez bien Madame accepter nos remerciements pour le grand honneur que vous nous avez fait d'encadrer ce travail.

A notre Co-promoteur, Mr **DERBAL**.

On a l'immense honneur de vous avoir eu en tant qu'encadreur, d'avoir bénéficié de votre précieuse aide, veuillez bien Monsieur recevoir nos remerciements, et l'expression de notre gratitude.

On adresse nos sincères remerciement à Mr le président du jury de nous avoir fait l'honneur de présider le jury examinant ce travail.

On tient à adresser nos vifs remerciements à Mr l'examineur de nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.



Dédicaces

Merci Allah de m'avoir donné la force, la persévérance, le courage et la patience d'aller jusqu'au bout du chemin.

Je dédie ce travail

A mes parents : ma mère et mon père, votre amour et votre présence permanente durant toute ma vie m'ont toujours permis d'aller de l'avant, vous avez toujours cru en moi et à mes capacités, je n'oublierai jamais votre soutiens et vos précieux conseils resterons gravés dans ma tête. Quoique je fasse, je ne pourrai vous rendre tout ce que vous faites pour moi, j'espère vous rendre fière et vous montrer le fruit de vos efforts, merci pour les valeurs nobles, l'éducation exemplaire, merci de me rendre chaque jour une personne meilleure. Que dieu vous donne longue vie et vous protège pour moi.

A mes frères Riadh et Abdelhafidh qui ont toujours cru en moi durant cette période, que dieu vous assiste.

A mes professeurs, qui doivent voir dans ce travail le fruit d'un savoir bien acquis.

A mon binôme et à ma promo, à qui je dois les beaux moments passés.

Omar.



Dédicaces

Merci Allah de m'avoir donné la chance d'en arriver jusque-là et de pouvoir vivre ce moment précieux.

Je dédie ce travail

A mes parents : mon père et ma mère, je vous remercie du fond du cœur de m'avoir soutenue pour en arriver jusque-là, de m'avoir poussé vers le haut, de m'avoir éduqué et inculqué les bonnes valeurs. J'espère que vous êtes fière de moi et de mon travail que je n'aurais pu aboutir sans votre précieux encouragement et votre foi en moi.

A mes frères et sœurs qui m'ont encouragé et donner de la force.

A mes professeurs, qui j'espère seront fière.

A mon binôme et à ma promo, à qui je dois les beaux moments passés.

Passer.

Liste des tableaux

Partie 01

Tableau 1-1 : Les normes Algériennes de classification des ciments	3
Tableau I-2 : Nomenclature chimique des ciments	11
Tableau I-3 : Composition chimique du laitier granule	13
Tableau I-4 : Composition chimique moyenne des cendres de houille	13
Tableau I-5 : Les différents types de ciment	16
Tableau I-6 : classification de ciment selon la résistance	17
Tableau I-7 : différentes catégories du ciment en Algérie	22
Tableau II-1 : Classification des ajouts selon leur réactivité	24
Tableau II-2 : Types de Cendres volantes et leur teneur en CaO	28
Tableau II-3 : Récapitulatif des effets des ajouts sur le ciment	31
Tableau II-4 : Les avantages et les inconvénients de l'utilisation des ajouts	34
Tableau II-5 : Les additions utilisées dans les cimenteries algériennes	35
Tableau III-1 : Localisation des cimenteries d'Algérie	37
Tableau III-2 : Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5 SAC	39
Tableau III-3 : Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5 SAC	40
Tableau III-4 : Caractéristiques de CEM I/II BIG-BAG VRAC	41
Tableau III-5 : Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5 VRAC	43
Tableau III-6 : Caractéristiques de CEM II/ A 42.5 R VRAC	44
Tableau III-7 : Caractéristiques de CEM I 52.5N-LH/SR5 VRAC	45
Tableau III-8 : Caractéristiques de CEM I/42.5N-LH/SR5	47
Tableau III-9 : Caractéristiques de CEM II/A (P-L) 42,5N	48
Tableau III-10 : Caractéristiques de CEM I 42.5N	49
Tableau III-11 : Caractéristiques de CEM II /B-L 32.5 N	51
Tableau III-12 : Caractéristiques de CEM II/ A-L 42.5 R	52
Tableau III-13 : Caractéristiques de CEM II /A-L 42.5 N	53
Tableau III-14 : Caractéristiques de CEM I 52.5N	54
Tableau III-15 : Caractéristiques de CEM I 42.5N SR5	55
Tableau III-16 : Caractéristiques de CEM II/A-L 42.5 N	56

Tableau III-17 : Caractéristiques de CEM I 42.5NSR5.....	57
Tableau III-18 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEM I 42.5NSR5	57
Tableau III-19 : Caractéristiques de CEM II-B /M-(P-L) 32.5N.....	58
Tableau III-20 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEM II-B /M-(P-L) 32.5N.....	58
Tableau III-21 : Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 N.....	59
Tableau III-22 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 N.....	59
Tableau III-23 : Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R	60
Tableau III-24 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R.....	60
Tableau III-25 : Caractéristiques de CEM II/A 42.5N	61
Tableau III-26 : Caractéristiques de CEM I 42.5N	62
Tableau III-27 : Caractéristiques de CEM I 42.5N SR5.....	63
Tableau III-28 : Caractéristiques de CEM-II/A L42.5 N	64
Tableau III-29 : Caractéristiques de Clinker.....	66
Tableau III-30 : Caractéristiques de CEM II/A-P 42.5N.....	67
Tableau III-31 : Caractéristiques de CEM II/A-P 42.5N.....	68
Tableau III-32 : Caractéristiques de CEM II /A-M (P-L) 42,5N	69
Tableau III-33 : Caractéristiques de CEM II/A- L 425.5 N.....	74
Tableau III-34 : Caractéristiques de CEM II/A- P 425.5 N.....	75
Tableau III-35 : Caractéristiques de CEM II/A- P-L 425.5 N	76
Tableau III-36 : Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5	77

Partie 02

Tableau I-1 : Classement des silos en fonction de la capacité et d'excentricité de décharge ou remplissage	103
Tableau I-2 : Classification des silos d'après la rugosité des parois.....	104
Tableau I-3 : Combinaisons des propriétés de la matière dans la détermination des différents types d'action.....	105

Liste des figures

Partie 01

Figure I-1 : Schéma de la fabrication et composition du ciment Portland.	6
Figure I-2 : Cycle de fabrication du ciment	7
Figure I-3 : exploitation d'une carrière.....	8
Figure I-4 : concasseur à marteaux.....	8
Figure I-5 : Broyeur de ciment.....	9
Figure I-6 : Le clinker.....	10
Figure I-7 : l'expédition du ciment.....	11
Figure III-1 : Localisation des cimenteries d'Algérie	38
Figure III-2 : Sac de ciment CEM I 42.5N-LH/SR5	39
Figure III-3 : Sac de ciment CEM II/A 42.5 SAC	40
Figure III-4: Ciment CEM I/II BIG-BAG VRAC.....	41
Figure III-5 : ciment CEM I 42.5N-LH/SR5 VRAC.....	42
Figure III-6 : ciment CEM II/ A 42.5 R VRAC	43
Figure III-7 : Sac de ciment CEM I 52.5N-LH/SR5 VRAC.....	44
Figure III-8 : Sac de ciment CEM I/42.5R SR5.....	45
Figure III-9 : Sac de ciment CEM II/A (P-L) 42,5N.....	46
Figure III-10 : Sac de ciment CEM I 42.5N	49
Figure III-11 : Sac de ciment CEM II /B-L 32.5 N.....	50
Figure III-12 : Sac de ciment CEM II/ A-L 42.5 R.....	51
Figure III-13 : Sac de ciment CEM II /A-L 42.5 N.....	52
Figure III-14 : Sac de ciment CEM I 52.5N	53
Figure III-15 : Sac de ciment CEM I 42.5N SR5.....	54
Figure III-16 : Sac de ciment CEM II/A 42.5N	61
Figure III-17 : Sac de ciment CEM II/A-P 42.5N.....	65

Partie 02

Figure I-1 : image d'un silo couloir.....	83
Figure I-2 : image d'un silo tour	84

Figure I-3 : image d'un silo à fond plat	85
Figure I-4 : image d'un silo à fond conique.....	86
Figure I-5 : image d'un silo modulaire	86
Figure I-6 : les différentes formes et types de silo	87
Figure I-7 : Distribution de la pression horizontale et verticale en fonction de la hauteur de matériaux stockés dans le silo	89
Figure I-8 : Formes de silos standards.....	90
Figure I-9 : Surface, plan moyen et rive de remplissage (silo de section circulaire ou polygonale régulière)	92
Figure I-10 : Plan de base	92
Figure I-11 : Mode d'écoulement.....	93
Figure I-12 : Détermination de la valeur de p/q	95
Figure I-13 : Variation de $1/K$ en fonction de la profondeur du stockage.....	96
Figure I-14 : Dimensions du silo cylindrique.....	97
Figure I-15 : Variation de la force de frottement en fonction de la profondeur.....	98

Liste des notions :

φ : Angle de frottement

P : Onde verticale

K : Le rapport de pression horizontale à la verticale, égal à celui du coefficient de Rankine.

q_{max} : La pression verticale moyenne maximale exercée par la matière granulaire ensilée sur la tranche horizontal.

p_{max}: La poussée latérale maximale exercée sur les parois par la matière ensilée.

Ph : La pression horizontal.

δ : La densité des grains;

μ : Coefficient de frottement des grains avec les parois ;

A: Surface intérieure de la section droite dela cellule du silo;

U: Périmètre intérieur de la cellule suivant cette section.

γ : La densité des grains

F : La force de frottement

S : La section du silo

R : Le rayon du silo

Ph : Les pressions horizontales

Pv : Les pressions verticales

Z : La profondeur

Q_{max} : Pression verticale maximale

Q₀ : Poids du cône supérieur d'ensilage

e₀ : Excentrée

\varnothing_i : Angle de frottement interne (appellation deEurocode)

\varnothing_{im} : La valeur moyenne de l'Angle de frottement interne

a \varnothing : Facteur de corrélation

μ_m : La valeur moyenne du coefficient de frottement

K_m : La valeur moyenne du coefficient de pression latérale

a_K : Coefficient de corrélation

h : Hauteur

d_c : Dimension caractéristique d'une section

t : Epaisseur de la paroi

D : Diamètre

V : Volume du silo

C : Capacité du silo

A_U : Le rayon hydraulique

SOMMAIRE

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des notions	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
INTRODUCTION.....	1
PARTIE I	
Chapitre I : Les Ciments	
I.1 Introduction..	2
I.2 Historique ..	2
I.3 Définition.....	3
I.4 Fabrication du ciment.....	4
I.5 Nomenclature chimique du ciment	11
I.6 Constituants du ciment	12
I.6.1 Les constituants principaux	12
I.6.2 Les constituants secondaires	13
I.7 Les différents types et classification de ciment	15
I.8 Hydratation du ciment	18
I.9 Les différentes catégories du ciment.....	22
Chapitre II : Les Ajouts Cimentaires	
II.1 Introduction	23
II.2 Classification des ajouts	23
II.2.1 Les ajouts de type I : les ajouts inertes.....	24
II.2.2 Les ajouts de type II : les ajouts actifs	24
II.3 Effets des ajouts sur les propriétés du béton	27
II.4 L'intérêt de l'utilisation des ajouts de ciment	31

SOMMAIRE

II.5 Les avantages et les inconvénients de l'utilisation des ajouts.....	33
II.6 Les ajouts des cimenteries Algériennes	34
Chapitre III Les Cimenteries en Algérie	
III.1 Introduction	35
III.2 Les cimenteries Algériennes	36
III.2.1 Les cimenteries 100% Algériennes	37
a-Société des ciments d'Ain EL- kbira (SCA EK).....	37
b-Société des Ciments d'Ain-Touta (SCIMAT)	44
c-Société des ciments de Chlef (ECDE).....	47
d-Société De Ciments Saida (SCIS).....	54
e-Société des Ciments de Tébessa (SCT)	55
f-Société des ciments de hamma bouziane (SCHB).....	60
g-Société des Ciments de Sigus (SCS.dz)	61
III.2.2 Les cimenteries 65% Algériennes	64
a-Société des ciments Béni-Saf (SCIBS).....	64
b-Société des Ciments de Sour El Ghoulane (SCSEG).....	67
c-Société des ciments de Hadjar-Soud (SCHS)	72
d-Société des Ciments de Zahana (SCIZ).....	73
e-Société des Ciments de la Mitidja (S.C.MD).....	75
III.3 Les émissions de l'industrie cimentaire en Algérie.....	77
PARTIE II	
Chapitre I :	
I.1 Introduction.....	80
I.2 Historique	80
I.3 Définition.....	81
I.4 Types de silo	82
I.5 Classification des silos	87
I.6 Terminologie des silos.....	90

SOMMAIRE

I.7 Théorie et normes de calcul des silos	94
I.7.1 Introduction.....	94
I.7.2 Théorie de calcul d'un silo.....	94
I.7.3 Les normes de calcul des silos	100
I.7.4 Calcul des actions de la matière ensilé sur les parois du silo	105
Conclusion	107
Références Bibliographiques	

RESUME

Dans ce mémoire de fin d'étude, nous présentons une recherche sur le ciment. Sa fabrication se fait en quatre étapes principales qui sont la préparation des matières premières, le dosage et broyage à cru, la cuisson et enfin la production du ciment. Ainsi les constituants du ciment ; dont le principal composant est le clinker, et des composants secondaires. Il existe plusieurs types de ciment qui sont : le ciment portland pur, ciment portland composé, ciment de haut fourneau, ciment pouzzolanique, et le ciment composé.

Nous traitons et présentons ainsi les différents ajouts utilisés dans le ciment. Leurs effets sont pour l'amélioration de sa qualité et beaucoup de ses propriétés, nous citons des exemples : accroissement de la résistance, protection contre la corrosion, pouvoir de rétention d'eau, diminue le ressuage...etc.

Le principal producteur de ciment en Algérie est le groupe GICA, qui regroupe 14 cimenteries. Ces dernières produisent plusieurs types de ciment qui sont cités dans le mémoire. Les silos sont la structure traitée dans ce travail. Ils sont utilisés pour le stockage de diverses matières granuleuses. Nous présentons les types de silos (silo couloir, silos tours). Ainsi qu'une partie de théorie et calcul de ces derniers.

On a effectué plusieurs calculs ; dont le calcul des actions des matières ensilées sur les parois des silos, le calcul de la capacité de stockage des silos, le calcul du remplissage et celui de la vidange.

Mots clé : Ciment, Clinker, Ajouts, Cimenteries, Silo, Remplissage, Vidange.

ABSTRACT

In this end of study thesis, we present research on cement, which is one of the most used materials in Algeria and in the world. Its manufacture is carried out in four main stages which are the preparation of the raw materials, the dosage and raw grinding, the cooking and finally the production of the cement. the constituents of the cement are presented ; the main component of which is clinker, and the secondary components. There are several types of cement including : pure portland cement, compound portland cement, blast furnace cement, pozzolanic cement, and compound.

We discuss and present the different additions used in cement. Their effects improve its quality and many of its properties, we cite examples : increased resistance, protection against corrosion, water retention capacity, reduced penetrant, etc.

The main producer of cement in Algeria is the GICA group, which has 14 cement factories. which produce several types of cement cited in the brief. The silos are the structure treated in this work. Silos are storage structures for various granular materials. We present the types of silos (aisle silos, tower silos). There is a part of theory and calculation of these.

Several calculations have been made; including the calculation of the actions of silage material on the walls of the silos, the calculation of the storage capacity of the silos, the calculation of filling and emptying.

Keywords : Cement, Clinker, Additions, Cement plants, Silo, Filling, Emptying.

ملخص

في نهاية أطروحة الدراسة، نقدم بحثاً عن الأسمنت، وهو أحد أكثر المواد استخداماً في الجزائر والعالم. يتم تصنيعها في أربع مراحل رئيسية وهي تحضير المواد الخام والجرعة والطحن الخام والطهي وأخيراً إنتاج الأسمنت. هكذا مكونات الاسمنت. المكون الرئيسي لها هو الكلنكر، والمكونات. هناك عدة أنواع من الأسمنت بما في ذلك: الأسمنت البورتلاندي النقي، والأسمنت البورتلاندي المركب، والأسمنت ذو الفرن العالي، والأسمنت البوزولاني، والأسمنت المركب.

وبالتالي فإننا نعالج ونقدم الإضافات المختلفة المستخدمة في الأسمنت. آثارها لتحسين جودتها والعديد من خصائصها، ونذكر أمثلة: زيادة المقاومة، والحماية من التآكل، والقدرة على الاحتفاظ بالمياه، وتقليل المخترق... إلخ.

المنتج الرئيسي للأسمنت في الجزائر هو مجموعة GICA، التي تضم 14 مصنعاً للأسمنت في عدة ولايات من التراب الوطني. هذا الأخير ينتج عدة أنواع من الأسمنت التي تم الاستشهاد بها في الملخص. الصوامع هي الهيكل الذي تمت معالجته في هذا العمل. الصوامع هي هياكل تخزين للمواد الحبيبية المختلفة. نقدم أنواع الصوامع (صوامع الممر، صوامع البرج). وكذلك جزء من النظرية وحساب الأخير.

م إجراء العديد من الحسابات؛ بما في ذلك حساب إجراءات مواد السيلاج على جدران الصوامع، وحساب السعة التخزينية للصوامع، وحساب الملء والتفريغ.

الكلمات المفتاحية: الأسمنت، الكلنكر، الإضافات، مصانع الأسمنت، الصومعة، الحشو، التفريغ.



INTRODUCTION

Introduction

Le ciment est l'un des matériaux les plus consommés dans le monde, sa fabrication nécessite plusieurs étapes indispensables afin d'obtenir un ciment prêt à l'utilisation. Aussi le ciment est un des matériaux le plus utilisé dans le secteur de la construction pour la production du béton. L'augmentation de la production annuelle du ciment est de 4 millions de tonnes par année. La production du ciment présente une problématique environnementale et économique. En effet, cette production implique une grande consommation d'énergie et des émissions de CO2 importantes [01].

De ce point de vu, la recherche des ajouts cimentaires permet la diminution de consommation du ciment dans la production du béton. Ils apportent une réduction de l'émission de CO2 et un impact positif sur la performance du béton. Les ajouts cimentaires sont souvent des sous-produits de procédés industriels. Leur utilisation judicieuse est souhaitable non seulement dans la conservation de l'environnement et de l'énergie, mais aussi en raison des avantages que ces matériaux peuvent offrir au béton. Parmi les ajouts cimentaires les plus utilisés, on trouve le laitier de haut fourneau, les cendres volantes provenant de la combustion du charbon et la fumée de silice, un sous-produit de la métallurgie et de la production de silicium [02].

Parmi les structures fabriquées à base de ciment on nomme les silos en béton armé, ce sont des structures complexes, constamment exposées à des variations de température et à de fortes contraintes survenant pendant les opérations de vidange et de remplissage. Les silos sont conçus pour le stockage de différentes matières poudreuses ou granuleuses [03].



CHPITRE I : LE
CIMENT

I.1 Introduction

De nos jours, le béton fait partie de notre cadre de vie, c'est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde. En effet, la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son aspect durable et économique en plus des performances mécaniques qu'il assure, ont légitimé son utilisation pour réaliser les ouvrages les plus divers.

Le béton est utilisé dans tous types de construction : bâtiments, ouvrages d'art, monuments et éventuellement dans les éléments de décoration,... Il permet également la réalisation de produits de préfabrication, d'éléments de structures et autres ; tels que : blocs, poutrelles, pavés, planchers, cloisons, escaliers, ...

I.2 Historique de ciment

Le mot ciment vient du latin "caementum", qui signifie mortier, liant des maçonneries. Ce sens d'origine a été conservé en s'appliquant aux seuls liants hydrauliques, c'est-à-dire capables de durcir au contact de l'eau.

Les Grecs sont les premiers constructeurs à employer la chaux obtenue par cuisson du calcaire. Les Romains améliorent ce liant en y ajoutant des cendres volcaniques et des briques pilées et obtiennent ainsi un liant hydraulique, intermédiaire entre une chaux et un véritable ciment. Ce liant rend possible la construction de grands ouvrages tels les arènes, les thermes, les amphithéâtres ou les aqueducs, dont certains sont encore parfaitement conservés vingt siècles plus tard.

C'est au 18^{ème} siècle que sont produites les premières chaux hydrauliques proches des ciments modernes, principalement du fait des progrès réalisés dans les procédés de cuisson. En 1759, l'Anglais John Smeaton produit un mortier aussi dur que de la pierre en mélangeant des chaux hydrauliques et des cendres volcaniques.

Le Français Louis Vicat découvre en 1817 les principes chimiques des ciments et définit les règles de fabrication du ciment hydraulique. Il est considéré comme l'inventeur du ciment moderne, mais il publie ses travaux sans prendre de brevets.

C'est l'Anglais Joseph Aspdin qui fait breveter en 1824 le ciment "Portland", obtenu à partir d'un procédé de calcination combinant la cuisson de calcaire et d'argile dans des fours alimentés au charbon. La dénomination "Portland", due simplement à la similarité de

couleur et de dureté avec la pierre de Portland (Sud de l'Angleterre), est à l'heure actuelle toujours employée dans l'industrie.

En Belgique, une première cimenterie voit le jour en 1872 (Messieurs Dufosse et Henry établirent la première usine de production de ciment Portland du pays à Cronfestu). Dès la fin du 19^{ème} siècle, le béton moderne à base de ciment Portland devient un matériau de construction largement répandu.

De nombreux perfectionnements sont apportés au cours du 20^{ème} siècle à la fabrication du ciment, notamment avec la production des ciments spéciaux, sans toutefois modifier les caractéristiques physico-chimiques et les propriétés fondamentales du ciment Portland [04].

I.3 Définition

Le ciment est un liant hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau), utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages, des parpaings, des enduits et des mortiers [04].

Les ciments incorporent les composants suivants en diverses proportions : clinker et laitier de haut fourneau, éventuellement cendres volantes siliceuses et calcaires. Suivant la proportion de chacun de ces éléments, on peut les classer de manière standardisée. La désignation des ciments est en effet normalisée, selon les normes suivantes :

Tableau 1-1 : Les normes Algériennes de classification des ciments [05].

Norme	Désignation
NA 228	Ciments - Appareil de Vicat et moule tronconique
NA 229	Ciments - Détermination de la consistance normale de la pâte de ciment
NA 230	Ciments - Détermination du temps de prise et de la stabilité
NA 232	Ciments - Détermination de l'expansion à chaud et à froid (Lechatelier)

I.4 Fabrication du ciment

Pour fabriquer du ciment, il faut réunir quatre éléments principaux selon des dosages préétablis : la chaux (65%), la silice (20%), l'alumine (10%), l'oxyde de fer (5%). L'élément prépondérant étant le calcaire ou la craie. Les cimenteries sont d'ailleurs implantées à proximité d'importants gisements de ces matières [06].

L'ensemble de ces éléments, appelé cru, est ensuite traité en installations procédant par quatre méthodes de fabrication suivant la teneur en eau du calcaire ou de la craie [06].

- fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- fabrication du ciment par voie semi-humide (dérivée de la voie humide).
- fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- fabrication du ciment par voie semi-sèche (dérivée de la voie sèche).

a) Principe de fabrication

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1 450 °C) dans un four à calcination. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

Un mélange d'argile et de calcaire est introduit dans un four tubulaire rotatif légèrement incliné chauffé par une flamme aux environs de 2 000 °C. Cette flamme est alimentée par différents combustibles solides, liquides ou gazeux. Au contact des gaz chauds la matière s'échauffe progressivement. À l'entrée la température de l'ordre de 800 °C provoque la déshydratation des argiles et la décarbonation du calcaire pour produire la chaux (CaO). Puis la chaux se combine d'une part à l'alumine et à l'oxyde de fer pour former des aluminates et aluminoferrites de calcium, et d'autre part, à la silice pour former du silicate bicalcique (bélite). La température augmente tandis que la matière progresse vers la flamme, les aluminates (1450 °C) et aluminoferrites (1380 °C) fondent : cette étape finale de fusion pâteuse (sintering, frittage) à la plus haute température atteinte par le four est essentielle car elle favorise la formation de silicate tricalcique (alite) à partir du silicate bicalcique (bélite) et de la chaux restante. Les cimentiers recherchent la plus haute teneur possible du clinker en alite, la phase minérale aux propriétés chimiques et mécaniques les plus utiles dans le clinker (voir plus loin l'explication concernant la résistance mécanique du béton après la prise du ciment).

À cette fin, en sortie de four, le clinker doit être refroidi le plus rapidement possible afin de minimiser la transformation chimique exothermique non-souhaitée en sens inverse qui diminuerait la teneur du clinker en alite [06].

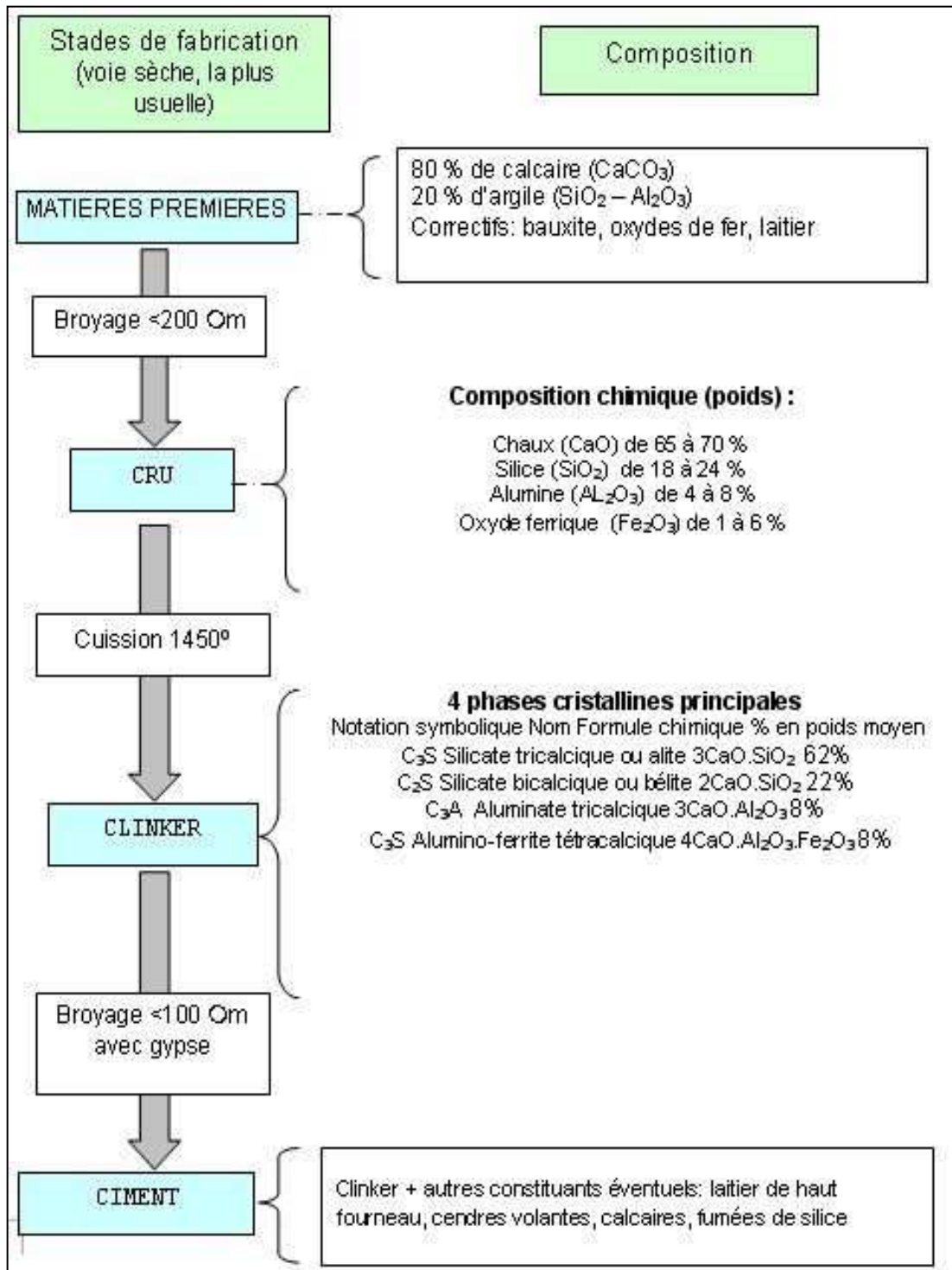


Figure I-1: Schéma de la fabrication et composition du ciment Portland.

b) Méthode de fabrication du ciment

La fabrication du ciment passe par quatre principales étapes, la figure I.2 ci-dessous résume les étapes de la fabrication du ciment :

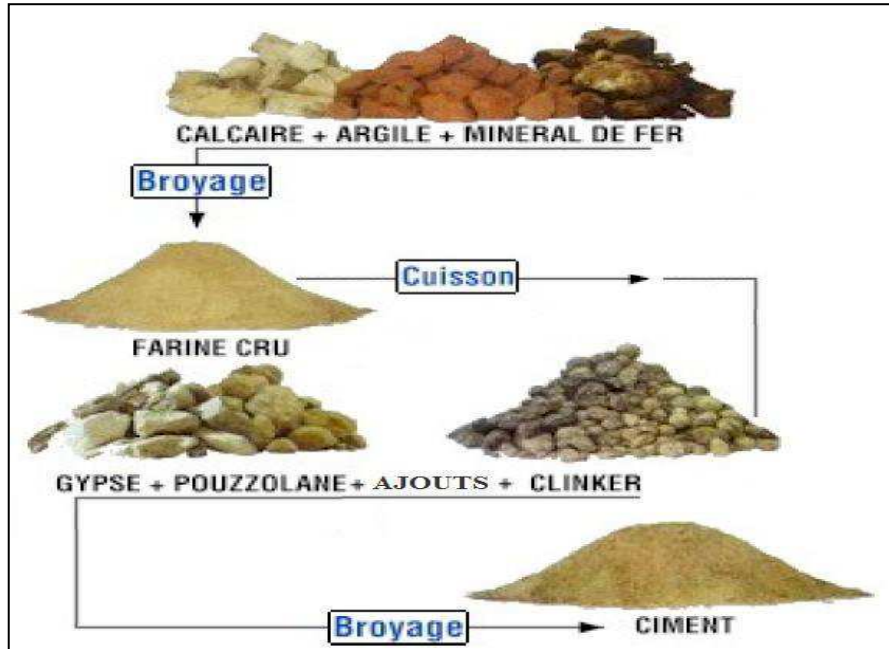


Figure I-2 : Cycle de fabrication du ciment.

Etape 01 : préparation des matières premières :

- Exploitation des carrières :

Les carrières fournissent deux matières premières essentielles ; le calcaire et l'argile, sont extraits comme des roches et cela par méthode de l'abattage à l'explosif, Ensuite les matières premières sont déversées dans des camions amèneront ses roches jusqu'à l'atelier de concassage. D'autres matières sont nécessaires pour la fabrication du ciment tel que le sable, le minerai de fer et le gypse [06].



Figure I-3 : exploitation d'une carrière.

➤ concassages :

L'opération de concassage a pour objectif la réduction des blocs de pierres en fragments de faible diamètre. Cette opération est assurée par un concasseur en marteaux, ce sont les plus utilisées en cimenterie



Figure I-4 : concasseur à marteaux.

Etapes 02 : dosage et broyage à cru

➤ Le dosage :

La matière cru est constituée d'un mélange des matières premières de correction dans des Proportions qui sont définis suivant les valeurs des modules chimiques de cru, en général la matière cru est constituée de 70% de calcaire, 20% d'argile et 10% entre le sable et le minerai de fer, quatre doseurs sont installés sous les trémies, le calcaire et l'argile et le minerai de fer et le sable sont respectivement extraits par ces doseurs, chaque doseur est systématisé d'une manière automatique.

➤ Le broyage à cru :

Une fois concassés, les matériaux subissent un pré-mélange dans des halls de pré-homogénéisation ce qui permet d'obtenir une plus grande régularité de composition.

Ils sont ensuite séchés et broyés dans un broyeur (à boulets ou à galets) afin de réduire leur taille à quelques dizaines de microns. Le passage des gaz du four dans le broyeur permet le séchage de la matière et une captation partielle du soufre – SO₂ de ces gaz par la matière broyée. La poudre fine ainsi obtenue est appelée farine crue, d'où l'expression de broyeur à cru.



Figure I-5 : Broyeur de ciment.

Etape 03 : la Cuisson :

La farine est introduite sous forme de poudre dans une tour de préchauffage où la farine est préalablement chauffée par les gaz produits dans le four rotatif (phase de pré-calcination).

La farine descend ainsi par gravité, à contre-courant des gaz chauds du four. La tour possède plusieurs étages de cyclones, ce qui permet de faire monter la température de la farine progressivement jusqu'à 850°C (procédé à voie-sèche). La farine sera ensuite introduite dans un four rotatif incliné, alimenté en chaleur par un brûleur de grande capacité. La température de flamme atteint plus de 2000°C.

Elle subit au cours de cette cuisson des réactions chimiques complexes : tout d'abord, le calcaire se décarbonate sous l'action de la chaleur à une température avoisinant les 900°C et se transforme en chaux, tandis que les argiles se décomposent en silicates et aluminates. L'ensemble se recombine ensuite à une température d'environ 1 450°C en silicates et aluminates de chaux [06].

Ce processus chimique conduit ainsi à l'obtention d'un produit semi-fini appelé clinker, qui possède des propriétés de liant hydraulique.



Figure I-6 : Le clinker.

Le clinker est ensuite convoyé au travers du refroidisseur dans lequel il restitue une bonne partie de son énergie thermique et est refroidi par soufflage d'air à une température de 100°C.

Etape 04 : production du ciment

➤ Broyage ciment

Le clinker se dirige vers les trémies ciment et ensuite broyer en additionnant le gypse et le calcaire avec des quantités différentes selon les qualités du ciment désirées.

Ce type de broyeur appelé « BROYEUR CIMENT » qui permet le broyage du clinker en ajoutant des ajouts.

➤ Stockage et expédition du ciment

A la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de grandes capacités qui alimentent par la suite les ateliers d'ensachage pour l'expédition en sacs, ou les dispositifs de changement et livraisons en VRAC. Donc les expéditions comprennent le stockage du ciment, son conditionnement (ensachage) en cas de livraison par sacs ou via un vrac et son changement sur l'outil de transport (camion). C'est l'interface de l'usine avec le client [06].

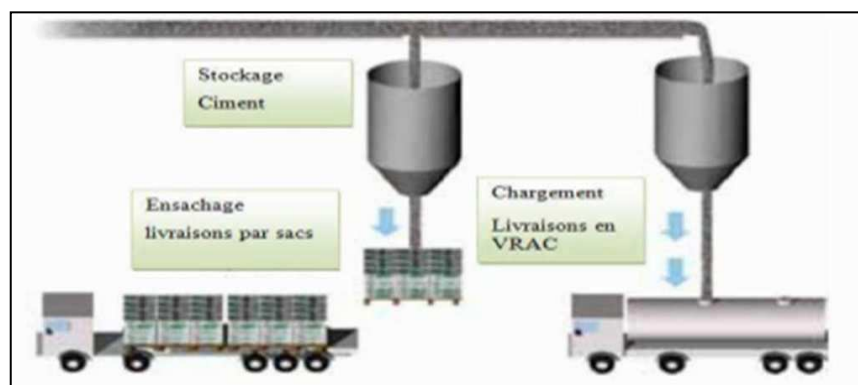


Figure I-7 : l'expédition du ciment.

I.5 Nomenclature chimique des ciments

Les formules chimiques des phases minérales dans la chimie cimentaire sont représentées par des formes abrégées ; par exemple les formules d'oxydes courants s'expriment en une simple lettre, telle que C pour CaO ou A pour Al₂O₃. La phase aluminat C₃A correspond ainsi à la formule chimique Ca₃Al₂O₆. Les abréviations les plus utilisées sont les suivantes [06] :

Tableau I-2 : Nomenclature chimique des ciments.

Symbole	Abréviation
Al ₂ O ₃	A
CaO	C
SiO ₂	S
Fe ₂ O ₃	F
Na ₂ O	N
CO ₂	Č
SO ₃	Š
H ₂ O	H
K ₂ O	K
P ₂ O ₅	P
Na ₂ O	N
TiO ₂	T

Le ciment Portland est constitué de quatre phases principales nommées C₃S, C₂S, C₃A, et C₄AF et d'autres phases minoritaires. Ces phases ne sont pas pures et contiennent des ions étrangers qui entraînent une altération de leurs structures cristallines.

I.6 Les constituants du ciment

I.6.1 Constituants principaux

➤ Clinker (K)

Les principaux composants anhydres obtenus lors du refroidissement rapide du clinker sont [13] :

- Le silicate tricalcique 3CaO.SiO₂ (C₃S) (50-70% du clinker).

- Le silicate bicalcique $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S) (10-30% du clinker).
- L'aluminate tricalcique $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A) (2-15% du clinker).
- L'alumino-ferrite tetracalcique (Ferro-aluminate tetracalcique) $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ (C4AF) (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 [06] :

- A = alite (phase cristallisée), se présente sous la forme de cristaux polygonaux assez grands (grains anguleux fonces) de l'ordre de 50μ .
- B = belite (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 [06].

I.6.2 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 [06].

Les constituants les plus utilisés sont :

➤ **Le laitier de haut fourneau (S)**

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 [06].

La composition chimique est produite au niveau du tableau I-3 suivant :

Tableau I-3 : Composition chimique du laitier granulé.

Elément	Pourcentage %
CaO	40-50
SiO ₂	26-32
AL ₂ O ₃	12-20
AgO	02-06

La composition de la laite granule 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.

➤ Les cendres volantes (V ou W)

Ce sont des 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 [06].

La composition chimique moyenne des cendres est produite dans le tableau I-4 suivant :

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

Elément	Pourcentage %
SiO ₂	50
AL ₂ O ₃	30
Fe ₂ O ₃	8
Na ₂ O	5
CaO	2

➤ Les pouzzolanes(Z)

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 [06].

➤ La fumée de silice (D)

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) [06].

➤ Les schistes calcinés (T)

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 [06].

➤ Les Calcaires (L)

Lorsqu'ils sont utilisés dans une proportion excédant 5% en masse les calcaires doivent satisfaire aux spécifications suivantes [06] :

- Teneur en calcaire : $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ en masse ;
- Adsorption de bleu méthylène : $\leq 1,20$ g/100g ;
- Teneur en matières organiques : (TOC) $\leq 0,50\%$ en masse.

➤ Les fillers (F)

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) [06].

• Le sulfate de calcium

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'hémi-hydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), de l'anhydrite de calcium anhydre (CaSO_4) ou tout mélange de ceux-ci [06].

- **Les additifs**

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% [06].

I.7 Les différents types et classifications de ciments

Il existe cinq types de ciments courants reconnus par la norme européenne EN 197-1 [06] :

- Ciment Portland pure (CEM I).
- Ciment Portland composé (CEM II).
- Ciment de haut fourneau (CEM III).
- Ciment pouzzolanique (CEM IV).
- Ciment composé (CEM V).

Tableau I-5 : Les différents types de ciment [06].

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivants : laitier-pouzzolanes-cendres calcaires-schistes-fumées de silice	Teneur en constituants secondaires
CPA-CEM I	Ciment portland	95 à 100%	-	0 à 5 %
CPJ-CEMII/A	Ciment portland composé	80 à 94 %	-de 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas proportion est limitée à 10 %	0 à 5 %
CPJ-CEM II/B		65 à 79 %	-de 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus	0 à 5 %
CHF-CEM III/A		35 à 64 %	36 à 65 % de laitier de haut fourneau	0 à 5 %

Chapitre I : Les Ciments

	Ciment de haut fourneau			
CHF-CEM III/B		20 à 34 %	66 à 80 % de laitier de haut fourneau	0 à 5 %
CLK-CEM III/C		05 à 19 %	80 à 95 % de laitier de haut fourneau	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10 %	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/B		45 à 64 %	36 à 55 % comme ci-dessus	0 à 5 %
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	18 à 30 % de laitier de haut fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou pouzzolanes.	0 à 5 %
CLC-CEM V/B		20 à 39 %	31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5 %

Les ciments sont actuellement classés sous la dénomination « CEM » suivi d'un chiffre romain allant de I à V suivi d'une lettre majuscule en fonction de leur teneur en clinker et d'autres composants (chaux, fumées de silice, pouzzolane, laitier de hauts fourneaux, etc...).

Le terme « ciment Portland » est tombé en désuétude depuis la fin des années 1970, remplacé par les termes « CPA » (ciment Portland pur) et « CPJ » (ciment Portland composé), et encore remplacé par le « CEM » (CEMI, CEMII,...) [06].

Les ciments sont classés selon leur résistance minimale absolue à la compression, mesurée en MPa, à 28 jours.

Tableau I-6 : classification de ciment selon la résistance.

Classes	Résistances à 28jour En MPa
32.5 L, N, R	30
42.5 L, N, R	40
52.5 L, N, R	50
La lettre L, N, R indique la rapidité de prise, respectivement Lente, Normale, Rapide	

I.8 Hydratation du ciment

Le terme hydratation désigne l'ensemble des réactions chimiques qui s'effectuent lors et après le mélange du ciment avec l'eau. Celles-ci sont régies par les phénomènes de dissolution- précipitation et entraînent, après une période dite "dormante" (dissolution des aluminates et des silicates), la prise puis le durcissement du ciment. Ces réactions s'accompagnent d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon le type de ciment

L'hydratation du Ciment réunit l'ensemble des réactions dans lesquelles l'eau se lie aux différents composés du Ciment pour former des hydrates. Le Ciment est un liant hydraulique, ce qui signifie que son hydratation peut avoir lieu indifféremment dans l'air ou dans l'eau.

L'hydratation du Ciment provoque le durcissement de la pâte de ciment, suspension fluide ou plastique, laquelle va se transformer en un matériau solide et résistant. On peut alors parler « pierre de ciment », véritable roche artificielle mais qui évolue dans le temps et suivant les conditions de température et d'humidité environnantes. Ces processus de durcissement se divisent en deux étapes : la prise et le renforcement [07].

La formation des hydrates commence immédiatement après l'addition de l'eau dans le ciment. Un léger raidissement est alors observé, lequel va se renforcer au cours du temps. Lorsque ce raidissement atteint une certaine valeur, il y a prise du ciment. Le matériau n'a cependant pas encore de résistance mécanique et ne peut donc pas supporter de charges. Le début de prise correspond à une augmentation brusque de la viscosité accompagnée d'une élévation de température et dure généralement quelques heures [07].

Lorsque la pâte cesse d'être déformable et se transforme en un bloc rigide, c'est la fin de prise. La prise est dirigée chimiquement par l'hydratation de la phase aluminatée en présence d'ions sulfate.

L'hydratation continue progressivement et permet le développement de la structure mécaniquement résistante du matériau. Le renforcement de la pierre de ciment est lié à la formation de produits capables de supporter des charges. L'évolution des caractéristiques physiques ou mécaniques, très rapide dans les heures qui suivent la prise, continue pendant plusieurs mois mais de plus en plus lentement. L'hydratation des silicates est chimiquement responsable du durcissement.

En raison de cet ensemble de propriétés, le ciment est un matériau idéal pour des applications dans le domaine de la construction [07].

Afin d'expliquer au mieux le processus d'hydratation du ciment du portland, les réactions d'hydratation de chacune des phases du clinker, prises une à une, sont d'abord expliquées. Les phénomènes physico-chimiques mis en jeu et les différents hydrates formés au cours de l'hydratation d'un ciment sont ensuite rigoureusement décrits [07].

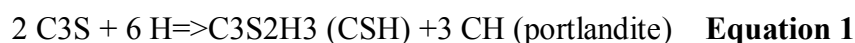
a) Les phases du clinker

L'alite C3S

Le silicate tricalcique ou alite est le principal constituant du ciment, il représente 40 à 80 % en teneur massique et il est souvent impur dans le clinker [08].

Cette phase est très importante pour le développement de la résistance mécanique au jeune âge du ciment. Il existe différentes modifications cristallines du C3S ou polymorphisme, sept variétés cristallines sont ainsi connues : trois variétés triclinique, trois variétés monoclinique et une variété rhomboédrique. Dans les clinkers industriels, la forme prédominante est la variété monoclinique. La phase C3S est instable et elle n'est obtenue que grâce à une trempe rapide du clinker à la sortie du four [08].

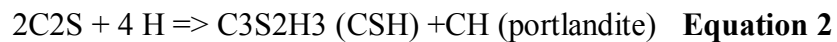
Lorsqu'on ajoute de l'eau, différents ions se dissolvent ; cette hydratation génère deux formes d'hydrates : la portlandite et une phase hydratée de type C-S-H selon l'équation 1 :



b) La bélite C2S

Connue sous le nom de silicate bicalcique, sa teneur massique varie entre 15 à 30% dans un ciment Portland. Il existe quatre variétés allotropiques : α , $\hat{\alpha}$, β et γ . La modification cristalline β est la plus stable dans le clinker [08].

Les produits d'hydratation du C2S sont identiques à ceux du C3S, les deux phases jouent un rôle primordial dans la résistance mécanique à long terme mais la bélite intervient plus lentement :

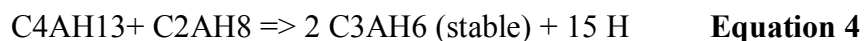
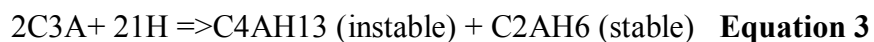


c) La phase aluminat C3A

La phase aluminat est formée par l'aluminat tricalcique C3A ($Ca_3Al_2O_6$), sa teneur massique varie de 10% à 15% du clinker Portland. Elle se forme à une température de 800°C à partir d'aluminat monocalcique ($CaAl_2O_4$) par un ajout continu de chaux.

La phase aluminat peut contenir plusieurs oxydes en impuretés, en particulier des oxydes alcalins tels que Na_2O et K_2O , mais aussi MgO , Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Cr_2O_3 et ZnO qui provoquent la modification de la symétrie du réseau cristallin de cubique en orthorhombique puis en monoclinique [08].

