



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de chimie industrielle

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Science et technique
Filière : **Génie des procédés**
Spécialité : Génie chimique

Réf. : Entrez la référence du document

Présentée et soutenue par :
SADAoui Loubna

Le : mardi 28 juin 2022

ELABORATION D'UN CIMENT PETROLIER DE CLASSE G

Jury

Mme	DJEBABRA Sihem	MCB	Université de Biskra	Encadreur
Mme	HAMDI Ines	MCA	Université de Biskra	Président
Mme	REHALI Hanene	MCA	Université de Biskra	Examineur
Mr	AMRANI Belgacem	Ingénieur	Usine BISKKIA Ciment	Co-Encadreur

Année universitaire : 2021 - 2022

REMERCIEMENTS

*Je remercie beaucoup, et avant tout, le seul, le puissant et le grand "Allah",
pour la force et la puissance qui nous a donné tout au long de nos années
d'étude.*

*Je tiens à remercier les enseignants du département de chimie industrielle qui
ont participé à notre formation au cours de toutes nos années d'études, et
particulièrement, notre encadreur*

« M^{me} DJEBABRA Sihem »

Pour la confiance qu'elle m'a donnée et ses précieux Conseils.

*Je remercie chaleureusement les travailleurs de la société **S.P.A BISKRIA
CIMENT**, qui m'a ouvert leurs portes et donné l'opportunité de réaliser ce
projet et plus particulièrement **Mr A. Baiteche** le directeur de performance,
Mr B. Amrani, **Mr S. Rahmani** et toute l'équipe de performance et à tous ceux
qui m'ont aidé durant mon stage pratique.*

*Je remercie les membres de jury M^{me} **HAMDI Ines** et M^{me} **REHALI Hanene**
d'avoir accepté de juger mon présent travail.*

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

DEDICACE

*Pour que ma réussite soit complète je la partage avec tous les
personnes que j'aime, je dédie ce modeste travail à :*

*A mes parents qui voient aujourd'hui leurs efforts et leurs sacrifices
couronnés par ce rapport, Ils ont veillés à mon éducation avec un
amour infini et affection dont je ne recevrai pas d'égale.*

Que Dieu me permette de leur rendre au moins une partie.

A mon frère et ma sœur et mes cousins,

*Aucune dédicace ne saurait leur exprimer mes sentiments, Je leurs
souhaite beaucoup de bonheur et de réussite,*

A mes grands-parents,

A toute la famille SADAoui,

A tous mes amis et mes collègues sans exception,

A tous les enseignants de département de génie des procédés,

A tous ceux qui me sont chers.

« LOUBNA »

RESUME

Le présent travail visait à étudier la faisabilité de production d'un ciment pétrolier à partir des matières premières disponibles au niveau de la cimenterie S.P.A BISKRIA. Nous avons dans un premier temps préparé un échantillon du ciment (CEM I 42,5N /LH SR3) de Biskria ciment et on a effectué une série d'analyses 'chimiques, physiques et mécaniques', puis on a fait une comparaison entre les résultats obtenus de Biskria Ciment avec les exigences de la norme pétrolier américaine (API). Dans un second temps, nous avons déterminé la composition chimique pour l'ensemble des mélanges préparé par l'analyse FX et DRX au niveau de la cimenterie BISKRIA. Les différents calculs obtenus du ciment et la comparaison avec la norme pétrolière américaine (API) a montré qu'ils sont compatibles. Cette étude réalisée à l'échelle de laboratoire a montré qu'il y a une possibilité de fabriquer un ciment pétrolier au niveau de la cimenterie S.P.A BISKRIA.

الملخص:

يهدف هذا العمل إلى دراسة جدوى إنتاج الإسمنت البترولي من المواد الخام المتوفرة في مصنع بسكرية للإسمنت. قمنا أولاً بإعداد عينة من الاسمنت (CEM I 42.5N / LH SR3) من اسمنت بسكرية S.P.A واجرينا عليها سلسلة من التحليلات " الكيمائية والفيزيائية والميكانيكية " ثم قارنا النتائج التي تم الحصول عليها من شركة بسكرية للإسمنت مع متطلبات المواصفات البترولية الامريكية (API). في الخطوة الثانية، حددنا التركيب الكيمائي لجميع المخاليط التي أعدها تحليل XRF وDRX في مصنع الأسمنت BISKRIA. أظهرت النتائج المختلفة التي تم الحصول عليها من الأسمنت وبالمقارنة مع معيار البترول الأمريكي (API) أنها متوافقة. كما بينت الدراسة التي أجريت على نطاق المعمل أن هناك إمكانية لتصنيع الأسمنت البترولي في مصنع الأسمنت S.P.A BISKRIA.

ABSTRACT:

This work aimed to study the feasibility of producing a petroleum cement from the raw materials available at the S.P.A BISKRAI cement plant. We first prepared a sample of cement (CEM I 42.5N /LH SR3) from Biskria cement and carried out a series of 'chemical, physical and mechanical' analyses, then compared the results obtained from Biskria Ciment with the requirements of the American Petroleum Standard (API). In a second step, we determined the chemical composition for all the mixtures prepared by the FX and DRX analysis at the BISKRAI cement plant. The various calculations obtained from the cement and the comparison with the American petroleum standard (API) showed that they are compatible. This study carried out on a laboratory scale showed that it is possible to manufacture petroleum cement at the S.P.A BISKRAI cement plant.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
DEDICACE	
RESUME	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : GÉNÉRALITE SUR LA FABRICATION DU CIMENT	
I.1. La définition du BISKRIA ciment	3
I.1.1. Fiche signalétique.....	3
I.1.2. Les services.....	4
I.1.3. Les produits.....	4
I.1.3.1. CEM I 42.5 R Ciment Portland.....	4
I.1.3.2. Ciment portland aux ajouts type II.....	5
I.1.3.3. Ciment portland au calcaire.....	6
I.1.3.4. Résistant au sulfate à faible chaleur d'hydratation.....	7
I.2. C'est quoi le ciment ?	8
I.2.1. Définition.....	8
I.2.2. Principe de fabrication des ciments	9
I.2.3. Constituants de base du ciment.....	9
I.2.3.1. Matières premières	9
I.2.3.1.1. Calcaire.....	10
I.2.3.1.2. Argile.....	11
I.2.3.2. Matériaux de correction	11
c) Minerai de fer (Fe₂O₃).....	11
d) Sable.....	11
I.2.3.3. Les matières secondaires (Ajouts).....	12
- Le laitier.....	12
I.2.3.4. Produit semi-fini.....	12
I.3. Méthodes de fabrication du ciment	13
I.3.1. Principe de fabrication.....	13
I.3.2. Fabrication du ciment par voie sèche.....	13

I.3.2.1. Carrière.....	14
I.3.2.1.1. Extraction et préparation des matières premières.....	14
I.3.2.1.2. Concassage.....	14
I.3.2.2. Le Stockage de matière première.....	15
I.3.2.3. Pré-homogénéisation.....	16
I.3.2.4. Broyage cru.....	16
I.3.2.5. Homogénéisation.....	16
I.3.2.6. Préchauffage.....	17
I.3.2.7. Four rotatif.....	18
I.3.2.8. Refroidisseur.....	19
I.3.2.9. Stockage du clinker	19
I.3.2.10. Broyage ciment	20
I.3.2.11. Stockage ciment	21
I.3.2.12. Expédition.....	21

CHAPITRE II : LES TYPES DES CIMENTS

II.1. Ciments courants	23
II.1.1. Définition.....	23
II.1.2. Les constituants de base de ciments.....	23
II.1.2.1. Les constituants principaux.....	23
II.1.2.1.1. Clinker.....	23
II.1.2.1.2. Le laitier.....	23
II.1.2.1.3. Pouzzolane.....	23
II.1.2.1.4. Les cendres volantes (V et W).....	24
II.1.2.1.5. Les schistes calcinés.....	24
II.1.2.1.6. Les calcaires (L ; LL).....	24
II.1.2.1.7. La fumée de silice.....	25
II.1.2.2. Les constituants secondaires.....	25
II.1.2.3. Sulfate de calcium.....	25
II.1.2.4. Les additifs.....	25
II.1.3. Classifications de ciment.....	25

II.1.3.1. Selon la composition et notion de ciments.....	25
II.1.3.1.1. Le ciment Portland.....	25
II.1.3.1.2. Le ciment Portland composé.....	26
II.1.3.1.3. Le ciment de haut fourneau.....	26
II.1.3.1.4. Le ciment pouzzolanique.....	26
II.1.3.1.5. Le ciment composé	26
II.1.3.2. Classification des ciments en fonction de leur résistance.....	26
II.1.3.2.1. Ciments courants résistants aux sulfates	26
II.1.3.2.2. Ciments courants à faible résistance à court terme.....	27
II.1.4. Exigences mécaniques ; physiques ; chimiques et de durabilité.....	27
II.1.4.1. Exigences mécaniques.....	27
II.1.4.1.1. Résistance courante.....	27
II.1.4.1.2. Résistance à court terme.....	27
II.1.4.2. Exigences physique	27
II.1.4.3. Exigences chimique.....	28
II.1.4.4. Exigences durabilité.....	29
II.2. Les ciments spéciaux.....	30
II.2.1. Ciments à caractéristiques complémentaires.....	30
II.2.2. Ciments particuliers	30
II.3. Etude bibliographique sur le ciment pétrolier	31
II.3.1. Définition de ciment pétrolier.....	31
II.3.2. Caractérisation de ciment pétrolier.....	31
II.3.3. Classification des ciments pétroliers selon la norme API	31
II.3.4. Additifs pour les ciments pétroliers	33
II.3.5. Le ciment classe G	33
II.3.5.1. Domaines d'utilisations.....	34
II.3.5.2. Propriétés de ciment pétrolier classe G	34
II.3.5.2.1. Conditions chimiques.....	34
II.3.5.2.2. Conditions physiques.....	35
CHAPITRE III : RESULTAS ET DISCUSSIONS	
III.1. Méthodes et Matériels	38
III.1.1. Analyse chimique	38

III.1.1.1. Composition chimique par spectrométrie de fluorescence X	38
a) Appareillage.....	38
b) La préparation d'une pastille.....	38
III.1.1.2. Composition chimique par spectrométrie de rayon X.....	40
III.1.1.3. Détermination de résidu insoluble.....	41
a) Définition.....	41
b) Appareillage.....	41
c) Mode opératoire.....	42
III.2. Analyse physique.....	43
III.2.1. Perte au feu	43
a) Définition.....	43
b) Appareillage.....	43
c) Mode opératoire.....	44
III.3. Essais mécanique (flexion – compression).....	45
III.3.1. But	45
III.3.2. Préparation de mortier.....	45
III.4. Consistomètre atmosphérique	47
- Mode opératoire.....	47
III.5. Eau libre	47
III.5.1. Objectif de l'essai.....	47
III.5.2. Mode opératoire.....	48
III.6. Le temps de pompabilité.....	48
- Mode opératoire.....	48
Conclusion générale	51
REFERENCES	53

