



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE EL-HADJ LAKHDAR BATNA  
INSTITUT D'HYGIENE & SECURITE INDUSTRIELLE



Laboratoire De Recherche En Prévention Industrielle (LRPI)

Mémoire Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De  
**MAGISTER**

EN

HYGIENE ET SECURITE INDUSTRIELLE

OPTION : GESTION DES RISQUES

PAR

Mouna BOUHIDEL épouse MEKAHLI  
Ingénieur En Hygiène Et Sécurité Industrielle

---

**APPLICATION D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)  
POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE :  
CAS DES CIMENTERIES ALGERIENNES**

---

Composition du jury:

M. Mébarek DJEBABRA	Professeur à l'Université de Batna	Président
M. Noureddine BOURMADA	Professeur à l'Université de Batna	Rapporteur
M. Rachid NAÏT-SAÏD	Maître de conférences à l'Université de Batna	Examineur
M. Rachid SMAÏL	Maître de conférences à l'Université de Batna	Examineur
M. Mahmoud OMARI	Professeur à l'Université de Biskra	Examineur

Année 2009

« Mieux vaut éclairer une chandelle que de maudire l'obscurité »



Au tout début, il y eut ceux qui possédaient la graine d'idée 'Monsieur BOURMADA, et Madame ABDELMOUMENE'. Ma tête devint son coton humide...

Ensuite il y eut ceux qui offrirent un jardin et celui qui accepta d'arroser jour après jour cette graine devenue plantule.

Comme dans toutes les histoires de graines, il y eut un soleil, une terre fertile avec des petit vers travailleurs, il y eut même des abeilles pour venir butiner les premières fleurs, et féconder les premières idées...il y eut la pluie et puis le temps.

Parfois il eut du vent mais jamais vraiment d'orage ..., plusieurs fois il eut des papillons..., décidemment cette graine était bien tombée.

Aujourd'hui je tiens dans mes mains un petit fruit encore vert, que je ne finirai peut-être pas de mûrir...

Je sais qui est la pluie, je sais qui est l'abeille... leurs noms sont bien rangé dans ma tête... A tous ceux-là je dis merci, et grâce à eux je sais mieux qui je suis.

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	iii
<b>SOMMAIRE</b> .....	iv
<b>ABREVIATIONS ET ACRONYMES</b> .....	vii
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	ix
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	2

## **CHAPITRE I : ETAT DE L'ART DE L'INDUSTRIE CIMENTIERE**

INTRODUCTION.....	6
I.1 DESCRIPTION DES MATIERES UTILISEES POUR LA FABRICATION DU CIMENT.....	6
I.1.1 Clinker.....	7
I.1.2 Laitier de haut fourneau .....	7
I.1.3 Pouzzolanes.....	8
I.1.4 Cendres volantes.....	8
I.1.5 Fillers.....	8
I.2 CATEGORIES ET DESIGNATION DES CIMENTS .....	8
I.2.1 Catégories des ciments .....	8
I.2.1.1 Cimements courants ou cimements CEM .....	8
I.2.1.2 Cimements spéciaux .....	8
I.2.1.3 Cimements hors normes.....	9
I.2.2 Désignation des ciments .....	9
I.3 PROCÉDES ET TECHNIQUES DE FABRICATION DU CIMENT .....	10
I.3.1 Différents procédés .....	10
I.3.2 Techniques de fabrication .....	11
I.3.2.1 Extraction des matières premières .....	12
I.3.2.2 Stockage et broyage des matières premières.....	13
I.3.2.3 Cuisson pour obtention du clinker .....	13
I.3.2.4 Broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment .....	17
I.3.2.5 Conditionnement et expédition .....	17
CONCLUSION.....	17

## **CHAPITRE II : ANALYSE DE CYCLE DE VIE : UN OUTIL D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE GLOBALE.**

INTRODUCTION.....	20
II.1 ACV PARMIS LES METHODES D'EVALUATION.....	21
ENVIRONNEMENTALE.....	21
II.1.1 Méthodes d'évaluation environnementale.....	21
II.2.2 Comparaison entre l'ACV et l'Etude d'Impact Environnemental EIE..	24
II.2 CADRE METHODOLOGIQUE ET HISTORIQUE D'ACV.....	24
II.2.1 Historique et cadre institutionnel.....	24
II.2.2 Présentation de cadre méthodologique.....	26

II.2.2.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude .....	27
II.2.2.2 Analyse de l'inventaire du cycle de vie.....	28
II.2.2.3 Évaluation des impacts du cycle de vie.....	29
II.2.2.3.1 Etapes d'évaluation .....	29
II.2.2.3.2 Normalisation, pondération et score .....	32
II.2.2.3.3 Méthodes d'évaluation d'impact dans les ACV.....	33
II.2.2.4 Interprétation de l'analyse du cycle de vie.....	36
II.3 PANORAMA RAPIDE DE QUELQUES LOGICIELS POUR REALISER DES ACV.....	36
II.4. APPORT ET POINT FAIBLE DE L'ACV.....	37
II.4.1 Points forts du processus des ACV.....	37
II.4.2 Limite de la méthodologie.....	38
CONCLUSION.....	39

### **CHAPITRE III : APPLICATION ET MISE EN PRATIQUE DE L'ACV POUR LES CIMENTERIES : CAS DE S.C.M.I MEFTAHA.**

INTRODUCTION.....	41
III.1 PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DE SCMI .....	42
III.1.1 Identification de l'entreprise.....	42
III.1.2 Gisement des matières premières.....	43
III.1.3 Utilités.....	43
III.1.4 Description du milieu.....	43
III.1.4.1 Donnée topographique.....	43
III.1.4.2 Hydro climatologie .....	44
III.2 SCHEMA SYNOPTIQUE SIMPLIFIE DE LA LIGNE DE PRODUCTION	45
III.3 REALISATION DE L'ACV .....	48
III.3.1 Définition des objectifs et de champ de l'étude.....	49
III.3.1.1 Définition des objectifs.....	49
III.3.1.2 Champ de l'étude (scope) .....	49
III.3.2 Analyse de l'inventaire.....	50
III.3.2.1 Origine et nature des données collectées.....	50
III.3.2.1.1 Bilan quantitatif et qualitatif des flux d'entrée.....	51
A. Eau.....	51
B. Matières premières de base.....	51
C. Matières premières auxiliaires.....	52
D. Energie.....	53
III.3.2.1.2 Bilan quantitatif et qualitatif des flux de sorties.....	54
A. Produits finis et semi finis.....	54
B. Eau.....	54
C. Déchets .....	55
D. Bruit .....	55
E. Air (poussières et gaz) .....	56
III.3.2.2 Approche 'Entrant-sortant'.....	57

III.3.2.2.1 Emission de Dioxyde de Carbone 'CO <sub>2</sub> '.....	57
A. Emissions de CO <sub>2</sub> du procédé de décarbonatation.....	58
B. Emissions de CO <sub>2</sub> de combustion pour la clinkérisation...	59
C. Emissions de CO <sub>2</sub> résultant de la poussière de four à ciment ou de la poussière de déviation.....	61
III.3.2.2.2 Emissions des particules en suspension (PM <sub>10</sub> ).....	62
III.3.2.2.3 Emissions des Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) .....	65
III.3.2.2.4 Emissions des Monoxydes de carbone (CO).....	65
III.3.2.3. Récapitulatif et interprétation des résultats.....	65
III.3.3 Impacts évalués.....	72
III.3.3.1 Classification et caractérisation.....	72
III.3.3.2. Valeur de Normalisation (Normation) et pondération.....	73
III.3.3.3. Présentation des résultats et interprétation.....	74
CONCLUSION.....	80

**CHAPITRE IV: DEMARCHE SOCIO-ECONOMIQUE: PROPOSITION  
METHODOLOGIQUE.**

INTRODUCTION.....	82
IV.1.LES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES.....	82
IV.1.1. Commercialisation du ciment.....	82
IV.1.2. Evolution de l'emploi.....	83
IV.1.3. Chiffre d'affaires et la valeur ajoutée.....	84
IV.1.4. Productivité.....	85
IV.1.5. Investissement.....	85
IV.2. ESTIMATION DES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES.....	85
IV.2.1.Principe de calcul.....	85
IV.2.1.1. Les effets directs.....	85
IV.2.1.2. Les effets indirects.....	87
IV.2.1.3. Les effets induits .....	87
IV.2.2. La méthode d'évaluation des impacts.....	87
IV.3. SYNTHESE DE L'IMPACT GENERE PAR L'INDUSTRIE DANS.....	89
L'ECONOMIE DE L'ETAT.....	89
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>ANNEXES</b>	
<b>GLOSSAIRE</b>	

Notation	Définition
ACV	Analyse de cycle de vie
LCA	Life cycle analysis
CPJ	Ciment portland aux ajouts
CPA	Ciment portland artificiel
CHF	Ciment de haut fourneau
CP	Ciment pouzzolanique
CLC	Ciment au laitier et au cendre
CLK	Ciment de laitier au clinker
EIE	Etude d'impact environnemental
EDa	Etude de danger
EDé	Etude de déchet
SME	Système de management environnemental
REPA	Resource and environment profil analysis
ISO	International organization for standartization
SETAC	Society of Environemental Toxicology and Chemistry
PNUE	programme des nations unies pour l'environnement
UF	Unité Fonctionnelle
ICV	Inventaire de Cycle de Vie
EICV	Evaluation de l'Impact du Cycle de Vie
FC	Facteur de caractérisation
N	Normalisation
P	Pondération
S	Score
SCMI	Société des ciments de la Mitidja
CETIM	Centre d'Etudes et de Service Technologique de l'Industrie des Matériaux de Construction
KK	Clinker
ERCC	Entreprise régionale des ciments du centre
PAT	Précalcinateur à air- through
PAS	Précalcinateur à air séparé
ATM	Alimentation Tablier Métallique
BC	Broyeur cru
APS	Atelier prébroyage séchage
CDM	Centre de démarrage des moteurs
ABC	Atelier broyage cru
BK	Broyeur clinker
SGS	situation globale des stocks.
DBO	Demande Biologique en oxygène
DCO	Demande Chimique en oxygène
GES	Gaz à effet de serre
PFC	Poussière de four à ciment
PD	Poussière de déviation
BMP	Bureau maintenance et production

DALY	Disability Adjusted Life Years
PDF*m2yr	Potentially Disappeared Fraction of plant species
eq hbt	Equivalent habitant
GWP100	Global warming 100year (Effet de serre à 100 ans)
RIP	Respiratory inorganics potentiel
PCC	potentiel dérèglement climatique
EBE	L'excédent brut d'exploitation
PIB	Produit intérieur brut.
IPCC	Impact potentiel respiratory organics

**Figures:**

Fig I.1	Composition chimique du clinker	7
Fig I.2	Présentation schématique d'une cimenterie à voie sèche	12
Fig I.3	Schéma de tour échangeuse	14
Fig I.4	Four rotatif à ciment 'le cœur de la cimenterie'	15
Fig I.5	principales zones de réactions dans le four et leurs produits	16
Fig I.6	Ligne de fabrication du ciment	18
Fig II.1	Comparaison entre l'Etude d'Impact Environnemental et l'ACV	24
Fig II.2	Présentation d'une analyse de cycle de vie	27
Fig II.3	Représentation de la l'inventaire environnemental	29
Fig II.4	Cadre conceptuel pour définir les indicateurs de catégorie d'impact.	30
Fig II.5	Etapes de calcul des impacts	32
Fig II.6	Structure générale de la méthode Eco-indicateur	34
Fig II.7	Principe de classification de la méthode EPS	35
Fig III.1	Implantation des cimenteries algériennes	42
Fig III.2	Flow sheet simplifié de la ligne de production	46
Fig III.3	Flow chart simplifié de la cimenterie	50
Fig III.4	Caractéristique de la cheminée IMAZA	62
Fig III.5	Facteur d'émission PM10 par phase de vie produit	65
Fig III.6	Répartition de la consommation par type de matière première en 2005	68
Fig III.7	Evolution de consommation d'énergie gazière pour la période (1998-2007)	68
Fig III.8	Evolution de production de Farine-Clinker-Ciment pour la période (1998-2007)	70
Fig III.9	Evolution de l'émission CO2 ramenées à la tonne de clinker produite selon les années (1998-2007)	70
Fig III.10	Synthèse des émissions de CO2, CO, NOx et PM10 ramenées à la tonne de clinker produite pour la période (1998-2007)	71
Fig III.11	Graphe représentatif de l'importance relative de CO2 par rapport à la catégorie d'impact dérèglement climatique	75
Fig III.12	Graphe représentatif de des catégories d'impact environnemental de CPJ	76
Fig III.13	Evaluation d'impact normalisé pour la catégorie 'respiration inorganique'	77
Fig III.14	Evaluation d'impact pour la catégorie 'respiration inorganique	77
Fig III.15	Contribution des PM10 aux étapes de cycle de vie-catégorie 'respiration inorganique'	78
Fig III.16	Pondération des catégories de dommages selon Eco-indicateur 99	78
Fig III.17	Comparatif entre les impacts changement climatique et les impacts respiration inorganique sur la période (1998-2007)	79
Fig III.18	Score d'impacts sur dix ans (1998-2007) par Eco-indicateur 99	80
Fig IV.1	Positionnement de l'emploi dans l'industrie cimentière Meftah entre 2003-2007	83
Fig IV.2	Evolution du chiffre d'affaires du secteur cimentier Meftah pour la période 2002-2007	84

**Tableaux:**

Tab I.1	Les quatre phases cristallines principales	7
Tab I.2	Désignation des ciments	9
Tab I.3	Principales caractéristiques des différentes voies	11
Tab II.1	Méthodes d'analyse environnementales	22
Tab II.2	Survol historique des analyses du cycle de vie	25
Tab II.3	Normes ISO 14 000 dans le domaine de l'environnement d'analyse de cycle de vie	26
Tab II.4	Catégorie d'impacts de base et complémentaires à prendre en compte dans une ACV	30
Tab II.5	Facteur de caractérisation pour trois catégories d'impact	31
Tab II.6	Classes d'impacts utilisées dans CML	34
Tab II.7	Les nouvelles catégories d'impacts de la méthode Eco-indicateur	35
Tab III.1	Types et caractéristiques des carrières	43
Tab III.2	Types et caractéristiques des carrières des ajouts	43
Tab III.3	Intensité mensuelle des pluies en mm	44
Tab III.4	Analyse des températures moyennes (1995-2004)	45
Tab III.5	vitesse mensuelle moyenne et maximum des vents	45
Tab III.6	Taux de consommation d'eau dans le processus	51
Tab III.7	Taux de consommation de matière première durant l'année 2005	52
Tab III.8	Composition chimique moyenne de la matière première	52
Tab III.9	Les nouvelles charges de boulets utilisées durant les années 2003, 2004, et 2005	52
Tab III.10	Consommation d'énergie électrique et gazière en 2005	53
Tab III.11	Production de farine, clinker et ciment pour 2005	54
Tab III.12	Caractéristiques chimiques, physiques et minéralogiques de produit fini et semi fini	54
Tab III.13	Analyse des Rejets d'effluents liquides de la cimenterie et les valeurs limites industriels	55
Tab III.14	Niveau de pression sonore à l'intérieure de l'usine	56
Tab III.15	Composition et caractéristique du gaz naturel	59
Tab III.16	Bilan des fumées résultant de la combustion de gaz naturel	60
Tab III.17	Evaluation à partir d'IMAZA par l'organisme CETIM	62
Tab III.18	Examen du cycle de vie de produit cimentier 'CPJ. CEM II/A – M 32.5' en 2005 "Société des ciments de la MITIDJA"	66
Tab III.19	Evolution des inputs- outputs durant les années 1998-2008 du produit cimentier CPJ. CEM II/A – M 32.5	67
Tab III.20	Attribution des émissions aux catégories d'impact correspondante et calcul d'impact	73
Tab III.21	Normalisation et pondération par catégorie d'impact	73
Tab III.22	Normalization and Weighting Assessment According to Eco-indicator 99(E)	74
Tab IV.1	Commercialisation du ciment pour 2007	83
Tab IV.2	Evolution des volumes de l'offre de CPJ MEFTAH	84
Tab IV.3	Calcul de l'impact économique direct	88
Tab IV.4	Détermination de l'impact induit	88
Tab IV.5	Détermination de l'impact économique total	89
Tab IV.6	Détermination de l'impact social total	89

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

### 1- PROBLEMATIQUE:

Le secteur cimentier est amené à faire des progrès pour vaincre les défis qu'il rencontre et suivre les développements scientifique, technologique et environnemental du siècle. Il est sensé, afin de faire face à l'exigence du consommateur actuel et de s'opposer à la concurrence internationale, il doit également parvenir à baisser son prix de revient. Ceci ne peut se réaliser que par l'application d'une politique de gestion très stricte qui permet la maîtrise de la production et le respect de l'environnement.

En Algérie, ce secteur, compte douze entreprises, pouvant produire annuellement plus de 11 million de tonnes, et font l'objet continuellement d'importants travaux de mise à niveau technologique, visant notamment l'optimisation de la production. L'extraction, le broyage, le chauffage, et le frittage de grandes quantités de matière première impliquent pour nous un solide ancrage dans l'environnement local ainsi que des responsabilités. Cet ancrage nous oblige à relever toute une série de défis techniques, réglementaires, politiques, culturels ... .

A la question environnementale qui prend une place prioritaire depuis longtemps, et qui a toujours été la pierre angulaire de nos engagements, nous ajoutons l'aspect économique et social. Donc, nous devons assumer notre responsabilité et adopter la «triple bottom line», c'est-à-dire maîtriser les dimensions environnementale, économique et sociale.

On mettra ces trois éléments centraux du développement durable sur un pied d'égalité dans la stratégie d'entreprise, pour cela nous sommes tenus de réfléchir et d'agir en conséquence.

### 2- OBJECTIFS DE L'ETUDE:

S'il est très facile de parler de développement durable, passer de la parole aux actes et sensiblement plus délicat. Pour l'avenir de notre société, il est indispensable que les affirmations s'accompagnent d'actions efficaces contribuant à une réduction effective des impacts environnementaux.

En effet, Pour disséquer la problématique, une grande variété de méthodes a été développée, nous utilisons une, qui a été identifiées comme pertinente pour l'évaluation des productions industrielles, et permet de tenir en compte l'ensemble des impacts attachés au produit, procédés ou service tout au long de ce qu'on appelle son cycle de vie.

Ce concept de cycle de vie est aujourd'hui mis en avant dans le cadre de la Politique de Produit Intégrée définie par l'union européenne qui établie que « ...tout produit cause des dégradations à l'environnement d'une façon ou d'une autre, soit lors de sa fabrication, de son utilisation ou de sa mise en déchet. La Politique intégrée sur le produit vise à minimiser ces impacts en tenant compte de toutes les phases du cycle de vie du produit et en agissant là ou cela est le plus efficace ».

L'Analyse de Cycle de Vie 'ACV ou LCA' est une technique d'aide à la décision environnementale. Approche prônée par le Programme Des Nations Unies pour l'environnement pour la mise en œuvre du développement durable. C'est également une approche qui permet aux entreprises de cibler leurs efforts en matière de réduction des gaz à effet de serre. En plus de minimiser les impacts sur l'environnement d'un produit ou d'un service, l'ACV permet également à une organisation de réaliser des économies substantielles sur le prix de revient de ce même produit ou service.

Elle est actuellement l'outil le plus abouti en termes d'études des aspects environnementaux et des impacts potentiels. Cet outil permet notamment de s'assurer que les choix posés sont judicieux d'un point de vue environnemental aussi bien lors de la conception que lors de la fabrication ou l'utilisation de produit.