L'hydratation du C3A est très importante pour le comportement rhéologique du ciment pendant les premières heures d'hydratation. Cette dernière est influencée par la présence du gypse, car sans sa présence la réaction d'hydratation serait très rapide. Le C3A va s'hydrater sous la forme de phase instable, puis en phase d'hydrate d'aluminat de calcium stable (C_3AH_6) :



Le C3A réagit avec l'eau pour former des produits cristallins de différents rapports C/A. La formation de ces hydrates va très vite provoquer la solidification de la pâte de ciment et donner naissance à une « prise éclair » ; pour éviter ce phénomène on ajoute du sulfate de calcium qui va jouer le rôle de retardateur de prise. L'addition de gypse ou d'anhydrite, va provoquer une interaction entre les ions Ca^{2+} et SO_4^{2-} ... [08].

Le C3A se transforme alors en ettringite, ou trisulfo-aluminate hexa-calcique :



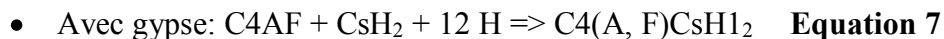
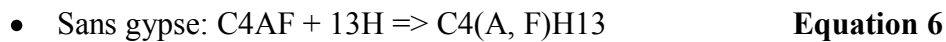
L'ettringite cristallisée se présente sous forme d'aiguilles et peut souvent incorporer différents atomes, particulièrement Fe et Al, elle est quelquefois nommée phase AFt. L'ettringite est donc un produit hydraté stable seulement dans le cas où le gypse est en quantité suffisante [08].

d) La phase ferrialuminate (C4AF)

Composée par le ferrialuminate tricalcique C4AF (Ca₄Al₂Fe₂O₁₀), elle représente de 5 à 15% de la masse du ciment, et sa teneur en fer et en alumine dépend des matières premières.

La phase ferrite peut insérer aussi des ions étrangers, comme le magnésium [08].

L'hydratation de cette phase est plus lente comparée à celle du C3A mais la réaction peut s'écrire de la même façon :



❖ Les sulfates de calcium

Il existe deux formes naturelles stables de sulfates de calcium : le sulfate de calcium anhydre, ou anhydrite CaSO₄, et le sulfate de calcium di-hydrate ou gypse CaSO₄.2H₂O et une autre variété, l'hémi hydrate CaSO₄.0.5H₂O, obtenue par déshydratation du gypse.

Les sulfates de calcium sont ajoutés au clinker pour retarder la réaction d'hydratation initiale de l'aluminate tricalcique. En présence de sulfate de calcium, le produit de l'hydratation est le trisulfoaluminate hexa-calcique, ou ettringite de formule C₃A.3CŠH₃₂ [08].

❖ **Les phases mineures**

On peut trouver plusieurs types de phases mineures dans un ciment Portland, plus souvent :

- La chaux (CaO) et la magnésie libre (MgO) :

La chaux libre conduit à une augmentation du volume lors de son hydratation, ce qui peut influencer sur les ouvrages en béton par la suite. Sa présence peut être due à plusieurs causes par exemple la présence d'une teneur trop élevée de chaux dans la matière première [08].

- Les alcalins (K₂O, Na₂O) :

La présence des alcalins dans le ciment est due aux matières premières, plus spécialement l'argile, leurs présences en grande quantité peuvent engendrer un gonflement important, ce phénomène est appelé Alkali-réaction [08].

I.9 Les différentes catégories du ciment

Le ciment fabriqué par les cimenteries Algériennes est très varié, ces dernières produisent le ciment selon les matières premières existantes (voir le tableau I-6), en suivant les normes fixées par l'Institut Algérien de Normalisation (IANOR) [09].

Tableau I-7 :différentes catégories du ciment en Algérie [09].

Cimenteries	Produits fabriqués
Société des ciments d'Ain EL- kbira (SCAEK)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM I 42.5N-LH/SR5 SAC • CEM II/A 42.5 SAC • CEM I/II BIG-BAG VRAC • CEM I 42.5N-LH/SR5 VRAC • CEM II/A-L42.5 R VRAC • CEM I 52.5 N LH/SR5 VRAC
La Société des Ciments d'Ain-Touta (SCIMAT)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM I/42.5 N-LH/SR5 • CEM II/A (P-L) 42,5N
La Société des ciments de Chlef (ECDE)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM-I 42.5 N • CEM II /B-L 32.5 N • CEM II/ A-L 42.5 R • CEM I 52.5 N • CEM I 42.5 N- SR5

Chapitre I : Les Ciments

Société De Ciments Saida (SCIS)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM II/A-L 42.5 N
Société des Ciments de Tébessa (SCT)	<ul style="list-style-type: none"> • CEMI 42.5N /SR5 • CEMIIB /M-(P-L) 32.5N • CEMIIA/M-(P-L) 42.5 • CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R
Société des ciments de hammabouziane (SCHB)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM II/A-P 42,5 N
Société des Ciments de Sigus (S.C.S)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM-I 42.5 R • CEM-I 42.5 N-SR5 • CEM-II/A L42.5 N
Société des ciments Béni-Saf (SCIBS)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM II/A-P 42.5 N
La Société des Ciments de Sour El Ghozlane (SCSEG)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM II/A-M (P-L) 42,5N • CEM I 42,5N • CEM I 52, 5N • CEM II/A-P 42,5N • CEM II/A-L 42,5N • CEM II/B-M (P-L) 32,5N
La société des ciments de Hadjar-Soud (SCHS)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM II/A-L42.5 N NA 442 SAC
Société des Ciments de Zahana (SCIZ)	<ul style="list-style-type: none"> • CEMII/A-P 42.5N • CEMII/A-M (P-L) 42.5N
Société des Ciments de la Mitidja (S.C.MD)	<ul style="list-style-type: none"> • CEM II / A 32.5



CHPITRE II : LES
AJOUTS
CIMENTAIRES

II.1 Introduction

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

Les ajouts minéraux sont largement utilisés dans la production des ciments à travers le monde. Du point de vue économique, ils présentent un facteur très important dans la production du ciment, du moment que la consommation en clinker baisse en fonction du taux d'ajout utilisé.

II.2 Classification des ajouts

Les ajouts peuvent être naturels ou artificiels, inertes ou actifs. Les ajouts peuvent réagir en tant que matériau hydraulique, hydraulique latent ou pouzzolanique, ou encore sous forme de fillers. Ils se divisent selon leur réactivité comme le montre le tableau II-1, ci-dessous [10]

Tableau II-1 : Classification des ajouts selon leur réactivité [10].

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

II.2.1 Les Ajouts de Type I : les ajouts inertes

1- Fillers calcaires

Les fillers calcaires comme étant des produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, kieselguhr,...). Le calcaire se compose principalement de carbonate de calcium CaCO_3 qui existe sous plusieurs formes polymorphiques : calcite, aragonite et vanterie. [11]

Les fillers calcaires cumulent trois propriétés intéressantes [11] :

- Une certaine activité hydraulique.
- Des éléments de faible dimension qui permettent un remplissage granulaire efficient.
- Un Faible coût.

2- La poussière

La poussière est une matière à particules fines, récupérée à la sortie du four, lors de son passage avec la fumée, sa finesse est comprise entre 7000 et 9000cm/g. Le ciment composé avec la poussière a des caractéristiques mécaniques et une résistance au gel/dégel [11].

II.2.2 Les ajouts de type II : les ajouts actifs

1- La pouzzolane

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

Les avantages du remplacement partiel du ciment par les matériaux pouzzolaniques sont divers. Ils participent au renforcement de la résistance aux attaques chimiques et la durabilité, à la réduction des réactions alcalines et du retrait au séchage. Ils permettent la réduction de la quantité de clinker utilisée dans la composition du ciment [10].

➤ Types de pouzzolane

- Pouzzolane naturelle

Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux d'origine naturelle qui peuvent avoir été calcinées dans un four ou transformées, puis broyées pour obtenir une fine poudre. Les variétés de Pouzzolanes naturelles les plus fréquemment utilisées en Amérique du Nord à l'heure actuelle comprennent l'argile calcinée, le schiste calciné et le métakaolin [12].

- Pouzzolane artificielle

Les pouzzolanes artificielles sont toute matière essentiellement composées de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant subi un traitement thermique pour assurer les propriétés pouzzolaniques. Elles sont des déchets des efférentes industries. On distingue. Soit des résidus de fabrication industrielle tel que. le mach fers, cendre de bois ou d'houille , soit des débris de brique et de tuile fabriquées avec des argile pures à des températures modérées .

On distingue aussi le schiste cuite, et les déchets de l'industrie à base de métakaolinite [12].

2- Le laitier à hauts fourneaux

Le laitier granulé de haut fourneau (LGHF) est un produit non métallique composé essentiellement de silicates, d'aluminosilicates de calcium et d'autres bases, qui provient de fusion du minerai de fer dans un haut fourneau, et qui est ensuite refroidi rapidement à l'eau pour former des particules vitreuses granulées, puis broyé à une finesse égale ou inférieure à celle du ciment. Dans le béton, le LGHF réagit avec le ciment Portland pour former des produits cimentaires. Le laitier présent des propriétés pouzzolaniques et de cimentation [13].

➤ Types de laitier

- Laitier concasse

C'est un granulat lourds d'aspect anguleux, rugueux, de structure micro-alvéolaire de couleur grise il est inattaquable par l'eau, et sa porosité est inférieure à 10%, il s'obtient après le coulage des laitiers dans les poches de 1 à 2 m³ qu'on diverse dans des fausses de

200 à 300 m de longueur, et de 10 à 12 m de largeur, on laisse refroidir après concassage et criblage, on obtient un granulats normalisés et classés [12].

- Laitier granulé.

C'est un sable vérifié, très poreux, jusqu'à 60%, il a une couleur grise jaunâtre, de granulométrie jusqu'à 2 mm, et de composition chimique : silice = 29 à 38 %, chaux = 38 à 48%, alumine = 13 à 20 %, magnésium = 06 %. Pour avoir ce type de laitier, la coulée doit être refroidie brusquement dans un courant d'air ou d'eau. On obtient un sable sec et finement moulu, qui constitue la base du ciment de laitier. Cette opération a pour but d'empêcher la cristallisation, et de maintenir le laitier à l'état vitreux [12].

- Laitier expansé.

Il a une structure scoriacée alvéolaire ; de teinte grise, après criblage il se présente en trois classes granulaires de densité variable. Il a une composition chimique proche de. Silice = 25 à 40%, chaux = 38 à 50%, alumine = 10 à 20%, soufre = 01%. Il s'obtient par une puissante injection d'eau, en dessus du laitier en fusion, l'eau vaporise et on obtient des éléments alvéolaires légers [12].

3- Les fumées de silice

Sous-produit de la fabrication du silicium, du ferro-silicium et des silico-alliages. Les particules, amorphes, ont des dimensions de 0,01 à 1 mm.

Jusqu'en 1985, cette silice n'était pas valorisée. Ces "poussières" étaient d'abord rejetées dans l'atmosphère puis, pour protéger l'environnement, récupérées par filtration des fumées et placées en décharge.

Utilisée dans les bétons pour : augmenter la fluidité, la résistance en compression, et diminuer la porosité et la perméabilité; car la présence de fumée de silice accélère la réaction d'hydratation du ciment et favorise la création des sites de germination des cristaux de portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dès les premières minutes qui suivent le début de la réaction.

Elles ne sont pas généralement utilisées en tant qu'ajout, mais plutôt avec des dosages appropriés aux besoins. C'est un produit très efficace pour la fabrication des bétons à très haute performance [10].

4- Cendres volantes

Définition et types

Les cendres volantes sont le résidu finement divisé résultant de la combustion du charbon pulvérisé. Ce résidu est évacué de la chambre de combustion d'un fourneau par les gaz qui s'en échappent. Des spécifications pour l'utilisation de cendres volantes dans la fabrication du béton sont présentées dans la norme CSA A3001, qui définit trois types de cendres volantes, les types F, CI et CH, en fonction de leur teneur en oxyde de calcium (CaO) [12].

Tableau II-2 : Types de Cendres volantes et leur teneur en CaO [12].

Type de cendre volante	Teneur en CaO
Type « F »	<8%
Type « CI »	Entre 8% et 20%
Type « CH »	>20%

En général, plus la teneur en CaO est élevée, plus les propriétés d'auto-cimentation sont bonnes [12].

II.3 Effets des ajouts sur les propriétés du béton

➤ Effet de La pouzzolane

La pouzzolane confère aux bétons les propriétés suivantes :

a) A l'état frais

Les pouzzolanes améliorent l'ouvrabilité, la plasticité, la rétention d'eau et une bonne homogénéité couplées à une réduction de la tendance au ressuage. Elles réduisent la chaleur d'hydratation, Cet effet se traduit par une réduction sensible de la fissuration [10].

b) A l'état durci

Les pouzzolanes améliorent la cohésion interne ainsi qu'une augmentation de compacité de la pâte de ciment. La réduction de porosité qui en découle pour toute la matrice ciment se traduit par une série d'effets très favorables [10].

- Accroissement de la résistance finale.
- Légère diminution du retrait et du fluage.

- Réduction de la perméabilité à l'eau jusqu'à des valeurs d'étanchéité.
- Amélioration de la résistance aux sulfates, aux chlorures et à d'autres types d'agressions chimiques.
- Protection des armatures contre la corrosion.
- Une réduction générale de la teneur en hydroxyde de calcium dans le béton avec deux conséquences bénéfiques.
- Une réduction notable du risque d'apparition d'efflorescences de chaux sur les faces Exposées du béton.

➤ Effet du laitier de haut fourneau

En général, le laitier s'hydrate de la même manière que les cendres volantes de la classe C. Cependant, son effet sur la résistance commence à se faire sentir à partir de 7 jours, tandis que les cendres de la classe F ne développent des résistances qu'à partir de 4 semaines. Les particules de laitier $< 10 \mu\text{m}$ contribuent à la résistance à jeune âge (jusqu'à 28 j), tandis que les particules entre 10 et $45 \mu\text{m}$ contribuent au développement des résistances ultérieures. Les particules $> 45 \mu\text{m}$ ont de la difficulté à s'hydrater [12].

➤ Effet de la fumée de silice

La fumée de silice est l'ajout pouzzolanique le plus réactif. Contrairement aux cendres volantes, le SiO_2 amorphe commence à réagir après 2 à 3 jours environ. Elle se précipite sous forme de silicate de calcium hydraté (CSH-Gel) avec l'hydroxyde de calcium qui se forme lors de l'hydratation du ciment.

La consommation d'hydroxyde de calcium lors de la réaction pouzzolane conduit à une diminution du PH par rapport à un béton exempt de silices. C'est la raison pour laquelle, il convient dans le cas du béton armé de limiter la quantité maximale de poussières de silice admissibles, par exemple à 11% de la teneur en matières solides de silice, pris par rapport à la quantité de ciment, afin de garantir la protection anticorrosion de l'armature. Les propriétés rhéologiques exceptionnelles de la fumée de silice par la forme sphérique de ses grains, permettent de la substituer à l'eau et d'obtenir des matériaux à faible porosité et augmentent ainsi la compacité du béton. En comblant les interstices laissés entre les particules fines et les granulats, elle joue un rôle de lubrifiant. [10].

Dans le béton frais les fumées de silice induisent les effets suivants [10] :

- Faible tendance au ressuage, à la sédimentation.
- Meilleure cohésion interne, légèrement thixotrope.
- Bon pouvoir de rétention d'eau.
- Faibles pertes d'air pour le béton à air entraîné.
- Meilleure adhérence sur le support.
- Réduction du rebond et amélioration de la résistance du béton projeté.
- L'évolution de la résistance s'avère plus lente pour des bétons contenant de la fumée de silice que pour des bétons sans fumée. Pourtant la résistance de bétons avec la fumée de silice.
- augmente même au-delà de 450 jours.

➤ Effet des cendres volantes

Les cendres volantes confèrent aux bétons les propriétés suivantes [13] :

- Le remplacement du ciment par des cendres volantes dans le béton réduit de façon significative la chaleur d'hydratation.
- La forme et la granulométrie des cendres volantes ont un effet important sur l'ouvrabilité et la demande en eau des bétons frais.
- Démoulage amélioré.
- Diminue le ressuage.
- Réduit les risques de ségrégations.
- Améliore les performances mécaniques à longs termes.
- Réduit le coût des ciments, la quantité de fissures et de défauts.
- Diminue la perméabilité aux gaz et aux liquides.
- Améliore la durabilité en milieux agressifs.
- Un mariage avantageux pour l'environnement.

Chapitre II : Les Ajouts de ciment

Tableau II-3 : Récapitulatif des effets des ajouts sur le ciment [14].

Constituants ajoutés	Effet
Laitier granulé de haut fourneau	<ul style="list-style-type: none">• Diminue la réactivité à court terme.• Diminue les retraits.• Montée en résistance.• moins rapide.• Adapte aux ouvrages en contact avec le sol.
Pouzzolane naturelle et Pouzzolane calcinée	<ul style="list-style-type: none">• Diminue la réactivité à court terme et ses effets.• Complete l'hydratation en consommant la portlandite.
Cendre volante siliceuse	<ul style="list-style-type: none">• Apporte une résistance complémentaire à long terme.• Améliore la durabilité en diminuant la perméabilité.• Améliore l'ouvrabilité, teinte en noir le béton.
Cendre volante calcique	<ul style="list-style-type: none">• Améliore l'ouvrabilité.• Teinte en noir e béton.
Schiste calciné	<ul style="list-style-type: none">• Diminue la réactivité à court terme et ses effets.• Complete l'hydratation en consommant la portlandite.
Calcaire broyé	<ul style="list-style-type: none">• Accélère la cinétique d'hydratation à très court terme (2 à 7 jours),• Complete le squelette granulaire.
Mélange de constituants	<ul style="list-style-type: none">• Associe leseffets des différents constituants.• Diminue le prix du ciment.• Couleur et propriété variable

II.4 L'intérêt de l'utilisation des ajouts de ciments

L'utilisation des additions minérales dans les industries du ciment et du béton présente des avantages techniques, économiques et écologiques [15].

➤ Intérêt technique des ajouts

L'incorporation de particules très fines dans un mélange de béton permet d'améliorer sa maniabilité et de réduire le besoin en eau à une consistance donnée (sauf pour les matériaux de très grande surface active, comme les fumées de silice). Les ajouts cimentaires améliorent généralement la résistance mécanique, l'imperméabilité et la ténacité aux attaques chimiques. Enfin, parce qu'ils permettent une faible chaleur d'hydratation des ciments composés, les ajouts minéraux améliorent la résistance à la fissuration [16].

Les ajouts assurent au ciment les points suivants :

- Une meilleure résistance aux agressions chimiques (la résistance à l'attaque des sulfates où la cendre volante se combine avec l'hydroxyde de calcium libre, ce qui l'empêche de réagir avec les sulfates).
- Perméabilité réduite L'effet de tassement des particules sphériques de la cendre volante contribue à diminuer sa perméabilité. La cendre volante réagit chimiquement avec la chaux pour former des chaînes (C-S-H) supplémentaires qui bloquent les canaux de ressuage et obturent les pores des pâtes de ciment. En effet, les actions chimiques sont réduites quand la portlandite est moins abondante, soit qu'elle est consommée (ciment aux cendres).
- Les résistances mécaniques sont un peu plus faibles les premiers jours, mais elles deviennent plus importantes à long terme (effet de la pouzzolanité des cendres). L'amélioration des résistances mécaniques due aux pouzzolanes (cendres) n'est pas liée exclusivement à l'effet pouzzolanique. Il existe aussi des effets physiques, en relation avec leur finesse et leur morphologie. Les grains de cendre vont notamment accélérer l'hydratation du ciment portland, sous l'effet de la germination hétérogène, conduisant à une amélioration de la résistance mécanique du matériau, du moins au jeune âge. Leur finesse améliore aussi la compacité des pâtes de ciment (effet filler) [16].

➤ Intérêt économique des ajouts

Le ciment Portland est le composant le plus onéreux au cours de la production du béton, puis qu'il est un matériau à forte intensité d'énergie. La plus part des ajouts susceptibles de

remplacer le ciment dans le mortier ou le béton sont des sous-produits, et à ce titre, nécessite relativement moins d'énergie, si non aucune, et sont moins coûteux que le ciment Portland.

Des sous-produits industriels tels que les cendres volantes et fumées de silice condensées sont de plus en plus utilisées dans les pays industrialisés parce qu'ils sont des déchets d'usine. Contrairement aux pouzzolanes naturelles, il n'est pas nécessaire de les pulvériser ou de les soumettre à un traitement thermique avant de s'en servir. Plusieurs pays comme la Chine, la Grèce, l'Italie, l'Inde et le Mexique, utilisent encore des millions de tonnes de pouzzolanes naturelles pour fabriquer des ciments Portland composés. Pour des raisons d'épargne d'énergie, il y a tout lieu de croire que l'utilisation de ces matériaux se poursuivra et se développera de plus en plus [15].

➤ **Intérêt écologique des ajouts**

La production d'une tonne de ciment Portland libère dans l'atmosphère une quantité quasi équivalente de gaz carbonique (CO₂). En effet, la substitution d'une fraction de clinker permet d'obtenir des ciments aux propriétés mécaniques exploitables, ce qui permet une diminution de rejets de CO₂. Le taux de substitution de clinker est du même ordre que la diminution de rejet de CO₂ [15].

II.5 Les avantages et Les inconvénients de l'utilisation des ajouts

L'utilisation des ajouts apporte beaucoup pour le ciment, beaucoup de propriétés du béton ont été améliorées. Néanmoins, ces derniers ont aussi quelques inconvénients, tout est cité dans le tableau II-3 ci-dessous :

Tableau II-4 : Les avantages et les inconvénients de l'utilisation des ajouts.

Les avantages		
Technique	Economiques	Ecologique
<ul style="list-style-type: none"> • Améliore la maniabilité • réduit la demande en eau • amélioration des propriétés mécaniques et de la durabilité du béton • diminution de la chaleur d'hydratation dégagée du béton • diminue la fissuration d'origine thermique 	<ul style="list-style-type: none"> • leur coût est souvent égal au cout du transport et de la manipulation. • réduit le prix du béton pour cout du combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> • diminution de l'émission du CO2 par l'industrie cimentière • élimination des sous-produits de la nature
Les inconvénients		
<ul style="list-style-type: none"> • Retard de prise. • Résistance à la compression à jeune âge plus faible. • Mûrissement plus long. • Résistance à l'écaillage controversée. • Le broyage et le transport plus cher. 		

II.6 Les ajouts des cimenteries Algériennes

L'industrie cimentaire est d'importance primordiale pour l'Algérie comme tous pays en voie de développement. Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie, comme le laitier d'El-Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni-Saf [17]. Voir le tableau II-5 (donne une idée sur les additions utilisées dans les cimenteries algériennes).

Chapitre II : Les Ajouts de ciment

Tableau II-5 : Les additions utilisées dans les cimenteries algériennes [17].