LISTE DES FIGURES

N°	Titre des figures	Page
CHAPITRE I		
1	Figure I.1. BISKRIA CIMENT	4
2	Figure I.2. CEM I 42.5 R	5
3	Figure I.3. CEM II A-L 42.5 R	6
4	Figure I.4. CEM II/B-L 32.5 R	7
5	Figure I.5. CEM I – 42.5 R SR3	8
6	Figure I.6. Principe de fabrication du ciment	9
7	Figure I.7. Calcaire	10
8	Figure I.8. Argile	11
9	Figure I.9. Minerai de fer (Fe₂O₃)	11
10	Figure I.10. Le sable	12
11	Figure I.11. Schéma fabrication du ciment par vois sèche	13
12	Figure I.12. Carrière	14
13	Figure I.13. Un atelier de concassage	14
14	Figure I.14. Polaire (un hall avec un stockage circulaire)	15
15	Figure I.15. Un hall à stockage linéaire	15
16	Figure I.16. Le broyeur de cru (VRM)	16
17	Figure I.17. Le silos homo	17
18	Figure I.18. La tour	17
19	Figure I.19. Four rotatif	19
20	Figure I.20. Refroidisseur	19
21	Figure I.21. Clinker	20
22	Figure I.22. Silo stockage de clinker	20
23	Figure I.23. Broyeur de ciment (VCM)	20
24	Figure I.24. Le Silos de ciment	21
25	Figure I.25. L’emballage	22
26	Figure I.26. Expédition	22

CHAPITRE II

1	Figure II.1. Schéma de différentes profondeurs du puits pétrolières	32
2	Figure II.2. Sacs de ciment pétrolier (ciment G)	34

CHAPITRE III

1	Figure III.1. Les étapes d'analyse XRF	39
2	Figure III.2. La diffraction des rayons X (DRX)	40
3	Figure III.3. Différentes phases minéralogique du ciment I 42,5N LH SR3 par diffraction du rayon X	41
4	Figure III.4. Les étapes de la détermination de résidu insoluble	43
5	Figure III.5. Les étapes de la détermination de perte au feu	45
6	Figure III.6. Les étapes de la détermination de résistance à compression	46

LISTE DES TABLEAUX

N°	Titre des tableaux	Page
CHAPITRE I		
1	Tableau I.1. Composition chimique du laitier granulé	12

CHAPITRE II		
1	Tableau II.1. Composition chimique du laitier granulé	23
2	Tableau II.2. Les sept produits de la famille de Ciment courants résistants auxulfates	27
3	Tableau II.3. Exigences physique et mécaniques définies en temps de valeur caractéristiques	28
4	Tableau II.4. Exigences chimique définies en temps de valeur caractéristiques	28
5	Tableau II.5. Exigences supplémentaires définies en temps de valeur caractéristiquespour les ciments courants résistants aux sulfates	29
6	Tableau II.6. Différentes classes de ciments pétroliers (API 1995).	32
7	Tableau II.7. Exigences chimiques (ISO10426-1 :2009(F))	34
8	Tableau II.8. Exigences physiques (ISO10426-1 :2009(F))	35

CHAPITRE III		
1	Tableau III.1. Résultats du XRF	39
2	Tableau III.2. Résultats du DRX	41
3	Tableau III.3. Résultats obtenues par calcule	41
4	Tableau III.4. Résultats du résidu insoluble	43
5	Tableau III.5. Résultats du part au feu	44
6	Tableau III.6. Résultats du la détermination de résistance à compression	47
7	Tableau III.7. Résultats du la Consistance	47
8	Tableau III.8. Résultats d'Eau libre	48
9	Tableau III.9. Résultats du Temps de pompabilité	49

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE :

L'industrie du ciment occupe une place dominante dans l'économie de tous les pays du monde. C'est un matériau essentiel pour la construction dans tous les domaines. Le développement de la production de ciment progresse chaque année, notamment dans les pays en développement.

En Algérie, la production de ciment est une industrie majeure et l'état a accepté des investissements majeurs dans ce secteur. L'industrie du ciment met à disposition de l'utilisateur un grand nombre de ciments aux propriétés adaptées aux domaines de travail. Les exigences climatiques et la résistance aux facteurs agressifs tels que les sels et l'humidité sont les contrôles dans le choix de ciment le plus approprié [1]. Le ciment est un produit « high-tech » issu de la nature, qui a bénéficié d'un développement s'étendant sur des siècles. Le ciment est plus précisément un liant. Le matériau de construction proprement dit, c'est le béton qui base sur sa composition qualité sur le ciment ce dernier est le composant le plus chère du béton.

Notre but dans cette société est d'améliorer l'efficacité au niveau du développement socio-économique en Algérie, et conforter notre avantage concurrentiel au niveau national et international. En premier lieu consiste à satisfaire le marché national d'un produit local tout en permettant un accès stable aux matériaux de construction en termes de qualité, de choix, de services à des prix abordables. Et en deuxième lieu d'ouvrir des marchés internationaux.

L'objectif de notre travail est de faire une série d'analyses chimiques, physiques et mécaniques sur un échantillon du ciment de BISKRIA Ciment (CEM I 42.5N LH/ SR3), puis de les comparer avec les exigences de l'American Petroleum Specifications (API) pour voir si nos échantillons sont conformes à l'American Petroleum specifications et donc il peut être utilisé pour la cimentation des puits pétroliers ou de gaziers.

Outre l'introduction générale et la conclusion générale, ce travail est organisé en trois chapitres :

➤ **Chapitre I :**

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une étude complète sur la façon de fabrication utilisés pour obtenir le produit à extraire.

➤ **Chapitre II :**

Dans ce chapitre, nous avons basés sur les différents types de ciment disponibles dans le monde, les ciments pétroliers (leur caractéristiques, classification ...), ciment pétrolier de type G (domaine d'utilisation, caractéristiques,...)

➤ **Chapitre III :** Ce chapitre comprend l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITE SUR LA FABRICATION
DU CIMENT

L'Algérie est un marché d'importance stratégique pour la société BISKRIA Ciment dans le bassin méditerranéen. Le secteur de la construction en Algérie a connu une croissance importante depuis l'an 2000, ce qui a déclenché la nécessité en matériaux de construction et les solutions constructives.

I.1. La définition du BISKRIA Ciment : [2]

La société des ciments "BISKRIA CIMENT" est une Société par action (S.P.A), privée de droit Algérien qui a été créé en Janvier 2009. La vocation principale de la société est la production et la commercialisation des ciments. Elle est composée d'une seule entité située au siège de la société. Ses actionnaires sont tous des opérateurs économiques privés Algériens. Elle tire ses principales matières premières à partir du gisement de djebel M'hor pour le calcaire, situé à environ 02 Km et Etaref pour l'argile, situé à 15 Km.

La société BISKRIA CIMENT est une entreprise de fabrication et ventes des ciments au capital social : 870.000.000,00 DA.

I.1.1. Fiche signalétique :

- Raison sociale : Société BISKRIA CIMENT (S.B.C).
- Forme juridique : Société par actions.
- Actionnaires : Opérateurs économiques privés Algériens à 100%.
- Siège social : Djar Belaharche Commune de BRANIS / Daïra de DJEMOURA / Wilaya de BISKRA.
- Capital social : 4.284.000.000 DA.
- Secteur d'activité : Matériaux de construction, branche ciment.
- Activité principale : Production et commercialisation des ciments.
- Code d'activité CNRC : 109101.
- N° d'identification fiscale : 000 907 024 283 698.
- N° du registre de commerce : 07/00- 0242836 B 09.
- Tel : +213(0) 560 753 424/+213(0) 33 55 81 22.



Figure I.1 : BISKRIA CIMENT

I.1.2. Les services :

La S.P.A BISKRIA CIMENT procède trois secteurs :

- 1- Secteur administratif : contient de service administratif pour gérer la société.
- 2- Secteur industriel : contient les trois lignes de production d'une capacité de 4 million T/an.
- 3- Secteur commerciale : contient le service de vente et d'expédition.

I.1.3. Les produits :

La S.P.A Biskria Ciment produit des ciments de qualité qui sont systématiquement contrôlés par le laboratoire de la cimenterie et périodiquement par le Centre d'Études et de services technologiques de l'industrie des matériaux de construction CETIM (selon le référentiel ISO 17025). Ces produits sont :

I.1.3.1. CEM I 42.5 R Ciment Portland:

Pour les bétons hautes performance et a une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid en hiver.



Figure I.2 : CEM I 42.5 R

Ciment Portland CEM I 42.5 R : Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).

✓ **Domaines d'application :**

Un ciment pour tous vos travaux de constructions de haute résistance à jeune âge, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Produits en bétons qui demandent un durcissement rapide.
- Le bétonnage dans des coffrages coulissant, surtout en période hivernale.
- Béton résistant au gel en présence de sels de déverglaçage.
- Tabliers de ponts.
- Béton pompé.
- Béton projeté.

✓ **Applications recommandées :**

- Béton armé à haute résistance.
- Béton auto plaçant.

I.1.3.2. Ciment portland aux ajouts type II :

CEM II A-L 42.5 R : Ciment portland aux ajouts recommandés pour béton à performances élevées avec une prise rapide, destiné à la réalisation des infrastructures, construction dans le bâtiment, le génie civil, ainsi pour le domaine de préfabrication.



Figure I.3 : CEM II A-L 42.5 R

CEM II A-L 42.5 R : Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).

✓ **Domaines d'application :**

Un ciment pour tous vos travaux de constructions, nécessitant une résistance initiale élevée, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Les grands ouvrages, construction et bétons armés ou non.
- Béton projeté, pompé et béton pour étanchéité.
- Article en béton et préfabrication industrielle.
- Bétonnage par temps froid ou chaud.
- Voiles en béton.

✓ **Applications recommandées :**

- Un produit adéquat qui permet de réaliser toutes les étapes de construction.
- Béton auto plaçant.

I.1.3.3. Ciment portland au calcaire :

CEM II/B-L 32.5 R : Ciment gris destiné aux travaux de bâtiment, génie civil industriel et routier.



Figure I.4 : CEM II/B-L 32.5 R

CEM II/B-L 32.5 R : Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).

✓ **Domaines d'application :**

Un ciment pour tous vos travaux, il permet de réaliser toutes les étapes de construction de votre maison et tous travaux de maçonnerie, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Béton Banché.
- Béton de type C12/15.
- Mortiers de maçonnerie.
- Stabilisation des sols.
- Bases de routes traitées avec du ciment.
- Pavages de chaussées.