Nous essayerons à travers une ACV simple d'apporter une vision chiffrée des répercussions du produit 'CPJ' procréé par l'industrie cimentière algérienne sur l'environnement physique, et socio-économique. Afin d'aboutir à des décisions plus efficaces, servant à guider l'industrie dans les domaines de la protection du climat, de l'usage efficace des ressources, de limitation des émissions, du bien-être du personnel, du bien-être de la communauté, de la bonne gestion écologique, du développement régional, de l'intégration économique, de l'innovation et de la coopération au sein du secteur industriel.

### **3-ORGANISATION DU MEMOIRE:**

L'organisation de ce mémoire suit la démarche adoptée lors de la réalisation de notre travail. L'environnement de notre étude est donc tout d'abord détaillé, l'approche retenue est introduite, et son choix s'est clairement justifié dans la partie théorique. La partie pratique, quand à elle, illustre à travers une application industrielle, la mise en œuvre de l'approche proposée pour l'aide à la décision. La société des ciments de la Mitidja 'Meftah' nous a servis de champ d'application.

Le **premier chapitre** de ce mémoire à saveur théorique, consiste à faire l'état de toutes les avancées scientifiques et techniques concernant le ciment, sa composition et sa fabrication, de la roche naturelle à la pierre de l'homme.

Le **deuxième chapitre** présente, après avoir positionné la méthodologie ACV par rapport aux autres méthodes, son cadre formel. Il expose les méthodes existantes d'évaluation d'impacts dans les analyses de cycle de vie.

La méthodologie sera alors détaillée pour mieux comprendre le travail qui suit.

L'originalité de la démarche dans le **troisième chapitre**, porte sur la compilation des Inputs-Outputs de la cimenterie, afin d'obtenir un inventaire rigoureux et de qualité, répertoriant de façon objective l'ensemble des impacts environnementaux potentiels, qui sont très dépendants des caractéristiques du milieu.

Il s'agit de calculer l'ensemble des consommations (de ressources naturelles et/ou énergétique notamment) et des rejets (dans l'air, dans l'eau...) de l'activité en considérant les trois étapes de vie de CPJ: extraction- fabrication et expédition.

Pour l'estimation des impacts générés par la production de CPJ, le logiciel Simapro 7.0 est proposé disposant d'une ou de plusieurs méthodes d'évaluation des impacts environnementaux et plusieurs bases de données.

La société des ciments constitue une sentence lourde à assumer sur les plans, social et économique. Nous essayerons dans le **quatrième chapitre** et à travers la technique 'dépense-revenu' de dresser un portrait global de la situation actuelle de SCMI 'Meftah' en matière d'évaluation d'impact social et économique.

La dernière partie de mémoire est réservée à la conclusion. Elle permet de faire un bilan des recherches effectuées, et de présenter les difficultés de l'exercice et des perspectives pour aller plus loin.

Pour les cimenteries, l'approche ACV suggère la mise en œuvre des mesures et des mécanismes de développement qui vont faire avancer l'entreprise, elle permet d'intégrer de façon cohérente les dimensions économique et sociale du développement durable.

# **CHAPITRE I :**

**ETAT DE L'ART DE L'INDUSTRIE  
CIMENTIERE**

## INTRODUCTION:

Le ciment est un matériau de base dans les secteurs du bâtiment et du génie civil. Il est utilisé dans la fabrication du béton, qui est le deuxième matériau le plus utilisé sur la planète. C'est un matériau de construction durable, versatile et totalement recyclable.

Le ciment est fabriqué dans plus de 150 pays dans des centaines d'usines locales. Sa production progresse régulièrement depuis le début des années cinquante. Elle ne cesse d'augmenter dans les pays en voie de développement en particulier en Asie, qui s'est taillé la part du lion dans l'augmentation de la production mondiale de ciment pendant la dernière décennie. Cette augmentation de productivité est due à l'apparition d'unités de production de plus en plus grandes, à la mise en œuvre de la conduite automatique des procédés et à l'utilisation d'un personnel moins nombreux mais plus qualifié requis par cette automatisation.

Les marchés du ciment sont avant tout locaux. Il existe cependant un commerce mondial et dans certains cas l'expédition internationale de ciment est économiquement viable. La concurrence internationale est surtout une menace pour les usines au niveau individuel

Ce chapitre est construit autour du fil conducteur de la production cimentière. Il présente les techniques et les procédés dont sont issues les ciments, après avoir connu les matières utilisées pour la fabrication ce liant hydraulique, et ses types.

### I.1 DESCRIPTION DES MATIERES UTILISEES POUR LA FABRICATION DU CIMENT:

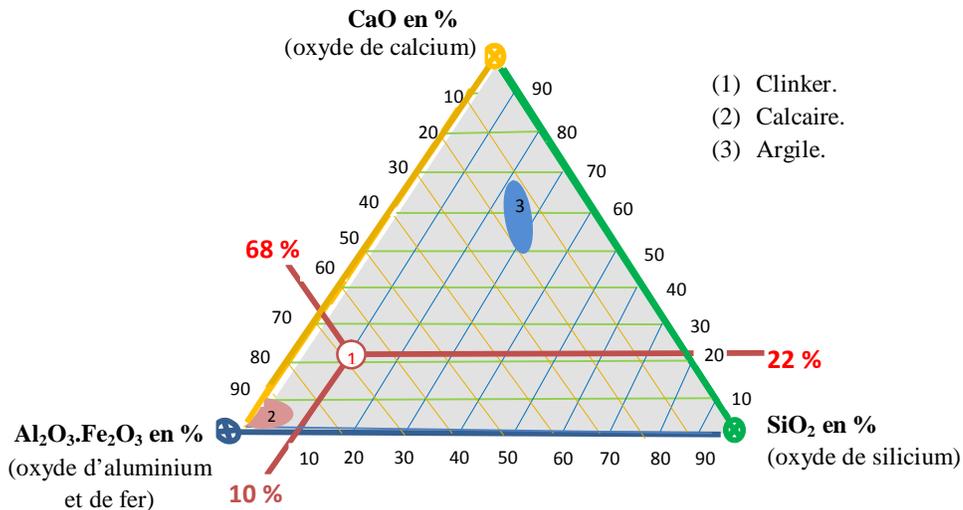
Le ciment est un produit très commun dans la civilisation contemporaine, mais il est mal connu du grand public. Sa fabrication est une prouesse technique que l'on ne soupçonne pas.

L'origine des ciments remonte très loin dans l'histoire de l'humanité. Ils auraient d'abord été inventés par les Égyptiens, puis améliorés par les Grecs d'Italie qui le renforcèrent avec des cendres pouzzolaniques, usage repris et généralisé par les Romains. Le ciment ne prend son acception contemporaine qu'au XIX<sup>e</sup> siècle, lorsque Louis Vicat identifie le phénomène d'hydraulicité des chaux en 1817. En 1824, l'écossais Joseph Aspdin fait breveter le « ciment portland » et marque le début de l'ère industrielle de la production du ciment (ICEDD, 2005,).

La première usine de ciment a été créée par Dupont et Demarle en 1846 à Boulogne-sur-Mer. Les procédés de fabrication se perfectionnèrent sans cesse. Pour produire une tonne de ciment, il fallait en 1870 : 40 heures, il faut actuellement environ 3 minutes.

On apprend ainsi que les ciments sont des liants hydrauliques, "on entend par là une poudre minérale qui forme avec l'eau une pâte faisant prise et durcissant progressivement", formés de constituants anhydres, cristallisés ou vitreux. Ils résultent du broyage et de l'homogénéisation de divers composants qui sont essentiellement (Apichat, 2000) :

**I.1.1 Clinker** : produit obtenu par cuisson (clinkérisation) des constituants du ciment à 1450°C. Il se présente sous forme de nodules durs et cristallisés, et est constitué en majeure partie de silicates et d'aluminates de calcium anhydres;



**Fig.-I.1 : Composition chimique du clinker.**

La composition minéralogique des clinkers peut être évaluée par des ratios calculés ou modules qui tiennent uniquement compte des éléments majeurs. Parmi les formules servant à calculer la teneur en composants '**la formule de Bogue**' (Signes-Frehel et al, 1996) qui donne, à titre d'exemple pour un clinker ordinaire les relations suivantes:

$$C_3S = 4.071 C - 7.602 S - 6.719 A - 1.430 F$$

$$C_2S = 8.602 S + 5.068 A + 1.079 F - 3.070 C$$

ou  $2.868 S - 0.754 C_3S$

$$C_3A = 2.650 A - 1.692 F$$

$$C_4AF = 3.043 F$$

Dans ces conditions, il est établi que le clinker est principalement constitué en proportions variables de :

Nom	Formule chimique	Notation symbolique	Teneur %
-Silicate tricalcique 'Alite'	3CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	45.0<60<79.7
-Silicate bicalcique 'Belite'	2CaO.SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	5.7<25<29.8
-Aluminate tricalcique 'Aluminate'	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	1.1<5<14.9
-Alumino-ferrite tétracalcique 'Ferrite ou aluminoferrite ou brownmillerite';	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF	2.0<10 < 16.5

**Tableau.-I.1: les quatre phases cristallines principales**  
 (Defossé, 2004; Signes-Frehel et al, 1996).

**I.1.2 Laitier de haut fourneau** : produit granulé, obtenu par refroidissement brusque de la scorie en fusion provenant du traitement des minerais de fer en haut fourneau, Sa composition est d'environ 1 partie d'alumine pour 2 parties de silice et 3 parties de chaux ;

**I.1.3 Pouzzolanes :** produit d'origine volcanique composé des roches de silice, d'alumine et d'oxyde de fer ;

**I.1.4 Cendres volantes :** résidu de la combustion des charbons dans les centrales thermiques recueilli dans les filtres. A l'état vitreux, elles peuvent devenir actives et leur silice se combine à la chaux dégagée par l'hydratation du clinker ;

**I.1.5 Fillers :** produits inertes obtenus par broyage de certaines roches naturelles (Apichat, 2000).

## **I.2 CATEGORIES ET DESIGNATION DES CIMENTS:**

### **I.2.1. CATEGORIES DES CIMENTS:**

Selon la norme NF P 15-301, il existe plusieurs sortes (Delabre et al, 2007) :

#### **I.2.1.1. Ciments courants ou ciments CEM :**

**CPA-CEM I :** Ciments portland artificiels. Ils contiennent au moins 97% de clinker et éventuellement 3% de filler. Utilisation : tous travaux en béton armé ou précontraint, coulés sur place ou en préfabriqués. Ils permettent un décoffrage et une mise en service rapide. Il représente 33 % de la consommation totale de ciment.

**CPJ-CEM II :** Ciments portland composés. Ils sont constitués d'au moins 65% de clinker, le reste étant un ou plusieurs ajouts de différentes natures. Utilisation : bétons d'ouvrages courants en élévation, dallages, maçonneries, stabilisation des sols. Il représente 53 % de la consommation totale de ciment.

**CHF-CEM III :** Ciments de haut fourneau. Ces ciments contiennent entre 40-75% de laitier, 3% de filler, le reste étant du clinker. Utilisation : ouvrages situés en milieux agressifs, travaux souterrains, ouvrages pour eaux usées ou industrielles, travaux à la mer.

**CP- CEM IV :** Ciments pouzzolaniques. Constitués de 45 à 89 % de clinker. La pouzzolane existe naturelle (roche extraite de la ville de Pouzzoles, située à proximité de Naples) ou calcinée qui est ajoutée au clinker est une substance siliceuse ou silicoalumineuse d'origine volcanique ou de roches sédimentaires composés de  $\text{SiO}_2$  et de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Utilisation : idem CEM III.

**CLC-CEM V :** Ciments au laitier et aux cendres. Ils contiennent 25-60% de clinker, 25-45% de cendres volantes et 25-45% de laitier avec 3% de filler.

Utilisation : idem CEM III.

**CLK-CEM VI :** Ciments de laitier au clinker. Ils contiennent au moins 80% de laitier, 3% de filler, le reste étant du clinker.

Utilisation : idem CEM III.

#### **I.2.1.2. Ciments spéciaux :**

**Ciment blanc** : caractéristiques analogues aux ciments CEM I et CEM II. Il s'agit d'un ciment fait à base de calcaire très pur (par exemple, il ne contient pas d'oxyde de fer). De plus, son refroidissement après cuisson se fait par trempage dans l'eau puis séchage pour éviter qu'il ne perde sa couleur.

Utilisation : réalisations architecturales en béton caractérisées par des finitions de surface uniformes, blanches ou aux couleurs chaudes ou claires.

**Ciment à maçonner** : mélange de ciments Portland, de gypse, de calcaire, adjuvants divers.

Utilisation : confection des mortiers, des chapes et des enduits.

**Ciment prompt** : riche en hydroxyde de calcium.

Utilisation : mortier de scellement à prise ultra rapide.

**Ciment fondu** : fusion de calcaire et de bauxite.

Utilisation : ouvrage exigeant une résistance élevée à court terme, devant subir des chocs thermiques (barbecue, âtres et conduits de cheminées), bétonnage par temps froid.

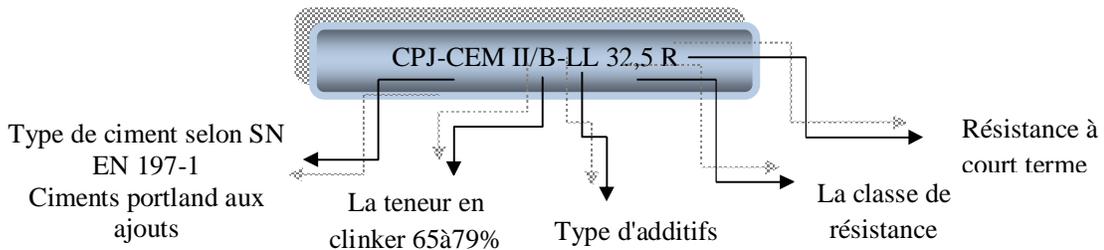
### I.2.1.3. Ciments hors normes :

Les alumineux constituent des mortiers ou bétons de très grande résistance initiale. Ils sont formés d'un mélange de pierre à chaux et argile à haute teneur en oxyde d'aluminium, sans adjuvants d'expansion. Ils sont cuits à 1400°C.

### I.2.2 DESIGNATION DES CIMENTS:

Selon SN EN 197-1, les ciments sont notés selon 3 à 6 caractéristiques.

Ci-dessous, un exemple d'interprétation de la notation des ciments est présenté :



Caractéristique		Notation	
Type de ciment		CEM I-CEM II-CEM III...	
Teneur en clinker pour	les ciments courants	Pas de lettre	95 à 100 % de clinker
		/A	80 à 94 %
		/B	65 à 79 %
	les CHF	/A	35 à 64 %
		/B	20 à 34 %
		/C	5 à 19 %
les CP	/A	65 à 89 %	
	/B	45 à 64 %	
Type d'additifs		L-LL <sup>1)</sup> (V-WW) <sup>2)</sup> S (P-Q) <sup>3)</sup>	Pierre calcaire Cendre volante Laitier granulé Pouzzolane

	T M (V-LL) <sup>4)</sup>	Schiste calciné Divers
Classe de résistance	32,5 42,5 52,5	Valeur minimale spécifiée de la résistance à la compression mesurée à 28 jours et donnée en N/mm <sup>2</sup> ou MPa
Résistance à court terme (2 ou 7 jours)	N R	Résistance à court terme ordinaire Résistance à court terme élevée (rapide).
Résistance aux sulfates	HS	Indiqué en cas de résistance aux sulfates élevée

**Tab.-I.2: Désignation des ciments (CAN, 2004).**

- 1) LL calcaire avec teneur totale en carbone organique (TOC), part de la masse max.0.20%  
L calcaire avec TOC max 0.50%
- 2) V cendres volantes siliceuses  
W cendres volantes calcaires
- 3) P pouzzolane naturelle  
Q pouzzolane naturelle calcinée
- 4) dans le ciment portland composé, le ciment pouzzolanique et le ciment composé, les additifs principaux seront indiqués entre parenthèse

### I.3 PROCÉDES ET TECHNIQUES DE FABRICATION DU CIMENT

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité.

#### I.3.1 Différents procédés :

Il existe quatre grands procédés de fabrication du ciment : la voie sèche, semi-sèche, semi-humide et humide

@ Dans le procédé par voie sèche, la matière première broyée et séchée passera d'abord dans un préchauffeur à cyclone avec ou sans précalcinateur (de type AT 'air- through' ou AS 'air séparé'), puis dans un four tubulaire de 80 m. C'est le procédé le plus récent et le plus répandu car il est moins énergivores, mais il nécessite la mise en œuvre de moyens importants de captation des poussières (électrofiltres, filtres cyclones et multicyclones, dépoussiéreurs électrostatiques...).

@Dans le procédé par voie semi-sèche, la poudre est agglomérée sous forme de boulettes de 10 à 20 mm de diamètre par ajout de 12 à 14 % d'eau, séchée et préchauffée dans une chambre 'Grille LEPOL' puis dans le four.

@Dans le procédé par voie semi-humide, la pâte est d'abord débarrassée de son eau dans des filtres-presses. Le gâteau de filtre-pressé est ensuite extrudé sous forme de granules et introduit dans un préchauffeur à grilles ou directement dans un sécheur pour la fabrication du cru.

@ Dans le procédé par voie humide, La farine crue est transformée en pâte liquide par ajout d'eau puis broyage et malaxage avant d'être introduite directement dans un four qui sera alors plus long (jusqu'à 200 m). Ce procédé consomme beaucoup de combustible

pour évaporer l'eau excédentaire : c'est pourquoi avec le 1er choc pétrolier de 1973, les procédés par voie sèche et semi-sèche lui sont préférés car ils sont plus économiques en besoin énergétique. La voie humide est amenée à disparaître car elle présente l'inconvénient de consommer de 30 à 40 % d'énergie en plus par rapport à la voie sèche.

Procédé	Humide	Semi-		Sèche	
		Sèche	Humide	Préchauffage	précalcinateur
Capacité maximale (t/jour)	3000	2320	3270	3800	2740 AT 7600 AS
Consommation calorifique (Mj/ t kk)	6400	3900	4530	3836	3750 AT 3430 AS
Consommation électrique(kwh/ t c)	120	106	135	110	110
Longueur du four	40-232	24-75	40-90	40-95	54-110
Diamètre du four	2.2-6.6	2.3-6.0	3.6-6.6	2.8-6.0	3.5-5.9
Débit sortie	100-3350	100-2400	400-3000	200-3500	1500-8500
Humidité de l'alimentation	24-48	10-15 <sup>a</sup>	17-22	≤8 <sup>b</sup>	≤8 <sup>b</sup>

**Tab-I.3 : Principales caractéristiques des différentes voies.**

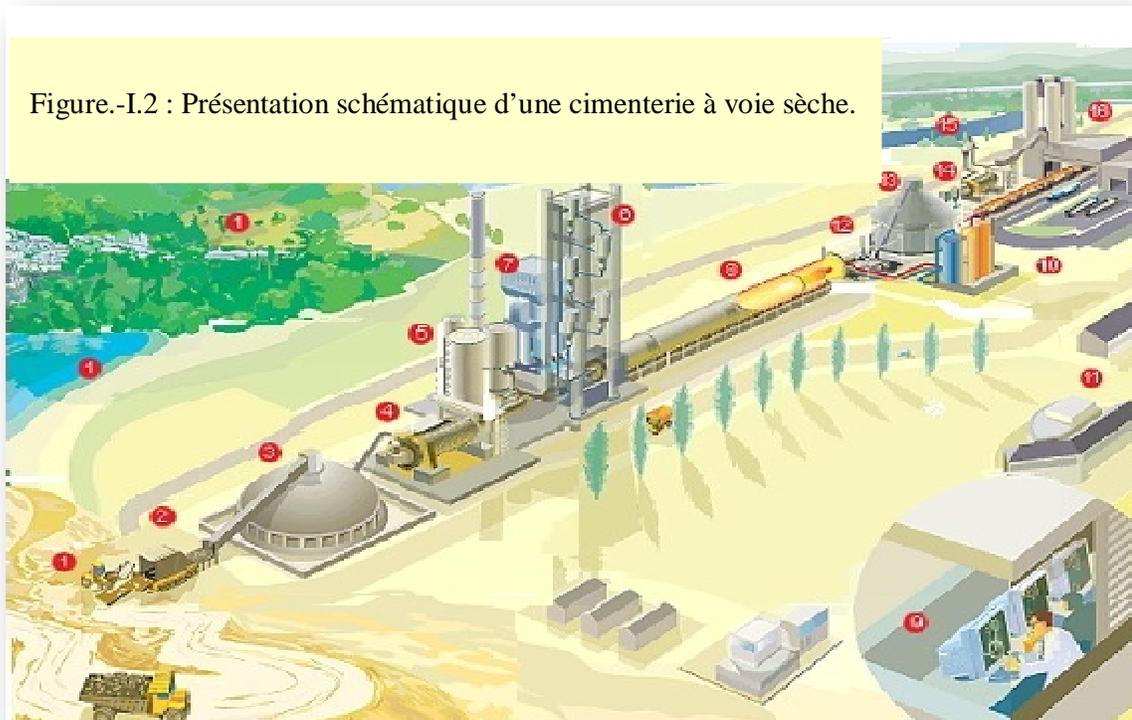
a : Chaleur supplémentaire pour sécher la matière première.

b : Chaleur supplémentaire nécessaire au-dessus de 8 %.