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilises
ECDE	Ain Touta	Laitier+calcaire
	Ain EL kebira	Laitier+Pouzzolane
	Hamma Bouziane	Laitier+Calcaire
	H'adjerEssaoude	Laitier
ERCE	Meftah	Tuf/Calcaire
	Rais Hamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlan	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Béni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	



CHAPITRE III : LES
CIMENTERIES EN
ALGERIE

1. Introduction

La production de ciment en Algérie a été multipliée par 14 depuis l'indépendance à ce jour, passant de 1,5 million de tonnes/an seulement en 1962, oscille actuellement entre 25 et 30 millions de tonnes, atteindra les 40 millions de tonnes par an en 2020 ; une évolution remarquable mais qui reste en deca 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..

La production nationale actuelle de ciment estimée à plus de 30 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. Rabeh Guessoum, 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 11 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.

II. Les Cimenteries Algériennes :

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 « GICA » est constitué par (14) cimenteries totalisant une capacité de production de 30 millions de tonnes/an de ciment.



Figure III-1 : Localisation des cimenteries d'Algérie.

Tableau III-1 : Localisation des cimenteries d'Algérie.

N	Noms	localisations	Désignations
1	Société de ciments Saoura Cement	Béchar	SSC
2	Société de ciments Beni Saf	Ain Temouchent	SCIBS
3	Société de ciments Zahana	Mascara	SCIZ
4	Société de ciments Hassana	Saida	SCIS
5	Société de ciments Oued Sly	Chlef	EDCE
6	Société de ciments Rais Hamidou	Alger	SCAL
7	Société de Ciments Meftah	Blida	SCMI
8	Société de ciments Sour EL Ghozlane	Bouira	SCSEG
9	Société de ciments Ain EL Kbir	Setif	SCAEK
10	Société de ciments Ain Touta	Batna	SCIMAT
11	Société de ciments Hadjar Soud	Skikda	SCHS
12	Société de ciments Hamma Bouziane	Constantine	SCHB
13	Société de ciments Sigus	Oum EL Bouaghi	SCS
14	Société EL-Ma Labiedh	Tebessa	SCT

II.1 Les Cimenteries 100% Algérienne

1. Société des ciments d'Ain EL- kbira (SCAEK.Dz)

✓ Création et Restauration

Dans le cadre de la politique de développement économique et sociale, la société nationale des matériaux de construction (SNMC) engagea au début des années 70 un vaste programme d'investissement pour la rénovation des lignes héritées de Lafarge et la réalisation de plusieurs nouvelles lignes de production de ciment dont celle d'Ain El Kebira.

La restructuration de la SNMC en 1982, a donnée naissance à quatre (04) groupes de ciment : Est, Ouest, Centre et Chlef.

La SCAEK est l'une des filiales du groupe ERCE restructurée en 1998. Avec la dissolution du groupe ERCE et la création du groupe GICA (Groupe Industriel des Ciments d'Algérie), la SCAEK est devenue filiale de ce dernier depuis le 26 novembre 2009.

✓ Présentation et Localisation

La société des ciments d'Ain El Kebira est une société par action filiale du groupe GICA détenteur à 100% de son capital social qui s'élève à : 2200 000000 DA.

Bâtie sur une superficie de 50 hectares, la cimenterie se trouve à 20 Km au nord- est du chef-lieu de wilaya de Sétif et à 07 km au sud de la daïra d'Ain El-Keira.

Le siège de la direction générale se trouve dans la ville de Sétif à la cité Bounechada, rue ABACHA Ammar.

La SCAEK est installée à proximité d'une carrière dont les réserves lui permettent de faire face aux besoins d'exploitation à long terme, avec une durée de vie probable de ces carrières supérieure à 100 ans selon les dernières estimations.

Couvrant une superficie de près de 220 hectares, elle tire les principales matières premières à partir du gisement de Djebel Medjounes et d'argile « marne » de (Theniet Moloutou).

La SCAEK dispose de deux (02) lignes de production d'une capacité contractuelle (installée) de 3 000000 tonnes de ciment portland (CPA) par ans.

✓ **Produit fabrique**

A- CEM I 42.5N-LH/SR5 NA442 CRS SAC

Le Ciment CEM I 42.5N-LH/SR5 NA442 CRS SAC est un ciment pour travaux dans les milieux fortement agressifs.



Figure III-2 : Sac de ciment CEM I 42.5N-LH/SR5.

➤ **Composition :**

- Clinker : 95%
- Ajouts : 0 à 5% du sulfate de calcium sous forme de gypse (régulateur de prise)

➤ **Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques**

Les propriétés du ciment CEM I 42.5 N- LH /SR5 sont données dans le tableau (III-2)

Tableau III-2 : Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5 SAC.

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min • Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm • Résistances mécaniques à la compression déterminées sur mortier normalisé (42.5MPa). • LH la chaleur d'hydratation de ciment ne doit pas dépasser la valeur caractéristique de 270J/g • Résistance à la compression sur mortier en MPa <ul style="list-style-type: none"> ➤ Résistance à court terme $2j \geq 10$ MPa ➤ Résistance courante $28j \geq 42,5$MPa 	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en Cl $\leq 0,10\%$ • Teneur en SO₃ $\leq 3,5\%$ • C3A $\leq 5\%$ • Résidu insoluble (RI) $\leq 5\%$ • Perte au feu (PAF) $\leq 5\%$

B- CEM II/A 42.5 NA 442 (SAC)

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



Figure III-3: Sac de ciment CEM II/A 42.5 SAC.

➤ Composition :

- Clinker : 80 à 94%
- Ajouts : 0 à 20% (Laitier, pouzzolane, calcaire)
- Du sulfate de calcium est ajoute sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du ciment CEM II/A 42,5 sont donnes dans le tableau (III-3)

Tableau III-3: Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5 SAC.

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none"> • Temps de début de prise mesure sur pate pure ≥ 60min ; • Retrait mesure a 28 jour d'âge sur mortier donne normal 1000 mm ; • Stabilité mesurée sur éprouvette de pate pure s 10 mm. • Résistance à la compression sur mortier en MPa <ul style="list-style-type: none"> ➤ $\geq 10,0$ N/mm² à 02 jours ; ➤ $\geq 40,0$ N/mm² à 28 jours. 	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en Cl $\leq 0,10\%$ • Teneur en SO₃ $\leq 3,5\%$

C- Le Ciment CEM I/II BIG-BAG NA442

Le ciment CEM I/II VRAC est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts.



Figure III-4: ciment CEM I/II BIG-BAG VRAC.

➤ Composition du Ciment

- Clinker : 80 à 94%
- Ajouts : 0 à 20% (Laitier, pouzzolane, calcaire)
- Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

➤ Caractéristiques physico-mécaniques

Les propriétés du ciment CEM I/II BIG-BAG VRAC sont données dans le tableau (III-4)

Tableau III-4 : Caractéristiques de CEM I/II BIG-BAG VRAC.

Caractéristiques Physiques	Caractéristiques Mécaniques
<ul style="list-style-type: none"> • Temps de début de prise mesuré sur pâte pure ≥ 50 minutes ; • Retrait a 28 jours d'âge mesuré sur mortier normal s 1000 pm/m ; • Stabilité mesurée sur éprouvette de pâte pure s 10 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les Résistances mécaniques à la compression font apparaître une valeur moyenne des résultats à 28 jours voisine de 52,5 N/mm². • Les valeurs limites garanties sont : <ul style="list-style-type: none"> • 02 jours $\geq 10,0$ N/mm². • 28 jours $\geq 40,0$ N/mm².

D- CEM I 42.5N-LH/SR5 NA442 CRS VRAC

Le Ciment CEM I 42.5N-LH/SR5 NA442 CRS VRAC est un ciment pour travaux dans les milieux fortement agressifs.



Figure III-5: Ciment CEM I 42.5N-LH/SR5 VRAC.

➤ Composition :

- Clinker : 95%
- Ajouts : 0 à 5% du sulfate de calcium sous forme de gypse (régulateur de prise)

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM I 42.5N-LH/SR5 NA442 CRS VRAC sont données dans le tableau (III-5)

Tableau III-5 : Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5 VRAC.

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min • Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm • LH la chaleur d'hydratation de ciment ne doit pas dépasser la valeur caractéristique de 270J/g • Résistance à la compression sur mortier en MPa <ul style="list-style-type: none"> ▪ Résistance à court terme 2j ≥ 10 MPa ▪ Résistance courante 28j $\geq 42,5$MPa 	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en Cl $\leq 0,10\%$ • Teneur en SO₃ $\leq 3,5\%$ • C3A $\leq 5\%$ • Résidu insoluble (RI) $\leq 5\%$ • Perte au feu (PAF) $\leq 5\%$

E- CEM II/A-L42,5 R NA 442 VRAC

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



Figure III-6 : ciment CEM II/ A 42.5 R VRAC.

➤ **Composition**

- 80% à 94% de clinker
- 6% à 20% de calcaire
- 0% à 5% de constituants secondaires

La présence d'une faible quantité de sulfate de calcium assure la régularité de la prise.

➤ **Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques**

Les propriétés du CEM II/ A 42.5 R CRS VRAC sont données dans le tableau (III-6)

Tableau III-6 : Caractéristiques de CEM II/ A 42.5 R VRAC.

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min • Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm • Résistances mécaniques à la compression déterminées sur mortier normalisé (42.5MPa). • Résistance à la compression sur mortier en MPa (valeurs limites inférieures) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Résistances a 02 jours : ≥ 20 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en Cl⁻ $\leq 0,10\%$ • Teneur en SO₃ $\leq 3,0\%$

F- CEM I 52.5 N LH/SR5 VRAC

Le ciment CPJ-CEM II/ A 52,5 VRAC est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts.



Figure III-7 : Sac de ciment CEM I 52.5N-LH/SR5 VRAC.

➤ Composition :

- Clinker : 95%
- Ajouts : 0 à 5% du sulfate de calcium sous forme de gypse (régulateur de prise)

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM I 52.5N-LH/SR5 VRAC sont données dans le tableau (III-7)

Tableau III-7 : Caractéristiques de CEM I 52.5N-LH/SR5 VRAC.

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min • Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm • Résistances mécaniques à la compression déterminées sur mortier normalisé (52.5MPa). • LH la chaleur d'hydratation de ciment ne doit pas dépasser la valeur caractéristique de 270J/g. • Résistance à court terme 2j > 18 MPa • Résistance courante 28j > 52.5 MPa 	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en Cl $\leq 0,10\%$ • Teneur en SO₃ $\leq 4\%$ • C3A $\leq 5\%$ • Résidu insoluble (RI) $\leq 5\%$ • Perte au feu (PAF) $\leq 5\%$

2. La Société des Ciments d'Ain-Touta (SCIMAT)

✓ Présentation de la Société – SCIMAT-

La Société des Ciments de Ain-Touta –SCIMAT- est une Filiale du Groupe Industriel des Ciments de l'Algérie -GICA-. la réception définitive de cette cimenterie le 30/09/1989

C'est est une Société spécialisée dans la Fabrication, le Conditionnement et la Commercialisation des Ciments et des Granulats.

- Forme Juridique : SPA, Société par Actions
- Capital Social : 2.250.000.000.00 DA

La SCIMAT se compose d'une :

- Direction Générale à Batna ;
- Unité Cimenterie à Ain -Touta ;
- Unité Agrégats et Sable Concassé à Ain -Touta ;
- Superficie Totale : 20 ha

Cette Cimenterie de Ain-Touta est spécialisée dans la fabrication et la commercialisation des Ciments d'une capacité nominale annuelle de 1.000.000 Tonnes.

Les types de Ciments fabriqués & commercialisés sont :

- CEM II/A (P-L) 42,5N
- CEM-I 42,5 R SR5

La Cimenterie de Ain-Touta fabrique et commercialise des Ciments de Qualité conformément aux Normes Algériennes en vigueur. Ils sont contrôlés périodiquement par le Centre d'Études et de Services Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction-CETIM- (accrédité selon le Référentiel ISO 17025).

Les Ciments CEM II/A (P-L) 42,5N & CEM I 42, 5 R SR5 sont certifiés à la Marque de Conformité Nationale TEDJ délivrée par l'Institut Algérien de Normalisation -IANOR-.

✓ **Produit fabrique**

A- CEM I/42.5 N-LH/SR5NA 442/2013

➤ Composition :

- 95à 100 % de clinker
- 0 à 5% de gypse en tant que régulateur de prise.



Figure III-8 : Sac de ciment CEM I/42.5R SR5.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM I/42.5N-LH/SR5VRAC sont données dans le tableau (III-8)

Tableau III-8 : Caractéristiques de CEM I/42.5N-LH/SR5

Eléments	Teneur %
SiO₂	20.63
Al₂O₃	4.45
Fe₂O₃	4.30
CaO	61.07
MgO	1.56
K₂O	0.70
Na₂O	0.22
SO₃	2.52
Cl-	0.0168

➤ Valeurs limites :

Ces résistances sont mesurées sur «mortier normal»

- Résistance à court terme 02j >10MPa
- Résistance courante 28j >42.5 MPa

B- CEM II/A (P-L) 42,5N

➤ Composition :

- Clinker : 88-82 %
- Tuf et la Pouzzolane : 07-13 %



Figure III-9 : Sac de ciment CEM II/A (P-L) 42,5N.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM II/A (P-L) 42,5N sont données dans le tableau (III-9)

Tableau III-9 : Caractéristiques de CEM II/A (P-L) 42,5N.

Eléments	Teneur %
SiO₂	18.73
Al₂O₃	4.38
Fe₂O₃	3.31
CaO	59.93
MgO	1.62
K₂O	0.67
Na₂O	0.23
SO₃	2.63
Cl-	0.0173

➤ Valeurs Limites :

- Résistance à court terme 02j > 10MPa
- Résistance courante 28j > 42.5 MPa

3. La Société des ciments de Chlef (ECDE)

✓ Historique

L'Entreprise des Ciments et Dérivés de Chlef est une SPA créée le 30 octobre 1982 suite à la restructuration de la Société Nationale des Matériaux de Construction (SNMC).

La restructuration opérée en 1999 transforme le holding Public « BMC » en holding public « Réalisations et matériaux de construction » qui devient à son tour le propriétaire de l'entreprise à 100%.

En 2000, le holding public « RMC » est dissous et est remplacé par la société de gestion des participations « Groupement Industrie du Ciment d'Algérie » SGP GICA.

En 2009, la société de gestion des participations « Groupement Industrie du Ciment d'Algérie » SGP GICA a été restructurée et transformée en Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (GICA). L'ECDE est devenue filiale du groupe GICA.

✓ Produit fabriqué

A- Ciment Portland CEM-I 42.5NNA 442/2013

C'est un ciment portland, contenant 95% clinker et 5% de gypse en tant que régulateur de prise. sa Composition minéralogique du clinker : C3A inférieur ou égal à 7%



Figure III-10 : Sac de ciment CEM I 42.5N.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM I 42,5N sont données dans le tableau (III-10)

Tableau III-10 : Caractéristiques de CEM I 42.5N.

Les propriétés chimiques	Les propriétés physiques
<ul style="list-style-type: none"> • Les sulfates (SO₃) ≤ 4% • Perte au feu ≤ 5% • Les chlorures cl ≤ 0.1 % • L'oxyde de magnésium MgO ≤ 3% • Insolubles ≤ 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistances mécaniques à la compression : 02 jours ≥ 10 MPa 28 jours ≥ 42.5 MPa • Consistances normale : 28.0% • début de prise > 60 min • Expansion à chaux ≤ 10 mm • fin de prise > 250 min • Refus sur tamis 45 μm : 8-12 % • Chaleur d'hydratation à 41 h ≤ 270 j/g • surface spécifique de Blaine ≥ 3500 cm²/g

B- CEM II /B-L 32.5 N Ciment Portland au calcaire NA 442/2013

C'est un ciment gris pour bétons courants et structurels ; destiné à la construction de votre maison. Sa composition minéralogique du clinker : C3S ≥ 55 % et C3A ≥ 6%



Figure III-11 : Sac de ciment CEM II /B-L 32.5 N.

- Domaine d'utilisation :
 - Construction de maisons individuelles.
 - Tous travaux de maçonnerie.
- Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM II /B-L 32.5 Sont donnés dans le tableau (III-11)

Tableau III-11 : Caractéristiques de CEM II /B-L 32.5 N.

Les propriétés chimiques	Les propriétés physiques
<ul style="list-style-type: none"> • Les sulfates (SO₃) ≤ 4 % • Perte au feu ≤15% • Les chlorures cl ≤0.1 % • l'oxyde de magnésium MgO ≤3% • Insolubles ≤ 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> ➤ 02 jours ≥10 MPa ➤ 28 jours ≥32.5 MPa • Consistances normale : 26 à 30 % • Début de prise >60 min • Expansion à chaux ≤10 mm • Fin de prise > 250 min • Chaleur d'hydratation à 41 h ≤270 j/g • surface spécifique de Blaine ≥3500 cm²/g

C- CEM II/ A-L 42.5 R Ciment Portland au calcaire NA 442/2013

C'est un ciment gris, contenant 80 à 94 % de clinker ordinaire il est compose de C3S ≥ 55% et C3S ≥ 55 % et C3A ≥6%



Figure III-12 : Sac de ciment CEM II/ A-L 42.5 R.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM II/ A-L 42.5 R. sont donnés dans le tableau (III-12)

Tableau III-12 : Caractéristiques de CEM II/ A-L 42.5 R.

Les propriétés chimiques :	Les propriétés physiques
<ul style="list-style-type: none"> • Les sulfates (SO₃) ≤ 4 % • Perte au feu ≤5% • Les chlorures cl ≤0.1 % • l'oxyde de magnésium MgO ≤3% • Insolubles ≤ 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> ➤ 02 jours ≥20 MPa ➤ 28 jours ≥42.5 MPa • Consistances normale : 26 à 30 % • Début de prise >60 min • Expansion à chaud ≤10 mm • Fin de prise > 250 min • Refus sur tamis 45 μm :-12 % • Chaleur d'hydratation à 41 h ≤270 j/g • surface spécifique de Blaine ≥3500 cm²/g

D- CEM II /A-L 42.5 N Ciment Portland au calcaire NA 442/2013

C'est un ciment gris, contenant 80 à 94 % de clinker ordinaire il est compose de C3S ≥ 55% et C3S ≥ 55 % et C3A ≥6%



Figure III-13 : Sac de ciment CEM II /A-L 42.5 N.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM II /A-L 42.5 N. sont donnés dans le tableau (III-13)

Tableau III-13 : Caractéristiques de CEM II /A-L 42.5 N.

Les propriétés chimiques :	Les propriétés physiques
<ul style="list-style-type: none"> • Les sulfates (SO₃) ≤ 4 % • Perte au feu ≤5% • Les chlorures cl ≤0.1 % • l'oxyde de magnésium MgO ≤3% • Insolubles ≤ 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> ➤ 02 jours ≥10 MPa ➤ 28 jours ≥42.5 MPa • Consistances normale : 26 à 30 % • Début de prise >60 min • Expansion à chaux ≤10 mm • Fin de prise > 250 min • Refus sur tamis 45 μm :-12 • Chaleur d'hydratation à 41 h ≤270 j/g • Surface spécifique de Blaine ≥3500cm²

E- CEM I 52.5 N Ciment Portland à haute résistances NA 442/2013

C'est un ciment gris, contenant 95 % de clinker ordinaire il est compose de C₃S ≥ 60% et C₃A ≥ 7%



Figure III-14 : Sac de ciment CEM I 52.5N.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM I 52.5N. Sont donnés dans le tableau (III-14)

Tableau III-14 : Caractéristiques de CEM I 52.5N.

Les propriétés chimiques	Les propriétés physiques
<ul style="list-style-type: none"> • Les sulfates (SO₃) ≤ 3.5% • Perte au feu ≤5% • Les chlorures cl ≤0.1 % • l'oxyde de magnésium MgO ≤3% • Insolubles ≤ 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> ➤ 02 jours ≥20 MPa ➤ 28 jours ≥52.5 MPa • Consistances normale : 28.0% • Début de prise >45 min • Expansion à chaux ≤10 mm • Fin de prise > 250 min • Refus sur tamis 45 μm : 8-12 % • Chaleur d'hydratation à 41 h ≤270 j/g • surface spécifique de Blaine ≥3500 cm²/g

F- CEM I 42.5 N- SR5 Ciment Portland résistant aux sulfates NA 442/2013

C'est un ciment gris résistant aux sulfates, contenant 95% clinker de faible taux d'aluminates de calcium (C₃A) et 5% de gypse en tant que régulateur de prise.

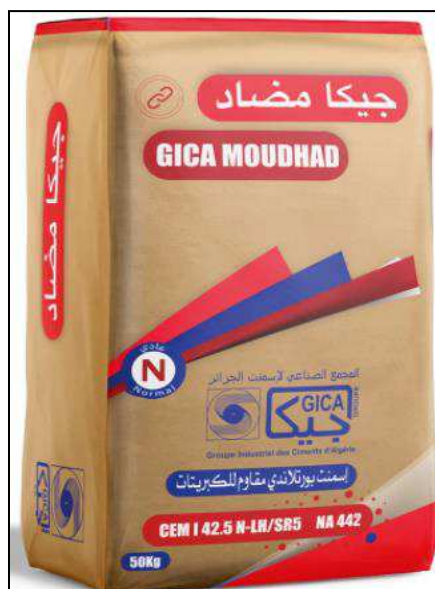


Figure III-15 : Sac de ciment CEM I 42.5N SR5.

➤ Caractéristiques chimiques et physico-mécaniques

Les propriétés du CEM I 42.5N SR5.sont donnés dans le tableau (III-15)

Tableau III-15 : Caractéristiques de CEM I 42.5N SR5

Les propriétés chimiques	Les propriétés physiques et mécaniques
<ul style="list-style-type: none"> • Les sulfates (SO₃) ≤ 4% • Perte au feu ≤ 5% • Les chlorures cl ≤ 0.1 % • L'oxyde de magnésium MgO ≤ 3% • Insolubles ≤ 5% 	<ul style="list-style-type: none"> • Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> • 02 jours ≥ 10 MPa • 28 jours ≥ 42.5 MPa • Consistance normale : 28.0% • début de prise > 60 min • Expansion à chaud ≤ 10 mm • fin de prise > 250 min • Refus sur tamis 45 μm : 8-12 % • Chaleur d'hydratation à 41 h ≤ 270 j/g • surface spécifique de Blaine ≥ 3500 cm²/g

4. Société De Ciments Saida (SCIS.dz)

✓ Historique

-En 1975, et après finalisation des études, le projet dont le coût de réalisation s'est élevé à 652 millions dinars a fait l'objet d'accords signés avec deux sociétés étrangères KAWASAKI (Japon), pour les parties installations et équipements de production ACEC (BELGIQUE) pour la partie électrique.

-En 1979, entrée en exploitation de la cimenterie (le premier sac de ciment)

En 1991, le complexe ciment et chaux a été restructuré en deux 02 unités :

- L'unité ciment
- L'unité chaux

-En 1997, création de la Société des Ciments de Saida (S.C.I.S), suite à la filiation de l'Entreprise Régionale des Ciments et Dérivés de l'Ouest (E.R.C.O). Le capital social, détenu à 100% par le groupe E.R.C.O, a été porté à 1.050.000.000 DA. La société est dirigée par un Directeur Général qui est le Président du Conseil d'Administration.