✓ **Applications recommandées :**

- Travaux de réparation individuelle à la maison.
- Travaux de maçonnerie divers.

I.1.3.4. Résistant au sulfate à faible chaleur d'hydratation :

CEM I – 42.5N SR3 LH : Un ciment gris à haute résistance aux environnements agressifs et à faible chaleur d'hydratation (LH – Low Heat), pour tous vos travaux dans les milieux à haute teneur en sulfates, Il convient également aux travaux de bétonnage massif et continu par temps chaud qui nécessite un ciment dégageant moins de chaleur.



Figure I.5: CEM I – 42.5 R SR3

CEM I – 42.5 R SR 3 : Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).

✓ **Domaines d'application :**

Un ciment pour tous vos travaux de constructions demandant de hautes résistances aux environnements agressifs, pour travaux à la mer, il est utilisé tout au long de l'année, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Béton armé en milieux agressifs : eau de mer, eaux séléniteuses, pures ou industrielles.
- Ouvrage d'art massif (ponts, barrages, murs de soutènement ...).
- Béton routier : béton extrudé pour glissières de sécurité, de cunettes.
- Béton pour les stations d'épuration.
- Béton pour les milieux salés.

✓ **Applications recommandées :**

- Stations et bassins d'épuration.
- Ouvrages agricoles.
- Environnement marin.
- Travaux de bétonnage massif des fondations.
- Travaux en Milieu à forte concentration des chlorures et les sulfures.

I.2. C'est quoi le ciment ?

I.2.1. Définition :

Le ciment est une poudre minérale fine obtenue au terme d'un processus de fabrication très précis. Mélangée à de l'eau, cette poudre forme une pâte qui se fige et durcit, même sous l'eau.

Selon la composition et la finesse de la poudre, les propriétés du ciment ne sont pas les mêmes. En Algérie, la production de ciment est une industrie de base. L'état a consenti de très importants investissements pour le développement de la filière. Cependant, en raison de forte demande accentuée par le programme de la relance économique (autoroutes, un million de logements, autres équipements publics), l'offre reste insuffisante, et pour remédier à cela les autorités ont décidé d'investir pour augmenter la capacité de production qui était de 11,6 millions de tonnes pour la porter à 17,6 millions de tonnes en 2012 [3].

I.2.2. Principe de fabrication des ciments :

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : Les calcaires et les argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker [4].



Figure I.6 : Principe de fabrication des ciments

I.2.3. Constituants de base du ciment :

I.2.3.1. Matières premières :

Les matières premières nécessaires à la fabrication du ciment sont le calcaire et l'argile à des proportions variées. Les matières premières sont extraites des parois rocheuses d'une carrière à ciel ouvert par abattage à l'explosif ou par ripage au bulldozer. La roche est reprise par des dumpers vers un atelier de concassage.

I.2.3.1.1. Calcaire :

Le calcaire est généralement extrait de la carrière. Il peut rentrer dans des proportions allant jusqu'à 80% de la masse totale du mélange cru [5].

Le calcaire est une roche sédimentaire produite par des organismes vivants ; par exemple les coquilles.

Le calcaire est formé essentiellement de calcite qui peut contenir plus de 99,9 % de CaCO_3 .

Les calcaires contiennent souvent des fossiles (débris de coquilles, de squelettes d'organismes coloniaux,...) qui sont liés par un ciment calcaire [6].

Le calcaire peut être identifié car il peut être dissout par les acides tels que l'acide chlorhydrique en solution ou par l'acide éthanoïque contenu dans le vinaigre ou encore par l'acide tartrique. Il forme alors de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 et du gaz carbonique CO_2 [6].

On classe les calcaires comme suit :

a-Calcaire dur :

On attribue ce nom au calcaire contenant un minimum 80 % de CaCO_3 et un maximum de 5% de MgCO_3 . Les calcaires durs sont imperméables à l'eau [7].

b-Calcaire mou (craie) :

Le calcaire mou contient un maximum de 90 % en CaCO_3 [8]. Les calcaires mous sont poreux, et perméables à l'eau.



Figure I.7 : Calcaire

I.2.3.1.3. Argile :

L'argile recouvre toutes les petites particules formées par les processus d'érosion ou d'altération des roches, c'est-à-dire aussi bien du sable (SiO_2), des oxydes (comme l'oxyde ferrique Fe_2O_3 qui donne la couleur rouge à certains sols), des carbonates comme la calcite, que tout autre minérale. Les argiles sont de bons catalyseurs [9].



Figure I.8 : Argile

I.2.3.2. Matériaux de correction :

Des correcteurs, minerai de fer qui apporte Fe_2O_3 , sable pour SiO_2 sont ajoutés pour atteindre la composition souhaitée du cru [8].

a-Minerais de fer (Fe_2O_3) :

Le minerai de fer est une roche contenant du fer, généralement sous la forme d'oxydes [10].



Figure I.9 : Minerai de fer (Fe_2O_3)

b-Sable :

Le sable est une roche sédimentaire meuble, constituée de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches.

Le sable est fait de grains minéraux très petits (pas plus de deux millimètres). C'est de

la roche effritée par l'érosion [11].



Figure I.10 : Le sable

I.2.3.3. Les matières secondaires (Ajouts) :

- **Le laitier :**

Le laitier se compose principalement de silice (SiO_2), chaux (CaO), alumine (Al_2O_3) et d'oxyde de magnésium (MgO) [8].

Tableau I.1 : Composition chimique du laitier granulé [12].

Eléments	Pourcentage (%)
CaO	40- 50
SiO_2	26- 32
Al_2O_3	12- 20
MgO	2- 6

I.2.3.4. Produit semi-fini :

Le ciment résulte du broyage d'un certain nombre de constituants. Le plus important étant le clinker formé de silicates et d'aluminates de chaux. Montre le clinker dans sa phase cristalline [8].

Le clinker obtenu à la sortie du four à la suite de la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire, d'argile et de matières de correction, est un

matériau hydraulique se présentant sous la forme de petits nodules très durs [3].

Ces nodules comportent quatre phases cristallines synthétisées lors de la cuisson par notation cimentière [13].

Dans la zone de clinkérisation du four, les éléments simples (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

- Silicate tricalcique, Ca_3SiO_5 ou $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: C3S (Alite).
- Silicate bicalcique, Ca_2SiO_4 ou $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: C2S (Bélite).
- Aluminate tricalcique, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ou $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$: C3A (Célite).
- Alumino ferrite tetracalcique, $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{O}_{10}\text{Fe}_2$ ou $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$: C4AF

(Félite) [8].

I.3. Méthodes de fabrication du ciment :

I.3.1. Principe de fabrication :

Il existe quatre types de processus différents, la voie humide, la voie sèche, et deux processus intermédiaires appelés voie semi-humide et voie semi- sèche, et il y a des phases communes à tous ces processus [12].

Nous allons par la suite décrire la voie sèche car c'est la voie la plus utilisée dans l'usine et la plus économique.

I.3.2. Fabrication du ciment par voie sèche :

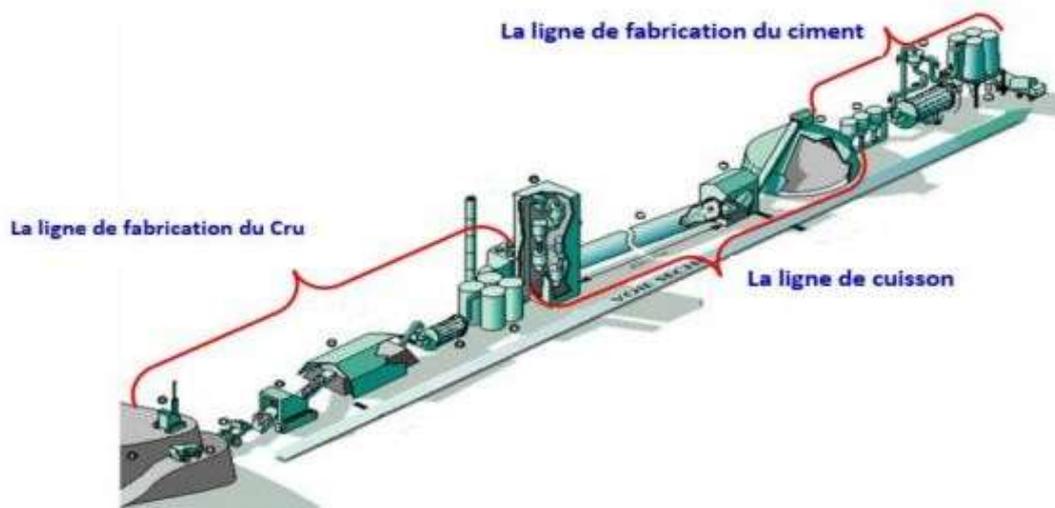


Figure I.11 : Schéma de fabrication du ciment par voie sèche

I.3.2.1. Carrière :**I.3.2.1.1. Extraction et préparation des matières premières :**

Le calcaire et l'argile sont extraits par manutention mécanique une fois la roche abattue à l'explosif ou par ripage au niveau de deux carrières (Les gisements calcaires et argiles naturels) [14]. Les blocs sont repris par dumpers ou bande transporteuse vers un atelier de concassage et réduits dans en éléments d'une dimension maximale de 50 mm [15].



Figure I.12 : Carrière

I.3.2.1.2. Concassage :

Les matières sont concassées en carrière (1800 m environ du site de l'usine) au début de 1200 t/h pour une granulométrie finale de 0 à 25 mm [16].

Les pierres arrivent généralement à l'usine en gros blocs et avec leur humidité de carrière, et il faut d'abord les concasser, puis les sécher, ou au contraire les délayer, avant de les passer au broyeur. Pour choisir le type et les dimensions des machines, on tiendra compte de la nature et de la grosseur de la pierre, du degré de finesse désiré, et du rendement escompté [17].



Figure I.13 : un atelier de concassage

I.3.2.2. Le Stockage de matière première :

Après l'opération de concassage de ces trois constituants de base on obtient une granulométrie de 0 à 25 mm, les constituants sont acheminés vers le stock primaire (hall de stockage) par des tapis roulants couverts, pour la pré-homogénéisation : un hall avec un stockage circulaire pour le calcaire et un hall à stockage linéaire pour l'argile et le sable et minerai de fer [15].



Figure I.14 : polaire (un hall avec un stockage circulaire)



Figure I.15 : un hall à stockage linéaire

I.3.2.3. Pré-homogénéisation :

Le cru est un mélange homogène de calcaire et d'argile ; les minerais de fer et de sable. Les proportions sont déterminées selon leurs compositions chimiques. Le mélange est broyé en poudre de granulométrie inférieure à 90 microns. La poudre obtenue est homogénéisée par un mélangeur pneumatique (un suppresseur pour la fluidisation et un compresseur pour l'homogénéisation. Le produit obtenu est appelé la farine cru « le CRU » [18].