### I.3.2 Techniques de fabrication :

Les opérations suivantes sont communes à tous les procédés (Cembureau, 1997):

- extraction des matières premières,
- stockage et broyage des matières premières,
- cuisson pour obtention du clinker,
- broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment,
- Conditionnement et expédition.



- ① Carrières réaménagées: extraction de matières premières par tirs de mines ou raclage du terrain par des engins 'scrapers'.
- ① Carrières en exploitation : extraction de matières premières par tirs de mines ou raclage du terrain par des engins 'scrapers'.
- ② Concasseur: obtention des cailloux de petites tailles.
- ③ Préhomogénéisation : mélange des matières premières pour obtenir une composition homogène.
- ④ Broyeur sécheur pour donner le 'cru' : matière première réduite en poudre.
- ⑤ Homogénéisation du cru dans des silos.
- ⑥ Préchauffeur : échange de chaleur, dans une tour à cyclones, entre les gaz chauds sortant du four et le cru circulant en sens contraire.
- ⑦ Electrofiltre ou filtre à manche pour filtration de poussière.
- ⑧ Four rotatif.
- ⑨ Salle de contrôle.
- ⑩ Combustible fossiles 'coke de pétrole, charbon, fuel lourd...'
- ⑪ Laboratoire d'analyse pour les matières premières les combustibles fossiles ou de substitution, le clinker et le ciment.
- ⑫ Refroidisseur : le clinker est brusquement refroidi par projection d'air.
- ⑬ Stockage de clinker.
- ⑭ Ajouts 'gypse, laitier des hauts fourneaux, cendres volantes de centrales thermiques, fillers calcaire, etc.
- ⑮ Broyeur à ciment : broyage du clinker et des ajouts.
- ⑯ Silos à ciment, expédition en sac ou en vrac, par camion, train, ou bateau.

### I.3.2.1. Extraction des matières premières :

Les gisements calcaires et argiles naturels (comme les roches calcaires, les marnes, la craie et l'argile) fournissent les matières premières. La silice, l'oxyde de fer et l'alumine présents dans différents minerais et minéraux peuvent être ajoutés pour assurer une même qualité du mélange indépendamment de la qualité de la matière première. Les

cenclres de centrales thermiques, les laitiers de hauts fourneaux et autres résidus industriels peuvent également être utilisés comme substituts partiels des matières premières naturelles.

Par abattage à l'explosif ou par ripage au bulldozer, les matières premières sont extraites des parois rocheuses de la carrière à ciel ouvert. 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.

### **I.3.2.2. Stockage et broyage des matières premières :**

L'utilisation de halls de stockage dépend des conditions climatiques et de la quantité de matière fine (farine ou cru) produite par l'installation de concassage. Pour une usine d'une capacité de production de 3 000 tonnes/jour, ces bâtiments peuvent contenir de 20 000 à 40 000 tonnes de matériaux.

Le pesage et le dosage précis des matériaux introduits dans le broyeur sont importants car ils déterminent la constance de la composition chimique du cru, essentielle pour la stabilité de fonctionnement du four et pour l'obtention d'un ciment de qualité.

@Pour procédés en voie sèche et semi-sèche : Les matières premières, dans des proportions soigneusement contrôlées, sont broyées en poudre fine et séchées principalement à l'aide des gaz chauds du four et/ou de l'air d'exhaure du refroidisseur.

@ Pour procédés en voie humide ou semi-humide : Les matières premières contenant plus de 20 % d'eau en masse peuvent être broyées avec de l'eau. Le mélange est envoyé dans un délayeur où il est déchiqueté et écrasé par des herses rotatives ce qui le transforme en une pâte. Quand celle-ci est suffisamment fine, elle passe dans des tamis montés dans la paroi du broyeur puis elle est pompée et stockée dans des cuves. Il faut souvent la broyer une nouvelle fois pour obtenir une granulométrie satisfaisante, en particulier si on lui ajoute une autre matière première comme le sable.

En sortant du broyeur, le cru ou la pâte doivent être malaxés et homogénéisés une nouvelle fois pour que le mélange acquière sa rhéologie optimale avant introduction dans les différents types de four. Le cru homogénéisé et stocké dans des silos, sa composition est dans des proportions bien définies :

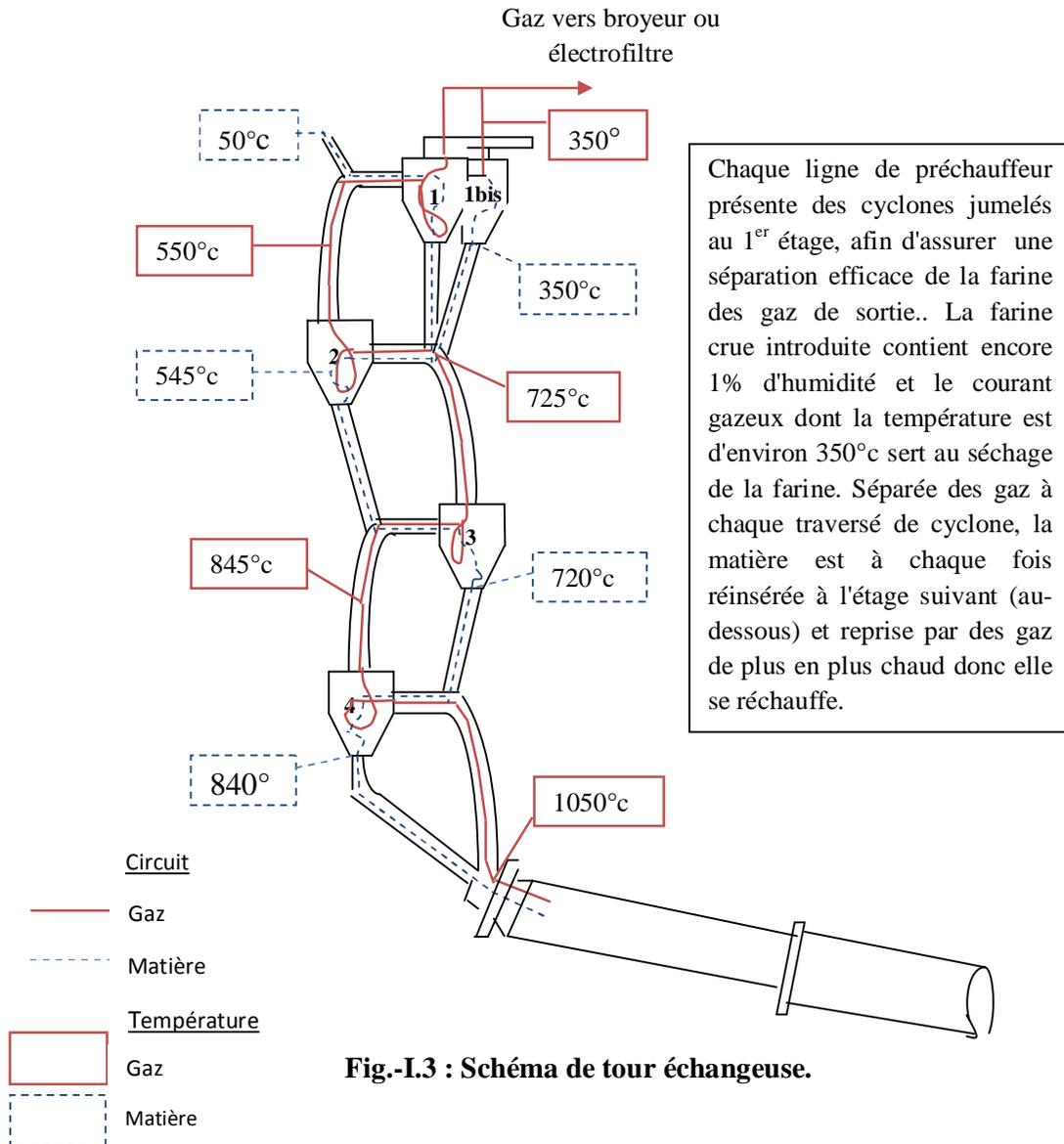
- carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) : 77 à 83 % ;
- silice totale ( $\text{SiO}_2$ ) : 13 à 14 % ;
- alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) : 2 à 4 % ;
- oxyde ferrique ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) : 1,5 à 3 %.

### **I.3.2.3. Cuisson pour obtention du clinker :**

Chacune des opérations impliquées dans le processus est importante et doit être correcte, faute de quoi le ciment risque de ne pas avoir la qualité exigée pour son emploi. Cependant la cuisson est sans doute l'opération la plus sensible et la plus importante en termes de potentiel d'émissions, de qualité et de coût du produit.

En effet, La farine crue (ou la pâte pour la voie humide) est introduite sous forme pulvérulente dans un préchauffeur à cyclone. Cet échangeur gaz/matière réalise la

décarbonatation partielle de la farine crue (25% à 30%) qui doit être prête aux réactions du clinkérisation dans le four.



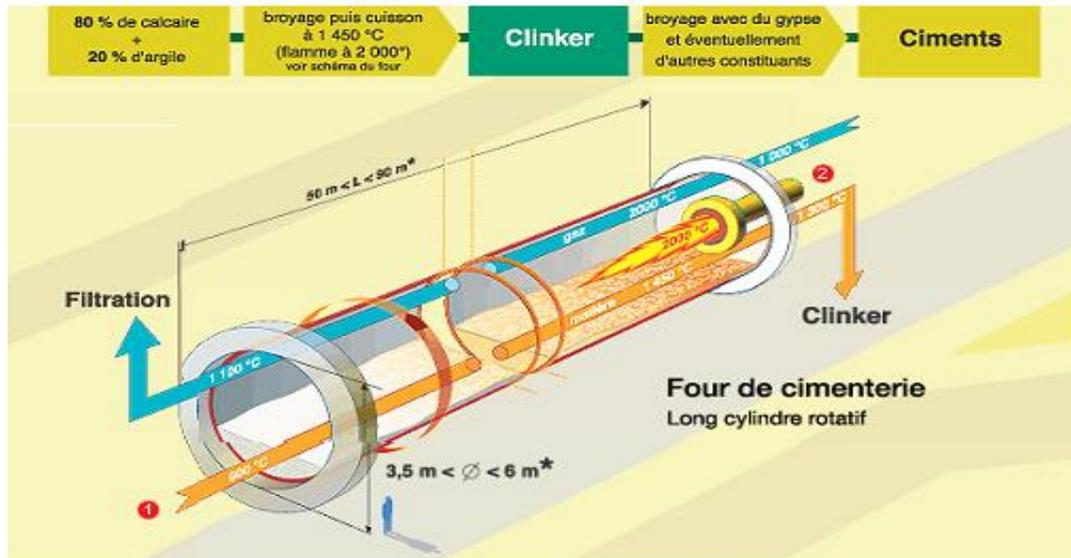
**Fig.-I.3 : Schéma de tour échangeuse.**

Le four rotatif est constitué d'un cylindre en acier de chaudière, animé d'une vitesse réglable lente (0.67 à 2 tr/mn), et présente une inclinaison de 3% dans le sens de l'écoulement de matière. Ce tube appelé aussi virole repose par l'intermédiaire de bandages, au nombre de trois, sur des galets, il est revêtu à l'intérieur de briques réfractaires qui protègent les tôles de températures élevées (1850°C pour les gaz et 1450°C pour la matière).

En amont, la matière pénètre à la température de 800°C. En aval les gaz à 1850°C sont injectés à l'aide de la tuyère. Il se produit un échange à contre-courant entre les gaz et la matière. Au fur et à mesure que la matière avance, elle se chauffe et se transforme.

Un groupe d'entraînement donne au four le mouvement de rotation nécessaire, a la fois au brassage de la matière et à la descente régulière de celle-ci de la zone amont (zone de décarbonatation) à la zone aval (zone de clinkérisation)

A la sortie, les granules incandescents sont refroidis rapidement au contact de l'air injecté dans des tubes, ce qui permet de leur donner les structures cristallographiques optimales.

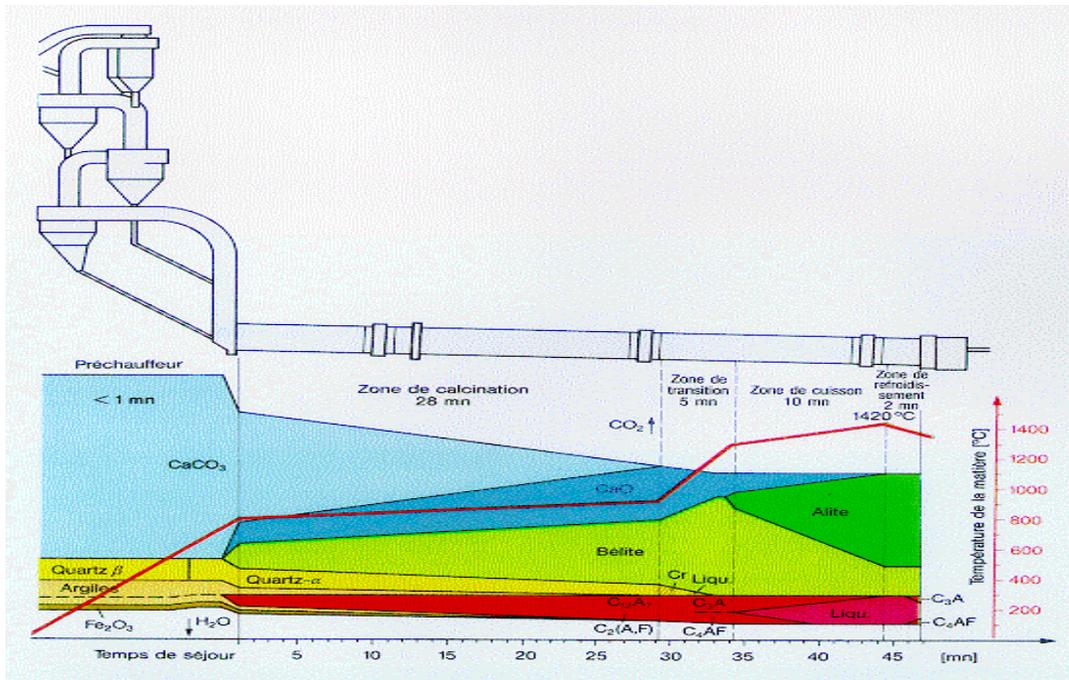


**Fig.-I.4 : Four rotatif à ciment ‘le cœur de la cimenterie (Defossé, 2004).**

#### Zones de réactions du four:

Au cours de la cuisson dans le four, les composants du mélange cru subissent des réactions chimiques successives, qui les transforment en clinker. Le four se divise ainsi en zones. Les limites entre ces différentes zones dépendent des températures et des réactions chimiques intervenant dans la matière. Cependant elles varient dans le temps et leurs longueurs dépendent de la qualité d'énergie thermique reçue des gaz et de la paroi.

Néanmoins, on peut distinguer quatre zones principales relatives à ces mécanismes physico-chimiques, la zone de décarbonatation, la zone de transition, la zone de clinkérisation et la zone de refroidissement (voir figure I.5)

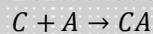
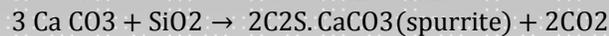


**Fig.-I.5 : principales zones de réactions dans le four et leurs produits (Defossé, 2004).**

Les réactions chimiques réagissant à la formation du clinker sont donc (Mouss, 2005; Bogue, 1952).

**Zone de décarbonatation des calcaires et dolomies:**

**600 à 800 °c:** début de décarbonatation.



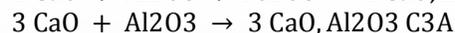
**800 à 850 °c:** formation de Bélite C<sub>2</sub>S et de certains combinaison intermédiaire des aluminés C<sub>2</sub>A, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> et ferrites.

**850 à 900 °c:** formation de C<sub>3</sub>A.

**Zone de transition**

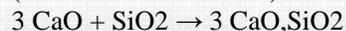
**900 à 1000 °c:** CaO libre devient excédentaire.

**1000 à 1250 °c:** formation de C<sub>4</sub>AF.



**Zone de cuisson**

**1250 à 1350 °c :** commencement de formation de l'Alite C<sub>3</sub>S (début de clinkérisation)



**1350 à 1450 °c :** réaction de formation de l'Alite C<sub>3</sub>S et cristallisation de l'Alite et la Bélite (clinkérisation)

**Zone de refroidissement**

**1450 à 1200 °c :** refroidissement.

**1200 à 80 °c :** refroidissement totale et stabilisation de C<sub>3</sub>S « minéraux de bogue ».

#### **I.3.2.4. Broyage du clinker et d'additifs pour obtenir le ciment :**

Pour les ciments composés, du gypse et des constituants secondaires (pigments, résines, laitiers des hauts fourneaux, pouzzolanes) peuvent être ajoutés pour donner au ciment des propriétés spécifiques. La matière est broyée très finement (grains inférieurs à 40 microns) à l'aide de l'un des broyeurs :

- broyeur en circuit fermé avec séparateur aérodynamique ou séparateur à cyclones.
- broyeur vertical à galets (bien adapté aux additions minérales importantes du fait de sa capacité de séchage ainsi qu'au broyage séparé des additions minérales),
- broyeur à rouleaux (additions minérales relativement limitées, si non sèches ou pré-séchées).

Le ciment sera acheminé ensuite vers des silos de stockage à compartiment unique ou à plusieurs compartiments.

#### **I.3.2.5. Conditionnement et expédition :**

@Expédition en sacs: de 25, 35 ou 50 kg et l'ensachage atteint fréquemment 90 T/h.

@Expédition en vrac: où l'extraction se fait sous le silo sur pont bascule par manches télescopiques.