-En 2010, dissolution du groupe ERCO auquel été filialisée la société et création d'un groupe national : groupe industriel des ciments d'Algérie (GICA) comme filiale de celui-ci

✓ Localisation

La Société des Ciments de Saida (S.C.I.S) est implantée dans la daïra de Hassasna de la wilaya de Saida. Elle est située à 02 km de Hassasna et à 20 km de Saida. Elle exploite deux (02) gisements, un de calcaire situé à 2km de l'usine, un autre d'argile située à environ 25km à l'Ouest-Sud- de l'usine

✓ Activité

La principale activité de la Société est la production et commercialisation du ciment Portland avec ajouts (calcaire) (CEM II/A-L 42.5 N) .Le procédé utilisé pour sa production est la voie sèche.

✓ Matières Premières

Les matières premières et les ajouts utilisés pour la fabrication du ciment sont donnés dans le tableau (III-16) suivant :

Tableau III-16 : Caractéristiques de CEM II/A-L 42.5 N.

Les matières premières	Les ajouts
<ul style="list-style-type: none">• Calcaire : 75±1• Argile : 24±1• Minerais de Fer : 1± 0.5	<ul style="list-style-type: none">• Gypse: 5-6%• Calcaire: 6-20 %

5. Société des Ciments de Tébessa (SCT.dz)

La SCT Est Une Entreprise Publique Economique, Filiale Du Groupe GICA. La Société est la production et commercialisation du ciment avec un :

1. Capital Social : 2 700 000 000.00 DA.
2. Forme Juridique : Société Par Action (SPA).
3. Composée De 2 Unités :
 - Cimenterie d'Elma-Labiod.
 - Unité Commerciale.

✓ **Produit fabriqué**

A- **CEMI 42.5N /SR5 NA442/2013** Ciment portland résistant aux sulfates

➤ Analyse chimiques

L'analyse chimique du CEM I 42.5N SR5 est donnée dans le tableau (III-17)

Tableau III-17 : Caractéristiques de CEM I 42.5NSR5.

Eléments	Teneurs
SiO₂	20.99
AL₂O₃	4.30
Fe₂O₃	4.18
CaO	64.36
MgO	1.14
SO₃	2.34
CL	0.002
P.A.F	1.95
RI	0.40
C₃A	4.32
C₄AF	12.71

➤ Caractéristiques physico-mécaniques

Les propriétés du ciment Caractéristiques de CEM I 42.5NSR5 sont données dans le tableau (III-18)

Tableau III-18 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEM I 42.5NSR5.

Caractéristiques Physiques	Caractéristiques Mécaniques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise >02h05 min • Expansion à chaux ≤03h28 mm • Fin de prise >30 min 	Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> • 02 jours ≥24MPa • 28 jours ≥ 55.6MPa

B- CEMIIB /M-(P-L) 32.5N NA 442/2013 CIMENT PORTLAND COMPOSE 32.5

➤ Analyse chimiques

L'analyse chimique du CEM II-B /M-(P-L) 32.5N. est donnée dans le tableau (III-19)

Tableau III-19 : Caractéristiques de CEM II-B /M-(P-L) 32.5N.

Eléments	Teneurs
SiO₂	20.71
AL₂O₃	5.53
Fe₂O₃	3.51
CaO	60.28
MgO	1.30
SO₃	2.61
CL	0.002
P.A.F	4.90
C₃A	8.71

➤ Caractéristiques physico-mécaniques

Les propriétés du ciment Caractéristiques de CEM II-B /M-(P-L) 32.5N. Sont donnés dans le tableau (III-20)

Tableau III-20 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEM II-B /M-(P-L) 32.5N.

Caractéristiques Physiques	Caractéristiques Mécaniques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise >02h15 min • Expansion à chaux ≤03h10 mm • Fin de prise >43 min 	Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> • 02 jours ≥28MPa • 28 jours ≥ 38.4MPa

C- CEMIIA/M-(P-L) 42.5 N NA 442/2013 Ciment portland composé

➤ Analyse chimiques

L'analyse chimique du CEMIIA/M-(P-L) 42.5 N. sont donnés dans le tableau (III-21)

Tableau III-21 : Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 N

Eléments	Teneurs
SiO₂	20.93
AL₂O₃	5.68
Fe₂O₃	3.54
CaO	59.86
MgO	1.35
SO₃	2.35
CL	0.002
P.A.F	4.82
C₃A	9.07

➤ Caractéristiques physico-mécaniques

Les propriétés du ciment Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 N. Sont données dans le tableau (III-22).

Tableau III-22 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 N.

Caractéristiques Physiques	Caractéristiques Mécaniques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise >02h05 min • Expansion à chaud ≤03h04mm • Fin de prise >40 min 	Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> • 02 jours ≥19.6MPa • 28 jours ≥ 47.8MPa

D- CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R NA442/2013 Ciment portland compose

➤ Analyse chimiques

L'analyse chimique du CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R. est donnée dans le tableau (III-23)

Tableau III-23 : Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R.

Eléments	Teneurs
SiO₂	20.05
AL₂O₃	5.68
Fe₂O₃	3.54
CaO	61.90
MgO	1.27
SO₃	2.11
CL	0.002
P.A.F	3.45
C₃A	9.07

➤ Caractéristiques physico-mécaniques

Les propriétés du ciment Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R. Sont données dans le tableau (III-24)

Tableau III-24 : Caractéristiques de Caractéristiques de CEMIIA/M-(P-L) 42.5 R.

Caractéristiques Physiques	Caractéristiques Mécaniques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise >01h50 min • Expansion à chaud ≤02h58mm • Fin de prise >40 min 	Résistances mécaniques à la compression : <ul style="list-style-type: none"> • 02 jours ≥23.3MPa • 28 jours ≥ 51MPa

6. Société des ciments de hamma bouziane (SCHB.dz)

✓ Présentation de la SCHB

La société des ciments de Hamma Bouziane «SCHB» filiale du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie « Groupe GICA» créé en avril 1998.

La Société des Ciments de Hamma Bouziane est certifiée ..., ISO 9001 V 2008 depuis 2007 et ISO 14001 V 2004 depuis 2016.

✓ Produit fabrique

A- Ciment portland a la pouzzolane CEM II/A-P 42,5 N

Le ciment CEM II/A-P 42,5 N est un ciment portland à la Pouzzolane 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.

➤ Composition :

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



Figure III-16 : Sac de ciment CEM II/A 42.5N.

Tableau III-25 : Caractéristiques de CEM II/A 42.5N.

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none"> • Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min • Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm • Résistance à la compression sur mortier en MPa <ul style="list-style-type: none"> • à 02 jours $\geq 10,0$ N/mm² • à 28 jours $\geq 40,0$ N/mm² 	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en Cl⁻ $\leq 0,10\%$ • Teneur en SO₃ $\leq 3,0\%$

7. Société des Ciments de Sigus (SCS.dz)

✓ Présentation de La Société :

La Société des Ciments de Sigus sise à la Daïra de Sigus, Wilaya de Oum El Bouaghi, est une filiale du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie (G.I.C.A).

La SCS est une société par actions détenues à 100% par le Groupe. Le Capital social de la société est : 3 000 000 000 DA

L'activité Principale de le SCSigus est la fabrication et la commercialisation des ciments,

✓ Localisation

La cimenterie est située à 5 km au Sud – Est de la Daïra de SIGUS, et à 40 Km au Nord-Ouest du chef-lieu de la wilaya d'Oum El Bouaghi.

✓ Produit fabriqué

A- CEM-I 42.5 R NA442-2013

➤ composition du ciment

- Clinker : 95%-100%
- Calcaire : 00%-05%
- Gypse : 00%-05%

➤ Analyse chimique

L'analyse chimique du CEM I 42.5 N. est donnée dans le tableau (III-26)

Tableau III-26 : Caractéristiques de CEM I 42.5N.

Analyse chimique	Teneur %
SIO ₂	20-22
AL ₂ O ₃	04-5.2
Fe ₂ O ₃	3.2-3.6
CaO	55-65
MgO	01-02
K ₂ O	0.3-0.6
Na ₂ O	0.04-0.1
CL	0-0.001

➤ Résistance à la compression (NA 234) :

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

B- CEM-I 42.5 N-SR5 NA442-2013

➤ composition du ciment

- Clinker : 95-100
- Calcaire : 00-05
- Gypse : 00-05

➤ Composition minéralogique du clinker

- Silicates tricalciques, C3S% [58-62].
- Silicates bicalciques, C2S % [14-19].
- Aluminate tricalciques, C3A% [03-05].
- Aluminoferrites tétra calcique, C4AF % [10-13].

➤ Analyse chimique

L'analyse chimique du CEM I 42.5 N. est donnée dans le tableau (III-27)

Tableau III-27 : Caractéristiques de CEM I 42.5N SR5

Analyse chimique	Teneur %
SIO ₂	20-22
AL ₂ O ₃	5-6
Fe ₂ O ₃	2-6
CaO	55-65
MgO	1-1.30
K ₂ O	0.3-0.6
Na ₂ O	0.1-0.16
SO ₃	1.8-2.5
CL	0-0.01
CaOl	0.8-2.2

➤ Résistance à la compression (NA 234) :

- 02 jours (Mpa) : 10 – 18 ;
- 28 jours (Mpa) : ≥ 42.5 .

C- CEM-II/A L42.5 N NA442-2013

➤ composition du ciment

- Clinker : 20-94
- Calcaire : 06-20
- Gypse : 00-05

➤ Analyse chimique

L'analyse chimique du CEM-II/A L42.5 N. est donnée dans le tableau (III-28)

Tableau III-28 : Caractéristiques de CEM-II/A L42.5 N.

Analyse chimique	Teneur %
SIO ₂	20-22
AL ₂ O ₃	4-6
Fe ₂ O ₃	3-3.6
CaO	55-65
MgO	1-2
K ₂ O	0.3-0.6
Na ₂ O	0.04-0.1
SO ₃	1.8-2.5
CL	0-0.001
CaOl	0.8-2.2

➤ Résistance à la compression (NA 234) :

- 02 jours (Mpa) : 10 – 20 ;
- 28 jours (Mpa) : ≥ 42.5 .

II.2 Les cimenteries 65% Algérienne

1. Société des ciments Béni-Saf (SCIBS) (scibs.dz)

✓ Historique

- 01jan1978 Réalisation de la cimenterie
- 01nov1978 Entre la production
- 03feb1979 Première sac de ciment
- 01dec1997 Constitué en SPA est appelée SCIBS
- 01jul2005 Partenariat et contrat de management Group PHARAON
- 17Jul2019 Fin de contrat avec Group PHARAON
- 16Aprl2020 Actuellement L'effectif total est de 410 employés, la production annuelle dépasse 1 000 000 tonnes de ciment

✓ Produit fabrique

A- CEM II/A-P 42.5 N

Le ciment produit par la SCIBS est de type CEM II/A-P 42.5 N Conforme à la norme NA442/2013.



Figure III-17 : Sac de ciment CEM II/A-P 42.5N.

➤ Domaine d'application

- Travaux nécessitant une résistance initiale élevée (décoffrage rapide)
- Béton en élévation armé ou d'ouvrage courant
- Fondation ou travaux souterrains en milieux non agressifs
- Dallages, sols industriels
- Stabilisation des sols
- Béton de haute performance.

➤ Fiche technique de CLINKER.

La composition minéralogique du clinker est donnée dans le tableau (III-29)

Tableau III-29 : Caractéristiques de Clinker.

	SiO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaOL
MIN	21.10	5.05	3.30	65.50	0.90	58.00	12.00	7.50	9.50	0.30
MOY	21.62	5.27	3.40	66.00	1.00	60.00	16.00	8.25	10.50	0.90
MAX	22.15	5.50	3.50	66.50	1.10	62.00	20.00	9.00	11.50	1.50

➤ Analyse chimique

L'analyse chimique du CEM II/A-P 42.5N. Sont donne dans le tableau (III-30)

Tableau III-30 : Caractéristiques de CEM II/A-P 42.5N.

Analyse chimique	MIN	MAX
SiO ₂	22.8	32.0
Al ₂ O ₃	5.2	6.2
Fe ₂ O ₃	3.2	3.6
CaO	52.0	62.0
MgO	1.02	1.2
K ₂ O	0.35	0.45
Na ₂ O	0.40	0.50
SO ₃	1.80	2.20
PF	2.0	2.8
CL	0.03	0.45
RI	6.0	12.0
CaOl	0.4	1.54

➤ Caractéristique physique et mécanique :

Les caractéristiques physico-mécaniques du CEM II/A-P 42.5N sont données dans le tableau (III-31)

Tableau III-31 : Caractéristiques de CEM II/A-P 42.5N.

Essais physico-mécanique	MIN	MAX	NORME
SS Blaine cm ² /g	2960	4200	-
Consistance %	25.5	26.8	-
Début de prise	80	160	>= 60mm
Compression 02	12.5	23	> 10.0
Compression 07	25	36	-
Compression 28	43	52	>= 42.5
Expansion à	0	8.5	<= 10mm

2. La Société des Ciments de Sour El Ghozlane (SCSEG.dz)

✓ Historique

26 aout 1980 Ouverture du chantier

25 Septembre 1983 Première production clinker

20 Octobre 1983 Première production ciment

05 Novembre 1983 Premier sac expédié

✓ Présentation et localisation

La Société des Ciments de Sour El Ghozlane (SC.SEG) filiale du Groupe Industriel des Ciments d'Algérie « GICA».

La cimenterie a été construite par F. L. Smidth Danemark, elle est implantée au niveau de la commune de Sour El Ghozlane au lieu dit Col de Beccouche à 900 m d'altitude, à une distance d'environ 25 km de l'autoroute est-ouest et à 120 KM de la capitale Alger ; Cette position géographique permet à la cimenterie de jouer un rôle économique important dans la région du centre.

✓ Produit fabriqué

A- Ciment Portland CEM II /A-M (P-L) 42,5N

Le ciment Portland CEM II /A-M (P-L) contient de 80 à 88 % de clinker, le reste est composé des constituants suivant repérés par les lettres P : pouzzolane et la lettre L : calcaire, la lettre N signifie une résistance à court terme ordinaire.

➤ Composition minéralogique du clinker

- Silicates tricalciques, C3S% [50-60].
- Silicates bicalciques, C2S % [15-20].
- Aluminates tricalciques, C3A% [05-08].
- Aluminoferrites tétra calcique, C4AF% [10-12].

➤ Analyses et propriétés physico- chimiques :

L'analyse chimique du CEM II /A-M (P-L) 42,5N. Est donnée dans le tableau (III-32)

Tableau III-32 : Caractéristiques de CEM II /A-M (P-L) 42,5N.

Analyses chimiques	Propriétés physiques
<ul style="list-style-type: none"> • Perte au feu % [4-6]. • Teneur en anhydride sulfurique SO₃% [1,5-2,5]. • Résidus insolubles % [5-8]. • Teneur en magnésie MgO % [1,5-2,5]. • Teneur en chlorure % ≤0.1 	<ul style="list-style-type: none"> • Consistance normale de la pâte de ciment% [25-26]. • Finesse : la méthode de Blaine (cm²/gr) [3800-4200]. • Expansion (mm) [0,00-0.1]. • Temps de prise à 20° C : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Début de prise (minute) [90 -160]. ➤ Fin de prise (minute) [270 -300]. • Résistance à la compression :(NA442/2013) <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2jours MPa [17-20] ➤ 28jours MPa [43.0-46.0]

B- Ciment Portland CEM I 42,5N

Le ciment Portland CEM I 42.5N contient au moins 97 % de clinker, le reste est composé de constituants secondaires. La lettre N signifie une résistance à court terme ordinaire.

- Composition minéralogique du clinker
 - Silicates tricalciques, C3S% [55-60].
 - Silicates bicalciques, C2S % [10-18].
 - Aluminates tricalciques, C3A % [6-8].
 - Alumino ferrites tétra calcique, C4AF % [10-12].
- Analyses chimiques
 - Perte au feu % [1.5-2.0].
 - Teneur en anhydride sulfurique SO₃ % [1,5-2.0].
 - Résidus insolubles % [1,5-2.0].
 - Teneur en magnésie MgO % [2.0-2.5].
 - Teneur en chlorure % ≤0.01.

C- Ciment Portland CEM I 52, 5N

Le ciment Portland CEM I 52.5N contient au moins 97 % de clinker, le reste est composé de constituants secondaires. la lettre N signifie une résistance à court terme ordinaire.

- Composition minéralogique du clinker
 - Silicates tricalciques, C3S% [55-60].
 - Silicates bicalciques, C2S% [15-18].
 - Aluminates tricalciques, C3A% [07-08].
 - Aluminoferrites tétra calcique, C4AF% [10-12].
- Analyses chimiques
 - Perte au feu % [1.0-1.5].
 - Teneur en anhydride sulfurique SO₃ % [1,3-1,5].
 - Résidus insolubles % [1.0-1.5].
 - Teneur en magnésie MgO % [1.5-2.0].
 - Teneur en chlorure % ≤0.01.

D- Ciment Portland à la pouzzolane CEM II/A-P 42,5N

Le ciment Portland CEM II /A-P contient de 80 à 94 % de clinker, le reste est composé des constituants suivant repérés par les lettres P : pouzzolane, la lettre N signifie une résistance à court terme ordinaire.

- Composition minéralogique du clinker
 - Silicates tricalciques, C3S% [54 -58].
 - Silicates bicalciques, C2S% [17 -20].
 - Aluminates tricalciques, C3A% [07 0-8].
 - Alumino-ferrites tétra calcique, C4AF% [11 -12].
- Analyses chimiques
 - Perte au feu % [1,8-3.2].
 - Teneur en anhydride sulfurique SO₃ % [1,6-1.8].
 - Résidus insolubles % [9-11].
 - Teneur en magnésie MgO % [1,5-2].
 - Teneur en chlorure ≤0.01%

E- Ciment Portland au calcaire CEM II/A-L 42,5N

Le ciment Portland CEM II /A- L contient de 80 à 94 % de clinker, le reste est composé des constituants suivant repérés par la lettre L : calcaire, la lettre N signifie une résistance à court terme ordinaire.

- Composition minéralogique du clinker
 - Silicates tricalciques, C3S% [55-65].
 - Silicates bicalciques, C2S % [10-20].
 - Aluminates tricalciques, C3A% [07-09].
 - Alumino-ferrites tétra calcique, C4AF % [10-12].
- Analyses chimiques
 - Perte au feu % [7-8].
 - Teneur en anhydride sulfurique SO₃ % [1,5-2].
 - Résidus insolubles % [1,7-3].
 - Teneur en magnésie MgO % [1,5-2].
 - Teneur en chlorure ≤0.01%.

F- Ciment Portland Composé CEM II/B-M (P-L) 32,5N

Le ciment Portland CEM II /B-M (P-L) contient de 65 à 79 % de clinker, le reste est composé des constituants suivant repérés par les lettres P : pouzzolane et la lettre L : calcaire, la lettre N signifie une résistance à court terme ordinaire.

- Composition minéralogique du clinker
 - Silicates tricalciques, C3S% [50-60].
 - Silicates bicalciques, C2S % [10-20].
 - Aluminates tricalciques, C3A% [07-08].
 - Alumino ferrites tétra calcique, C4AF % [10-12].

- Analyses chimiques
 - Perte au feu % [8-9].
 - Teneur en anhydride sulfurique SO₃% [1,7-1,9].
 - Résidus insolubles % [11-13].
 - Teneur en magnésie MgO % [2.0-2,5].
 - Teneur en chlorure ≤0.1%.

3. La société des ciments de Hadjar-Soud (SCHS.dz)

✓ Historique

1969 - signature du contrat par la SNMC pour la construction de la 1ère ligne

1972 - signature du contrat par la SNMC pour la construction de 2eme ligne

1973 - mise en service de la 1ère ligne de production (1350t clinker/jour)

2010 - création du groupe GICA

2012 - Quatre (04) filtres à manches sont installés au niveau des concasseurs et transporteurs pour minimisation d'émanation des poussières (Concasseur gp 120, Concasseur IMPACTOR, Tunnel 01 et Tunnel 02)

✓ Présentation

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 a 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 Hadja soud exploite 02 carrières, dénommées la carrière Calcaire de Djebel Safia et la carrière d'Argile de Oued el kebir. Celles-çi constituent les principales réserves en matières premières de la cimenterie de Hadjarsoud.

✓ Produit fabrique

A- CEM II/A-L42.5 N NA 442 SAC

Le ciment CPJ-CEM II/A 42.5 SAC est un ciment portland compose obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts.

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

➤ composition :

Le portland au calcaire CEM II/A- L 425.5 N est compose de :

- 80% à 94% de clinker
- 06% à 20% de calcaire
- 0 % à 05% constituant secondaire

➤ Caractéristiques Physique et mécaniques

Les caractéristiques physico-mécaniques du CEM II/A- L 425.5 N sont données dans le tableau (III-33)

Tableau III-33 : Caractéristiques de CEM II/A- L 425.5 N

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none">• Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min• Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm• Résistance à la compression sur mortier en MPa<ul style="list-style-type: none">• à 02 jours $\geq 10,0$ N/mm²• à 28 jours $\geq 40,5$ N/mm²	<ul style="list-style-type: none">• Teneur en Cl⁻ $\leq 0,10\%$• Teneur en SO₃ $\leq 3,0\%$

4. Société des Ciments de Zahana (SCIZ.dz)

✓ Historique

- Réalisation de deux (02) lignes de production à voie humid.
- Extension d'une ligne de production à voie sèche.
- Rénovation d'une ligne de production à voie humide mise en service en 1995
- Le deuxième four à voie humide de 1947 est à l'arrêt depuis 1988.
- 2007 : Ouverture du capital social de la société au profit de la société égyptienne ASEC CEMENT COMPANY
- En date du 31-12-2007, et suite à l'aboutissement du processus d'ouverture du capital social de la société, et ce en application de la résolution n° 02/8029/10/2007 du Conseil des Participations de l'Etat du 29 octobre 2007, relative à la cession d'actions au profit de la société ASEC Cement Company (Egypte) à hauteur 35%.

✓ Localisation

La société des ciments de Zahana dénommée « S.C.I.Z », filiale du G.I.C.A est implantée dans la wilaya de Mascara à proximité de la route nationale N°13.