I.3.2.4. Broyage cru :

Le mélange concassé est stocké dans des hangars de pré homogénéisation. Le mélange pré- homogénéisé corrigé avec différents ajouts (calcaire pur, fer) est broyé dans un broyeur pour l'obtention d'une poudre fine, pelée cru ou farine, prête à la cuisson et stockée dans des silos d'homogénéisation [19].



Figure I.16 : Le broyeur de cru (VRM)

I.3.2.5. Homogénéisation

La farine crue est homogénéisée dans deux silos d'une capacité unitaire de 10000 T. Pour augmenter l'efficacité de l'homogénéisation les deux silos sont alimentés et soutirés simultanément.

La méthode généralement utilisée pour l'homogénéisation est envoi de l'air en bas de silos permettant de fluidifier la farine [9].



Figure I.17 : Le Silos homo

I.3.2.6. Préchauffage :

La farine avant d'atteindre le four, passe dans une tour appelée préchauffeur. Tout au long de son parcours jusqu'au four, la farine passe des cyclones obligeant la matière à circuler dans le sens opposé aux gaz chauds issus du four permettant une bonne homogénéisation des constituants et surtout une décarbonatation [20]. Les différentes phases de la cuisson sont les suivants :

- 1- vaporisation de l'eau à $T= 100^{\circ}\text{C}$.
- 2- Départ de l'eau combinée des argiles à $T= 450^{\circ}\text{C}$.
- 3- Dissociation de CaCO_3 (décarbonatation complète) à pression atmosphérique à $T= 900^{\circ}\text{C}$. Selon : $\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$



Figure I.18 : la tour

I.3.2.7. Four rotatif :

Le four rotatif permet d'effectuer la réaction de clinkérisation au cœur de la fabrication du ciment. Il s'agit d'un tube cylindrique. La matière progresse grâce à l'inclinaison et à la rotation du four. En sortie des cyclones, la matière arrive en amont du four. Cette zone permet de porter les matières premières jusqu'à environ 800-900°C, achevant ainsi la décarbonatation du calcaire. La matière progresse alors jusqu'à la zone de clinkérisation correspondant à une température d'environ 1450°C. A cette température les réactions (Combinaison de la chaux) entre la chaux CaO et les oxydes SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ forment des silicates, aluminates et alumino-ferrites de calcium constituant le clinker [13].

La combinaison de CaO avec :

- ✓ Le silicium (Si) pour former du C₂S (silicate bi calcique), cette réaction

est légèrement exothermique : $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \longrightarrow \text{CaSiO}_3$

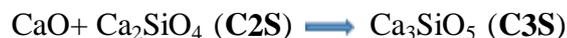


- ✓ L'aluminium (Al) pour former une solution solide d'aluminates de calcium.



- ✓ La température de la matière monte jusqu'à 1450 °C. Une partie de la matière fond pour donner naissance à la phase liquide (constituée de phase aluminat et ferrite C₄AF), cette étape demande beaucoup d'énergie.

En parallèle, il y a formation de C₃S (silicate tricalcique) : à partir de 1300 °C, le C₂S se transforme en C₃S en réagissant avec une partie du CaO non combiné. La réaction est exothermique [15].



Les constituants minéraux :

- Silicate tricalcique, **Ca₃SiO₅** ou 3CaO.SiO₂ : **C3S** (Alite).
- Silicate bicalcique, **Ca₂SiO₄** ou 2CaO.SiO₂ : **C2S** (Bélite).
- Aluminate tricalcique, **Ca₃Al₂O₆** ou 3CaO.Al₂O₃ : **C3A**. (Célite)
- Aluminoferrite tetracalcique, **Ca₄Al₂O₁₀Fe₂** ou 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃ : **C4AF** (Félit)



Figure I.19 : Four rotatif

I.3.2.8. Refroidisseur :

Le refroidisseur a pour rôle d'abaisser la température du clinker tombant du four à une température d'environ 1450°C jusqu'à 80-100°C.

Il est équipé d'une batterie de ventilateurs fournissant l'air de refroidissement.



Figure I.20 : Le refroidisseur

I.3.2.9. Stockage du clinker :

La manutention du clinker est réalisée par des transporteurs métalliques vers les deux stocks polaires principaux de capacité unitaire de 30000 t un troisième stock de 3000 est réservé pour les incuits.

L'extraction de clinker est assurée par des extracteurs vibrants [16].



Figure I.21: clinker

Figure I.22: Silo stockage de clinker

I.3.2.10. Broyage ciment :

Le clinker additionné de gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) comme retardateur de prise avec une proportion qui ne dépasse pas 5% et éventuellement de produit secondaires (calcaire...) sont broyés dans des broyeurs ciment pour obtenir le produit fini qui est le ciment [21].



Figure I.23 : Broyeur de ciment VCM

I.3.2.11. Stockage ciment :

Le ciment fabriqué est ensuite stocké dans des silos et prêt à être vendu soit par sacs ou en vrac.



Figure I.24 : Le Silos de ciment

I.3.2.12. Expédition :

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 les l'expédition en sacs, ou les dispositifs de chargement 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 chargement sur l'outil de transport (camion). C'est l'interface de l'usine avec le client [17].



Figure I.25 : L'emballage



Figure I.26 : L'expédition

CHAPITRE II :

LES TYPES DES CIMENTS

Le ciment est un liant hydraulique à base de calcaire et d'argile sous forme de poudre fine qui va durcir plus ou moins vite au contact de l'eau en créant un volume résistant.

Le ciment se divise en deux catégories : les ciments courants et les ciments spéciaux [22].

II.1: Ciments courants :

II.1.1. Définition :

Les ciments courants sont subdivisés en 27 types de ciments regroupés dans 5 catégories, auxquelles on ajoute des constituants secondaires pour améliorer les propriétés du ciment (laitier, schistes calcinés, fumée de silice, cendres volantes, etc.) [22].

Les ciments courants sont élaborés à partir d'un mélange d'environ 80% de calcaire et 20% d'argile, mélange qui est progressivement chauffé à une température voisine de 1450°C, puis brusquement refroidi. Au cours de ces opérations, s'enchaînent plusieurs réactions chimiques. Il en résulte le clinker qui, mélangé avec du gypse et éventuellement avec d'autres produits, puis finement broyé, donne le ciment [23].

II.1.2. Les constituants de base de ciments :

II.1.2.1. Les constituants principaux :

II.1.2.1.1. Clinker :

Le principal constituant des ciments est le clinker. Il est constitué de silicates de calcium (C3S et C2S) et d'aluminates de calcium (C3A et C4AF).

II.1.2.1.2. Le laitier :

Le laitier se compose principalement de silice (SiO₂), chaux (CaO), alumine (Al₂O₃) et d'oxyde de magnésium (MgO) [8].

Tableau II.1 : Composition chimique du laitier granulé [12].

Les éléments	Pourcentage
CaO	40- 50
SiO ₂	26- 32
Al ₂ O ₃	12- 20
MgO	2- 6

II.1.2.1.3. Pouzzolane :

La pouzzolane est une roche naturelle constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche. Elle est généralement rouge ou noire [5]. La pouzzolane est constituée principalement par la silice, de l'alumine et d'oxyde de fer [24].

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

a-pouzzolane naturelle :

Est un produit d'origine volcanique essentiellement composé de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. Elle peut être d'origine volcanique : verre volcanique, ponce, rhyolite, tufs, zéolite ou d'origine sédimentaire : terre à diatomées, diatomites [25].

b-Pouzzolane artificielle :

Les pouzzolanes artificielles peuvent être obtenues à partir des argiles ayant subi un traitement thermique approprié pour leur assurer les propriétés pouzzolaniques [8, 24].

II.1.2.1. 4. Les cendres volantes (V et W) :

Elles contiennent principalement de la chaux réactive (CaO), de la silice réactive (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃)[8].

Les cendres volantes sont des produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépeussierage des gaz des chaudières des centrales thermiques et peuvent être :

a- Siliceuses (V) : présentent des propriétés pouzzolaniques c'est-à-dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante et faisant prise et durcissent par hydratation.

b- Calciques (W) : outre leurs propriétés pouzzolaniques, peuvent présenter des propriétés hydrauliques.

Les cendres volantes siliceuses (V) sont constituées de silice réactive, entre 40 et 55%, proportion qui ne doit jamais être inférieure à 25%, et d'alumine entre 20 et 30% environ. La proportion de chaux réactive devant être inférieure à 5%.

Les cendres calciques (W), moins souvent utilisées, doivent contenir, quant à elle, une proportion de chaux réactive supérieure à 5% [26].

II.1.2.1.5. Les schistes calcinés :

Ce sont des schistes que l'on porte à une température d'environ 800 °C dans un four spécial. Finement broyés, ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques [8]. Ils contiennent des phases de clinker, des petites quantités de chaux libres (CaO) et des sulfates de calcium, ainsi que des oxydes en quantités plus importants.

II.1.2.1.6. Les Calcaires (L ; LL) : [27]

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

- Teneur en calcaire : $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ en masse.

- Adsorption de bleu méthylène : $\leq 1,20$ g/100g ; (EN933-9).
- Teneur en matières organiques : selon le prEN13639
 - L (TOC) $\leq 0,50\%$ en masse.
 - LL(TOC) $\leq 0,20\%$ en masse.

II.1.2.1.7. La fumée de silice : [28]

Les fumées de silices sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1 μm).

Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent être présentes pour au moins 85 % (en masse). Les fumées de silices utilisées dans l'industrie cimentaire doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- Silice amorphe : $\text{SiO}_2 \geq 85\%$ en masse.
- Perte au feu : $\leq 4\%$ en masse.
- Aire massique : ≥ 15 m²/g.

II.1.2.2. Les constituants secondaires : [27]

Les fillers (F) ne peuvent jamais excéder 5 % en masse dans la composition du ciment. Ces sont des matières minérales, naturelles ou artificielles qui agissent par leur granulométrie sur les propriétés physiques des liants (maniabilité, pouvoir de rétention d'eau).

II.1.2.3. Sulfate de calcium : [29].

Le sulfate de calcium est ajouté aux autres constituants du ciment au cours de sa fabrication pour réguler la prise.

Le sulfate de calcium existe également sous forme de sous-produit de certains procédés industriels.

II.1.2.4. Les additifs : [27]

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%.

II.1.3. Classifications de ciment :**II.1.3.1. Selon la Composition et notion de ciments : [23].**

On obtient les différents types de ciments définis par la norme ciment (norme EN197.1).