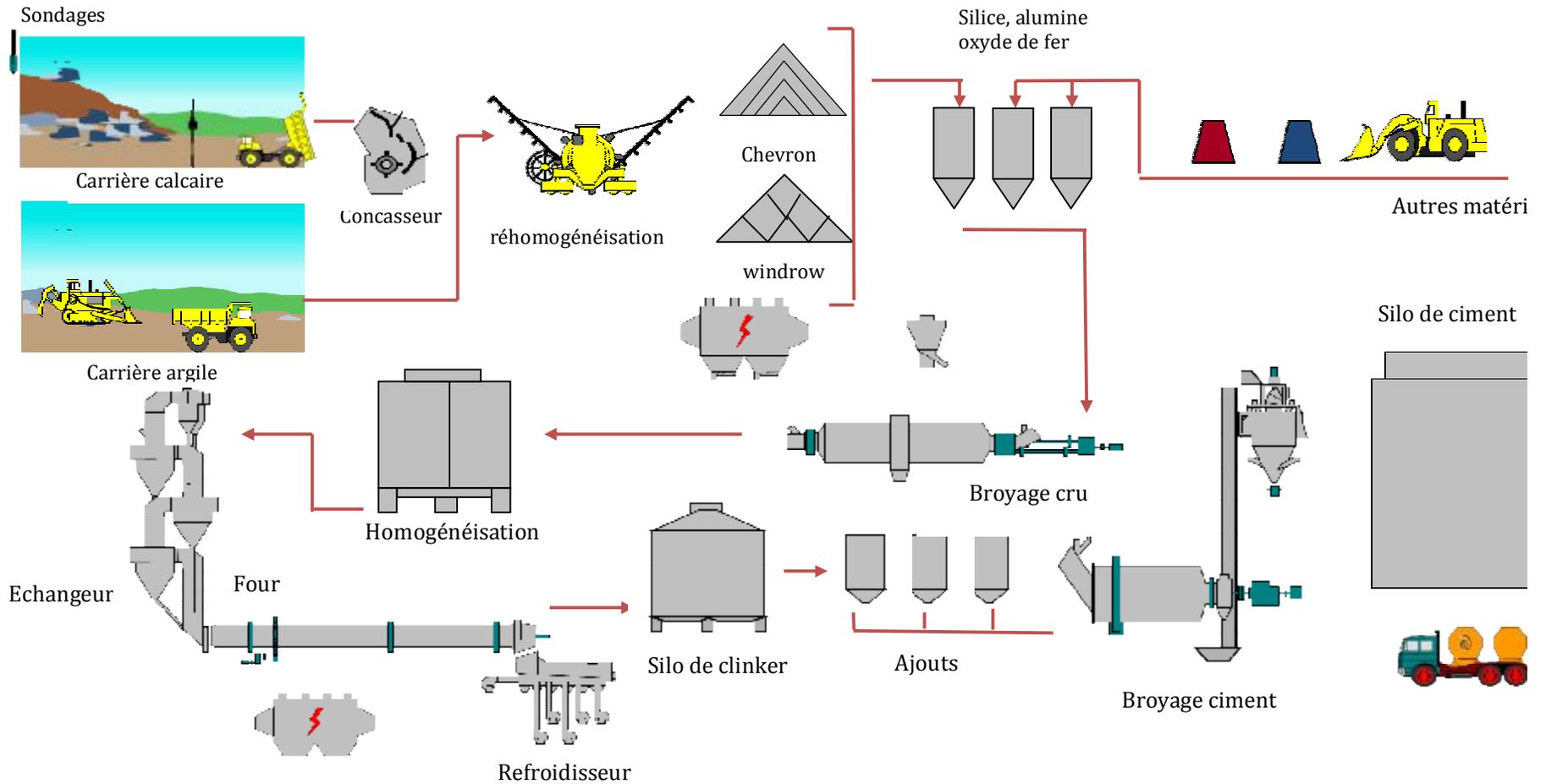
### **CONCLUSION:**

Les systèmes industriels de production cimentière sont caractérisés par une complexité importante. La fabrication du ciment nécessite un colossal apport de calcaire, qui est extrait des carrières calcaires. Après concassage et homogénéisation de ce dernier avec l'argile et d'autres matières premières, la première étape de la fabrication est la calcination du carbonate de calcium, qui est suivie de la cuisson de l'oxyde de calcium ainsi produit, avec de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, à des températures élevées pour former le clinker. Le clinker obtenu est ensuite broyé, après ajout de gypse et d'autres constituants, pour donner le ciment.

La clinkérisation a lieu dans un four rotatif, celui-ci pouvant faire partie d'un système de cuisson du type à four long en voie humide ou sèche, d'un système à four et préchauffeur à grille (four Lepol) en voie semi-humide ou semi-sèche, d'un système à four avec préchauffage en cyclones ou d'un système à four avec préchauffeur / précalcinateur. On considère que la meilleure technique disponible pour la production du clinker est le four en voie sèche avec multicyclones et précalcination.

Les fours en voie sèche d'installation récente atteignent en règle générale des capacités de l'ordre de 3 000 tonnes de clinker/jour.

Dans le but d'améliorer la qualité du clinker et d'abaisser les coûts de production, de nombreuses cimenteries ont adopté des mesures primaires générales telles que l'optimisation de la conduite du procédé, l'emploi de systèmes gravimétriques modernes pour l'alimentation en combustibles solides, l'optimisation des connexions des refroidisseurs et le recours à des systèmes de gestion de l'énergie.



**Fig.-I.6 : Ligne de fabrication du ciment.**

## **CHAPITRE II:**

**ANALYSE DU CYCLE DE VIE : UN OUTIL  
D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE  
GLOBALE.**

## INTRODUCTION :

On ne saurait adopter de stratégie de développement durable sans s'interroger sur les performances environnementales des produits et des services fournis par l'entreprise. Afin de mieux connaître les impacts environnementaux dus à un produit ou un procédé, il est nécessaire de conduire des études visant à quantifier au mieux ces impacts, en se basant sur les données et les connaissances scientifiques disponibles. Lorsque les impacts d'un produit sont connus, des actions peuvent être réalisées afin de les prévenir ou les limiter, tout en évitant les déplacements de pollution entre les différentes étapes de cycles de vie.

Nous souhaitons étudier une des méthodes qui ont acquis une certaine notoriété dans le domaine de l'évaluation environnementale pour mieux connaître l'impact de leurs activités afin :

- d'orienter leur stratégie de choix de technologies,
- d'améliorer les performances environnementales de chacun des procédés,
- d'enrichir les positions techno-commerciales avec de nouveaux argument.

La crédibilité, la transparence, la faisabilité et la simplicité nous ont orientées sur le choix de l'analyse du cycle de vie (ACV) correspond à (LCA 'Life Cycle Assessment') en anglais. Cette approche universellement reconnue a vocation à prendre en compte l'ensemble des impacts attachés à un produit ou une activité sur l'environnement depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie. En faisant prendre conscience des effets connexes de la mise en œuvre d'une réglementation, d'une stratégie, d'un processus de production ou d'une technologie, elle incite à agir pour en limiter les dommages. C'est l'outil de base pour faire progresser la responsabilité environnementale et qui aide à optimiser les processus et à faire des choix cohérents pour protéger le milieu naturel.

En effet, cette méthode réunit le plus grand nombre de critères demandés (Renou, 2006) :

- l'objet d'étude de l'ACV concerne des procédés, des filières ou des services,
- l'ACV évalue l'ensemble des impacts environnementaux, elle est multicritère et permet ainsi d'avoir une vision globale de la performance environnementale des scénarios étudiés,
- l'ACV permet de comparer des procédés ou des filières,
- grâce au concept du cycle de vie, l'ACV évalue les impacts directs et indirects d'une filière ce qui permet d'identifier les transferts de pollution et ce qui est également plus représentatif de l'impact sur l'environnement qu'une évaluation des seuls impacts directs d'une filière,

Une présentation détaillée en est maintenant nécessaire pour mieux connaître cette méthode.

## II.1 ACV PARMIS LES METHODES D'EVALUATION ENVIRONNEMENTALE :

### II.1.1 Méthodes d'évaluation environnementale:

Une grande variété de méthodes a été développée pour traiter la question des impacts environnementaux. Ces méthodes sont conditionnées par la gamme d'objectifs environnementaux sélectionnés, domaine d'utilisation, type d'analyse et résultats à en attendre. Il ne s'agit pas de dresser un catalogue complet des méthodes existantes, mais de resituer les Analyses du Cycle de Vie dans l'ensemble des outils d'aide à la décision dont les collectivités peuvent disposer.

Il s'agit de deux familles distinctes :

@ Des méthodes permettant d'effectuer un choix

**F** Des études d'impacts environnementaux (EIE),

**F** Des études de déchets (EDé),

**F** Des études de danger (EDa),

**F** Des analyses du Cycle de Vie (ACV),

@ Des outils de gestion

**F** Système de management environnemental (SME),

**F** Observatoire.

Ces méthodes sont présentées dans le tableau synthétique suivant :

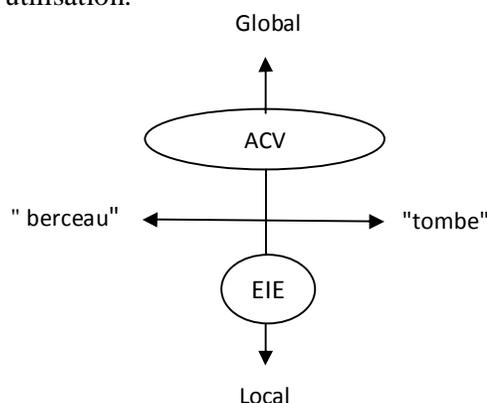
	Objectifs	Système anthropique étudié	Finalité	Etapes méthodologiques
<b>EI</b>	Evaluation de l'impact potentiel dans un contexte local donné, et de la pertinence des actions pour réduire cet impact	Installations classées ou créant des nuisances	Il s'agit d'une méthode à caractère réglementaire et communautaire (directive de l'UE de 25 juin 1985).il est obligatoire de procéder à une étude d'impact pour pouvoir obtenir les autorisations administratives nécessaire à la réalisation ou au fonctionnement d'un ouvrage	-Analyse de l'état initial du site -Analyse des impacts potentiels (environnementaux, sanitaires et socio- économique) du projet. -justification du choix retenu -Annonce des mesures prises pour réduire le risque d'impact
<b>EDa</b>	Evaluation du risque d'accident	Installations classées	Il s'agit d'une méthode réglementaire et communautaire (directive de l'UE de 24 juin 1982, dite SEVESO).les études de danger sont indispensables, en complément de l'étude d'impact pour obtenir les autorisations administratives de fonctionnement	-Identification des sources de dangers et scénarios d'accidents envisageables - Etude des conséquences -Justification des mesures prises pour prévenir l'apparition de ces accidents et pour limiter les effets -Elaboration d'un plan d'intervention en cas d'accident
<b>EDé</b>	Etude des flux de déchet et de leur devenir	Installations classées	Il s'agit d'une méthode réglementaire française : maîtrise des flux de déchets industriels	-Description de l'existant -Etude technico-économique des solutions alternatives pour les trois étapes précédentes (évaluation de la pertinence) -Présentation et justification des filières retenues pour l'élimination des déchets
<b>ACV</b>	Evaluation et comparaison des impacts environ potentiels des étapes d'un cycle de vie ou de plusieurs cycles de vie rendant le même service	Tout système (produit, procédé, service, site, ...)	Il s'agit d'un outil technique normalisé (NF X30-300), ISO 14040) permettant d'améliorer, de sélectionner, de contrôler ou de gérer, de réglementer, d'éduquer ou d'informer et de vendre.	-Objectif et champ de l'étude -Bilan matière-énergie -Analyse des impacts -interprétation

<b>SME</b>	Evaluation de l'efficacité des actions environ engagées et proposition de nouvelles actions à mener pour réduire les impacts ou les impacts potentiels	Tout organisme privé ou public	Il s'agit d'un outil de managent normalisé (ISO 1400,1996), dont l'objectif est d'inciter les organismes à mettre en place des systèmes de management environnementale	-évaluation de l'efficacité de la politique environnementale, des programmes et du système de gestion (organisationnelle, procédure, responsabilité,...) -présentation de nouvelles actions
<b>Obs</b>	Evaluation de l'état de l'environnement d'un territoire et de la pertinence, de l'efficacité et de l'efficience des actions menées pour améliorer cet état.	Collectivités locales	Il s'agit d'un outil de managent et d'aide à la décision permettant le suivi de l'état de l'environnement d'un territoire, une aide dans le choix d'une stratégie environnementale et l'évaluation de cette stratégie	Non fixées

**Tab.-II.1 : Méthodes d'analyse environnementales.**

## II.1.2 Comparaison entre l'ACV et l'Étude d'Impact Environnemental (EIE):

Comparaison entre l'ACV et l'EIE est présentée dans la figure II.1 en fonction des échelles spatiales et temporelles considérées. L'ACV se situe à un niveau global, du berceau à la tombe, alors qu'une EIE effectue son analyse pour un site spécifique, sans considérer tout le cycle de vie. Ce sont donc des outils complémentaires, dont le choix final dépend des objectifs à atteindre. Ainsi, pour une évaluation sur un site spécifique, l'EIE est mieux adaptée, car elle permet de considérer les conditions spécifiques de la région telle que le nombre de personnes vivant près de l'entreprise, la distance entre l'entreprise et les quartiers résidentiels, la présence d'écosystèmes spécifiques. L'outil "idéal" couvrant les échelles locale et globale, du berceau à la tombe est potentiellement réalisable, mais nécessiterait des ressources humaines et temporelles démesurées pour sa mise en œuvre et son utilisation.



**Fig. –II.1 :** Comparaison entre l'Étude d'Impact Environnemental et l'ACV (Crettaz et al, 2005, p.242).

## II.2 Cadre méthodologique et historique d'ACV

### II.2.1 Historique et cadre institutionnel:

Le concept d'ACV a connu ses balbutiements vers 1969, où des chercheurs américains, anglais, suédois et suisses développent des modèles pour analyser l'utilisation de matériaux bruts, et d'énergie associée à des systèmes de production. Progressivement ces modèles (comme le modèle américain 'REPA' 'Resource and environment profil analysis') considèrent une gamme de plus en plus large d'aspect environnementaux. Bientôt la réflexion porte sur les moyens d'interpréter ces données d'inventaire environnemental selon les points de vue de l'environnement et de la santé humaine, impliquant l'agrégation des émissions. Ainsi, la compagnie Coca-Cola a été pionnière en réalisant ce qu'on pourrait qualifier de la première étude d'analyse du cycle de vie (ACV) en 1969 en comparant la consommation en ressources pour deux types de contenants.

Si les premiers bilans ont été dans un premier temps réalisés sur le plan énergétique, la nécessité d'approcher non seulement le problème de l'énergie, mais aussi de l'ensemble des émissions dans l'air, l'eau ou le sol s'est renforcée et a conduit à divers

développements méthodologiques. Les applications, portent à la fin des années 80 sur les déchets solides.

Trois organisations sont impliquées dans le développement des ACV, l'Organisation International de Normalisation (ISO), la société de toxicologie et chimie environnementales (SETAC) et le programme des nations unies pour l'environnement (PNUE) .

Au cours des vingt dernières années, l'ISO a publiés plus de 350 normes traitant d'aspects environnementaux. Elle a notamment édité la série ISO 14000 touchant aux systèmes de management environnemental. Les normes ISO 14000 sont développées dans six secteurs, dont celui des analyses du cycle de vie. Une première norme (ISO 14040) établit les lignes directrices pour la pratique des ACV. Les normes complémentaires (ISO 14041, 14042, 14043) détaillent les étapes d'inventaire, d'évaluation d'impact et d'interprétation. Les normes (ISO 14047 et 14049) fournissent des exemples d'application tandis que la norme (ISO 14048) documente le format de transfert de données.

Sur le plan scientifique, la SETAC offre dès le début des années 1990 une plate forme d'échange scientifique dans le domaine des ACV, elle préside aux principaux développements méthodologiques par le biais de différents groupes de travail.

1975	Bilans et systèmes énergétiques
1984	Bilan écologique de matériaux d'emballage
1992	Elaboration du premier cadre de la phase d'évaluation d'impact par SETAC
2000	ISO publie une série de normes ISO 14 000 sur l'ACV
2002	Identification comme un outil de mise en œuvre du développement durable lors du sommet à Johannesburg Lancement de Life Cycle Initiative en collaboration entre la SETAC et le PNUE
2003	Intégration des aspects sociaux dans l'ACV

**Tab.-II.2 : Survol historique des analyses du cycle de vie.**

Récemment, le **Life Cycle Initiative** sous l'égide de la SETAC et du PNUE a pour objectif de développer et diffuser des outils pratiques permettant d'évaluer les solutions, les risques, les avantages et les inconvénients associés aux produits et services tout au long de leur cycle de vie. L'initiative pour le cycle de vie sert actuellement de cadre institutionnel pour le développement de méthodes d'ACV et leur utilisation dans l'industrie.

Principales normes ISO relatives au management environnemental	
ISO 14 001	Système de management environnemental-spécification et lignes directrices pour son utilisation (1996)
ISO 14 004	Système de management environnemental- lignes directrices générales concernant les principes, les systèmes et les techniques de mise en œuvre (1996)
ISO 14 021	Marquage et déclaration environnementaux- autodéclarations environnementales(1999)
ISO 14 040	Management environnemental- analyse de cycle de vie-principe et cadre (1997)
ISO 14 050	Management environnemental-vocabulaire (2002)
Normes ISO relatives à l'analyse de cycle de vie	
ISO 14 041	Management environnemental- analyse de cycle de vie-définition des objectifs et du champ de l'étude (1998a)
ISO 14 041	Management environnemental- analyse de cycle de vie-analyse de l'inventaire (1998b)
ISO 14 042	Management environnemental- analyse de cycle de vie-évaluation de l'impact du cycle de vie (2000)
ISO 14 043	Management environnemental- analyse de cycle de vie-interprétation du cycle de vie (2000)
ISO 14 048	Management environnemental- analyse de cycle de vie-format de documentation de données (2002)
ISO 14 049	Management environnemental- analyse de cycle de vie-exemples d'application ISO 14 041 (2000)

**Tab.-II.3 : Normes ISO 14000 dans le domaine de l'environnement d'analyse de cycle de vie.**

## II.2.2 Présentation de cadre méthodologique:

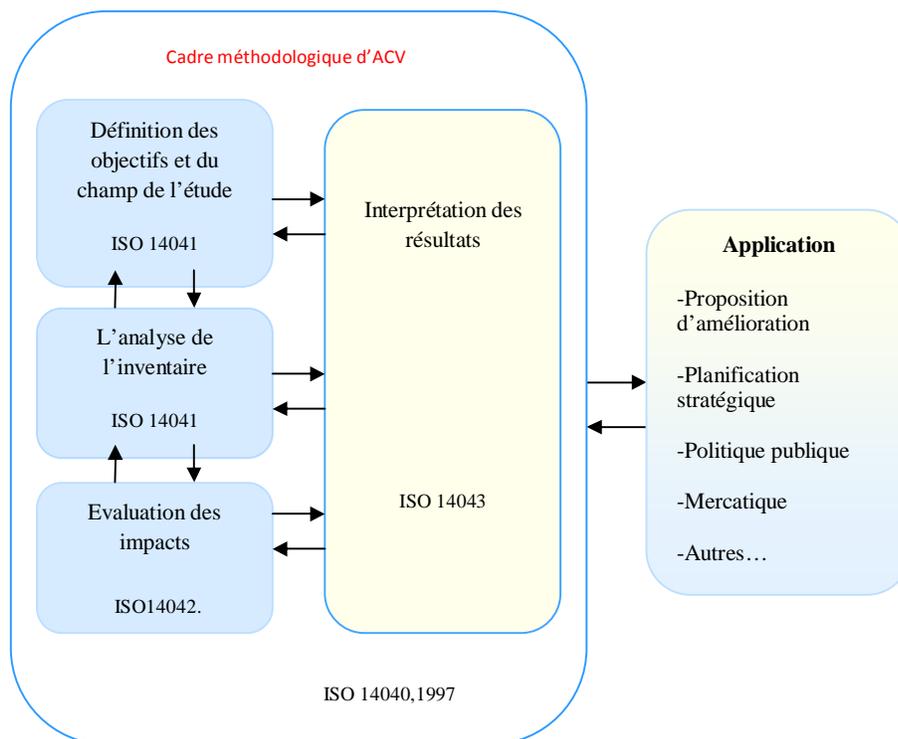
Les termes essentiels de la thématique de l'Analyse du Cycle de vie (ACV) sont définis dans le glossaire.