✓ **Produit**

A- CEMII/A-P 42.5N CIMENT PORTLAND A LA POUZZOLANE

➤ Composition

- 80% à 94% de clinker
- 06% à 20% pouzzolane
- 0 % à 05% constituant secondaire

➤ Caractéristiques Physique et mécaniques

Les caractéristiques physico-mécaniques du CEM II/A- P 425.5 N sont données dans le tableau (III-34)

Tableau III-34 : Caractéristiques de CEM II/A- P 425.5 N

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none">• Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min• Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm• Résistance à la compression sur mortier en MPa<ul style="list-style-type: none">• à 02 jours $\geq 10,0$ N/mm²• à 28 jours $\geq 40,0$ N/mm²	<ul style="list-style-type: none">• Teneur en Cl⁻ $\leq 0,10\%$• Teneur en SO₃ $\leq 3,5\%$

B- CEM II/A-M (P-L) 42.5NCIMENT PORTLAND A COMPOSE

➤ Composition

- 80% à 94% de clinker
- 06% à 20% pouzzolane et calcaire
- 0 % à 05% constituant secondaire

➤ Caractéristiques Physique et mécaniques

Les caractéristiques physico-mécaniques du CEM II/A- P-L 425.5 N sont données dans le tableau (III-35)

Tableau III-35 : Caractéristiques de CEM II/A- P-L 425.5 N

Physiques et mécaniques	Caractéristiques chimiques
<ul style="list-style-type: none">• Début de prise à 20 °C mesuré sur pâte pure ≥ 60 min• Stabilité mesurée sur pâte pure ≤ 10 mm• Résistance à la compression sur mortier en MPa<ul style="list-style-type: none">• à 02 jours $\geq 10,0$ N/mm²• à 28 jours $\geq 40,0$ N/mm²	<ul style="list-style-type: none">• Teneur en Cl⁻ $\leq 0,10\%$• Teneur en SO₃ $\leq 3,5\%$

5. Société des Ciments de la Mitidja (S.C.MD) (gica.dz)

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 500000 tonnes, soit de 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 lamer, la carrière à 150 m. Ce 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).

➤ **Composition hypothétique du clinker (Bogue) :**

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

➤ **Caractéristiques Physico-mécaniques et chimiques**

Les caractéristiques physico-mécaniques du CEM I 42.5N-LH/SR5 sont donne dans le tableau (III-36)

Tableau III-36 : Caractéristiques de CEM I 42.5N-LH/SR5

Propriétés physiques	Propriétés chimiques
<ul style="list-style-type: none"> • 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 $\mu\text{m}/\text{m}$; • Expansion en mm : 0,3 – 1,5. <p>Temps de prise à 20 °C (NA 230) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Début de prise (min) : ≥ 75 ; • Fin de prise (min) : 220 – 290. <p>Résistance à la compression (NA 234) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 02 jours (Mpa) : 10 – 18 ; • 28 jours (Mpa) : ≥ 32.5. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perte au feu : 2.0 – 8.5 (%) • Résidus insolubles: 0,7 – 2,00 (%) • Teneur en sulfates SO₃: 1,80 – 2,40 (%) • Teneur en oxyde de magnésium MgO : 2,00 – 2,20 (%) • Teneur en chlorures:0,01 – 0,04 (%) • Teneur équivalent en alcalis : 0,4 – 0,58 (%)

III. Les émissions de l'industrie cimentaire en Algérie

En Algérie la production de ciment est une industrie de base. L'Etat a consenti de très importants investissements pour le développement de ce domaine.

Cependant le processus de fabrication du ciment engendre des incidences environnementales comme les émissions de gazes dangereuses (CO₂, NO_x, SO₂) mais surtout les émissions de poussières à tous les niveaux de la production. Les poussières des cimenteries Algériennes constituent le polluant principal de l'air et contribuent aux maladies respiratoires des employés et des habitants aux alentours des cimenteries [26].

1. Le gaz carbonique CO₂

Le gaz carbonique CO₂ n'est pas toxique, mais en proportion élevé dans l'atmosphère risque de provoquer un effet de « serre » et donc un réchauffement de l'atmosphère terrestre avec pour conséquence une fusion des glaces polaires et de ce fait une remontée des niveaux des océans submergeant les cotes à basse altitude [27]

- Formation du gaz carbonique

-La formation du gaz CO₂ carbonique résulte de la combustion complète de tout composé carbone avec parfois étape Intermédiaire de la formation de l'oxyde de carbone puis de sa combustion selon les deux réactions suivantes dont la seconde est très lente et ne joue aucun rôle dans le mécanisme de la formation du CO₂ :



2. L'oxyde d'azote NO_x

Le terme oxyde d'azote, désigné par NO_x, regroupe le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO₂) et le protoxyde d'azote (N₂O) formés au cours des réactions de combustion. Dans les conditions de fonctionnement industrielles, le NO est généralement l'espèce majoritaire, le N₂O étant émis en quantités infimes et le NO₂, étant un intermédiaire, formé à partir du NO et rapidement réduit en celui-ci.

Les mécanismes significatifs en termes de pollution industrielle sont donc ceux qui conduisent à la formation du NO. On en distingue actuellement cinq : le mécanisme du NO thermique (ou mécanisme de Zeldovich), le mécanisme du NO précoce (ou mécanisme du Fenimore), le mécanisme du N₂O intermédiaire, celui du NNH et enfin le mécanisme du NO de la combustion [28].

- Mécanisme du NO thermique Elaboré par Zeldovich en 1947, le premier mécanisme de formation du NO comprend la réaction suivante (Williams. F.A., 1985) :



Le mécanisme est désigné dans la littérature sous le nom de «mécanisme de Zeldovich simplifié». Dans les années 1970, une troisième réaction a été ajoutée au mécanisme original, particulièrement dans les conditions près de la stœchiométrie et les mélanges riches [28].



Conduisent au mécanisme de Zeldovich étendu.

3. Le dioxyde de soufre SO₂

Le dioxyde de soufre (SO₂) : Composé d'un atome de soufre et de deux atomes d'oxygène, le SO₂ est un gaz incolore, d'odeur piquante très irritante, plus lourd que l'air. Il est hydrosoluble et donne par réaction avec la vapeur d'eau l'acide sulfurique.

Le dioxyde de soufre ou anhydride sulfureux est le plus abondant des composés soufrés. Il provient de la combustion des combustibles fossiles (charbons, fiouls) au cours de laquelle les impuretés soufrées sont oxydées par l'oxygène de l'air en SO₂.

Ce polluant est émis par des sources mobiles et des procédés industriels (fabrication de l'acide sulfurique et des plastiques, raffinage du pétrole, grillage et frittage de minerais sulfureux tels que blende, galène, pyrites, etc.). Globalement, on peut considérer que la production thermique est le principal responsable des émissions de dioxyde de soufre dans l'atmosphère [29].

Ainsi, la combustion d'une tonne de fuel lourd de qualité moyenne est à l'origine d'une émission d'environ 50 kg de dioxyde de soufre.



PARTIE 02

CHAPITRE I : LES SILOS
EN BETON ARME

I.1 Introduction

Actuellement, Les structures de stockages des matières granuleuses sont très importantes à cause de la capacité de la production et l'adaptation aux besoins des marchés de l'Algérie. Cette méthode devient la plus connue pour une conservation à long terme.

Les groupes de silos en béton armé sont des structures couramment utilisées dans l'industrie cimentaire, où il est généralement nécessaire de séparer le stockage de différents types de matériaux.

La matière la plus convenable pour construire les colossaux bâtiments est le béton à cause de sa rigidité et sa longévité, il sera soumis à l'agression dans les milieux industriels et agricoles. Le calcul de ces structures, est lié au mode d'action des charges agissant sur les parois cylindriques.

Il existe plusieurs méthodes de calculs des silos qu'on citera dans ce qui suit.

I.2 Historique

Les silos sont apparus dans la première moitié du XIXe siècle aux Etats-Unis d'Amérique, leur développement progressif dans les grands pays exportateurs, ainsi la colonisation progressive du vieux monde et dans les campagnes dans le courant des années 1930 attestent de son caractère international, de la diffusion des modèles, des techniques et des idées.

➤ 1929-1936, Les premiers silos

La période 1929-1936 voit l'apparition des premiers silos à grain. Elle est marquée par leur découverte par les groupements agricoles, les architectes et les Ingénieurs du Génie Rural. C'est la période d'expérimentation.

➤ Le silo naît de la crise

En 1929, le silo n'existe pas dans le monde agricole. C'est le temps du négoce qui prospère depuis 1850 et le règne du magasin à sacs.

Dès 1927, survient la crise de mévente du blé plonge l'agriculture dans le marasme.

Le négoce est accusé de profiter de cette crise pour pratiquer une spéculation à la baisse au détriment de l'intérêt des producteurs.

En effet, le secteur des céréales est un des derniers secteurs de l'agriculture à ne pas disposer d'un regroupement de défense professionnel. Autrement dit, « c'est la faute à l'individualisme de l'agriculteur » qui n'est pas organisé et se trouve seul face à un réseau négoce structuré.

➤ Une expérience économique :

En 1932, le gouvernement et les associations agricoles tentent une expérience économique : le stockage et la vente échelonnée pour contrôler la cour du blé sur le marché. Les coopératives agricoles sont créées afin d'organiser la collecte du blé sur le territoire. Les premiers silos sont financés par l'Etat à hauteur de 33% des dépenses. Entre 1932 et 1936, les coopératives et syndicats agricoles, soutenus par le gouvernement français, vont faire construire plus de 170 silos dans le pays.

De nos jours les silos sont utilisés pour divers stockages, et dans beaucoup de domaines.

I.3 Définition

Un silo est un réservoir destiné au stockage de particules granulaires solides. Dans la présente Prénorme, on suppose qu'il possède une forme verticale, et que les apports de matières se font par gravité depuis la partie supérieure. Le terme «silo» comprend toutes les formes de structures de stockage de particules solides pouvant par ailleurs être appelées caissons, trémies, caisses ou coffres [30].

Généralement ils sont de forme cylindrique et destinés à entreposer, à conserver, et à stocker des récoltes (dans la plupart des cas il s'agit de céréales, soit pour les consommer, soit pour les faire germer et les semer en suite).

Les silos sont construits en métal ou en béton armé. Ils comportent généralement des cellules juxtaposées de sections variables et de grande hauteur. Ils sont terminés à leur base par les mamelles de vidange, mais fermés à leur partie supérieure par un plancher sur lequel sont installés les appareils de remplissage [31].

I.4 Types de silos

Un silo est une structure utilisée pour stocker des matériaux en vrac, comme le ciment, le blé, les copeaux de bois...etc. Dans les grandes industries.

En fonction du matériau en vrac qu'ils transportent, les silos peuvent être de plusieurs types, tel que : les silos couloirs, les silos tours.

1. Silo couloir

- Ce type de silo est le plus simple de construction. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, c'est le modèle de silo le plus répandu. Il est généralement conçu avec un sol et des murs en béton. Il ne comporte pas de toit, et est ouvert des deux côtés afin de faciliter son remplissage. Il est surtout utilisé pour entreposer du fourrage.
- Il est possible d'y juxtaposer d'autres silos, permettant au constructeur de faire des économies sur les coûts de construction grâce à des murs mitoyens.
- Le silo couloir est facile à remplir et ne nécessite donc pas d'équipements particuliers par rapport d'autres types de silo. En outre, il dispose d'une certaine souplesse sur le volume stocké. Il est notamment possible de le sur-remplir en cas de rendement supérieur.
- En revanche, il est important de veiller à son étanchéité afin d'éviter toute altération des produits stockés. Un silo couloir doit donc être construit sur un sol bien drainé, car il est plus vulnérable aux aléas du temps. En général, les produits stockés sont couverts à l'aide d'une toile en Polyéthylène sur laquelle on dispose des pneus afin de pallier le vent.
- Il existe d'autres types de silo couloir, comme le silo fosse, enfoui partiellement ou totalement dans le sol, ou le silo taupinière. Ils sont principalement utilisés pour faire de l'Ensilage.



Figure I-1 : image d'un silo couloir.

2. Silo tour

- Il permet une meilleure conservation des produits, en plus de limiter leur perte. Ce type de silo est également plus simple à utiliser (il est inutile de bâcher et débâcher, ni de tasser). Et prend peu de place. Il est en revanche bien plus onéreux, et présente des risques d'accidents plus élevés.
- Les silos tour se découpent en plusieurs catégories :



Figure I-2 : image d'un silo tour.

a) Silo à fond plat

- C'est le type de silo le plus courant et le plus imposant, Il est utilisé en ferme comme dans l'industrie. Il peut mesurer jusqu'à 34 mètres cylindrique de hauteur, et 32 mètres de largeur. Les silos à fonds plats disposent d'une très grande capacité, pouvant aller jusqu'à 34 000 mètres cubes.
- On peut généralement installer de la manutention fixe sur leur chapeau de toit, telle que des passerelles.
- Sa construction nécessite la mise en place une bague périphérique et d'une dalle pour le fond du silo, ainsi que des conduits de ventilation et de décharge. Dans le cas d'un silo de très grande capacité, il est nécessaire de construire des aménagements supplémentaires pour maintenir cette structure.
- Le silo à fond plat sert surtout à stocker des produits (notamment les grains) dans une optique de long terme.



Figure I-3 : image d'un silo à fond plat.

b) Silo à fond conique

- D'un diamètre généralement plus petit que ceux à fond plat (maximum 12 mètres de hauteur pour une capacité de 3450 mètres cubes), le silo à fond conique peut être assigné à de nombreuses applications industrielles. Il stocke notamment des

matières fluides (grains, pellets, plaquettes, billes plastiques), mais peut également être utilisé comme boisseau, unité de transit, ou encore silo vert pour les produits en attente de séchage.

- Il permet en principe l'entreposage de produits fragiles, pouvant être affectés dans un processus de déchargement.
- C'est un type de silo avec une construction particulière. Le fond est construit différemment du silo à fond plat, afin de diminuer son poids, ce qui permet d'élever le fond par rapport au sol. Ainsi, le produit stocké est isolé du sol, ce qui empêche l'humidité d'entrer et préserve le produit. L'accent est également mis sur la ventilation.
- Le silo conique peut être utilisé pour stocker des produits très sensibles à l'humidité.



Figure I-4 : image d'un silo à fond conique.

c) Silo modulaire :

- C'est un silo de forme rectangulaire. Bien que sa capacité de stockage ne soit pas aussi impressionnante qu'un silo à fond plat (Entre 1000 et 15 000 mètres cubes), il permet de mieux optimiser l'espace de stockage, c'est-à-dire que plusieurs silos modulaires prendront moins de place qu'un unique silo à fond plat pour la même capacité de stockage.
- Ce type de silo est donc tout particulièrement indiqué dans les zones urbaines, où l'économie de place prend beaucoup plus d'importance qu'en zone rurale.



Figure I-5 : image d'un silo modulaire.

d) Autres silos :

- De nombreux autres types de silos existent, mais il n'existe pas vraiment de normes pour leur forme, qui dépend par conséquent beaucoup de la vision du constructeur, ou des besoins de l'utilisateur. On peut citer parmi les plus connus le silo monobloc, conçu pour être étanche et destiné à des volumes de stockage plus modestes, mais également les silos divisibles, destinés aux personnes souhaitant disposer d'un grand volume de stockage, mais qui doivent entreposer de nombreux produits différents.



Figure I-6 : les différentes formes et types de silo.

I.5 Classification des silos

Pour le dimensionnement de la structure, il est préférable de classer les silos en quatre catégories, en utilisant le système BMHB [32]

- ✓ Classe 1 : Petits silos supportant moins de 100 tonnes. Ils sont de conception simple et robuste avec le plus souvent des réserves substantielles de résistance
- ✓ Classe 2 : Silos intermédiaires, supportant entre 100 et 1000 tonnes. Ils peuvent être calculés manuellement. Des précautions sont prises pour assurer un écoulement fiable et pour contenir les pressions prévisibles des parois.
- ✓ Classe 3 : Gros silos supportant plus de 1000 tonnes. Des connaissances spéciales sur les coffres sont requises pour prévenir les problèmes dus à des incertitudes d'écoulement, de pression et de comportement de la structure. Des analyses sophistiquées par éléments finis peuvent être justifiées.
- ✓ Classe 4 : Silos vidangés de manière excentrique où l'excentricité de l'orifice de vidange est de plus de 0,25 fois le diamètre du silo (d).

➤ **On peut classer les silos suivant la matière ensilée**

La plupart des silos sont construits en acier ou en béton armé. Le choix économique repose aussi bien sur le coût de la matière première que sur les coûts de fabrication et de montage. D'autres facteurs tels que l'espace disponible sont également influents. Les principaux avantages des silos en acier sur ceux en béton armé coulés sur chantier sont [33] :

- Les silos en acier de petites à moyennes tailles peuvent être préfabriqués par conséquent, le temps de montage est considérablement plus court ;
- Les silos assemblés par boulonnage sont facilement démontables, transportables et reconstructibles ailleurs.

Le principal désavantage de l'acier est la nécessité d'une maintenance régulière pour limiter la corrosion et d'une application sur les parois d'un revêtement pour empêcher les

dégradations excessives. De plus ces parois sont soumises à la condensation, ce qui crée des dommages au matériau stocké qui sont putrescibles tels que les céréales et le sucre. [33]

La sélection du matériau structurel pour les parois des silos dépend de la géométrie de ces derniers. Une paroi verticale est sujette à des sollicitations à la fois verticales et horizontales.

Les forces verticales sont dues au frottement entre la paroi et le matériau stocké, tandis que les forces horizontales sont amenées par la poussée latérale du contenu. Le béton armé reprend les sollicitations verticales de compression avec aisance mais tend à rompre sous des sollicitations de traction causées par de fortes poussées latérales. Les silos circulaires en acier reprennent d'habitude facilement ces forces latérales par la mise en traction de la circonférence du silo. Par contre, ils sont plus facilement sujets au flambement sous des charges verticales excessives. L'augmentation des pressions horizontales et verticales avec la profondeur du matériau stocké est montrée sur la figure I-7.

Les augmentations de la pression horizontale sont négligeables au-delà d'une certaine profondeur et donc les silos en béton armé sont plus efficaces lorsqu'ils ont une bonne hauteur, alors que les silos en acier tendent à être moins hauts. [33]

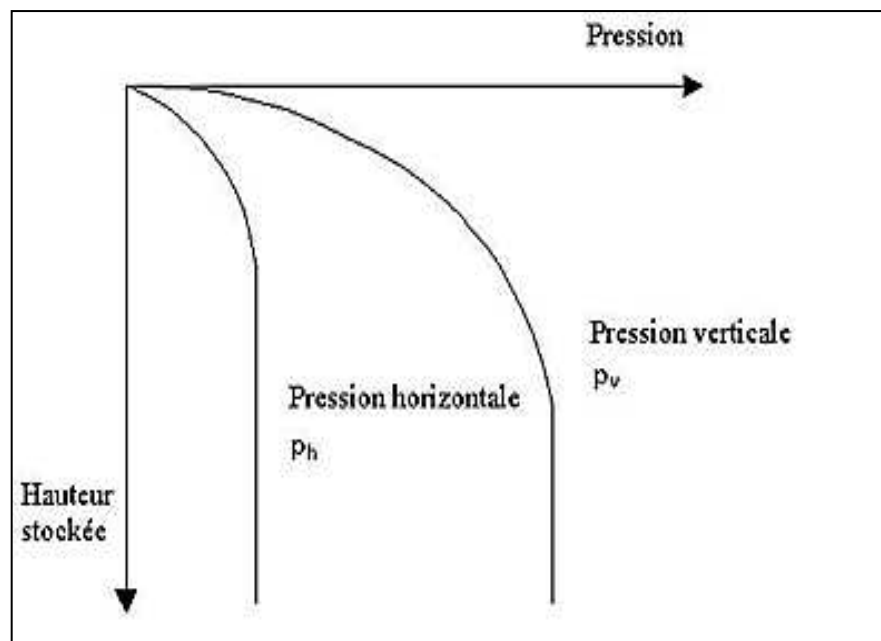


Figure I-7 : Distribution de la pression horizontale et verticale en fonction de la hauteur de matériaux stockés dans le silo.

➤ **On peut classer les silos suivant la taille et géométrie des silos**

La géométrie et la taille des silos dépendent des exigences fonctionnelles telles que le volume stocké, la méthode et le taux de vidange, les propriétés du matériau, l'espace disponible et les considérations économiques.

Les silos sont habituellement constitués d'une enveloppe verticale et d'un fond plat ou d'un fond ayant des parois inclinées appelées trémie.

Ils ont la plupart du temps une section circulaire, carrée ou rectangulaire et peuvent être construits isolés ou groupés. Des formes typiques de silos sont montrées sur la figure I-8.

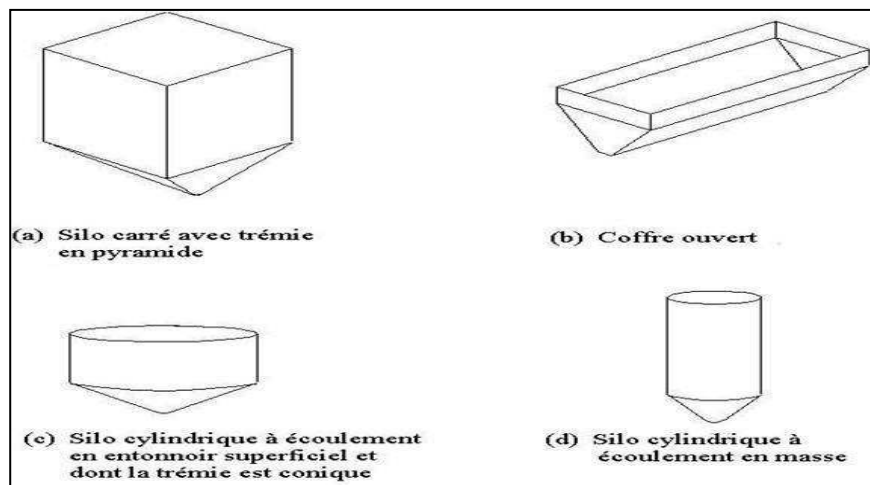


Figure I-8 : Formes de silos standards.

Les structures cylindriques sont plus efficaces que les autres pour des raisons d'économie de matière.

Mais pour une même hauteur donnée un silo carré permet le stockage de 27 % de plus qu'un silo cylindrique dont le diamètre est égal à un des côtés du silo carré. Les réservoirs à fond plat nécessitent une hauteur plus faible que les autres pour un même volume de matériau stocké.

La taille des silos est déterminée par les taux de remplissage et de vidange et par la quantité maximale de matériau à stocker. Un fort taux de vidange induit la présence d'une trémie profonde dont les parois sont inclinées. Des silos à fond plat sont utilisés lorsque le taux de vidange est faible ou lorsque le temps de stockage est long, que la vidange est peu fréquente et que le volume stocké est grand.

Le rapport entre la hauteur du silo et son diamètre a une influence sur les charges amenées par le matériau stocké et par conséquent sur le dimensionnement de la structure.

I.6 Terminologies des silos

- **Rayon hydraulique :**

C'est le paramètre de base pour caractériser la section droite :

$$rh = \frac{S}{L}$$

Avec :

S: Aire de la section droite.

L: Périmètre de cette section.

- **Surface de remplissage :**

C'est la surface qui rencontre la paroi du silo le long de la rive de remplissage.

- **Fond plat :**

Fond du silo horizontal présentant des parois inclinées, d'angle $\alpha \leq 20^\circ$

➤ **Trémie :**

Une trémie est une section convergeant vers le fond d'un silo. Elle sert à guider les matières vers un orifice de vidange par gravité

- **Plan moyen de remplissage :**

-C'est le plan horizontal qui délimite le même volume de produit que la surface de remplissage, il est pris pour origine de l'abscisse de profondeur **Z**.

-Considérant en général une surface de remplissage dont la rive de remplissage est située dans un plan horizontal.

-On désignera par **h'** l'abscisse de profondeur de cette rive par rapport au plan moyen de remplissage.

-Dans les cas usuels où la surface de remplissage est un cône de révolution. Une pyramide régulière dont les lignes de plus grande pente font l'angle β avec le plan horizontal.