II.1.3.1.1. Le ciment Portland : CEM I :

Il contient au moins 95% de clinker et au plus 5% de constituants secondaires.

II.1.3.1.2. Le ciment Portland composé : CEM II/A ou B :

Il contient au moins 65% de clinker et au plus 35% d'autres constituants : laitier de haut fourneau, fumée de silice, pouzzolane, cendres volantes, calcaires, constituants secondaires.

II.1.3.1.3. Le ciment de haut fourneau :

CEM III/A ou B : contient entre 36 et 80% de laitier et 20 à 64% de clinker. CEM III/C : contient au moins 81% de laitier et 5 à 19% de clinker.

II.1.3.1.4. Le ciment pouzzolanique : CEM IV/A ou B :

Il contient 45 à 89% de clinker et 11 à 55% de pouzzolanes. Il n'est pas présent en France.

II.1.3.1.5. Le ciment composé : CEM V/A ou B :

Il contient 20 à 64% de clinker, 18 à 49% de laitier et 18 à 49% de cendres volantes ou de pouzzolanes.

II.1.3.2. Classification des ciments en fonction de leur résistance : [29].

II.1.3.2.1. Ciments courants résistants aux sulfates : Ils sont regroupés en trois types principaux

1. Ciment portland résistant aux sulfates :

CEM I-SR0 : la teneur en C3A du clinker =0% **CEM I-SR3 :** la teneur en C3A du clinker $\leq 3\%$

CEM I-SR5 : la teneur en C3A du clinker $\leq 5\%$

2. Ciment de haut fourneau résistant aux sulfates :

CEM III / B-SR : aucune exigence concernant la teneur en C3A du clinker

CEM III / C-SR : aucune exigence concernant la teneur en C3A du clinker.

3. Ciment de pouzzolanique résistant aux sulfates :

CEM IV / A-SR : la teneur en C3A du clinker $\leq 9\%$

CEM IV / B-SR : la teneur en C3A du clinker $\leq 9\%$.

Tableau II.2 : les sept produits de la famille de Ciment courants résistants aux sulfates.

Principaux type	Notation des sept produits (types des ciments courants résistants aux sulfates)		Constituant principaux				Constituants secondaires
			Clinker K	Laitier de haut fourneau S	Pouzzolane naturelle P	Cendre volante silicium V	
CEM I	Ciment portland résistant aux sulfates	SR0 SR3 SR5	95-100	-	-	-	0-5
CEM III	Ciment de haut fourneau résistant aux sulfates	CEM III / B-SR	20-34	66-80	-	-	0-5
		CEM III / C-SR	5-19	81-95	-	-	0-5
CEM IV	Ciment de pouzzolane que résistant aux sulfates	CEM IV / A-SR	65-79	-	21-35	21-35	0-5
		CEM IV / B-SR	45-64	-	36-55	36-55	0-5

II.1.3.2.2. Ciments courants à faible résistance à court terme :

Sont les ciments de haut fourneau CEM III spécifiés. Elles sont conformes aux exigences peuvent être également déclarés en tant que ciment courant résistants aux sulfates.

II.1.4. Exigences mécaniques ; physiques ; chimiques et de durabilité :

II.1.4.1. Exigences mécaniques :

II.1.4.1.1. Résistance courante :

Trois classes sont définies en fonction de la résistance normale à 28 jours ; des sous classes “R” sont associées à ces 3 classes principales pour désigner des ciments dont les résistances au jeune âge sont élevées. Ces classes sont notées, classe 32,5, classe 42,5, classe 52,5.

II.1.4.1.2. Résistance à court terme :

Est la résistance à la compression détermine selon l’EN 196-1 à 2 ou 7 jours.

II.1.4.2. Exigences physique : détermine selon l’EN196-3

a- Temps de début de prise

b- Stabilité

c- Chaleur d'hydratation : EN196-9

A 41h, La chaleur d'hydratation des ciments courants à faible chaleur d'hydratation ne doit dépasser la valeur 270 J/g.

Tableau II.3 : Exigences physique et mécanique définies en temps de valeur caractéristiques.

classe	Résistance à la compression (MPa) EN 196-1				Début de prise (min)	Stabilité (mm)
	Au jeune âge		À 28 jours			
	2 jours	7 jours	Minimal	maximal		
32.5N	-	≥ 16.0	52.5	32.5	≥75	≤ 10
32.5R	≥10.0	-	52.5	32.5	≥75	≤10
42.5N	≥10.0	-	62.5	42.5	≥60	≤10
42.5R	≥20.0	-	62.5	42.5	≥60	≤10
52.5N	≥20.0	-	-	52.5	≥45	≤10
52.5R	≥30.0	-	-	52.5	≥45	≤10

II.1.4.3. Exigences chimique :

Tableau II.4 : Exigences chimique définies en temps de valeur caractéristiques.

Propriétés	Type de ciment	Classe de résistance	Exigences recommandées
Perte au feu	CEM I CEM III	Toutes classes	≤ 5,00 %
Résidus insolubles	CEM I CEM III	Toutes classes	≤ 5,00 %
Sulfates	CEM I CEMII	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,50 %

	CEM IV CEM V	42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,00 %
	CEM III	Toutes classes	
Chlorure	Tous types	Toutes classes	≤ 0,10 %
pouzzolanité	CEM IV	Toutes classes	Pas nécessaire

II.1.4.4. Exigences durabilité :

Le ciment courant résistant aux sulfates doit satisfaire aux exigences chimiques supplémentaires. Ils doivent être identifiés par la notion SR.

Tableau II.5 : Exigences supplémentaires définies en temps de valeur caractéristiques pour les ciments courants résistants aux sulfates.

Propriété	Type de ciment	Classe de résistance	Exigence
teneur en sulfate SO ₃	CEM I-SR0 I-SR3	32.5N 32.5R 42.5N	≤ 3%
	CEM IV/A-SR IV/B-SR	42.5N 42.5R 52.5N	≤ 3.5%
C3A dans le clinker	CEM I-SR0	Toutes classes	= 0%
	CEM I-SR3		≤ 3%
	CEM I-SR5		≤ 5%
	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR		≤ 9%
pouzzolanité	CEM IV/A-SR IV/B-SR	Toutes classes	Le résultat d'essai doit être positif à 8 jours

✓ Les désignations des ciments :

CEM II / A 42.5 R Avec :

CEM : pour indique que le produit est un ciment

II : pour indiquer le type de ciment

R : résistance au jeune

A : pour indiquer la proportion des ciments

42.5 : classe de résistance

R : âge élevée (2 jours) résistance au jeune

II.2. Les ciments spéciaux :

II.2.1. Ciments à caractéristiques complémentaires : [29]

Les ciments peuvent avoir des caractéristiques complémentaires non couvertes par la norme NF EN 197-1. Ils font l'objet de normes particulières qui en précisent les caractéristiques et les conditions d'emploi :

a- Ciments pour travaux à la mer :

Ces ciments doivent respecter les spécifications de composition et les exigences chimiques et physiques de la norme NF P 15-317. Ils sont notés PM.

b- Ciment pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates :

Ces ciments doivent respecter les spécifications de composition et les exigences chimiques et physiques de la norme NF P 15-319 qui sont plus sévères que celles de la norme NF P 15318. Ils sont notés ES. Ce sont des ciments de type CEM II/A, CEM II/B, CEM III/A, CEM V/A et CEM V/B conformes à la norme NF EN 197-1

c- Ciment à teneur en sulfures limitée pour béton précontraint :

Ces ciments doivent respecter les exigences de la norme NF P 15-318. Ce sont des ciments courants à l'exception des ciments de haut fourneau CEM III/C. Il existe deux classes :

CP1 : $S \leq 0,7 \%$

CP2 : $S \leq 0,2 \%$

II.2.2. Ciments particuliers :

a- Le ciment prompt naturel : Norme NF P 15-314

Ils possèdent une prise et un durcissement rapide mais avec des résistances à moyen terme faibles (inférieures à 20 MPa à 28 jours) [28].

Il est préconisé pour les ouvrages devant être réalisés rapidement mais avec une résistance élevée : scellements, travaux de réparation, moulages.

b- Le Ciment alumineux fondu : Norme NF EN 14647

Il résulte de la cuisson d'un mélange de calcaire et de bauxite donnant essentiellement un aluminat mono-calcique (CA). Avec une prise normale, il possède un durcissement rapide qui lui confère des résistances initiales élevées (30 MPa à 6 heures). Il présente également une bonne tenue aux milieux agressifs ainsi qu'aux températures élevées (jusqu'à plus de 1000°C avec des granulats appropriés) [29].

Il est employé pour les bétons réfractaires ou par temps froid et en milieux agressifs (milieu industriel, travaux d'assainissement).

c- Le ciment blanc :

Ce ciment a très faible teneur en oxyde de fer. Il s'agit de ciment de type CEM I et de classe 52,5 N ou R. Il est utilisé pour les bétons décoratifs tandis que le ciment à maçonner est conseillé pour la fabrication de mortier dans le bâtiment : enduits, maçonnerie d'agglos, de briques, etc.

II.3. Etude bibliographique sur le ciment pétrolier :**II.3.1. Définition de ciment pétrolier : [30]**

Les ciments pétroliers sont des ciments spéciaux utilisés pour la cimentation des puits pétroliers ou de gaz, son objectif essentiel réside dans la séparation des diverses zones productrices, ou fissures mises en communication au cours de forage.

Le ciment doit se soumettre à certaines conditions telle que :

- 1) Température élevée en fonction de la profondeur.
- 2) Pression élevée dans le puits.
- 3) Eléments agressifs, sulfates, hydrocarbonates chlorures, etc....

Ils doivent prendre lentement et être résistants aux températures et aux pressions élevées. La spécification de l'American Petroleum Institute, Spécification for Cements and Materials for WellCementing, énonce des exigences pour huit classes de ciments pétroliers (classes **A** à **H**) et trois catégories (**O** [ordinaire]), **MSR** [à résistance modérée aux sulfates] et **HSR** [à résistance élevée aux sulfates]) [31].

II.3.2. Caractérisation de ciment pétrolier :

La cimentation des puits de pétrole et de gaz est l'étape la plus importante pour la réalisation des puits. Ce procédé est utilisé partout dans le monde. Il existe une variété des matériaux et de techniques utilisées dans la cimentation des puits, puisque les matériaux rencontrent des conditions de température et de pression importantes dont la profondeur peut dépasser 2000 mètres [32].

Le ciment pétrolier se caractérise par une prise retard, donc sa teneur en C3S doit être très faible et sa teneur en C4AF doit être élevée. Le Ferro-aluminate et tétra-calcique à la différence de C3A, C3S et C2S ne contribue pas à la résistance du laitier. Cependant, la contribution de Ferro-aluminate varie en fonction de la température et les additifs présents. Dans certaines conditions cette contribution est analogue à celle de l'aluminate tricalcique. Le laitier de ciment va donc donner une augmentation rapide de la résistance [33].