Selon la norme (ISO 14040.1997), l'Analyse du cycle de vie est « une compilation et évaluation des entrants et des sortants, ainsi que des impacts potentiels environnementaux d'un système de produits au cours de son cycle de vie », c'est donc une méthodologie permettant de calculer objectivement l'impact d'un produit, un procédé ou un service sur l'environnement tout au cours de son existence, depuis l'extraction de matières premières jusqu'à son élimination.

Reconnue comme un outil efficace pour la mise au point de stratégies de développement durable. Ce type d'approche est appelé souvent "du berceau à la tombe" ou " from Cradle to Grave ", mais parfois le terme "du berceau au berceau" serait plus juste car cette notion intègre le concept de recyclage.

Pour la mise en œuvre de la méthode, un cadre méthodologique (Figure II.2) a été défini et formalisé en normes ISO 14040 à 14043 (ISO 1997, 1998a, 1998b, 2000). Il comprend quatre grandes étapes :

1. La définition des objectifs et du champ de l'étude (ISO 14041,1998a).
2. L'analyse de l'inventaire des flux qui traversent le système (ISO 14041,1998b).
3. L'évaluation des impacts sur l'environnement (ISO 14042).
4. L'interprétation des résultats (ISO 14043).



**Fig.-II.2 : Présentation d'une analyse de cycle de vie.**

### II.2.2.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude :

C'est globalement dans cette étape que sont définis les objectifs de l'étude (application envisagée, justification de l'étude), et son champ (systèmes étudiés, les fonctions de ces systèmes, l'unité fonctionnelle, frontières, et les flux correspondants).

Les objectifs de l'étude peuvent être très diversifiés selon le commanditaire de l'étude, politique, scientifique, technique... .

Le champ d'étude doit être suffisamment bien défini pour garantir que l'ampleur, la profondeur et le niveau de détails de l'étude sont compatibles avec l'objectif défini et suffisant pour y répondre.

N.B: il peut être nécessaire de modifier le champ de l'étude au cours de l'analyse lorsque des informations supplémentaires sont recueillies.

#### L'unité fonctionnelle UF :

L'unité fonctionnelle est sensée représenter la fonction du système étudiée. Selon Crettaz et al. (2005) l'unité fonctionnelle est une mesure de la performance du système. Son objectif est de fournir une référence à laquelle les entrées et les sorties sont associés. Cette référence est nécessaire pour permettre la comparaison entre les différentes études d'ACV.

## **Le flux de référence**

Le flux de référence désigne la quantité du produit analysé et de consommables utilisés par ce produit nécessaires pour rencontrer les besoins de l'unité fonctionnelle.

## **Les frontières du système :**

Les frontières du système déterminent les éléments qui doivent être inclus dans le système étudié. « Dans l'idéal il convient de modéliser le système de produits de telle sorte que les entrants et les sortants à ces frontières soient des flux élémentaires » (ISO 14041,1998). Par flux élémentaires, la norme entend des flux de matières ou d'énergie qui ont été puisés ou rejetés dans l'environnement sans transformation humaine préalable.

Les limites du système étudié sont aussi définies. Ces limites séparent le système du reste de monde. Trois types de limites peuvent être distingués :

- les limites entre le système de produit et le système environnemental.
- les limites entre les procédés importants et les procédés jugés négligeables en termes de contribution pour un système de produit.
- les limites entre le système de produits considéré et les autres systèmes de produits.

### **II.2.2.2 Analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV):**

Les études ACV nécessitent une grande quantité des données. Par conséquent la fiabilité des résultats dépendra fortement de la qualité des données. Leur origine et leur qualité doivent donc être précisées. En terme de qualité, la norme distingue par exemple les données mesurées, calculées ou estimées, et demande de vérifier la validité géographique, temporelle ou technologique de ces données.

L'inventaire est la compilation et la quantification des flux entrants et sortants du système tel qu'il a été défini dans le champ de l'étude. Toutes les ressources consommées et les émissions sont agrégées tout au long du cycle de vie et exprimées par unité fonctionnelle.

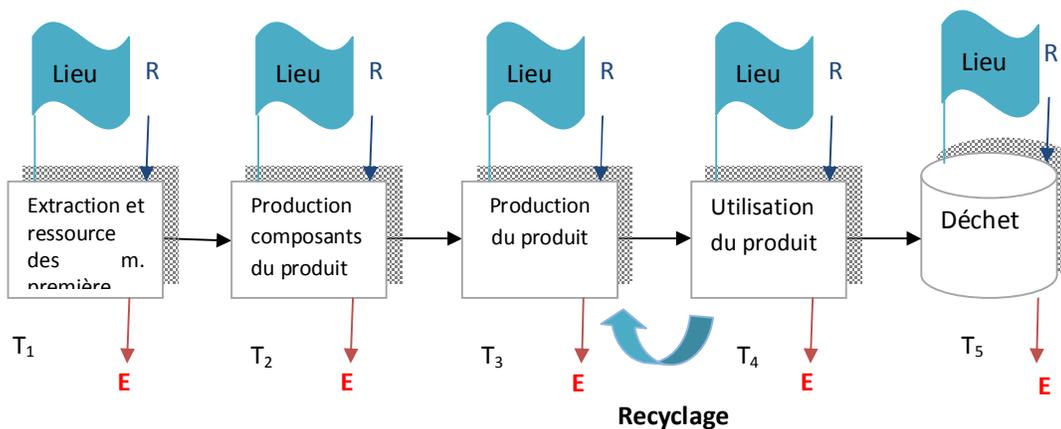
La réalisation et l'analyse de l'ICV se déroulent en plusieurs étapes :

- Préparation de la collecte des données : Le cycle de vie est schématisé en diagramme des processus élémentaires qui sont liés par des flux. La méthode de collecte des données et les calculs sont explicités.
- Collecte des données : la recherche des données se fait par mesure, par calcul, par estimation, par avis d'expert, par recherche bibliographique ou encore en utilisant les bases de données spécialisées pour les ACV.

-Validation des données : le contrôle de la qualité des données est réalisé dès la collecte. La vérification se fait à travers le contrôle de l'équilibre des bilans matière ou énergie, par une analyse comparative des facteurs d'émissions de processus proche...

- mise en rapport des données avec l'unité fonctionnelle : les flux sont recalculés par rapport au flux de référence pour chaque étape du cycle de vie du système.

-agrégation des données au niveau du cycle de vie : l'inventaire matière-énergie est établi par agrégation des flux de chaque étape du cycle de vie.



**Fig.-II.3 : Représentation de l'inventaire environnemental (R: Ressources consommées, E : Emissions) du système de produit (Basset-Mens, 2005).**

### II.2.2.3 Évaluation des impacts du cycle de vie:

#### II.2.2.3.1. Etapes d'évaluation :

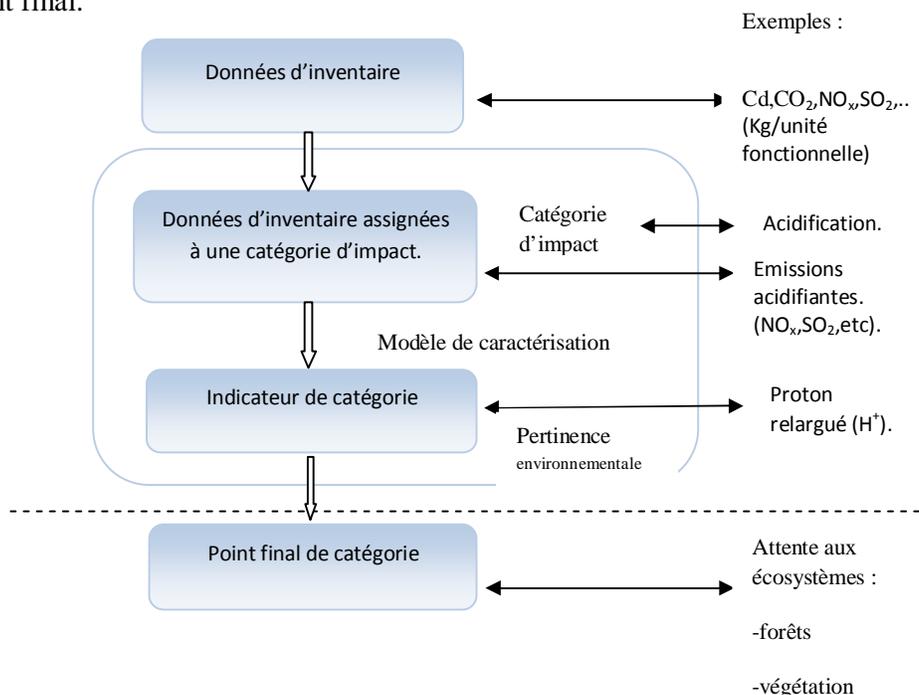
La phase ÉICV comprend trois étapes obligatoires. Des questions environnementales appelées 'Catégories d'impacts' (tableau II.4) sont d'abord sélectionnées et un 'indicateur' est défini ou choisi pour chaque catégorie d'impact ainsi qu'un 'modèle de caractérisation'. Ce modèle permettra d'établir une relation quantitative entre les données d'inventaire et l'indicateur, au travers de facteurs de caractérisations. La seconde étape correspond à la 'classification', où chaque donnée de l'inventaire est assignée à une catégorie d'impact.

Enfin la dernière étape obligatoire prévoit le calcul des valeurs d'indicateurs, pour une catégorie d'impact donnée, une méthode de caractérisation est ainsi mise au point ou choisie au travers d'un indicateur de catégorie, d'un modèle de caractérisation et de facteurs de caractérisation issus du modèle. La définition de l'indicateur de catégorie. La mise au point des modèles de caractérisation et le calcul des facteurs de caractérisation ont fait l'objet de travaux scientifiques depuis plusieurs décennies et sont encore en cours d'élaboration ou d'amélioration pour certaines catégories.

Catégories d'impact de base	Catégories d'impact complémentaires
<ul style="list-style-type: none"> <li>o Épuisement des ressources naturelles</li> <li>o Effet de serre</li> <li>o dégradation d'ozone stratosphérique</li> <li>o Acidification</li> <li>o Eutrophisation</li> <li>o Toxicité humaine</li> <li>o Écotoxicité aquatique (eaux douces, eaux de mer)</li> <li>o Écotoxicité terrestre</li> <li>o Oxydants photochimiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Impact d'irradiations ionisantes</li> <li>o Diminution de la biodiversité</li> <li>o Effets olfactifs et sonores</li> </ul>

**Tab-II.4 : Catégories d'impact de base et complémentaires à prendre en compte dans une ACV.**

La figure II.4 présente le cadre conceptuel pour définir les indicateurs de catégorie d'impact. Les indicateurs pour chacune de ces catégories sont définis le plus souvent à un niveau intermédiaire de la chaîne de cause à effet, niveau appelé « midpoint » ou point intermédiaire. Par comparaison, le niveau final de la chaîne de cause à effet qui correspond à la cible finale subissant l'impact dans la réalité, est appelé « endpoint » ou point final.



**Fig.- II.4 : Cadre conceptuel pour définir les indicateurs de catégorie d'impact.**

Les praticiens peuvent choisir différents jeux de facteurs de caractérisation parmi ceux proposés par les équipes de recherche sur l'ACV et consignés dans leurs publications et dans des logiciels de calcul des impacts. Ces facteurs permettent la conversion des

données d'inventaire assignées à une catégorie d'impact en une unité d'impact commune, selon l'équation linéaire suivante (Renou, 2006; Basset-Mens, 2005) :

$$I_i = \sum E_x * FC_{i,x}$$

Où :

$I_i$  est l'impact pour la catégorie d'impact i dans une unité qui lui est propre.

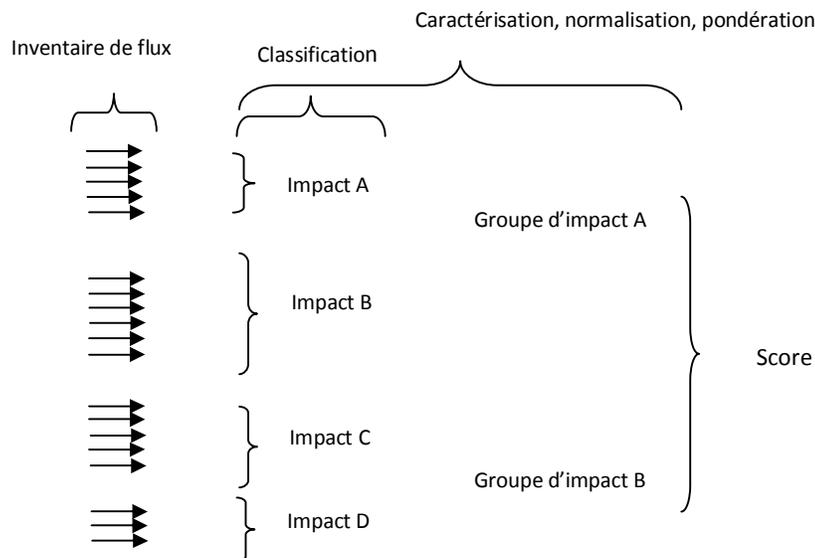
$E_x$  est la donnée d'inventaire (émission ou ressource) de la substance x.

$FC_{i,x}$  est le facteur de caractérisation de la substance x pour la catégorie i (DALY/kg, Kg eq CO<sub>2</sub>/kg...).

Tableau II.5	Effet de serre en Kg éq.CO <sub>2</sub> /kg			Eutrophisation en Kg éq.PO <sub>4</sub> /kg	Acidification en Kg éq.SO <sub>2</sub> /kg
	à 20 ans	à 100 ans	à 500 ans		
CO <sub>2</sub> ,air	1	1	1		
CH <sub>4</sub> ,air	62	21	4		
N <sub>2</sub> O,air	290	310	170		
NH <sub>3</sub> ,air				0.35	1.6
NO <sub>x</sub> ,air				0.13	0.5
SO <sub>2</sub> ,air					1.2
NO <sub>3</sub> ,eau				0.1	
PO <sub>4</sub> ,eau				1	

**Tab.- II.5 : Facteur de caractérisation pour trois catégories d'impact.**

Dans certaines méthodes, une phase supplémentaire regroupe les impacts correspondants à des dommages analogues en un groupe d'impact :



**Fig.- II.5 : Etapes de calcul des impacts.**

Le but d'un tel regroupement est de favoriser l'aide à la décision en réduisant le nombre d'impacts à comparer. par exemples dans la méthode **Eco-indicateur 99**, il existe 11 impacts qui sont condensés en trois groupes d'impacts (santé, écosystème te ressources). Dans la suite de notre travail, nous expliquerons quelques méthodes.

### II.2.2.3.2 Normalisation, pondération et score :

#### La normalisation :

La normalisation montra la part relative de l'impact du système étudié par rapport à l'impact total du territoire. Elle définit les impacts intermédiaires ou les dommages suivant un pourcentage de "l'impact global" pour une catégorie d'impact donnée. Donc on calcule le ratio de l'impact du système par rapport à l'impact total au niveau mondial, continental ou régional selon la formule (Renou, 2006) :

$$N = \frac{I_{\text{système}}}{I_{\text{normalisé}}}$$

avec :

$N$  : facteur de normalisation (sans unité).

$I_{\text{système}}$  : impact du système étudié.

$I_{\text{normalisé}}$  : impact total normalisé (constante calculée par la méthode ACV sélectionnée).

Ainsi il peut être intéressant de ramener certains impacts à une valeur par individu 'équivalent habitant ' (on multiplie le facteur de normalisation par la population d'un pays

par exemple) ou au contraire de projeter un résultat local/régional à l'échelle nationale ou mondiale. Ceci permet de faire des comparatifs absolus entre pays, entre région ou par rapport à des normes.

L'étape de normalisation est optionnelle et permet d'arriver à des unités abstraites communes à toutes les catégories.

### La pondération :

C'est une étape complémentaire de la normalisation. Cette dernière donne en effet une information limitée : un impact peut avoir une proportion négligeable vis-à-vis de l'impact total d'un territoire mais être très nuisible à l'environnement. Un autre critère de jugement peut s'avérer nécessaire. La pondération attribue un coefficient à chacun des impacts pour donner une valeur de l'impact en points (Renou, 2006) :

Avec :

$$I_p = C_p * I$$

$I_p$  : impact pondéré en point.

$C_p$  : coefficient de pondération.

$I$  : impact du système étudié.

### Le score :

C'est l'agrégation des impacts en un seul appelé score. Pour cela on somme les valeurs des impacts pondérés (Renou, 2006) :

$$S = \sum_n I_{p,n}$$

Avec :

$S$  : score de la méthode (en point).

$I_{p,n}$  : impact pondéré (en point).

$n$  : nombre d'impact dans la méthode sélectionnée.

#### II.2.2.3.3. Méthodes d'évaluation d'impact dans les ACV :

De nombreuses méthodes fonctionnelles d'évaluation de l'impact du cycle de vie sont disponibles dans la bibliographie. Beaucoup ont été établies dans un contexte géographique particulier.

Ainsi, les quatre méthodes analysées ici (*Eco-indicator '99*, *Impact 2002+*, *EPS* et *CML 2001*) sont des outils de référence. Nous synthétisons quelques unes :

**FCML** : méthode développée par l'université de Leiden (Pays-Bas), deux versions sont proposées CML1992 et CML2000. Les impacts utilisés dans cette méthode sont classés ci-dessous (Heijungs, 1992) :

Thèmes environnementaux	Principaux flux entrant et sortant
Épuisement des ressources abiotiques	Ressources énergétique et minérales
Épuisement des ressources biotiques	Bois
Réchauffement globale	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CFC
dégradation d'ozone stratosphérique	CFC, CCL <sub>4</sub>
Acidification	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
Eutrophisation	Composés azotés et phosphorés
Toxicité humaine	Nombreux produits chimiques
Écotoxicité terrestre	Nombreux produits chimiques
Écotoxicité aquatique	Nombreux produits chimiques
formation photochimiques	COV, NO <sub>x</sub>
Radiation	
Dégagement de chaleur	Eau des centrales de production d'énergie
Bruit	
Odeur	Plusieurs substances

Tab-II.6 : Classes d'impacts utilisées dans CML.

**F Eco-indicateur** : méthode conçue par le bureau d'études néerlandais Pré Consultant, deux versions sont disponibles : Eco-indicateur 95 et Eco-indicateur 99.

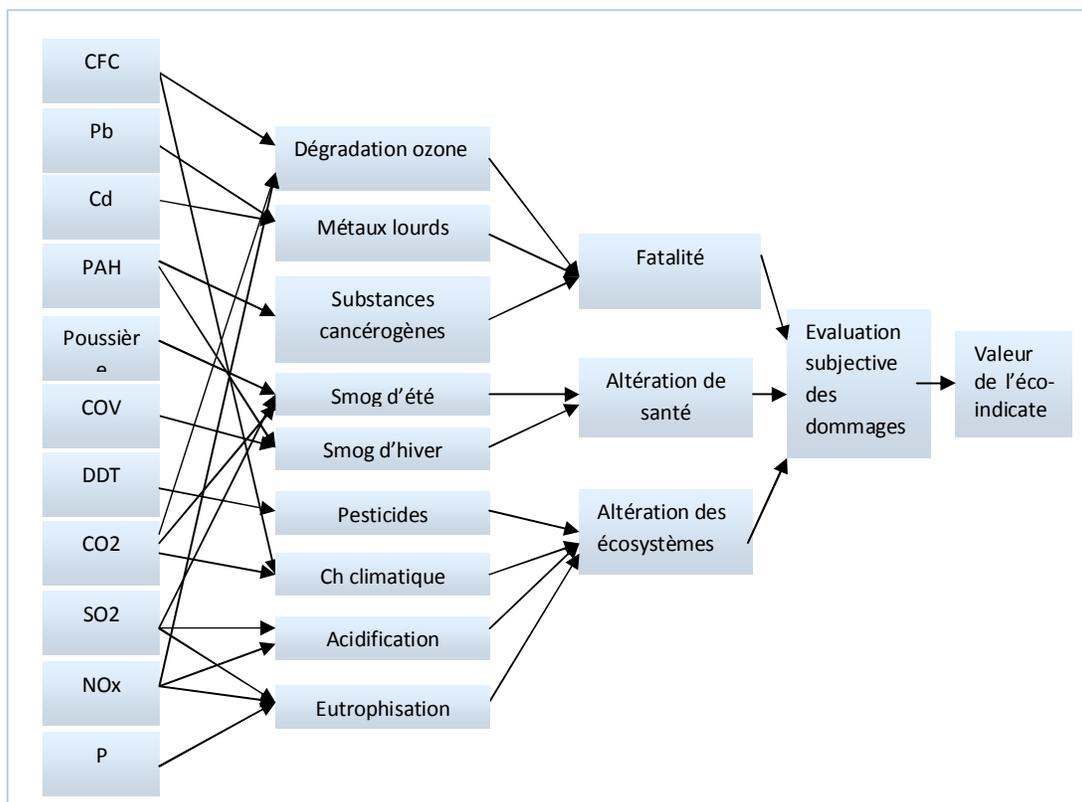


Fig.-II.6 : Structure générale de la méthode Eco-indicateur.