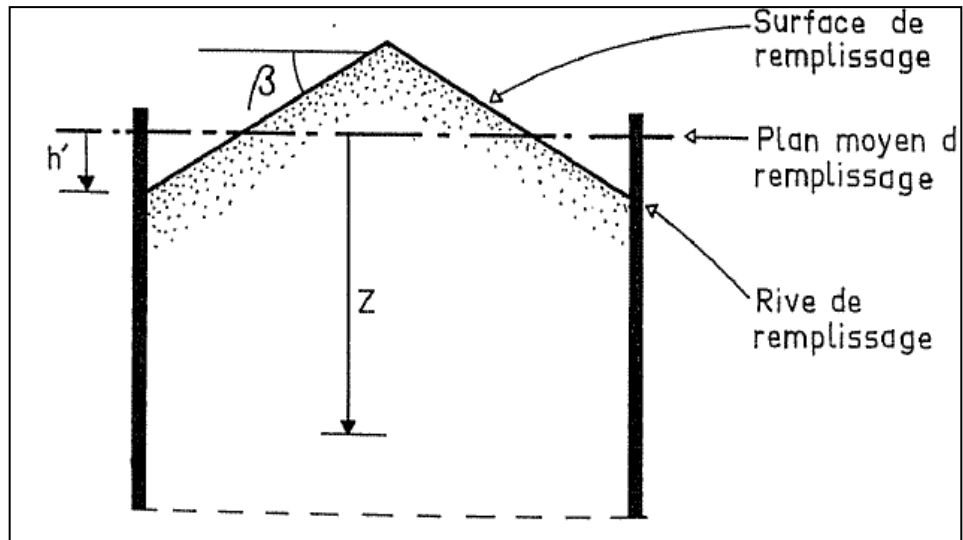


Figure I-9 : Surface, plan moyen et rive de remplissage (silo de section circulaire ou polygonale régulière).

- **Plan de base :**

C'est le plan horizontal le plus profond coupant le silo suivant sa section courante (figure I-9) ;

Pour les silos à fond plat et horizontal, le plan de base est le plan constituant le fond du silo.

Pour les silos à trémies, dont la naissance est située dans un plan horizontal, le plan de base est ce plan horizontal.

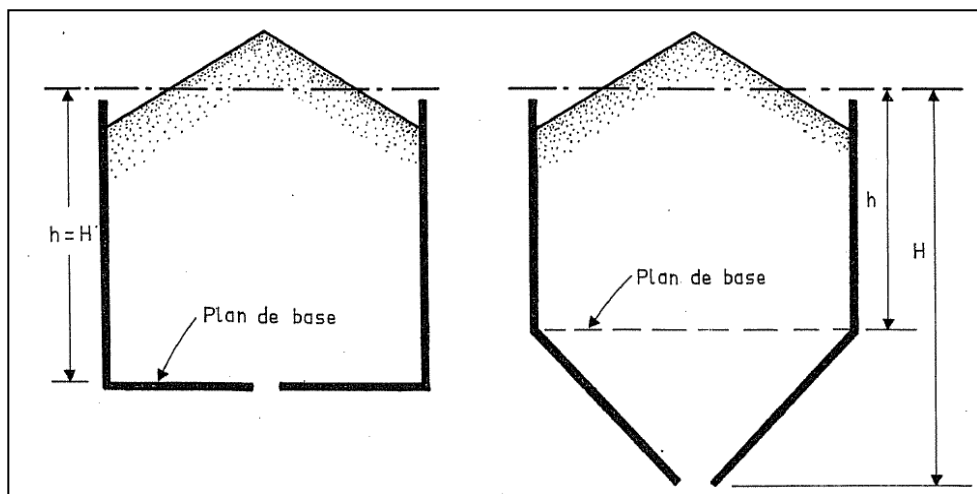


Figure I-10 : Plan de base.

- **Mode d'écoulement :**

- Écoulement en cheminée :

Mode d'écoulement dans lequel se développe une voie d'écoulement de matière dans une zone confinée au-dessus de l'orifice de vidange, la matière adjacente à la paroi à proximité de cet orifice restant en place.

La voie d'écoulement peut atteindre la zone à parois verticales ou s'étendre jusqu'à la surface libre de la matière ensilée.

- Écoulement interne :

Mode d'écoulement en cheminée dans lequel la voie d'écoulement atteint la surface libre de la matière ensilée.

- Écoulement en masse :

Mode d'écoulement dans lequel toute la matière ensilée est mobilisée lors de la vidange.

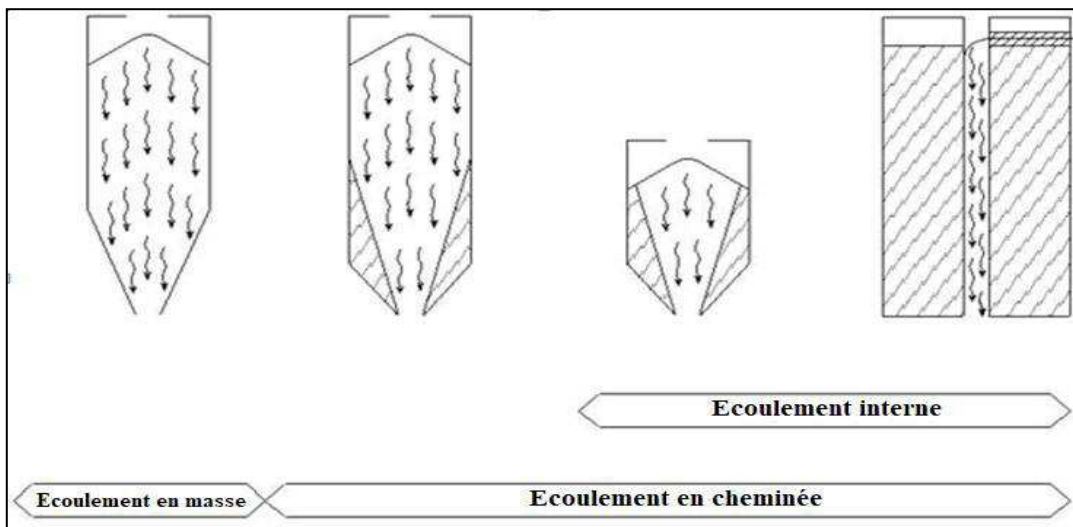


Figure I-11 : Mode d'écoulement.

I.7 Théories et normes de calcul des silos

I.7.1 Introduction

Les silos prennent plusieurs formes géométriques, carrées, rectangulaires, polygonales ; mais la forme la plus utilisée est la forme cylindrique, pouvant être fabriqués, soit en béton, soit en acier, à parois lisses ou striées. Les fonds des silos peuvent être plats ou à trémie centrée ou excentrée.

Pour parer aux quantités importantes produites de matières destinées à la vente ou au stockage, de nombreux silos ont été construits. La construction des silos de plus en plus économiques. Ceci a amené à la fin du XIXème siècle à des études dans le but de déterminer des méthodes analytiques, permettant de calculer les pressions latérales qui s'exercent sur les parois du silo et celles verticales, sollicitant le fond et ceci afin de mieux dimensionner ces silos. Parmi celles-ci, la théorie de Janssen (1895), complétée plus tard par Koenen sert de base à la plupart des normes de calculs existantes. D'autres plus récentes dues aux frères Reimbert (1956) ont permis de mieux affiner ces analyses.

I.7.2 Théories de calcul des silos

1. Théorie de Janssen et koenen

La détermination des pressions est un problème qui a été longtemps étudié, la première méthode proposée par Janssen connue sous le nom de méthode de tranche élément, consiste à trouver des solutions pour les équations différentielles correspondant à l'équilibre vertical dans la tranche horizontale des grains du silo.

Le rapport de pression horizontale à celle verticale p/q est fixé égal à $\frac{1-\sin \varphi}{1+\sin \varphi}$

Avec : φ : angle de frottement interne.

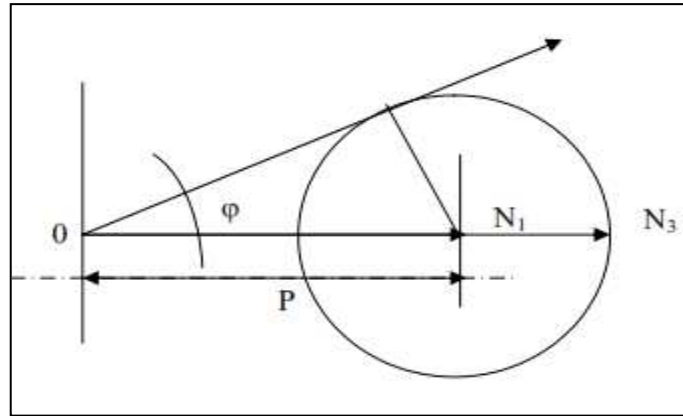


Figure 1-12: Détermination de la valeur de p/q.

Koen en a montré que c'était là le rapport des contraintes principales extrêmes dans le massif pulvérulent en équilibre limite, en considérant les matières pulvérulentes assimilables à un milieu isotrope, auquel on peut étendre la théorie suivante, laquelle l'équilibre du milieu a lieu, lorsque le cercle de Mohr, ayant pour points diamétraux les extrémités des contraintes principales extrêmes est tangent à la courbe intrinsèque, alors réduite à une droite inclinée de l'angle φ sur la normale à la surface de l'élément considéré.

En appelant P la moyenne des contraintes, le rayon du cercle de Mohr est : « $P \sin \varphi$ », d'où :

$$ON1 = p (1 - \sin \varphi)$$

$$ON3 = p (1 + \sin \varphi)$$

$$\frac{ON1}{ON2} = \frac{p (1 - \sin \varphi)}{p (1 + \sin \varphi)} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Janssen et Koen en ont donc écrit que le rapport étant égal à $K = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$ on avait :

$$q_{max} = P_{max} = \frac{1}{\tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)} = \frac{\delta r}{tg \varphi \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)}$$

q_{max}: la pression verticale moyenne maximale exercée par la matière granulaire ensilée sur la tranche horizontale ;

p_{max}: la poussée latérale maximale exercée sur les parois par la matière ensilée ;

φ' : l'angle de frottement sur les parois.

La pression horizontale s'écrit :

$$Ph = \frac{\gamma}{\mu} \cdot \frac{A}{U} (1 - e^{-\left(\frac{U}{K\mu}\right) \cdot Z})$$

Avec k : le rapport de pression horizontale à la verticale, égal à celui du coefficient de Rankine ;

δ : la densité des grains ;

μ : coefficient de frottement des grains avec les parois ;

A: surface intérieure de la section droite de la cellule du silo;

U: périmètre intérieur de la cellule suivant cette section.

Une étude expérimentale sur des silos profonds a montré que la théorie de Jansen peut donner de meilleurs résultats en calculant le coefficient **K** par :

$$K = 1 - \sin \varphi$$

Il a été rapporté que plusieurs investigations ont obtenu analytiquement :

$$\frac{1 - \sin \varphi}{1 - \sin \varphi'} < K < 1$$

2. Théorie des frères Reimbert

Il a été vu que la théorie classique du calcul des pressions exercées sur les parois d'un silo par la masse pulvérulente, était étayée sur l'hypothèse fondamentale de la constante du rapport **p/q** de la pression latérale à la pression verticale moyenne.

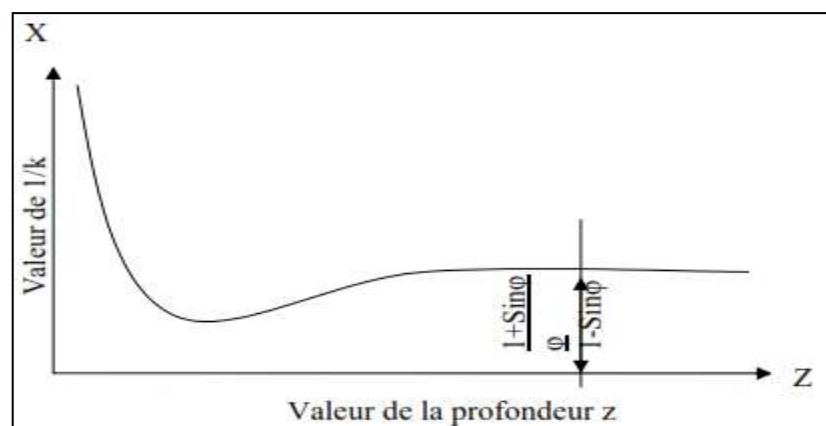


Figure 1-13: Variation de 1/K en fonction de la profondeur du stockage.

Si l'hypothèse classique de Janssen était exacte, une droite parallèle à l'axe z est donnée :

$$\frac{p}{q} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 - \sin \varphi'}$$

D'après Reimbert, la pression et la charge sur le fond sont en équilibre avec la force de frottement produite entre les grains avec la paroi, et Fz dépend de la profondeur considérée.

Sur la figure (Figure -4), on observe les principales dimensions d'un silo cylindrique.

On note que l'axe (z) définissant la profondeur a pour valeur initiale la cote supérieure du silo (sans le cône).

Le poids du cône supérieur d'ensilage est

$$Q_0 = \delta \cdot S \frac{h}{3}$$

Avec :

δ : est le poids spécifique de la matière ensilée.

S : est la section du silo.

h : est la hauteur du cône supérieur d'ensilage qui peut être exprimée comme $h = R \cdot \tan \varphi$

R : est le rayon du silo.

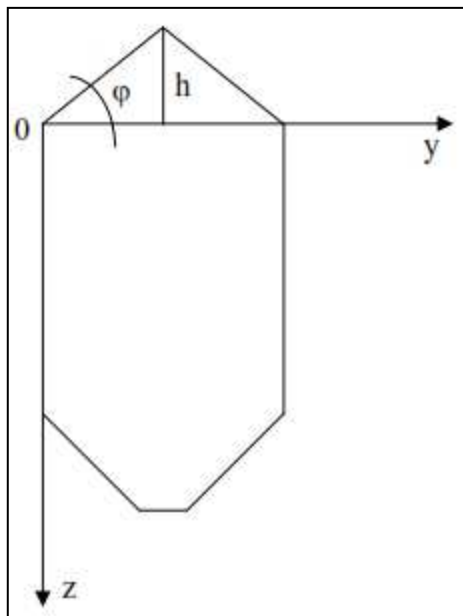


Figure 1-14 : Dimensions du silo cylindrique.

De même, comme Janssen, les frères Reimbert ont établi un équilibre de forces dans une section différentielle du silo, dz . Ce chemin détermine les pressions horizontales ph et verticales pv à une certaine profondeur :

$$ph = \frac{\frac{dFz}{dz}}{U \cdot \operatorname{tg} \varphi}$$

$$pv = \delta \left(Z + \frac{h}{3} \right) - \frac{Fz}{S}$$

Le coefficient K pourrait être exprimé en divisant les deux formules précédentes, il a été montré expérimentalement que la force F pourrait être exprimée en fonction de la profondeur (z) au moyen de la courbe suivante :

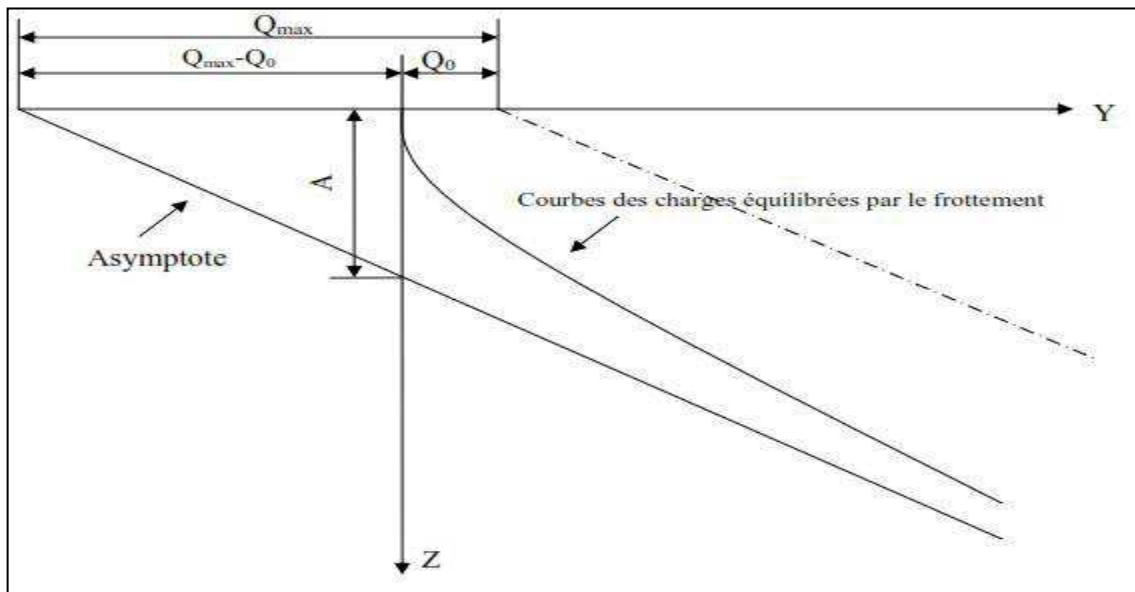


Figure 1-15 : Variation de la force de frottement en fonction de la profondeur.

$$A = \frac{Q_{max} - Q_0}{\delta \cdot S}$$

Q_{max} : pression verticale maximale ;

Q_0 : poids du cône supérieur d'ensilage.

La force de frottement peut être exprimée au moyen de l'équation :

$$F = \delta \cdot S \cdot \frac{Z^2}{Z + A}$$

Dans le cas d'un silo cylindrique, les expressions de **Reimbert** peuvent être exprimées comme suit :

Poussée latérale maximale :

$$P_{max} = \frac{r\delta}{tg\varphi'}$$

Abscisse caractéristique :

$$A = \frac{r}{tg\varphi' tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2}\right)} - \frac{h}{3}$$

Poussée latérale sur les parois à la profondeur (z) :

$$P_z = P_{max} \left[1 - \left(\frac{Z}{A} + 1 \right)^{-2} \right]$$

Pression verticale unitaire moyenne sur le fond à la profondeur z :

$$q_z = \delta \left[Z - \left(\frac{Z}{A} + 1 \right)^{-1} + \frac{h}{3} \right]$$

Charge unitaire équilibrée par le frottement à la profondeur z :

$$F = \delta \cdot S \frac{Z^2}{Z + A}$$

Cette théorie a été considérée dans quelques normes (ACI 313-77, 1983 ; ENV 1991-4, 2003), mais analytiquement, il a été démontré que les théories de Janssen et Reimbert étaient équivalentes, et qu'ils ont présenté seulement deux suppositions différentes au sujet du coefficient **K** (rapport de pression). D'après les résultats présentés par des auteurs différents, la théorie de Reimbert surestime les pressions latérales par rapport à celles prévues par Janssen. Aussi, non seulement la géométrie du silo est fondamentale, mais il existe une influence notable des paramètres qui définissent la matière entreposée.

La conclusion principale qui peut être tirée, est que dans le cas limite, la théorie de Reimbert surestime les valeurs et fournit des valeurs de pressions considérablement supérieures à celles réelles.

D'après la théorie des frères Reimbert, la valeur du coefficient **K** diminue avec la profondeur, alors que les résultats obtenus avec des programmes des éléments finis indiquent le contraire.

I.7.3 Les normes de calcul des silos

Les normes de calculs ont toujours fait face aux problèmes sollicitant les structures, où ces derniers peuvent être parfois incertains et malheureusement mal comprises, comme ceux touchant les silos. Face à l'importance de ce type de structure, et aussi face aux accidents qui augmentent chaque année lors de l'exploitation de ce type d'ouvrage, il a été clair qu'il faut avoir un règlement définitif qui fixe leur mode de calcul. Le comportement du silo est très complexe, surtout au niveau de l'interaction entre les parois et la matière, et le comportement des grains lui-même est un problème. Leur type d'écoulement ainsi que d'autres paramètres ne peuvent pas être fixés au niveau du calcul face au manque de l'information et de la recherche.

- Les normes de calculs actuelles des silos sont :
- La norme allemande DIN (1055-6) ;
- la norme américaine ACI 313-97 ;
- le standard international ISO-11697
- l'anglais BMHB ;
- l'Australien ;
- la norme Française ;
- l'espagnol NBE-AE 88 ;
- l'Eurocode ENV 1991-4.

Parmi toutes ces normes, le plus utilisé et le plus proche pour nous est certainement le code européen : l'Eurocode ENV 1991 ;

➤ **L'Eurocodes ENV 1991**

La partie 4 de l'Eurocode 1 permet de déterminer les actions exercées sur les parois d'un silo par le produit stocké dans un large domaine d'application, dont les principales limites sont rappelées ci-après :

- Le silo comporte un corps cylindrique à génératrices verticales, dont la section droite peut être circulaire, carrée, rectangulaire, en as de carreau, ou polygonale régulière à six côtés ou plus.

- le silo peut être à fond plat ou équipé d'une trémie ;
- la jonction entre paroi verticale et trémie est située dans un plan horizontal ;
- le remplissage, comme la vidange, peuvent être centrés ou excentrés ;
- les dimensions générales sont limitées comme suit :
 - Diamètre du cercle inscrit dans la section droite (d_c) : 60 mètres ;
 - Hauteur totale (h_t) depuis le niveau du plan moyen de remplissage jusqu'à l'orifice de vidange : 100 mètres ;
 - Rapport h_t/d_c limité à 0 ; aucune limitation inférieure de ce rapport n'est fixée : c'est dire que la partie 4 de l'Eurocode 1 permet de traiter des silos très trapus ;
 - les parois peuvent être constituées de différents matériaux ; pour le calcul des actions locales, on distingue deux familles de parois, les parois épaisses (ex : silos en béton), les parois minces ($d_c/t < 200$, ex : silos métalliques).

Seul le cas des matériaux à libre écoulement gravitaire est envisagé :

- Pas de matériaux à cohésion non négligeable dans lesquels des voûtes de décharge pourraient se former ;
- Pas d'équipement ou structure interne formant obstacle ou guidage à l'écoulement, à l'exception des tubes de vidange et aussi des tirants structurels des silos à section carrée ou rectangulaire.
- Le diamètre des particules des matériaux stockés est limité à $0.03 d_c$.

Différents paramètres interviennent dans la détermination des actions, où on peut les classer en trois catégories :

- Les caractéristiques géométriques du silo ;
- la classe de fiabilité retenue pour le silo calculé ;
- les caractéristiques du produit ensilé.

- **Les caractéristiques géométriques du silo**

Le premier paramètre géométrique qui intervient dans le choix de la méthode de détermination des actions exercées par le matériau stocké est l'élanement du silo, c'est-à-dire le rapport h/d de la hauteur h_c du corps cylindrique à génératrices verticales, comptée au niveau du remplissage au plan de jonction avec la trémie ou le fond plat, au même cylindre.

On distingue :

- Les silos élancés, pour lesquels h/d est supérieur ou égal à 2,0 ;
- les silos moyennement élancés, pour lesquels h/d est compris entre 1,0 et 2,0 ;
- les silos plats, pour lesquels h/d est compris entre 0,4 et 1,0 ;
- les silos magasins, pour lesquels h/d est inférieur ou égal à 0,4.