II.3.3. Classification des ciments pétroliers selon la norme API :

Il existe 8 classes désignées par les lettres A à H (API 1995). Cette classification est basée sur la profondeur, la température et la pression d'utilisation des ciments. Une seconde lettre informe

sur la résistance du ciment aux sulfates : **O** (ordinaire), **MSR** (résistance modérée aux sulfates), **HSR** (résistance élevée aux sulfates), la différence est leur teneur en **C3A**. La concentration en **C3A** doit être inférieure à 8% en poids pour un ciment **MSR** et à 3% pour un **HSR** [34].

Tableau II.6 : différentes classes de ciments pétrolier (API 1995).

Classe	Application
A	Utilisable de la surface à 1829m de profondeur lorsque aucune caractéristique particulière demandée.
B	Utilisable de la surface à 1829m de profondeur lorsque les conditions nécessitent un ciment à résistance modérée ou élevée aux sulfates.
C	Utilisable de la surface à 1829m de profondeur lorsque l'on désire une forte résistance initiale à la compression ; existe une faible, moyenne et forte résistance aux sulfates.
D	Utilisable de 1829m à 3050m de profondeur lorsque la température et la pression sont moyennement fortes.
E	Utilisable de 3050m à 4270m de profondeur pour des températures et des pressions extrêmement élevées, existe en moyenne et forte résistance aux sulfates.
F	Utilisable de 3050m à 4880m de profondeur pour les températures et les pressions très élevées existe en moyenne et forte résistance aux sulfates.
G	C'est un ciment de base utilisable de la surface à 2438m de profondeur, il peut être utilisé avec des accélérateurs ou retardateurs de prise pour couvrir de grandes gammes de profondeur et de température, il existe en moyenne et forte résistanceaux sulfates.
H	Utilisable de la surface à 2438m de profondeur dans les mêmes conditions que le ciment G.

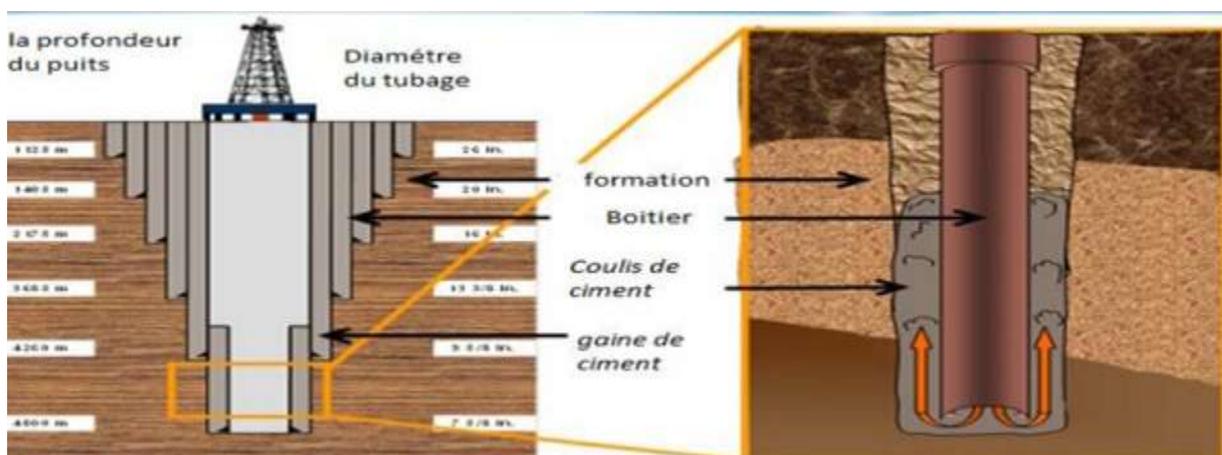


Figure II.1 : schéma de différentes profondeurs du puits pétrolières

II.3.4. Additifs pour les ciments pétroliers : [35]

Il est possible d'ajuster certaines caractéristiques du ciment au moment de sa fabrication. Toutefois ces modifications restent trop faibles pour adapter le ciment à tous les cas pouvant se présenter lors d'un forage. On est donc couramment amené à utiliser un certain nombre d'additifs, pour adapter les caractéristiques du ciment aux différentes conditions d'utilisation. Ces additifs peuvent être classés en sept grandes familles :

- ✓ Accélérateurs.
- ✓ Retardateurs.
- ✓ Fluidifiants.
- ✓ Réducteurs de filtrat.
- ✓ Allégeant.
- ✓ Alourdissant.
- ✓ Additifs spéciaux et spécifiques.

Dans la suite de cette étude, nous utiliserons le ciment de classe G.

II.3.5. Le ciment classe G : [34]

Afin d'être cohérent dans la validation du cadre méthodologique et les mesures réalisées dans cette thèse, le ciment majoritairement utilisé est un ciment portland spécial dit de classe **G** destiné à la cimentation des puits de forage géothermiques ou pétroliers (classification de l'API). Il est constitué essentiellement de silicate de calcium (alite et bélite) hydraulique et d'additifs (sulfate de calcium hydraté). D'après la norme (**API 10A 2000**), ce produit peut se trouver comme **HSR** (Haute Résistance aux Sulfates) ou comme **MSR** (Résistance Modérée aux sulfates).

Le ciment de classe G est destiné à remplir l'espace annulaire (entre le tubage et la roche). Il est habituellement utilisé dans les puits de forage basse énergie. Cependant, il est généralement mélangé avec des adjuvants comme des retardateurs de prise, ou des accélérateurs de prise permettant ainsi de couvrir une gamme plus importante de profondeurs dans le puits.



Figure.II.2 : sacs de ciment pétrolier (ciment G)

II.3.5.1. Domaines d'utilisations : [31]

Le ciment pétrolier classe G est utilisé comme ciment de base pour cimenter les puits de pétrole et de gaz. Il est aussi utilisé dans les puits d'eau, les puits de dépôts de déchets et les puits géothermales. Il joue un rôle important dans le succès du forage d'un puits. Il est utilisé dans le but d'isoler les zones faibles de la paroi du puits au moment du forage.

Le ciment pétrolier se caractérise par les propriétés suivantes :

- ✓ Avoir une faible perméabilité.
- ✓ Avoir une bonne adhésion à la paroi.
- ✓ Maintenir ses propriétés sous la pression et la température du puits.
- ✓ Protéger l'ouvrage des vibrations causées par le forage continu.
- ✓ Protéger l'ouvrage des fluides agressifs
- ✓ Protéger l'ouvrage contre l'effondrement

II.3.5.2. Propriétés de ciment pétrolier classe G :

II.3.5.2.1. Conditions chimiques :

Tableau II.7 : exigences chimiques (ISO10426-1 :2009(F))

exigences chimiques		exigences chimiques ciment pétrolier classe G
Type ordinaire(O)	Magnésie(MgO)	Non applicable
	Anhydre sulfurique (SO3)	

	Perte au feu	
	Résidu insoluble	
	C3A	
Type à moyenne résistance aux sulfates (M.S.R)	Magnésie(MgO)	6.0
	Anhydre sulfurique (SO3)	3.0
	Perte au feu	3.0
	Résidu insoluble	0.75
	C3S	48-58
	C3A	8
	Alcalin (exprimés en Na ₂ O)	075
Type à haute résistance aux sulfates (H.S.R)	Magnésie(MgO)	6.0
	Anhydre sulfurique (SO3)	3.0
	Perte au feu	3.0
	Résidu insoluble	0.75
	C3S	48-65
	C3A	3.0
	C4AF + 2(C3S)	24
	Alcalin (exprimés en Na ₂ O)	0.75

II.3.5.2.2. Conditions physique :

Tableau II.8 : Exigences physique (ISO10426-1 :2009 (F)).

Paramètres		Exigences physique de ciment pétrolier classe G
Eau de malaxage (%)		44
Surface spécifique, minimum. (m ² /kg)	Turbidimètre	Aucune exigence
	Perméabilité à l'air	
Teneur en fluide libre ; % max		5.9
résistance à la compression	Condition de durcissement final	
	Température °C	Pression MPa

			MPa
résistance à la compression (8 h temps de séchage)	38	atm	2.1
	60	atm	10.3
	11	20.7	Aucune exigence
résistance à la compression (24h temps de séchage)	38	atm	Aucune exigence
	77	20.7	
	110	20.7	
Essai de temps de pompabilité	Consistance maximale (durée du brassage 15min à 30min)		30
	Temps de pompabilité (min/max) min		90-120

CHAPITRE III :
RESULTAS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus ainsi que la discussion de ces dernières pour l'élaboration d'un ciment pétrolier du classe G.

III.1. Méthodes et Matériels

III.1.1. Analyse chimique :

III.1.1.1. Composition chimique par spectrométrie de fluorescence X :

La spectrométrie à fluorescence de rayons X (XRF) peut effectuer l'analyse élémentaire d'une large gamme de matériaux tels que les solides, les liquides et les poudres libres [36]. Cette fluorescence, perpendiculaire au faisceau primaire, se diffracte alors sur un cristal analyseur selon la loi de Bragg : Les éléments concernés sont : SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , SO_3 .

Cette analyse par un spectre de fluorescence des rayons X au niveau de laboratoire de la cimenterie BISKRIA nécessite la préparation d'une pastille.

a) Appareillage : [29]

- Balance au 0.1g.
- Assiette de 100 à 250ml.
- Anneau en acier.
- Bols en acier inoxydable.
- Broyeur.
- Presse à pastille.

b) La préparation d'une pastille :

- Pesé 20g de la quantité de matière (ciment I 42,5N LH /SR3 (CRS)).
- Placer les l'échantillon dans le bol et fermer avec son couvercle et mètre le tout dans le broyeur à disque et fermer la. Pousser le bouton de démarrage 90 seconds et attendre jusqu'à ce que l'opération de broyage soit terminée. On ajoute 1g de wax et redémarrage l'appareil pendant 20 seconds.

- Prendre 10g de l'échantillon broyé et placer l'anneau en acier dans la machine (pressehydraulique). À l'aide d'une spatule verser la matière dans l'anneau et uniformiser la surface de la matière. Fermer la porte de la presse et appuyer sur le bouton de démarrage.

- Attendre jusqu'à ce que l'opération de pression soit terminée.
- On prendre l'anneau avec précaution et nettoyer la face inférieure avec un pinceau.
- Sur la face inférieure, inscrire à l'aide d'un crayon l'identification de l'échantillon.