La liste des catégories d'impacts utilisées dans les méthodes orientées effets a été modifiée en partie pour exclure tous les impacts locaux et certaines catégories jugées non pertinente à l'échelle européenne (Goedkoop, 2000). Ces impacts exclus sont :

- Les problèmes environnementaux locaux tels que le bruit, l'odeur ;
- L'épuisement des ressources naturelles ;
- La production des déchets ultimes ;
- Les impacts toxicologiques spécifiques au milieu du travail ou à l'échelle locale.

Nouvelles catégories d'impacts	Catégories d'impacts équivalente dans les méthodes orientées effets
Substances cancérogènes Smog d'hiver Métaux lourds dans l'air Métaux lourds dans l'eau Pesticides dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface	Toxicité humaine Toxicité humaine Toxicité humaine Toxicité humaine Ecotoxicité

**Tab.-II.7 : Les nouvelles catégories d'impacts de la méthode Eco-indicateur .**

**FEPS (Environmental priority strategies in product design)**: méthode développée par l'université suédoise Chalmers University of Technology en 2000, elle fait partie des méthodes à thèmes environnementaux intégrant une dimension monétaire. Par exemple, l'évaluation des impacts sur la santé humaine est basés sur le prix qu'une entreprise est prête à payer pour soigner les gent.

Dans cette approche les thèmes environnementaux sont appelés safeguard subjects, où on distingue cinq représentés dans la figure (II.7).

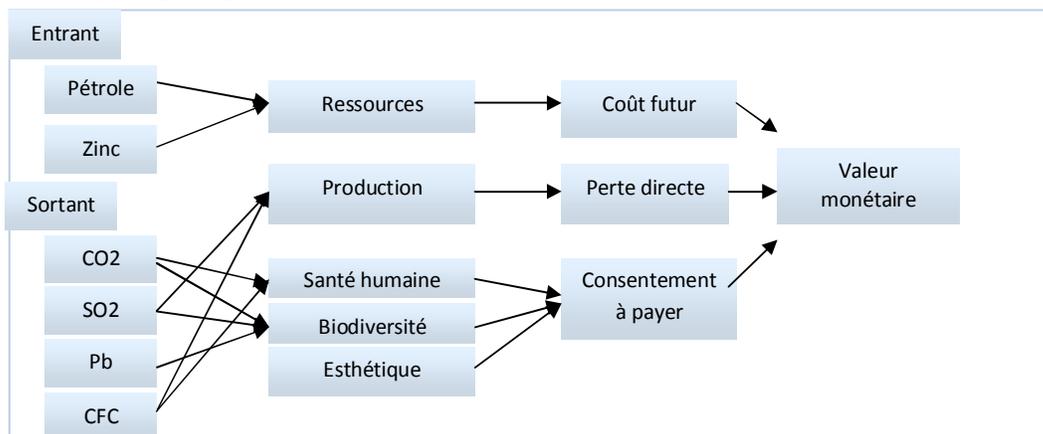
Les ressources : épuisement des matières premières ;

La santé humaine : nombre de mort par an ;

La production : dommages économiques des effets environnementaux ;

La biodiversité : disparition des espèces animales ou végétales ;

Esthétique : perception de la beauté naturelle.



**Fig.-II.7 : Principe de classification de la méthode EPS.**

#### II.2.2.4 Interprétation de l'analyse du cycle de vie

C'est la phase où l'on évalue la valeur et la robustesse de tous les résultats, choix et hypothèses. Les objectifs initiaux de l'étude sont repris pour évaluer les résultats et proposer des conclusions voir des recommandations adaptées. D'après la norme ISO 14043, la phase d'interprétation comporte trois éléments :

-l'identification des points significatifs des phases de l'analyse de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact du cycle de vie du système (résultats et implications des méthodes utilisées),

-la vérification des points significatifs, qui intègre les contrôles :

**F** de cohérence : vérifier que les méthodes, les hypothèses et les données utilisées sont en adéquation avec les objectifs de l'étude,

**F** de complétude : vérifier que toutes les données et informations nécessaires ont été réunies,

**F** de sensibilité : mettre en place des analyses de sensibilité et/ou d'incertitude pour valider la robustesse de certains résultats significatifs,

- les conclusions et les recommandations découlant de l'étude.

#### II.3 Panorama rapide de quelques logiciels pour réaliser des ACV:

La majorité des logiciels de l'ACV qui représente aujourd'hui intègrent l'étape d'évaluation des impacts (y compris la normation et la pondération). Ils sont présentés en anglais ou parfois en allemand. Voici un Bref panorama des logiciels d'ACV :

**BOUSTEAD MODEL** : logiciel de langue anglaise effectuant des calculs d'inventaire uniquement, base de données importante (4500 modules), pas de version de démonstration.

**ECOLAB** : logiciel de langue anglaise réalisant des ACV complètes, base de données au format

SPINE (utilisé par les pays nordiques), pas de version de démonstration à notre connaissance (site internet <http://www.port.se/ecolab.html>, en suédois).

**ECOPRO** : logiciel existant en langues allemande et anglaise, calcul d'ACV complète (inventaire et plusieurs méthodes d'évaluation des impacts), environ 1 000 modules dans la base de données, version de démonstration gratuite (site internet <http://www.empa.ch/deutsch/empanews/forsch/focus5.htm>, en allemand).

**EMIS** : logiciel de langue allemande pour la réalisation d'ACV complète, environ 1 000 modules dans la base de données, version de démonstration gratuite mais non interactive.

**GABI** : logiciel de calcul de bilans holistiques (plus large que la réalisation d'ACV) élaboré au départ pour l'industrie automobile, permettant de réaliser inventaire et évaluation des impacts, logiciel disponible en langues allemande et anglaise, 1 500 modules dans la base de données, version de démonstration gratuite (site internet <http://www.pe-product.de/englisch/main/software.html>, en anglais).

**PEMS**: logiciel de calcul d'ACV complète en langue anglaise, base de données fournie (essentiellement données publiques), version de démonstration gratuite (site internet <http://www.pira.co.uk:8070/environment/home.html>).

**PIA**: logiciel de calcul d'ACV complète en langue anglaise, 200 modules dans la base de données, version de démonstration.

**TEAM** : logiciel de calcul d'ACV complète en langue anglaise, 7000 modules dans la base de données, version de démonstration.

**SIMAPRO** : logiciel de calcul d'ACV complète en langue anglaise, 700 modules dans la base de donnée. Il intègre certaines bases de données environnementales, dont la plus complète est 'Ecoinvent', mais aussi différentes méthodes de calcul d'impacts tels que CML 1992 ou encore Eco-indicateur 99. Le résultat de l'ACV est restitué sous forme d'indicateurs environnementaux dont le nombre et la nature varient selon la méthode de calculs fournis, version de démonstration gratuite (site sur internet <http://www.pre.ni/simapro.html>).

#### II.4 Apport et point faible de l'ACV:

Le point fort de l'approche cycle de vie est la vision exhaustive et globale de la relation entre l'environnement et le système étudié là où d'autres outils se limitent à un site, un impact environnemental ou à une étape de cycle de vie

##### II.4.1 Points forts du processus des ACV (Poncet, 2006):

- F** Il s'agit d'une analyse multicritères et non pas d'une analyse se basant sur un seul point de vue qui bien sûr serait choisi à l'avantage de celui qui commande l'évaluation. En effet, non seulement différents impacts environnementaux sont envisagés, mais on mesure aussi l'apport de matières premières et la consommation d'énergie. La vision n'est donc pas restreinte à la seule question des pollutions mais s'étend aussi à la gestion des ressources.
- F** La méthode jouit d'une certaine standardisation grâce aux normes iso 14040 (principes et structure), 14041 (but et étendue, analyses d'inventaire), 14042 (évaluation d'impact du cycle de vie) et 14043 (interprétation du cycle de vie)
- F** Le système comprend tout le processus de l'extraction à la gestion des déchets (bien qu'il soit possible de mener des analyses partielles, par exemple en commençant l'analyse seulement après le tri d'un matériau pour déterminer la meilleure manière de le recycler).

**F** Le fait qu'un même impact calculé pour chacune des étapes du système soit finalement "additionné" pour tout le système permet d'avoir une vision simple et concise des impacts du système général. Cependant on constate que la tendance actuelle va plutôt vers le détail. Il est entendu que lorsqu'on regroupe différents impacts, cela doit se faire en fonction d'une logique, par exemple, les différents impacts qui concourent au réchauffement de la planète.

Aucune étude comparative entre deux matériaux ou deux services remplissant des fonctions identiques ne peut être publiée si elle n'a pas été soumise à une revue critique par un panel d'experts incluant les représentants des produits concernés.

Bref, l'avantage de l'ACV est de constituer un système de comptabilité générale des intrants et des extrants tout au long du cycle. Les inconvénients de l'ACV réside dans la grande quantité de données nécessaires et dans l'estimation des impacts. En effet l'approche globale ne tenant pas compte des aspects locaux, elle ne peut calculer des impacts réels mais seulement des impacts potentiels.

#### II.4.2 Limite de la méthodologie:

**-Hypothèse:** l'oubli d'une partie de la chaîne peut conduire à des erreurs importantes. Aussi la non prise en compte d'une étape peu importante peut permettre de gagner un temps important, sans altérer la précision des résultats.

**-Disponibilités des données :** la réalisation de l'inventaire pose aussi des difficultés d'une part techniques liées à la pertinence des données, d'autre part relationnelles liées à la confidentialité de certaines données. La réalisation d'un inventaire d'ACV doit s'appuyer au maximum sur des sources de données fiables et reconnues.

**-Incertitudes:** Les principaux problèmes liés au calcul des impacts reposent sur les choix des impacts pertinents à étudier, et sur les méthodes d'estimations de ces impacts. Un indicateur d'impact résulte d'un compromis entre pertinence de l'impact environnemental potentiel évalué et incertitudes sur les résultats, de plus, un indicateur d'impact est d'autant plus mauvais que l'impact auquel il est associé est bref et local. Les incertitudes sur les résultats liées à la qualité des données de l'inventaire, aux hypothèses prises et aux imprécisions des indicateurs d'impact font que les écarts entre deux scénarios ne sont parfois pas suffisamment significatifs pour pouvoir prendre une décision.

## CONCLUSION:

L'usage de la méthodologie de l'analyse du cycle de vie ACV répond généralement à des préoccupations stratégiques de la part des entreprises. Sur le plan environnemental, l'outil permet effectivement une réduction de la consommation de ressources mais ce faisant, il participe à l'amélioration de la performance environnementale des entreprises qui l'utilisent.

Après avoir positionné l'ACV parmi les outils d'évaluation environnementale, nous avons présenté une description détaillée de cette méthode qui est constituée essentiellement d'un ensemble de règles, systématisées par l'organisation ISO et spécifiant les données à recueillir, les calculs à effectuer ainsi que les directives d'interprétation. Le processus de l'ACV s'effectue en quatre étapes:

La définition des objectifs et du champ de l'étude;

L'analyse d'inventaire ;

L'évaluation des impacts (le regroupement sous forme de catégories d'impacts et la pondération des effets dus à l'utilisation de ressources ainsi que les émissions);

L'interprétation (rédiger un rapport des résultats selon les besoins).

Les méthodes d'évaluation d'impacts sont nombreuses, elles sont constituées d'un ensemble d'impacts complémentaires, chacun de ces impacts traitant d'un effet particulier et l'ensemble des impacts devant illustrer la totalité des effets d'un système sur l'environnement.

Les trois grandes familles d'impacts généralement pris en compte par l'ACV

(Khalifa, 1999) : l'épuisement des ressources, les impacts sur la santé humaine et les impacts écologiques.

La complexité de la méthodologie constitue cependant l'une des raisons expliquant la rareté d'ACV complètes publiées. La limitation de l'inventaire peut être effectuée soit à travers l'omission d'une ou plusieurs phases du cycle de vie ou encore la réduction des paramètres à étudier. Sa réalisation pose des difficultés, d'une part techniques liées à la pertinence des données, d'autre part relationnelles liées à la confidentialité des certaines données.

## **CHAPITRE III**

---

**APPLICATION ET MISE EN  
PRATIQUE DE L'ACV POUR LES  
CIMENTERIES :  
CAS DE SCMI MEFTAH.**

## INTRODUCTION:

La prise en compte de l'environnement a été traditionnellement déclinée soit par impact environnemental (déchets, pollutions, consommation d'énergie...), soit par secteur d'activités (industries, transports...), approches qui se sont souvent révélées trop parcellaires pour justifier du bien fondé environnemental des efforts à réaliser.

Aujourd'hui de nombreuses contraintes environnementales (on citera pour mémoire l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto au niveau de l'union européenne) obligent les industriels à considérer l'impact sur l'environnement de leurs produits et de leurs procédés.

La cimenterie est un potentiel inespéré pour l'environnement, elle contribue de façon relativement importante à la diffusion des gaz et des poussières dans l'atmosphère. La problématique majeure de ces entreprises provient d'un simple processus chimique de transformation : la décarbonatation des matières premières. Cette transformation est responsable d'éminente partie des gaz à effet de serre liée au processus de clinkerisation.

L'ACV comme le montre le chapitre deux, évalue les matières et substances entrant et sortant lors des différentes phases de vie d'un produit. Pour la réalisation de l'ACV, nous appuyons sur le couplage Inputs-Outputs de la société des ciments de la Mitidja 'Meftah', afin d'obtenir un inventaire rigoureux et de qualité, répertoriant de façon objective l'ensemble des impacts environnementaux potentiels, qui sont très dépendants des caractéristiques du milieu.

Il existe un nombre important de méthodes d'analyse d'impact. Nous avons tenté d'en répertorier une qui tient compte des trois familles d'impacts : Epuisement des ressources, impacts sur la santé humaine et les impacts écologiques.

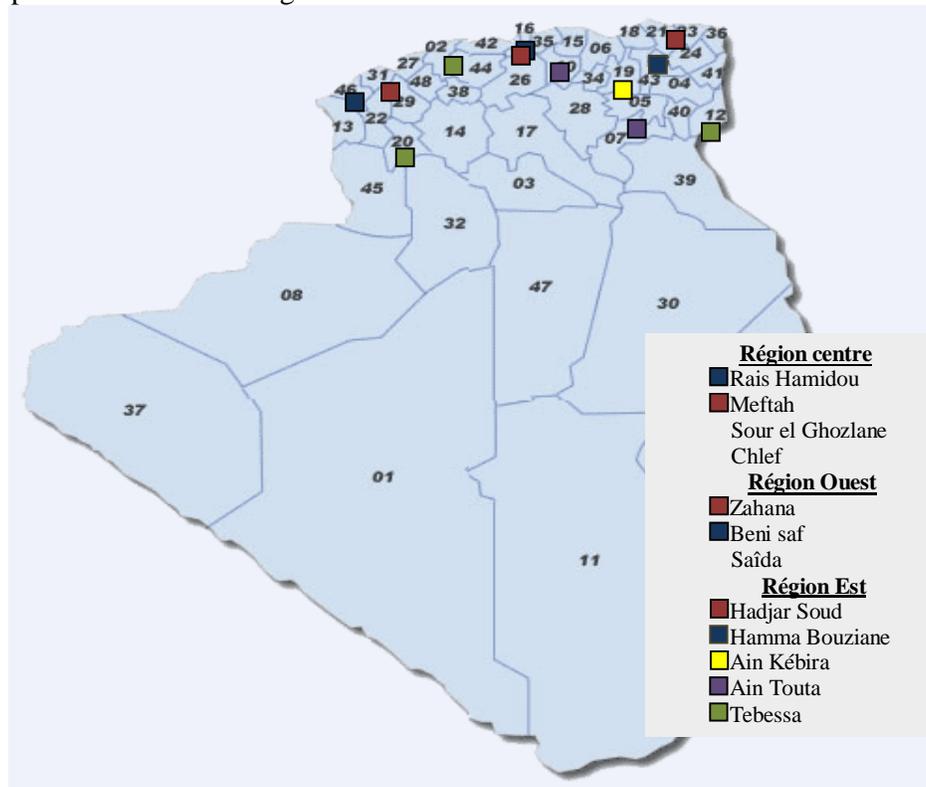
### III.1 Présentation et caractéristiques de SCMI:

#### III.1.1. Identification de l'entreprise:

Lafarge, leader mondial dans le domaine des matériaux de construction acquiert 35% de la Société des Ciments de la Mitidja (S.C.M.I), communément appelée cimenterie de Meftah. Cette cimenterie, idéalement située dans le centre du pays (à 27 km d'Alger), est une filiale du groupe ERCC.

Le projet s'est inscrit dans le cadre du plan quadriennal 1970-1973. Il a été individualisé par décision n° 71-20 DI du 10 mars 1971. La formule de réalisation retenue est celle du lot par lot. Son coût s'est élevé à 680 000 000 DA au lieu de 336 600 000 DA prévu. Les principaux constructeurs ont été : KHI (Kawasaki Heavy Industries) et FCB (Fives Cail Babcock). Mise en service en 1975.

Le site de production Meftah est localisé suivant les coordonnées Lambert X : 546,625 Km; Y : 369,800 Km. Reliant la commune de Meftah à celle de Khemis-el-Khechna à l'Est et l'Arabaa à l'Ouest. Il est bordé du nord par la gare de Oued-Smar et l'aéroport international d'Alger.



**Fig.-III.1 : Implantation des cimenteries algériennes.**

L'usine Cimenterie de Meftah est le pôle d'animation de cette région à vocation presque exclusivement agricole. Elle a une capacité nominale de production d'un million de tonnes/an, assurée par le roulement de deux équipes de 602 personnes, et possède une seule ligne de production à voie sèche.

### III.1.2 Gisement des matières premières:

La production d'une cimenterie est presque toujours destinée à la consommation locale,

Caractéristiques	Gisements	
	Calcaire	Argile
Superficie en m <sup>2</sup>	587.020	462.480
Durée de vie	40 ans	
Réserves en millions de tonnes	79.000.000	20.000.000
Mode de détention du gisement	Concession d'exploitation	
Distance de l'usine	1km	4 km
Mode d'acheminement	Transporteur a bandes	Roulage camions

**Tab.- III.1 : Types et caractéristiques des carrières (CETIM, 2007).**

Les sources d'approvisionnement des autres matières premières et ajouts, sont:

Sable : S'approvisionnait de la SOPRESICAL BOUSSAADA.

Minerai de fer : S'approvisionnait Ferphos (mine de ROUINA).