Les lois de détermination des actions sur les parois verticales différentes suivant le type de silo.

La deuxième famille de paramètres géométriques qui interviennent est constituée de :

- L'excentrement du sommet du talus de remplissage, désigné e_f , par rapport à l'axe du corps cylindrique à génératrices verticales ;
- l'excentrement de l'orifice de vidange, désigné e_0 , par rapport au même axe.

Le troisième paramètre géométrique qui intervient est la pente du fond du silo. C'est un élément déterminant dans le calcul des actions exercées sur ce fond. On utilise la section 6 de l'EN 1991-4 ou les règles alternatives données par son annexe **H** (informative).

Dans la section 6, on distingue :

- fond plat : fond dans l'angle sur l'horizontale est limité à 5° ;
- trémie à faible pente ;
- trémie à forte pente.

La limitation entre faible et forte pente est fonction de la matière ensilée et de son coefficient de frottement sur la paroi de la trémie.

Le calcul des actions sur le fond diffère suivant la catégorie de celui-ci :

- Pour les fond plats : cf. EN 1991-4, 6.2 ;
- pour les trémies à forte pente cf. EN 1991-4, 6.3 ;
- pour les trémies à faible pente : cf. EN 1991-4, 6.4 ;

- **Classe de fiabilité**

La partie 4 de l'Eurocode 1 conduit à distinguer trois classes de fiabilité. L'attribution d'une classe de fiabilités 1, 2 ou 3 à un ouvrage a des conséquences sur l'évaluation des actions : les méthodes d'évaluation sont d'autant plus précises que la classe retenue est élevée. En classe 1, la norme autorisée des approximations qu'elle ne permet plus en classe 2 et moins encore en classe 3 [34].

Tableau I-1 : Classement des silos en fonction de la capacité et d'excentricité de décharge ou remplissage [34].

Classe de fiabilité	Description
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les silos dont la capacité dépasse 10000 tonnes • Les silos dont la capacité dépasse 1000 tonnes et ayant une des caractéristiques suivants : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Vidange excentré avec $e_0/dc > 0.25$ ➤ Silo magasin avec surface, telle que $e_0/dc > 0.25$
Classe 2	Tous les silos qui ne sont ni de classe 3, ni classe 1
Classe 1	Silos dont la capacité est inférieure à 100 tonnes

➤ **Caractéristiques des produits ensilés**

Les actions exercées sur les parois dépendent évidemment de la nature du produit ensilé et donc de ses caractéristiques. Celles utilisées dans le calcul des actions suivantes :

- Le poids spécifique γ du produit ensilé, en **KN/m³**, dont seule la valeur caractéristique supérieure est utilisée dans les calculs ;
- l'angle de frottement interne θ_i : sa valeur moyenne est θ_{im} et le facteur de corrélation qui permet de calculer les valeurs caractéristiques supérieures et inférieures est a_θ , soit, respectivement : $a_\theta \theta_{im}$ et θ_{im} / a_θ ;
- l'angle du talus naturel ;

-le coefficient de frottement μ contre la paroi : sa valeur moyenne est μ_m et le facteur de corrélation est $a\mu$; les valeurs caractéristiques supérieures et inférieures sont respectivement $a\mu_m$ et $\mu_m/ a\mu$;

- le coefficient de frottement contre la paroi dépend à la fois du matériau ensilé et de la nature de la paroi du silo pour laquelle, on distingue quatre classes de rugosité [35].

Tableau I-2:Classification des silos d'après la rugosité des parois [34].

Catégories	Intitule	Exemples
D1	Frottement faible Paroi glissante	Parois lisse en acier inoxydable pli Paroi lisse en aluminium Paroi avec revêtement glissant
D2	Frottement modère Paroi lisse	Paroi lisse en acier noir inox non pli Paroi lisse en acier galvanise Parois avec revêtement anticorrosion ou abrasion
D3	Frottement fort Paroi rugueuse	Paroi en acier « âge » ou résistant à l'abrasion Paroi en béton Tuiles céramiques
D4	Paroi irrégulière	Paroi a ondes horizontales Paroi non standard avec irrégularités importantes

- Le coefficient de pression latérale **K** dont la valeur moyenne est K_m et le coefficient de corrélation aK ; les valeurs caractéristiques supérieures et inférieures sont respectivement aK K_m et K_m/ aK ;

- une valeur approchée de K_m peut être obtenue par $(1 - \sin \phi)$;

- le facteur d'action locale Cop ;

Le tableau suivant montre la combinaison des différentes valeurs de propriétés mécaniques de la matière qui doivent être considérées pour chaque type de forces [35].

Tableau I-3 : Combinaisons des propriétés de la matière dans la détermination des différents types d'action [34].

		Coefficients de frottement sur paroi	Rapports de pression latérale	Angle de frottements interne
Paroi verticale	Pression maxi normal a la paroi	INF	SUP	INF
	Frottement maxi sur la paroi	SUP	SUP	INF
	Pression vertical maxi sur le fond ou les tirants	INF	INF	SUP
Tremie		Sur paroi trémie	Rapport de pression pour trémie F	
	Action maxi au remplissage	SUP	INF	INF
	Action maxi à la vidange	INF	SUP	SUP

I.7.4 Calcul des actions de la matière ensilé sur les parois du silo

A)- Présentation de l'ouvrage

➤ Géométrie et dimensions

Le silo qui on a étudié pour stockage de ciment. Le silo est une coque cylindrique de 24 m de hauteur et de 10 m de diamètre et 0.03m d'épaisseur, il contient une trémie de 3m dans la partie inférieure.

Au niveau 3m le silo contient une ouverture centrée de 1 m de diamètre. En bas du silo il y a une voie d'accès servant à l'installation des machines de vidange, l'entretien ainsi à l'accès des camions.

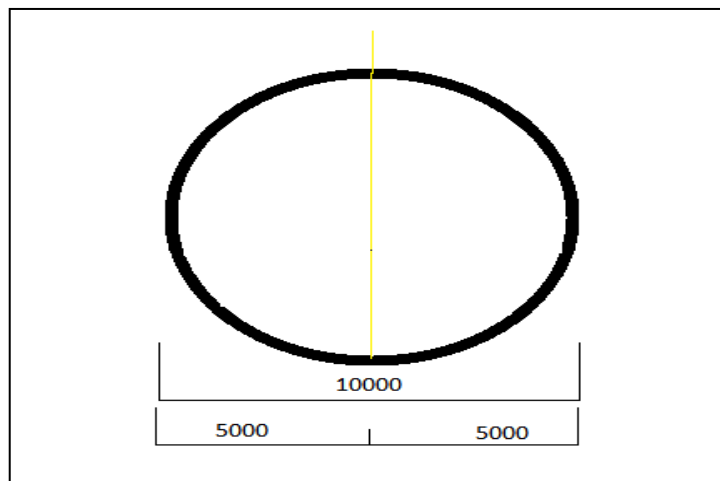


Figure I-16 : Vue en plan de silo.

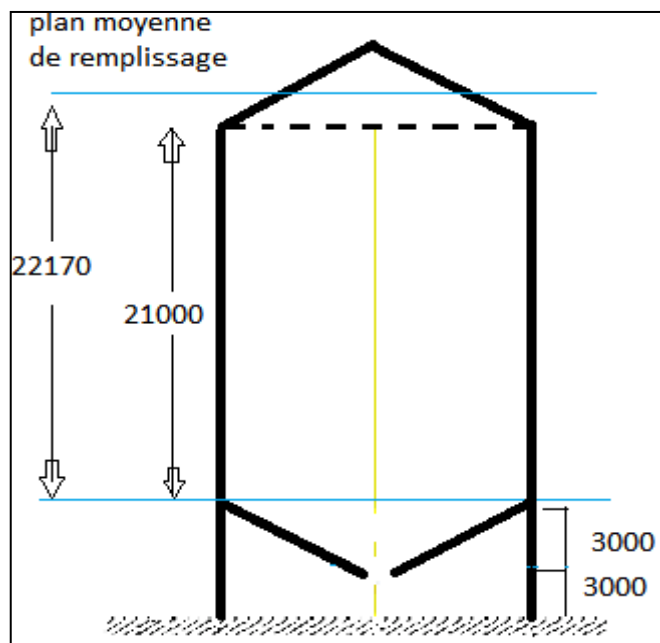


Figure I-17 : Coupe verticale de silo.

B)- Calcul du poids total du solide pour le calcul de la capacité de stockage du silo

$$h = 21 \text{ m}$$

$$D_c = 9.7 \text{ m}$$

Matériau ensilé : Ciment

$$\frac{h}{D} = \frac{21}{9.7} = 2.16 \text{ m}$$

La capacité volumétrique du silo pour le calcul de la capacité : $\gamma_{\text{inf}} = 13 \text{ kN / m}^3$

Angle de repos du solide : $\phi_r = 36^\circ$ (du tableau)

Hauteur du sommet du cône du solide stocké :

$$\triangleright hc = r \tan \phi_r = 4.85 \times \tan 36$$

$$hc = 3.52 \text{ m}$$

Capacité volumétrique du silo :

$$\triangleright V = \pi R^2 \left(h + \frac{hc}{3} \right)$$

$$V = \pi \times (4.85)^2 \left(21 + \left(\frac{3.52}{3} \right) \right)$$

$$V = 1638.56 \text{ m}^3$$

La valeur minimale de la capacité de stockage du silo

$$\triangleright C = 1638.56 \times 13$$

$$C = 21301.37 \text{ Kn}$$

$$C = 2130.137 \text{ tonnes}$$

Calcul du poids total du solide pour le calcul structural et de la hauteur de la surface effective du solide : $\gamma_{\text{sup}} = 16 \text{ kn / m}^3$

La capacité volumétrique du silo:

$$\triangleright V = \pi R^2 \left(h + \frac{hc}{3} \right)$$

$$V = \pi \times (4.85)^2 \left(21 + \left(\frac{3.52}{3} \right) \right)$$

$$V = 1638.56 \text{ m}^3$$

La valeur maximale de la capacité de stockage du silo

$$\text{➤ } C = 1638.56 \times 16$$

$$C = 26216.96 \text{ Kn}$$

$$C = 2621.696 \text{ tonnes}$$

Hauteur à la base de la surface effective :

$$\text{➤ } H = (C / (\pi r^2))$$

$$H = (1638.56 / \pi 4.85^2)$$

$$H = 22.17 \text{ m}$$

C)- Valeurs appropriées du coefficient de frottement, rapport de pression latérale et le poids unitaire pour le calcul de la pression normale maximale sur la paroi à la base du silo

Classe de rugosité :

Matériau ensile : ciment

Silo : en Béton Armé :

$$\text{➤ } \mu = \mu_{inf} = \frac{0.51}{1.07} = 0.48$$

$$\text{➤ } K = K_{sup} = 0.54 \times 1.20$$

$$K = 0.65$$

$$\text{➤ } \gamma = \gamma_{sup} = 16 \text{ Kn/m}^3$$

✓ **La valeur au remplissage de la pression normale maximale sur le mur à la base du silo :**

$$P_{vf} = \left(\frac{\gamma A}{\mu K U} \right) (1 - e^{-zU/AKU})$$

✓ **Le rayon hydraulique :**

$$AU = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2}$$

$$P_h = K P_{vf}$$

$$P_h = P_0 (1 - e^{-z/z_0}) = P_0 \times CZ$$

✓ **La pression asymptotique :**

➤ $P_0 = (\gamma R / 2U)$

$$P_0 = (16 \times 4.58) / (2 \times 0.48)$$

$$P_0 = 80.83 \text{ kN /m}^2$$

✓ **La hauteur caractéristique de Janssen :**

➤ $Z_0 = (R) / 2uk$

$$Z_0 = 4.85 / (2 \times 0.48 \times 0.65)$$

$$Z_0 = 7.77 \text{ m}$$

La hauteur de la surface effective à la base du silo : $z = 22.17 \text{ m}$

➤ Le coefficient de pression :

$$C_z = 1 - e^{-z/z_0}$$

$$C_z = 1 - e^{-22.17/7.77}$$

$$C_z = 0.94$$

• **REPLISSAGE**

○ **La pression normale sur la paroi à la base du silo :**

➤ $Ph_f = C_z \times P_0$

$$Ph_f = 0.94 \times 80.83$$

$$Ph_f = 75.98 \text{ kn /m}^2$$

○ **La pression localisée de chargement est donnée par la relation :**

➤ $P_{pf} = 0.2 \times \beta \times Ph_f$

$$P_{pf} = 0.2 \times 1 \times 63.05$$

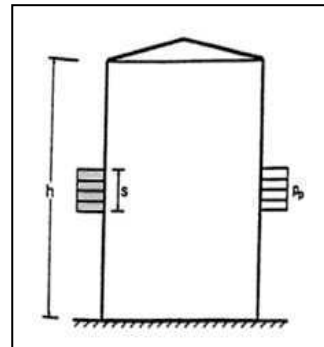
$$P_{pf} = 12.61 \text{ kn /m}^2$$

Quand la nature du chargement est concentrique on prend toujours $\beta = 1$
 $\beta = 1$: parce que le chargement et aussi le déchargement est concentrique.

- $\beta = 1 + 4 e_i / d_c$
Si $e_i = 0$ alors $\beta = 1$

- **La dimension verticale de la pression locale est :**

- $S = 0,2 d_c$
 $S = 0,2 \times 9,7$
 $S = 1,94 \text{ m}$



- **La force horizontale totale due à la pression localisée est donnée par la relation :**

- $F_{pf} = \left(\frac{\pi}{2}\right) \times s \times d_c \times p_{pf}$
 $F_{pf} = \left(\frac{\pi}{2}\right) \times 1,94 \times 9,7 \times 12,61$
 $F_{pf} = 372,74 \text{ KN}$

-
- **VIDANGE**

- **Calcul de la pression normale de déchargement (à la vidange) P_{he} :**

- $P_{he} = C_h \times P_{hf}$

Où : $C_h = C_0 = 1,40$: est le coefficient de pression d'écoulement pour le Ciment (voir tableau).

$$P_{he} = 1,40 \times 75,98$$

$$P_{he} = 106,37 \text{ kn/m}^2$$

Chapitre I : Silo En Béton Arme

- Valeur de la pression localisée de déchargement :

➤ $P_{pe} = 0,2 \beta P_{he}$

$$P_{pe} = 0,2 \times 1 \times 88.27$$

$$P_{pe} = 17.65 \text{ Kn/m}^2$$

- La force horizontale totale due à la pression localisée de déchargement est donnée par la relation :

➤ $F_{pe} = \left(\frac{\pi}{2}\right) \times s \times dc \times p_{pe}$

$$F_{pe} = \left(\frac{\pi}{2}\right) \times 2 \times 9.7 \times 17.65$$

$$F_{pe} = 537.85 \text{ kn}$$

H(m)	Z(m)	P0 KN/ m ²	Z0 (m)	Cz	Phf KN /m ²	Ppf KN/m ²	Fpf KN	Phe KN/m ²	Ppe KN/m ²	Fpe KN
22.17	0	80.83	7.77	0	0	12.61	372.74	0	17.65	537.85
19.17	3			0.32	25.86			36.20		
16.17	6			0.53	42.83			59.12		
13.17	9			0.68	54.96			76.94		
10.17	12			0.78	63.05			88.27		
7.17	15			0.85	68.70			96.18		
4.17	18			0.90	72.75			101.85		
1.17	21			0.93	75.19			105.66		
0	22.17			0.94	75.98			106.37		

Propriétés des matières ensilées :

Matériau	Poids volumique γ (KN/m ³)		Angle talus naturel \varnothing_r (deg)	Angle frottement interne \varnothing_i (deg)		Rapport pression latérale K		Coefficient de frottement sur la paroi μ				Coefficient de pression locale C_{op}
	γ_i (inf)	γ_u (sup)		\varnothing_{im}	a_{\varnothing}	K_m	a_K	D1	D2	D3	a_{μ}	
Blé	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5
Maïs	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Orge	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Sucre	8,0	9,5	38	32	1,19	0,5	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Ciment	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
....												
par défaut	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0

Caractéristiques des matières granulaires

Matière granulaire	Poids volumique ³⁾ γ [kN/m ³]	Rapport des pressions ($K_{s,m}$)	Coefficient de frottement sur la paroi μ_m		Coefficient maximal d'amplification C_o
			Acier ⁴⁾	Béton	
orge ¹⁾	8,5	0,55	0,35	0,45	1,35
ciment	16,0	0,50	0,40	0,50	1,40
clinker	18,0	0,45	0,45	0,55	1,40
sable sec ²⁾	16,0	0,45	0,40	0,50	1,40
farine ¹⁾	7,0	0,40	0,30	0,40	1,45
cendre volante ¹⁾	14,0	0,45	0,45	0,55	1,45
maïs ¹⁾	8,5	0,50	0,30	0,40	1,40
sucre ¹⁾	9,5	0,50	0,45	0,55	1,40
blé	9,0	0,55	0,30	0,40	1,30
charbon ^{1) 2)}	10,0	0,50	0,45	0,55	1,45



CONCLUSION

Conclusion

Le ciment est un matériau indispensable à la construction, la procédure pour son obtention est faite de quatre étapes indispensables, de la préparation des matières premières au stockage tout doit être respecté. Cependant il y a plusieurs types de ciments classés en fonction de leur teneur en clinker, ce dernier est le principal composant du ciment.

En Algérie, on produit le ciment dans différentes cimenteries situés dans différentes zones du pays. On cite des cimenteries 100% Algériennes, et d'autres 65% Algériennes. Ces dernières produisent principalement le ciment portland, utilisés dans différentes construction.

Pour l'amélioration de certaines propriétés du ciment, les industries utilisent des ajouts, dont les ajouts minéraux inertes et actifs ; les pouzzolanes naturelles, les cendres volantes, le laitier de haut fourneau granulé broyé et les fumés de silice en sont des exemples courants. Outre des raisons économiques ou écologiques l'utilisation des ajouts cimentaires apporte certaines caractéristiques au ciment tel qu'améliorer les caractéristiques rhéologiques des coulis (viscosité et stabilité), ainsi la résistance du coulis durci et augmenter sa durabilité. Ces ajouts peuvent être mis avec le béton, tant à son état frais que durci.

Le ciment est utilisé dans diverses constructions. Les silos, la construction traitée dans notre sujet. Ayant une forme verticale, ils sont faits exclusivement pour le stockage des matières poudreuse ou granuleuse. En effet les silos existent depuis 1929, jusqu'à nos jours. Il existe plusieurs types de silos, on cite des exemples ; les silos couloirs, les silos tours, silos à fond coniques, silos modulaires, etc....

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] Sacristan.N. 2019. Evaluation de brasques traitées comme ajouts cimentaires dans le béton. Mémoire de maitrise en génie de la construction. Ecole de technologie supérieure, Université du Québec. P 160.
- [02] Schneider. M., Romer. M., Tschudin. M, & Bolio. H. 2011. Sustainable cement production - present and future. Cement and Concrete Research. 41(7). 642-650.
- [03] http://www.lessilosmodernes.fr/?page_id=45
- [04] <https://www.febelcem.be/Fédération de l'industrie cimentière belge>
- [05] Roby.J. 2011. Propriété de bétons de cendres volantes provenant de l'incinération de boues de désencrage des usines de cogénération. Mémoire de maitrise : spécialité génie civil. Université de Sherbrooke Québec Canada.
- [06] DREUX. G, FESTA. J. « Nouveau guide du béton et de ses constituants » huitième édition ,2002.
- [07] infociment.fr
- [08] WESSELSKY. A, JENSEN. O,M. Synthesis of pure Portland cement phases, Cement and Concrete Research, 39, 973–980, 2009
- [09] Arrêté interministériel du 3 Rabie Ethani 1424 correspondants au 4 juin 2003 portant sur les spécifications techniques et les règles applicables aux ciments.
- [10] Bouglada Mohamed Salah, «Effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier », Mémoire Magister, Université de M'sila, Année 2007/2008.
- [11] Guammadi. Z et Houari. H. 2002. Influence de l'ajout de fines calcaires sur les performances des bétons dans l'Est algérien. EDITIONS ESKA. P 23-32.
- [12] Cimbéton. Guide de prescription du ciment pour des constructions durables. Paris. Octobre 2009.
- [13] Bouzoubaâ. N et Simon Foo <Utilisation de cendres volantes et de Laitier dans le béton : guide de règles de l'are, Laboratoire de la technologie des matériaux Janvier 2005.
- [14] PROPER. J.P, Quoted in the chemistry of Portland cement, by R. H. BOGUE,Reinhold publ. Cop. New York, 1995.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [15] DJOBO YANKWA Jean Noël, 2013 « effets de l'incorporation d'adjuvants minéraux sur les propriétés de ciments géopolyinères a base scories volcanique ». Mémoire de master en physico-chimie des matériaux minéraux.
- [16] LA WRENCE P. ,2000. «L'activité des cendres volantes et des additions minérales chimiquement inertes dans les matériaux cimentaires », thèse de doctorat. Université Paul Sabatier, Toulouse, 2000.
- [17] Kerbouche. A, M. Mouli, L. Laoufi, Y. Senhadji, S. Benosmane. 2009. Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers. Faculté des sciences, Laboratoire de Chimie des Polymères, Université d'Oran, Es-sénia, Oran. P 432-437.
- [18] SCAEK.dz
- [19] SCIS.dz
- [20] SCT.dz
- [21] SCHB.dz
- [22] SCIBS-dz.com
- [23] SCSEG.dz
- [24] SCHS.dz
- [25] GICA.dz
- [26] Henni-chebra. K, Bougara. A, Kassoul. A. 2011. Estimation des particules de poussières causées par l'industrie cimentière. Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION. N° :50-069. Université Hassiba Benbouali de Chlet, Algérie. P 2.
- [27] Fenimore. C.P. Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames. 1971. Volume 13. Pages 373-380.
- [28] Boubaaya. H, et Kharef. H. 2017. Caractérisation des paramètres de combustion d'un four industriel : cas de cimenterie de Dhalaa à Msila. Mémoire de Master. Univesité Mohamed Boudiaf, Msila. P 47, 52.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[29] Rebouh. S. 2011. Impact de la pollution de l'air provoquée par la cimenterie Tahar Djouad sur la santé publique et le cadre bâti –cas de Hammam Bouziane-. Mémoire de magister en Architecture. Université Mentouri de Constantine. P 36.

[30] FD ENV 1991-4 Eurocode 1.

[31] <http://inormac.free.fr/propo.htm>

[32] British Materials Handling Board, "Silos - Draft design code", 1987.

[33] Lahlou. D, 2017. Calcul et conception des silos et réservoirs métalliques. Université Mouloud Mammeri Tizi-ouzou. P 38, 39, 41.

[34] Normes européennes, ENV 1991-4 «Action sur les structures, partie 4, silos et réservoirs», 2003.

[35] Normes européennes, Normes françaises, NF EN 1991-1-1 «action sur les structures»,2003.

[36] Kermiche. S. Bousaid. O. Radjel. B. 2016. Comportement mécanique sous chargement statique des silos en béton armé fissurés et renforcés par un matériau composite. Volume 34. P 221- 223.

[37] lafarge.fr

[38] RECUEIL DES NORMES ALGERIENNES. SECTEUR DES TRAVAUX PUBLICS. Décembre 2010.