- Prendre la pastille et entrer dans la XRF. Le spectromètre de fluorescence des rayons X va analyser automatiquement les pastilles d'échantillons un par un dans la cellule d'analyse.



Figure III.1 : les étapes d'analyse XRF.

- ❖ Les analyses chimiques par spectrométrie de fluorescence X (XRF) permis de déterminer les éléments présents dans l'échantillon.

Le tableau au-dessous présente les résultats des analyses chimiques par XRF.

Tableau III-1 : Résultats du XRF

Composition chimique	(XRF) %	les valeurs d'API
SiO ₂	21.17	/
Al ₂ O ₃	3.903	/
Fe ₂ O ₃	4.456	/
CaO	58.02	/
MgO (maximum)	3.134	6.0
SO ₃ (maximum)	2.243	3.0
K ₂ O	0.462	/

Na ₂ O	0.102	/
-------------------	-------	---

Selon les résultats obtenus, on note que la composition chimique de CEM I 42.5N LH/SR3 positif et compatible avec la norme API.

III.1.1.2. Composition chimique par spectrométrie de rayon X [37] :

La diffraction des rayons X est une technique souvent utilisées pour l'analyse élémentaire de matériaux et de poudres minérales (sables, sédiments, ciments, poussières...).

La diffraction des rayons X (DRX) permet de contrôler de manière qualitative la composition élémentaire et la structure cristalline des matériaux. Elle est souvent utilisée pour le contrôle de la qualité de la composition des ciments, des céramiques, des poudres cristallines (verre, pigment, argile, métaux, carbonates, sels, substance organique cristallisée...). La diffraction des rayons X ne peut être mise en œuvre que sur les matières cristallisées [38].



Figure III.2 : La diffraction des rayons X (DRX)

Lors de l'hydratation du ciment, il y a sept (07) minéraux majeurs qui sont C3S, C2S, C3A et C4AF.

Le pourcentage de ces minéraux est calculé selon les formules de bouge suivantes :

- > **Na₂O équivalente** = 0,658 **K₂O** + **Na₂O**
- > **C3A** = 2,6504 **Al₂O₃** – 1,6920 **Fe₂O₃**
- > **C4AF** = 3,0432 **Fe₂O₃**

Les tableaux III-2 et III-3 ci-dessous présente l'ensemble des résultats obtenus lors le pourcentage des phases minéralogiques de CIM I 42.5N LH/SR3 et du des alcalis (Na₂O).

Tableau III-2 : Résultats du DRX

Phases minéralogiques	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
valeurs	59,54	23,37	2,812	13,54

Tableau III-3 : Résultats obtenues par calcul.

Composition %	valeurs obtenues	les valeurs d'API
C ₃ A (maximum)	2,812	3.0
C ₄ AF	13,54	/
C ₄ AF+2C ₃ A (maximum)	19,17	24
Na ₂ O (maximum)	0,405	0.75

On observe qu'il y a une compatibilité avec la norme API et les résultats obtenus.

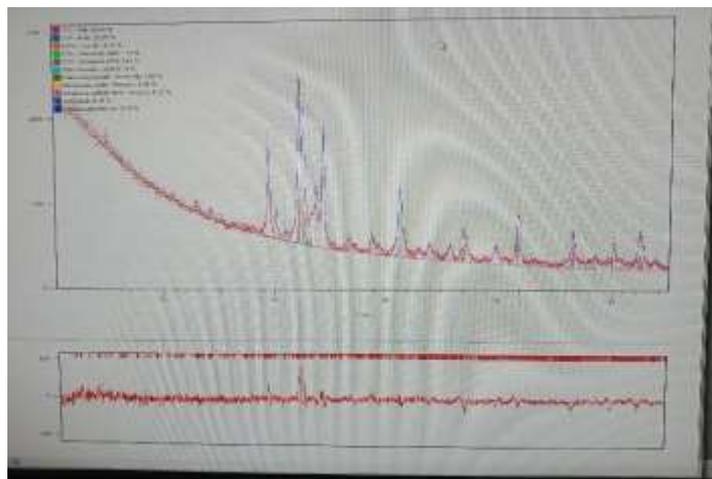


Figure III.3 : différentes phases minéralogique du ciment I 42,5N LH SR3 par diffraction du rayon X

III.1.1.3. Détermination de résidu insoluble :

a) Définition :

Il s'agit d'une méthode conventionnelle dans laquelle le résidu insoluble des ciments est obtenu au moyen d'une attaque par une solution diluée d'acide chlorhydrique pour éviter le maximum la précipitation de la silice en solution.

b) Appareillage :

- Four électrique réglé à (950 ± 25) °C.
- Balance au 0.1mg.
- Verrerie de laboratoire.
- Capsule en platine.
- Papier filtre moyen.

c) **Mode opératoire :**

- Peser 1g de ciment (M_1) et ajouter 90ml d'eau déminéralisée à l'éprouvette puis 10ml d'HCl concentré.
- Chauffer sur plaque au voisinage pendant 15 min.
- Filtrer l'insoluble et ajouter 100ml de solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 .
- Porter à ébullition 30min et filtrer puis rincer à l'eau distillée chaude.
- Rincer avec 20ml d'HCl 1/19 chaude et laver à l'eau chaude jusqu'à disparition des chlorures.
- Introduire le filtre dans une capsule en platine tarée.
- Calciner le papier dans four à moufle pendant 30min à $950^\circ C$ puis sortir la et refroidir en dessiccateur.
- Peser la capsule contenant l'insoluble (M_2).

Expression des résultats selon la formule :

$$\% \text{résidu insoluble} = \frac{M_2}{M_1} * 100$$

Avec :

M_1 : prise d'essai du ciment en grammes.

M_2 : masse de la capsule contenant le résidu insoluble calciné en grammes



Figure III.4 : les étapes de la détermination de résidu insoluble.

Le résultat des analyses chimiques est présenté dans le tableau sous-dessous.

Tableau III-4 : Résultats du résidu insoluble.

M_1	M_2	résidu insoluble	Exigence selon l'API (maximum en %)
1,0006	0,0067	0,66959824	0.75

Le résultat des analyses chimiques obtenues sont conformes aux normes américaines pétrolières (API).

III.2. Analyse physique :

III.2.1. Perte au feu :

a) Définition :

La perte au feu est le pourcentage de matière éliminée au cours de calcination à l'aire d'un échantillon.

b) Appareillage :

- Capsule en platine.
- Balance au 0.1mg.
- Four à moufle réglé à (950 ± 25) °C avec extraction.

- Dessiccateur.

c) Mode opératoire :

- Peser et noter la masse d'une capsule en platine **M1**.
- Peser et noter la masse de l'échantillon **Pe**.
- Placer la capsule dans le four à 950°C±25 et laisser calciner pendant 30min.
- Sortir la capsule du four et laisser refroidir quelques minutes.
- Peser et noter la masse de la capsule après perte au feu **M2**.

Expression des résultats selon la formule :

$$PAF = \frac{(M_1 + P_e) - M_2}{P_e} \times 100$$

Avec :

M₁ : masse de capsule Pe : prise d'essai en g

M₂ : masse finale (capsule+ matière calcinée).



Figure III.5 : les étapes de la détermination de perte au feu.

Le tableau III-5 présente le résultat de la perte au feu d'échantillon

Tableau III-5 : Résultats de la perte au feu

M ₁	Pe	M ₂	PAF	Exigence selon l'API (maximum en %)
18,5519	1,0001	19,5363	1,56984302	3.0

La valeur de PAF ne dépasse pas la valeur 3% donc, on peut dire que la norme API est respectée.



Figure III.5 : les étapes de la détermination de perte a feu.

III.3. Essai mecanique (flexion- compression) :

III.3.1. But :

Ils ont pour but de mesurer les résistances aux différentes contraintes au bout d'un certain temps. Les essais de flexion et de compression permettent de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion et la compression des liants hydrauliques [9].

III.3.2. Préparation de mortier :

- On pèse **450 g** de ciment, on introduit dans le récipient du malaxeur, et on ajoute **198ml** d'eau et on verse **1350 g** de sable normalisé dans le malaxeur et on met le malaxeur en marche.
- Ensuite, on verse le mélange dans le moule (**4.4.16**) à l'aide d'une spatule et on met le moule dans l'appareille à choc ; pour entasser les bulles d'air et on racle la surface du moule.
- Après, on met le moule dans l'étuve à 38°C et 60°C pendant 8 heures.
- Ensuite on fait le démoulage et on mesure les résistances.



Figure III.6 : les étapes de la détermination de résistance à compression.

Le tableau III-6 ci-dessous présente les résultats de la résistance mécanique à la compression de CEM I 42.5N LH/SR3.

Tableau III-6 : Résultats de la détermination de résistance à compression.

résistance à la compression	Condition de durcissement fra		Résistance à compression obtenus MPa	Résistance à compression minimale selon l'API MPa
	Température °C	Pression MPa		
résistance à la compression (8 h temps de séchage)	38	atm	5.4	2.1
	60	atm	14	10.3

D'après les résultats obtenus, on remarque que la résistance à la compression augmente d'une façon remarquable avec l'augmentation des températures, donc on peut dire que la résistance à compression du ciment confirme la norme API.

III.4. Consistomètre atmosphérique [38] :

- Mode opératoire :

Suite à la préparation du laitier de ciment on remplit soigneusement la cellule jusqu'au trait indiquant la capacité voulue. La coupelle de laitier insérée est fixée à la cellule par un système d'agrafes.

Le moteur est actionné, ainsi que le système de chauffage de l'huile, on mesure les caractéristiques après 20 min de conditionnement à la température désiré.

Le résultat de Consistomètre atmosphérique est présenté dans le tableau sous-dessous.

Tableau III-7 : Résultats de la consistance.

Propriété	Résultat (min)	Exigences physique de ciment pétrolier classe G selon API
Consistance	20	15-30 min

III.5. Eau libre [38] :

III.5.1. Objectif de l'essai :

L'eau qui ne participe pas à l'hydratation du laitier de ciment, après le durcissement l'eaulibre va être portée sur le laitier de ciment. Donc s'il y aura une quantité importante d'eau

libre, on aura une partie du puits non cimenté, ce qui va menacer exploitation et la durabilité du puits.

Cet essai sert à voir le volume d'eau libre qu'on aura après le durcissement du laitier de ciment.

III.5.2. Mode opératoire :

Le laitier de ciment conditionné dans le Consistomètre atmosphérique à 27° C pendant 20min. à sa sortie on le remixe pendant 35s à une vitesse de rotation élevée.

On remplit une éprouvette gradué de 250 ml et après 2 heures de repos on lit le volume d'eau libre.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III-8 : Résultats d'Eau libre.