Tuf : Acheminé de la carrière de zemmouri (SCAL/Spa).

Gypse : Provient de la carrière de Médéa (gisement de TAIHI), du Groupe E.R.C.C.

	Sources	Prix unitaire (DA/tonne)	Prix du transport
<b>M.Fer</b>	Ferphos ROUINA	1545.00 HT	-
<b>Sable</b>	SOPRESICAL BOUSSAADA	75,00 HT	600DA
<b>Gypse</b>	CARRIERE Médéa	650,00 HT	240DA
<b>Tuf</b>	CARRIERE Zemmouri	-	200DA

\*Prix unitaires relatif à 2001 transports compris

**Tab.-III.2: Types et caractéristiques des carrières des ajouts (CETIM, 2007).**

### III.1.3 Utilités

<b>Electricité :</b>	Deux lignes Un poste de transformation 60 kV à 5,5 kV Puissance souscrite 25 MW
<b>Gaz :</b>	Un poste de détente à 4 bars Puissance souscrite 150.000 thermies par heure
<b>Air de mécanisation :</b>	Compresseurs FCB, Atlas Copco et Crepelle
<b>Eau :</b>	Bassin de stockage 1.500 m <sup>3</sup> Trois stations de pompage (deux externes et une sur site) Débit d'une pompe 15 à 20 litres / seconde
<b>Station d'épuration :</b>	Non fonctionnelle

### III.1.4 Description du milieu

#### III.1.4.1. Donnée topographique:

Meftah est implantée dans la partie orientale de la Mitidja à la limite des piémonts Nord de l'Atlas Mitidjien. Elle est dominée au Sud, Sud-Ouest, et Sud-Est par les contreforts (flancs Nord) du Djebel Zerouela qui culmine à 513m, à une distance de 2,8 km du centre de la ville, ce qui caractérise des flancs forts pendus.

Cette implantation particulière a de nombreuses conséquences :

- § Le développement de grands domaines agricoles dans les zones plates.
- § La richesse de cette zone en eaux superficielles, les oueds Si Hamed, kadra et Barak (affluents de l'oued Samar) qui prennent naissance dans le Djebel Zerouela et l'Atlas Mitidjien.
- § Cette zone plate est souvent le lieu de stagnation des eaux de pluies, c'est ce qui explique les grands travaux de drainage réalisés (pour le développement des exploitations agricoles et pour la construction de l'aérodrome) dans cette partie de la Mitidja.
- § L'existence d'un microclimat du fait de la présence de barrière de l'Atlas au Sud et la mer au Nord, l'influence de la mer bénéficie de l'absence de relief (obstacle) entre Meftah et le littoral.

### III.1.4.2. Hydro climatologie :

La plaine de Mitidja est toute entière comprise dans une zone subhumide à hiver et tempéré à chaude. L'opposition entre la saison froide et humide et la saison chaude et sèche est nettement soulignée pour toutes les stations de la Mitidja qui présentent des données assez voisines.

@ **Pluviométrie** : Les rythmes pluviométriques sont typiquement méditerranéens et caractérisés par un double irrégularité annuelle et interannuelle. L'intensité mensuelle des pluies est présentée dans le tableau suivant :

	Janvier	février	Mars	avril	mai	juin	juillet	Aout	septem	octobre	novemb	Décemb	Annuel
Cumul moyen	85.5	78.4	66.6	63.5	37.6	15.8	3.3	6.5	36.0	68.0	89.6	105.9	656.7
Ecart type	46.5	64.4	46.0	45.0	36.7	18.1	7.4	11.3	45.8	51.9	55.8	67.4	185.2
Cumul Maximal	191	352	220	198	151	78	42	49	281	253	211	263	1168
Cumul Minimal	4	3	0	4	0	0	0	0	0	0	3	10	279

Source : Analyse Climatologique Station Météorologique de Dar El Beïda.2005

**Tab.- III.3 : Intensité mensuelle des pluies en mm.**

@Température:

	Janvier	février	Mars	avril	mai	juin	juillet	Aout	septem	octobre	novemb	Décemb
Température moyenne élevée	20	20.1	24.3	23.5	28.4	30.7	32	36.4	34	29.8	24.6	21.5
Température moyenne basse	6.1	2.4	3.1	8.8	11.1	17.5	20.7	21.9	16.9	13.2	6.3	5.5
Température moyenne	11.3	11.2	13.4	15.1	18.6	22.8	25.2	26.3	23.4	19.9	14.9	12.2
Ecart type.	2.6	2.5	2.7	2.3	2.4	2.3	1.9	2.1	2.6	3.1	2.9	2.7

<b>Moyenne des temp les plus élevées</b>	16.5	16.3	20.3	20.3	23.2	26.9	29	32	28.5	25.3	20.9	17.3
<b>Moyenne des temp les plus basses</b>	7.5	7.4	8.9	10.8	14.5	19	22.3	23.5	19.4	15.6	10.4	7.9
<b>Amplitude journalière max</b>	8.6	6.6	9.8	8	5.7	5.2	4.7	7.5	6.9	8.4	9.3	8.9

**Tab.-III.4 : Analyse des températures moyennes (1995-2004).**

**@Vents:**

L'analyse fréquentielle du vent donne:

Mois	Vent moy (m/s)	Vent max Moy (m/s)
Janvier	2.87	10.7
Février	2.90	11.2
Mars	2.90	11.2
Avril	3.11	12.0
Mai	2.93	11.4
Juin	3.13	11.8
Juillet	3.07	11.6
Aout	2.85	11.3
Septembre	2.74	11.3
Octobre	2.61	11.0
Novembre	2.75	10.8
Décembre	3.02	11.0

Source : Analyse Climatologique Station Météorologique de Dar El Beïda.2005

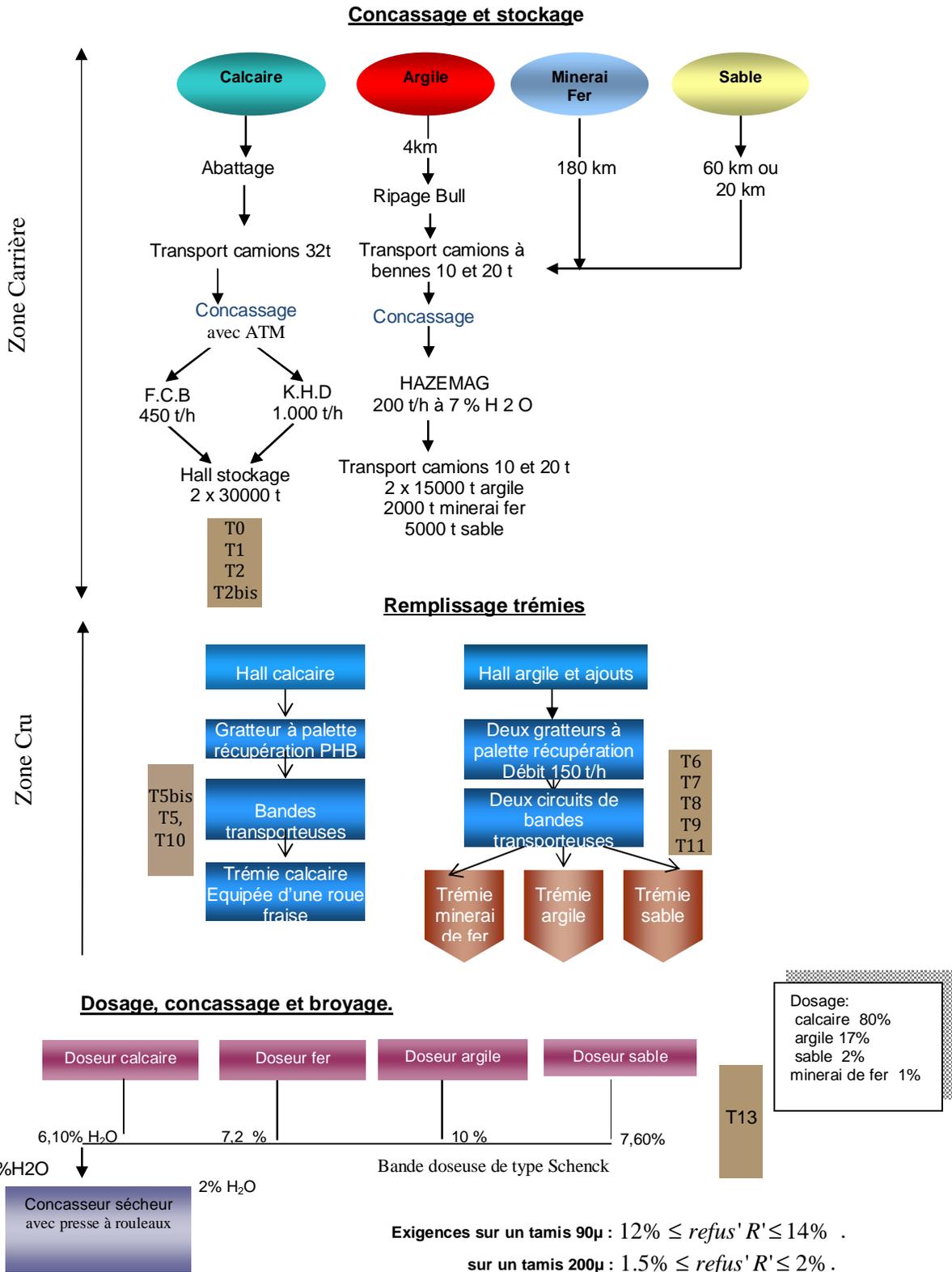
**Tab.-III.5 : vitesse mensuelle moyenne et maximum des vents.**

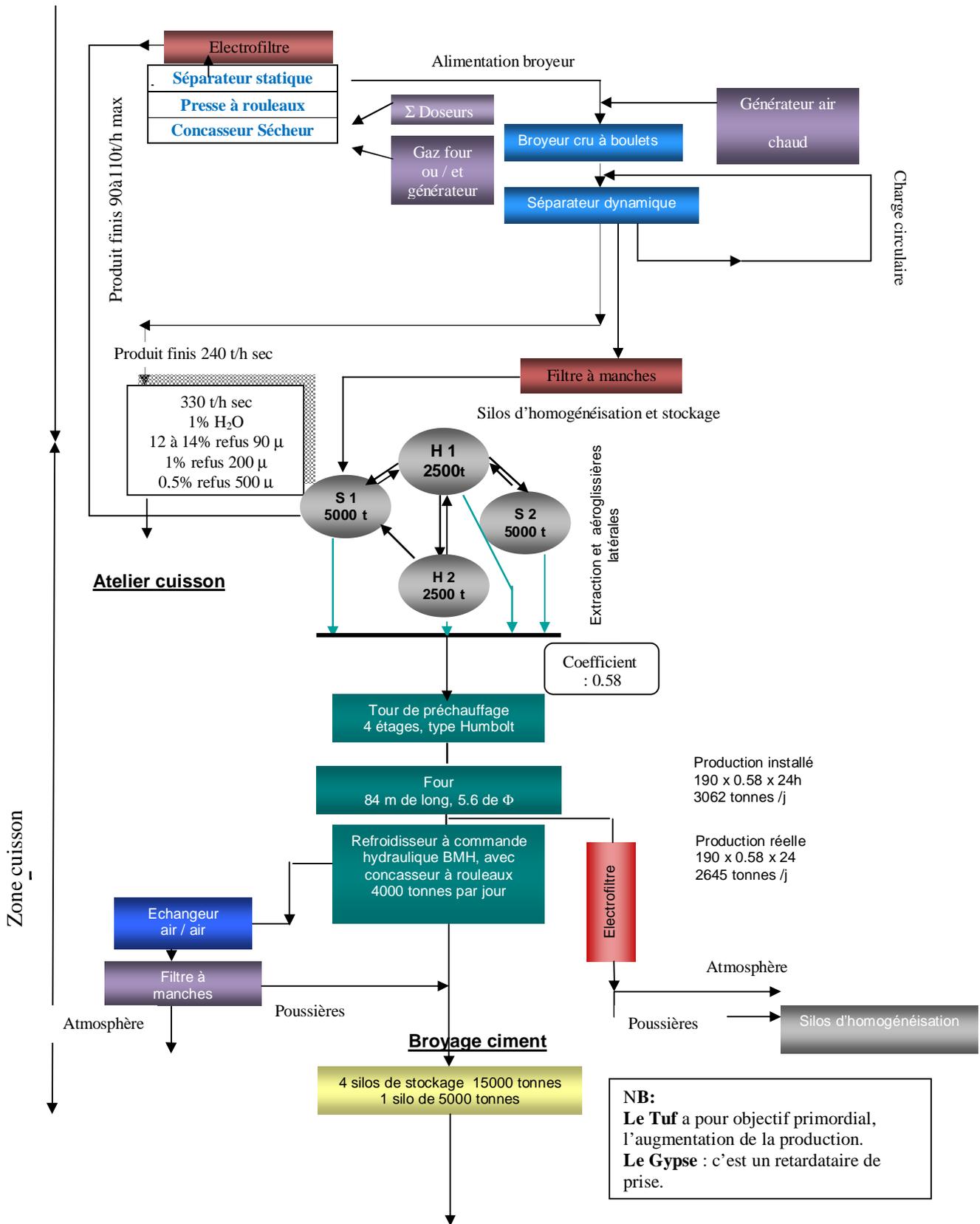
Le vent domine selon les directions principales suivantes : Nord (12 %), Nord Est (10,8 %), Sud Ouest (14,4 %) et Ouest (12 %).

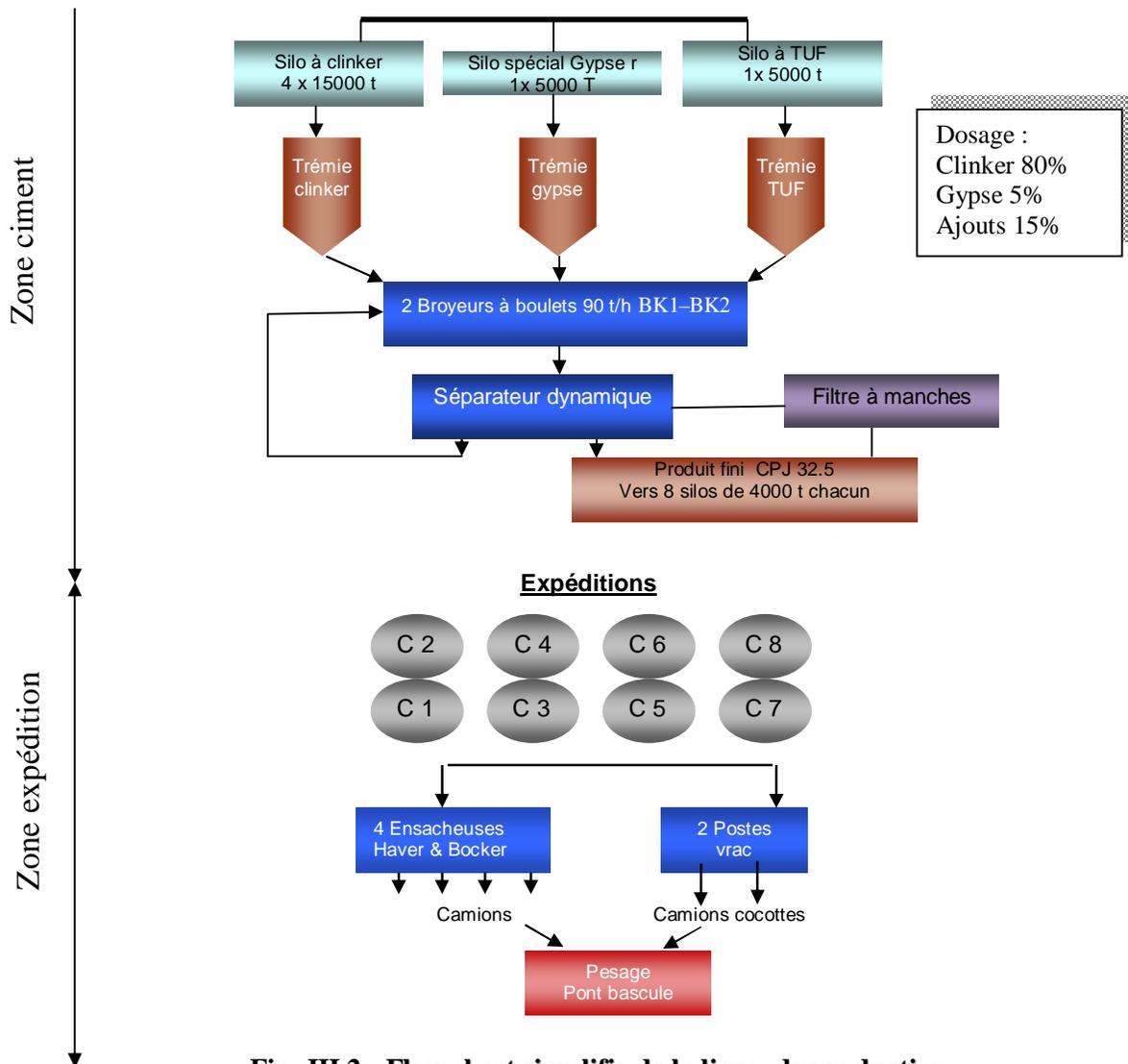
**III.2 Schéma synoptique simplifié de la ligne de production :**

La ligne de fabrication du Ciment de Meftah est divisée en cinq zones :

- @Zone Carrière,
- @Zone Cru,
- @Zone Cuisson,
- @Zone Ciment,
- @Zone Expédition.







**Fig.-III.2 : Flow sheet simplifié de la ligne de production.**

L'annexe 3 propose une description détaillée de processus de fabrication.

### III.3 Réalisation de l'ACV :

L'ACV de notre produit est laborieux à mettre en pratique, et souligne bien l'approche large, couvrant les impacts de trois phases successives, l'extraction et le traitement des matières premières, la fabrication du produit et l'expédition.

#### Approche itérative

Il est fortement recommandé d'effectuer l'analyse du cycle de vie en deux temps:

- Une évaluation préliminaire ou screening réalise l'analyse de A à Z de manière rapide et simplifiée en évaluant l'ordre de grandeur des contributions des différentes étapes du cycle de vie.
- Une seconde étape d'analyse détaillée, reprend les phases de définition de l'objectif, d'inventaire et d'analyse de l'impact, en approfondissant les points ayant les plus grands impacts environnementaux. Cette étape débouche sur l'interprétation finale, complétée par une étude de sensibilité détaillée et l'estimation des incertitudes.

### Calcul "à la main", utilisation de logiciel de calcul

Les premières estimations, notamment des consommations et des émissions peuvent être obtenues par un calcul "à la main". Lorsque le nombre de substances à prendre en compte est important, l'emploi de logiciel spécifique pour les analyses de cycle de vie est recommandé, tout en effectuant le bilan à la main à titre de vérification.

#### III.3.1 Définition des objectifs et de champ de l'étude:

Cette phase descriptive est relativement triviale. Elle détermine une série d'éléments cruciaux:

##### III.3.1.1 Définition des objectifs:

- Etudier les marges de pollutions associés aux entrants et aux sortants de produit ciment.
- Possibilité d'établir un inventaire complet.
- Evaluation des aspects environnementaux et des impacts sur cible qu'il convient de considérer consistant.
- Déterminer l'impact prépondérant de l'activité sur 10 ans (1998-2007).
- Prendre des décisions qui tiennent compte de l'ensemble des impacts.

##### III.3.1.2 Champ de l'étude (scope):

La définition du champ d'étude doit décrire clairement les éléments suivants:

**La fonction du système:** Notre système est à caractère productif et commercial de la gamme 'Ciment CPJ. II/A – M 32.5'.