Propriétés	Résultats	Exigences physique de ciment pétrolier classe G selon API
Eau libre %	3.5	5.9

La quantité d'eau libre inférieure à la valeur **5.9%**, alors elle est dans l'intervalle de la norme API.

III.6. Le temps de pompabilité [38] :

- Mode opératoire :

Le laitier de ciment est contenu dans un cylindre maintenu en rotation à 150 tr/min, au centre de ce cylindre se trouve un axe porteur de palette. Celui-ci est soumis à un couple d'entraînement d'autant plus important que la viscosité du laitier augmente, un rhéostat couplé sur l'axe permet de donner une lecture et un enregistrement de la consistance. Il s'exprime en unité de consistance (UC), ce consistomètre est conçu de telle sorte que le laitier peut être soumis à des variations conjointes de température et de pression, afin de permettre la simulation des conditions de pompage dans le puits.

- On remplit la cellule de laitier de ciment après l'opération de mixage, on place la cellule dans le puits, puis le potentiomètre qui permet de mesurer la consistance du laitier. On ferme le puits du consistomètre.

- En plaçant le thermocouple qui permet de suivre la température du puits et celle du laitier, l'opération se termine quand la consistance du laitier atteint 100 UC, c'est ce que l'on appelle temps de pompabilité ou temps de prise du laitier de ciment.

Le temps de pompabilité d'un laitier est principalement influencé par la température et la

pression.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III-9 : Résultats du temps de pompabilité.

Propriété	Résultat (min)	Exigences physique de ciment pétrolier classe G selon API
Temps de pompabilité	110	90-120 (min)

La norme API est respectée à partir des résultats présentés sur le tableau ci-dessus, ce qui est Obligatoire.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Le ciment injecté dans l'espace annulaire entre le cuvelage et la formation géologique autour d'un puits de forage joue un rôle crucial pour tenir le cuvelage et le protéger de la corrosion et également pour assurer l'étanchéité du puits.

L'Algérie importe du ciment de pétrole utilisé dans les puits de pétrole, environ 200.000 tonnes annuellement, pour une valeur d'environ 30 millions de dollars annuellement. Ce qui l'a poussé à chercher à produire cette substance localement, en fonction de ses usines, et donc La production locale de cette matière réduira la facture d'importation.

La SCAEK est la première société en Algérie et en Afrique à produire le ciment pétrolier, avec un excellent rapport qualité-prix a noté le groupe GICA [39].

L'usine du Groupe industriel du ciment algérien (GICA) à Ain El Kebira, située à 27 km au nord-est de Sétif ; Elle obtenu de deux certifications internationales pour le ciment pétrolier produit au niveau local à 100%, concerne la qualité du produit Q1-API, 1Q A et permet d'utiliser le ciment pétrolier local [40].

Le Groupe Industriel du Ciment Algérien (GICA) annonce son lancement dans la production de ciment pétrolier en Algérie, après finalisation du processus de certification nationale et internationale ainsi que les essais nécessaires. L'objectif étant de réduire de manière significative l'importation de ce produit utilisé par le groupe SONATRACH et ses partenaires étrangers. La demande totale annuelle de 200.000 tonnes devrait être couverte en grande partie localement [41].

Dans ce contexte pourquoi BISKRIA Ciment ne fabrique pas ce type de ciment ? Les résultats expérimentaux menés à travers cette étude permettent de dégager les conclusions suivantes :

Selon les résultats obtenus par l'analyse de fluorescence X et par spectre de diffraction des rayons X sur le ciment **CEM I 42.5N LH/SR3**, la comparaison de ces résultats avec les conditions de la norme [API] donne :

- ✓ CEM I 42,5 N L-H /SR3 répond aux exigences chimiques de L'API.
- ✓ CEM I 42,5 N L-H /SR3 répond aux exigences physique de L'API en terme :

* Résistance à la compression 8h, 38°C et 60°C.

Finalement, On conclue que le ciment **CEM I 42.5N LH/SR3** fabriqué répond aux normes d'un ciment pétrolier classe G, qui est le type à haute résistance aux sulfates (**HSR**).

REFERENCES

- [1] **A.E.R. ARIDJ** « Impact de la minéralogie de clinker sur la broyabilité et les performances des broyeurs ciment », Mémoire du master, université de Mémoire de Master Université Mohamed Khider de Biskra, 2020.
- [2] <https://biskriaciment.com>.
- [3] **E. ROMILLIAT** « Étude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker », Génie de procédés, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Université Jean Monnet de Saint-Etienne. N° d'ordre : 396GP, France, 2006.
- [4] **C. CHARRON** « L'industrie du ciment ; Données générales ». Ecole thématique « Matériaux cimentaires », 2008.
- [5] **A. SIDI AISSA, L. SIDI YAKOUB** « Optimisation du taux des incuits pour la fabrication de ciment CPJ CEM I A/42,5 », Diplôme DEUA en chimie industrielle, Département de chimie, Université Abou-Bakr Belkaïd, 2008.
- [6] **B.BELHACHEMI, N. E. HASSAINE** « Etude d'un milieu agressif acide sur un mortier à base de ciment composé », Communication Science & Technologie(COST), 2012.
- [7] **F. Z. HASNI, A. EL-BOUSLEMTI** « Influence de la composition minéralogique du clinker sur la qualité de ciment », Diplôme DEUA en chimie industrielle, Département de chimie, Université Abou-Bakr Belkaïd, 2007.
- [8] **M. A. BENHADDA** « La durabilité du mortier à base de ciment de Béni-Saf vis-à-vis de milieux basiques NaOH et NH₄OH », Diplôme d'ingénieur d'état en chimie industrielle, Génie des procédés, Université Abou-Bakr Belkaïd, 2012.
- [9] **H. MEBARKI** « Etude comparative des clinkers de l'ouest Algérien : Analyse Physicochimique et Applications », Mémoire du master académique en chimie, université de Tlemcen, 2013.
- [10] https://fr.wikipedia.org/wiki/Minerai_de_fer.
- [11] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Sable.html>.
- [12] **J.VECOVEN, HOLCIM** ; CNRS ; Centre national de la recherche scientifique ; L'industrie du ciment données générales ; ATIH (Association techniques de l'industrie des liants hydrauliques ; Ecole thématique « matériaux cimentaire » ,2005.
- [13] **C. GUERANDEL** « Étude de la qualité du piégeage des matières organiques par la matrice cimentaire vis-à-vis de la lixiviation », Thèse de doctorat, Chimie analytique : Université Paul Verlaine –METZ, 2009.
- [14] Société de Ciment de Ain El Kbir ; dirgem@scack.dz ; web : www.erce-dz.com ; 2008.
- [15] **Y. MOHAMED** « Contribution à la valorisation d'un déchet de cimenterie (ciment

hydraté) pour l'élaboration d'un nouveau ciment », Mémoire du master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016

[16] **A.GHERMAOUI** « Effets de certains métaux sur les propriétés physico des mortiers de ciment de Béni pouzzolane », Mémoire du master, Université Aboubaker belkaid- Tlemcen, 2015.

[17] **Y.MADOU** « Recyclage d'un déchet industriel (poussière de By-pass) », Mémoire du master, Université Mohamed Kheider de Biskra, 2019.

[18] **A.BENAISSA, Y.HASSINOUI** « Optimisation du Taux Des Incuits Dans le Ciment CEM II/A 42,5 », Mémoire du master, centre universitaire Belhadj bouchaib-Ain témochente, 2018.

[19] www.amidesneuneus.free.fr.

[20] **K.ADDAR** « les comportements d'un mortier modifier à base de la poussière rejeté par la cimenterie » Mémoire de la fin d'étude, Département de Matériaux en Génie Civil, Université Akli Moand Oulhadje – Bouira, 2018.

[21] **H.HADDOU** « Comportement des mortiers à base d'un ciment portland et ciment ».

[22] <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/601357/ciment>

[23] <https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/le-ciment-composition-et-fabrication>.

[24] **J. FRACHEBOURG** « Contribution à l'étude de quelques pouzzolanes naturelles et artificielles en vue de la fabrication des ciments de pouzzolanes », Ingénieur chimiste diplôme EPUL, Ecole polytechnique, Université de Lausanne, STMAURICE, 1965.

[25] **A.LEGMA** « Optimisation de la teneur en gypse dans Le ciment composé CEM II », Mémoire du master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.

[26] **N.MEZERAI** « Durabilité d'un mortier à base d'un ciment portland composé à la Pouzzolane CPJ-CEM II A vis-à-vis d'un milieu agressif », Mémoire du master, université de Tlemcen ,2013.

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

[28] **Y.CHERAIT, Z.E.D.NAFA**. «Eléments de matériaux de construction et essais».

[29] Documentations de l'usine Biskria cimenterie S.P.A.

[30] **N.GUENNOUCHE** « Préparation à la fabrication d'un ciment pétrolier classe G à partir des matériaux disponibles au niveau de la cimenterie de Ain El Kebira ». Mémoire de la fin d'étude, Université Abderrahmane Mira Bejaia, Département des Mines et Géologie ,2017.

[31] **LAFARGE, S.A**, «API well cement class “G” type HSR», cement produced according to standard, API SPEC 10 A, Oficinas Centrales : C/ Orense, 70 - 28020 Madrid 1997.

[32] ISO, -cements and materials for well cementing- Part 1: specification, in Petroleum and

natural gas industries, i. standard, Editor. 2009.

[33] **R.KNUDSEN, E.V, J.CLAUDE, PROUVOST, P.LAURENT, MILNE, W. ARTHUR, PESSIN, J. LOUIS**, “Method and apparatus for cementing a well. 2001, Google Patents: Patent and Trademark Office”.

[34] **S.BECHAR** « Etude et formulation d'un laitier de ciment pétrolier élaboré avec l'incorporation des additions naturelles », Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD 3ème cycle, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019.

[35] **S. DAHMANI** « Contribution à la production d'un ciment pétrolier à base de poudre de sable de dunes et d'autres minéraux », Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.

[36] <https://www.malvernpanalytical.com/fr/products/product-range/zetium>.

[37] <https://www.analytice.com/analyses-spectrometrie-de-fluorescence-x-xrf-diffraction-des-rayons-x-xrd>.

[38] **M.HAMRIOUI, F.SIDALI** « Effet de la Cem CRETE sur les propriétés physico-mécaniques et rhéologiques d'un laitier de ciment destiné à la cimentation des puits Pétroliers. » Mémoire du master, université de M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES,2017

[39] <https://radioalgerie.dz/news/fr/article/20191021/182399.html>.

[40] <https://www.algerie-eco.com/2019/08/06/la-certification-du-ciment-petrolier-de-lusine-dain-el-kebira-met-fin-a-limportation>.

[41] <https://www.businessfrance.fr/algerie-gica-se-lance-dans-la-production-de-ciment-petrolier>.