##### L'unité fonctionnelle UF:

Les différentes émissions de substances et extractions de ressources répertoriées dans l'inventaire sont rapportée pour l'UF, elle est déterminé par :  
' *Activité associée au système de produit permettant de produire une tonne de clinker*'

**Flux de référence FR:** il est définie par :

*Les quantités des entrées et sorties prisent par rapport à une tonne de clinker.*

##### Frontières du système:

Selon la démarche systémique qui met l'accent sur le relationnel plus que sur les objets, le système 'production de CPJ 32.5' peut se décliné en plusieurs sous-systèmes et décrit les flux reliant les modules entre eux (voir le flow chart).

La somme pondérée des flux élémentaires et des flux de produit intermédiaire donne le bilan environnemental du système étudié.

Pour limiter l'étendue de l'étude, il est classique de négliger les procédés unitaires dont les activités ne modifient pas de manière significative les résultats de l'ACV. La règle de coupure généralement utilisée est celle de Crettaz (2005) pour les quels, si une phase ou un procédé unitaire cause une variation sur le résultat en dessous de 5% ce procédé unitaire n'est pas considéré dans les frontières du système.

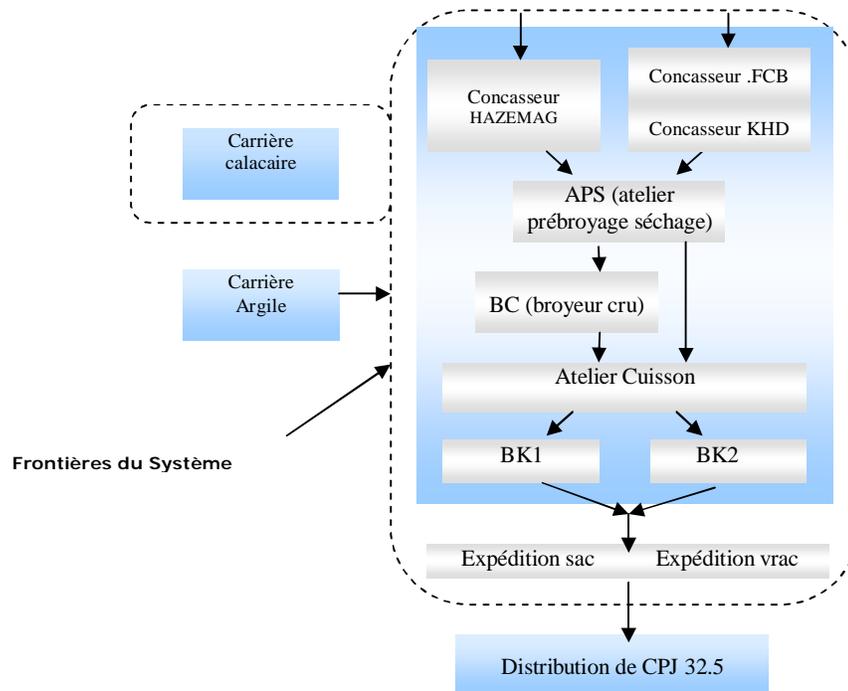


Fig.-III.3 : Flow chart simplifié de la cimenterie.

### III.3.2 Analyse de l'inventaire :

Réaliser le bilan environnemental consiste à estimer qualitativement et quantitativement l'ensemble des émissions (dans l'air, l'eau et le sol) ainsi que les extractions de matières premières. Cet inventaire s'établit sur la base des intrants (flux de matières et d'énergie) requis pour produire la farine, le clinker et le ciment. Les quantités de substances émises sont ensuite calculées à l'aide de facteurs quantifiant ces émissions par unité d'intrant.

Deux modes d'acquisition de données sont rencontrés pour décrire l'inventaire:

- Recueil de données sur site industriel, pour une durée de dix ans.
- Procédure de calcul dite "approche entrant-sortant" permettant le couplage entre des paramètres d'entrée 'caractéristiques du système produit étudié ' et les données de sorties.

#### III.3.2.1 Origine et nature des données collectées:

Ces données sont obtenues par contact direct avec le service BMP (Bureau Méthode Production) de l'usine in situ, aussi de CETIM (une société spécialisée dans le contrôle de l'Environnement à Boumerdes).

Le maximum des informations susceptibles d'éclairer et de se renseigner sur notre système, sont collectées pour l'année 2005, qui a été choisi comme année de référence.

### III.3.2.1.1 Bilan quantitatif et qualitatif des flux d'entrée:

Il regroupe donc les quantités de :

**A. Eau:** Les relevés de consommations en eau ne sont pas enregistrée (absence de compteurs), ce qui nous empêche de spécifier les parts de consommations par rapport à la consommation totale.

Ces consommations sont déterminées par estimation:

Phase de consommation (Process)	Quantité (m <sup>3</sup> /jour)	Taux (%)	Remarque
Tour de conditionnement	648	60.1	Consommé par la farine
Tour de refroidissement (appoint)	300	27	Recyclée (récupérée)
Bâtiment de commande	4.8	0.4	Recyclée (récupérée)
Carrière	28.8	2.6	Consommée
Electrofiltre	24	2.2	
Fuites diverses	72	6.6	Evacuée dans les cours d'eau
<b>Total</b>	<b>1077.6</b>	<b>100</b>	
Phase de consommation (auxiliaire)	Quantité (m <sup>3</sup> /jour)	Taux (%)	Remarque
Eau potable	86.4	59	Consommé (cuisine)
Eau pour pelouse	60	41	Consommé (végétation)
<b>Total</b>	<b>146.4</b>	<b>100</b>	
<b>Phase process</b>	<b>1077.6</b>	<b>87</b>	<b>Consommée</b> Quantité : 678.8 m <sup>3</sup> /j <b>Recyclé</b> Quantité : 304.8 m <sup>3</sup> /j Taux : %
<b>Phase auxiliaire</b>	<b>146.4</b>	<b>13</b>	Consommée
<b>Total</b>	<b>1224</b>	<b>100</b>	

Tab.-III.6 : Taux de consommation d'eau dans le processus.

### B. Matières premières de base:

Outre les **matières de base** entrant dans la composition du ciment CPJ 32.5 qui sont: le calcaire, l'argile, le sable, le minerai de fer et les additifs crus (gypse et tuf), les **éléments auxiliaires** consommés nécessaires à la production ont été considérés comme les briques réfractaires, les boulets, les huiles et graisses (au niveau des machines). On a également comptabilisés dans cette section les sacs d'expédition.

Matières	Année 2005		Norme admise par le groupe de cimenteries (principe de benchmarking)	
	Tonne / an	Tonne / tonne de clinker	Taux / clinker (%)	Tonne / tonne de clinker
Calcaire	912095	1.40	78 – 80	0.78 - 0.8
Argile	197930	0.31	16 – 17	0.16 – 0.17
Sable	31239	0.05	2	0.02
Minerai de fer	15691	0.025	1	0.01
Tuf	43758	0.07		
Gypse	51680	0.082		

**Tab.-III.7: Taux de consommation de matière première durant l'année 2005.**

La composition chimique moyenne des matières premières pour la même année est donnée dans le tableau suivant :

Matières	Éléments									
	TitreCaCO3	CaO	MgO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	PAF	Na2O	K2O	SO3
Calcaire	93.7	54.04	0.20	1.77	0.69	0.27	42.58	0.07	0.07	0.06
Argile	NS	8.00	2.81	51.79	15.25	5.65	11.51	0.64	2.47	0.76
Sable	NS	1.22	0.10	93.74	2.05	0.47	1.36	0.11	0.30	0.24
M de fer	NS	7.09	0.75	19.59	3.80	55.85	10.09	0.19	0.68	0.39

NS : non significatif

**Tab.-III.8: Composition chimique moyenne de la matière première.**

### C. Matières premières auxiliaires:

**-Les boulets:** Le tableau suivant présente les nouvelles charges de boulets utilisées durant les années 2003, 2004, et 2005.

Atelier	Nombre de boulets		
	Année 2003	Année 2004	Année 2005
<b>Atelier broyage cru</b>			
Broyeur à boulet	236	5	121
<b>Atelier ciment</b>			
Broyeur ciment 1 (BK1)	Néant	Néant	447
Broyeur ciment 2 (BK 2)			257
Total Atelier ciment			704
<b>Total cimenterie</b>	236	5	825

**Tab.-III.9 : les nouvelles charges de boulets utilisées durant les années 2003, 2004, et 2005.**

**-Les huiles et graisses :** utilisées dans les transformateurs et les moteurs (ASKAREL, PYRALENE, TISKA, CHIFFA...).

**-Sacs d'expédition:** Les sacs d'emballage sont de type kraft, elles sont constituées essentiellement de cellulose, un polymère du glucose, de formule (C6H10O5)<sub>x</sub>,

- La quantité de sacs déposée est de l'ordre de 1227965 pièces.

- La quantité de sacs utilisée est de l'ordre de : 32000 sacs /jours

#### D. Energie :

- **Gaz:** L'unité possède deux conduites de gaz naturel et un piquage pour l'alimentation du:

- Four de cuisson (1,5 bars);
- Foyer auxiliaire (BC) par une conduite aérienne (0,5 bars);
- Sécheur (APS) par une conduite aérienne (piquage).

-**Electricité:** La cimenterie est alimentée par deux lignes aériennes triphasées à 60 kV – 50 Hz propriété de la SONELGAZ. La distribution de cette énergie à la sortie du poste principale est faite comme suit :

- Abaissement de la très haute tension 60 KV à la haute tension de 5.5KV vers les diverses cellules au niveau des CDM (centre de démarrage des moteurs).
- Distribution de la puissance 380 V à la sortie des CDM.
- Distribution du 220 V pour la commande des moteurs et l'éclairage.

-**Essence et mazoute:** L'entreprise possède deux stations de carburant, la première au niveau de l'unité de capacité de 25000 l, la deuxième au niveau de la carrière de capacité de 2 X 3000 l.

La consommation de mazoute est de l'ordre de 1 million litres en 2005

Le tableau suivant montre la consommation d'énergie électrique et gazière en 2005:

Unité = 1000 KWh

Atelier	Consommation/production	Energie électrique	Energie gazière
<b>Broyeur cru</b>	Consommation	16686 KWh	
	Production	819078 t	
	Cons. spécifique	20.37 KWh/t	
<b>APS (Sécheur)</b>	Consommation	12922 KWh	
	Production	250700 t	
	Cons. spécifique	51.54 KWh/t	
<b>TOTAL CRU</b>	Consommation	29608 KWh	
	Production	1069778 t	
	Cons. spécifique	27.68 KWh/t	
<b>FOUR</b>	Consommation	21870 KWh	911932736 thermie
	Production	617980 t	617980 t
	Cons. spécifique	35.39 KWh/T kk	
<b>BK1</b>	Consommation	17765 KWh	
	Production	405089 t )	
	Cons. spécifique	43.85 KWh/t	
<b>BK2</b>	Consommation	15780 K Wh	
	Production	346137 t	
	Cons. spécifique	45.59 KWh/t	
<b>TOTAL CIMENT</b>	Consommation	33545 KWh	
	Production	751226 t	
	Cons. spécifique	44.65 KWh/t	
<b>CIMENTERIE</b>	<b>Consommation tonnage (Ciment)</b>	<b>116521002 KWh</b>	<b>969957960 thermie</b>
	<b>Cons. spécifique</b>	<b>751226 T</b>	<b>751226 T</b>
		<b>155.10 KWh/t</b>	

Tab.- III.10 : Consommation d'énergie électrique et gazière en 2005.

#### III.3.2.1.2 Bilan quantitatif et qualitatif des flux de sorties:

## A. Produits finis et semi finis:

Ci-dessous on donne la production réalisée de la farine, le clinker et le ciment en 2005, ainsi que leurs caractéristiques chimiques, physiques et minéralogiques :

Production de farine		Production du kk (produit semi fini)	Production du ciment (produit fini)		Teneur du kk dans le ciment	Teneur du kk pour le benchmark
BC	APS	617,980 T	BK1	BK2	83(%)	78(%)
819078 T	250700 T		405089 T	346137 T		
Total atelier broyage cru 1069778 T		Atelier cuisson 617,980 T	Total atelier ciment 751226 T			

Tab.-III.11 : production de farine, clinker et ciment pour 2005.

Caractéristique chimique									
Elément	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P.A.F	R.I	CaOI	SO <sub>3</sub>
cru	14.07	42.41	0.71	2.11	3.80	35.14			
clinker	20.32	60.15	1.01	2.98	5.17	0.35	0.13	0.40	
ciment	22.37	54.57	0.99	2.70	4.59	2.80	4.97	0.33	2.25
Caractéristique physique et modules									
Elément	E.APS	S.APS	A/F	M.S	DBC	LSF	R/90μ		
cru	6.08	1.31	1.65	2.17	5.83	86.02	12.07		
Caractéristique minéralogique potentielle et modules									
Elément	DENSITE	C3S	C2S	C3A	C4AF	PH/L	AP/CR		
clinker	1249	55.61	21.45	9.48	9.86	23.81	30.04		

Tab.-III.12 : Caractéristiques chimiques, physiques et minéralogiques de produit fini et semi fini.

## B. Eau:

La cimenterie dispose d'une station d'épuration des eaux usées non fonctionnelle à l'heure actuelle, alors le déversement de rejets liquides provenant de la cimenterie se fait directement dans l'oued 'EL MHADA' avec un volume total de 16.3 – 20 m<sup>3</sup>/h (eau de refroidissement, fuites dans l'adduction et les circuits, rejet de laboratoire d'analyse...)

Le bilan qualitatif des eaux rejetée et évacuée dans le cours d'eau située à l'extérieure de l'usine est effectué par le laboratoire CETIM et CNTC – BOUMERDES, les résultats obtenus sont données dans le tableau (III.13).

PARAMETRES	UNITES	NORMES (*)		RESULTATS	
		Valeurs limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations	Regard Intérieur de la cimenterie	Sortie de la cimenterie (Oued récepteur)
Température	°C	30	30	28.1	27
PH	-	5.5 à 8.5	5.5 – 8.5	7	7.2
Mesures chimiques / pollution					
DBO5	Mg / l	40	40	10	80
DCO	Mg / l	80	120	80	1200

MES	Mg / l	35	40	62	1100
Plomb	Mg / l	0.5	1	0.20	1.3
Chrome	Mg / l	0.1	0.1	TRACES	0.11
Zinc	Mg / l	2	5	TRACES	4.3
Cuivre	Mg / l	0.1	0.3	TRACES	0.4
Cadmium	Mg / l	0.07	0.20	TRACES	TRACES
Nickel	Mg / l	0.1	0.5	TRACES	TRACES

(\*) Selon le décret exécutif n°06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

**Tableau.-III.13 : Analyse des Rejets d'effluents liquides de la cimenterie et les valeurs limites industriels.**

### C. Déchets :

Ils sont classés dans les catégories suivantes : banals, inertes, liquides et toxiques.

-**Déchets banals (pertes technologiques)**: correspondent à des pertes de matières premières ou finies, non récupérées. Ces pertes sont constatées au niveau de la zone cru, cuisson et ciment.

-**Matières solides usagées**: Ce sont les déchets correspondant à des matières usagées, telles que les tapis de transport, les pneus, les briques réfractaires et déchets métalliques.

-**Huiles minérales usagées**:

Les huiles usagées sont récupérées dans des fûts, on souligne l'existence de diverse fuite et déversement d'huile au niveau des salles de compresseurs et les salles des machines

### D. Bruit :

Les valeurs mesurées de bruits à l'intérieure et à l'extérieure de l'usine sont relevées avec l'instrument TESTO 816 – plage de bruit 30 à 130 dB (voir tableau III.14 ).

#### Normes Algériennes en matière d'émission de bruit:

La réglementation Algérienne en matière des émissions de bruit admet ' Source Journal Officiel 93-184 ' sont de :

##### Sur l'environnement :

- 70 décibels en période diurne (6 h à 22 h) et 45 décibels en période nocturne (22 h à 6 h) dans les zones d'habitations et dans les voies et les lieux publics et privés.
- 45 décibels en période diurne (6 h à 22 h) et 40 décibels en période nocturne (22h à 6 h) au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignements et dans les aires de repos et de détente ainsi que dans leurs enceintes

##### Sur le poste de travail :

De même, il est admis qu'il ne faut pas dépasser 80dB durant 8h/j et 5j/semaine, Selon la fréquence du bruit, la durée d'exposition sera

6 h/ j ----- 91 dB  
 3 h/j ----- 94 dB  
 30 mn-----100 dB

Atelier	Source	Niveau de pression sonore à la source dB(A)	Durée d'exposition
Matière première	Concasseur argile (sans alimentation)	73	8 h
	Concasseur argile (Avec alimentation)	89	8 h
	<b>Concasseur KHD</b>		
	Machine	86	8 h
	Compresseur 400 (à l'intérieur)	109	Quelque minute
	Compresseur 500 (à l'intérieur)	104	8 h
	<b>CDM (Centre de démarrage des moteurs) de KHD</b>	107	
	A l'intérieur	92	Quelque minute
	A l'extérieur		Quelque minute
Atelier cru	<b>Broyeur cru</b>	99	Quelque minute
	<b>Tour de conditionnement</b>	84	Quelque minute
Atelier cuisson	<b>Compresseur FCB (à l'arrêt)</b>	82	8 h
	<b>Ventilateurs VF1, VF2</b>	86	Quelque minute
	<b>Ventilateur refroidisseur</b>	101	Quelque minute
	<b>Salle mécanique</b>	85	8 h
	<b>Echangeur four</b>	75	Quelque minute
Atelier ciment	<b>Broyeur ciment</b>		
	A l'extérieur	96	Quelque minute
	Entre les deux broyeur BK1 et BK2	105	Quelque minute
	<b>Ventilateur filtre ciment</b>	85	Quelque minute
Expédition	<b>Bascule</b>		
	A l'intérieur	85	8 h
	A l'extérieur	90	8 h
	<b>Quai d'expédition</b>		
	A l'intérieur	76	8 h
	A l'extérieur	80	8 h
	<b>Salle supprimeur</b>	95	8 h
<b>Expédition sac</b>	74	8 h	
	<b>Expédition vrac</b>	85	8 h

**Tab.-III.14: Niveau de pression sonore à l'intérieure de l'usine.**

### E. Air (poussières et gaz):

Les rejets de poussières sont rencontrés à tous les niveaux de la ligne de fabrication :

-**Au niveau de carrière:** Elles sont issues de l'abattage, le chargement, le déversement dans le concasseur (CB 450T/H et KHD 1000T/H pour calcaire) et (HAZEMAG 200T/H pour argile), aussi lors de l'opération de transport par tapis T0, T1, T2, 2T2 bis vers le hall de stockage au niveau de la cimenterie.

-**Au niveau d'atelier broyage cru:** Elles se produisent fréquemment au niveau des bandes transporteuses, concasseur sécheur, broyeur à boulet, et lors d'évacuation dans les silos d'homogénéisation.

Les gaz poussiéreux issues de la section crue sont déchargées par filtre à manche et en cas extrême elles sont déchargées par un des électrofiltres IMAZA ou WALTER.

-**Au niveau d'atelier cuisson:** L'opération de clinkérisation s'accompagne d'émission de poussières et de gaz de combustion.

Les poussières issues de la section cuisson sont déchargées par l'électrofiltre IMAZA et celle de refroidisseur par deux filtres à manches.

-**Au niveau d'atelier ciment:** Durant le déversement dans le silo, il se produit des émissions de poussières de clinker.

La phase de broyage du clinker s'accompagne également d'émissions de poussières au niveau :

-De l'alimentation des trémies du broyeur

-Du transport du clinker par élévateur à godet pour être déversé à l'intérieur du séparateur dynamique.

-Du transport du produit ainsi séparé vers les 8 silos de stockage du ciment de capacité 4000 t chacun

Il y'a lieu également de mentionner les émissions de poussières durant l'ensachage du ciment (remplissage des sacs) et lors du chargement des camions par du ciment en vrac ou en sacs.

**Note à Benné:** Cette pollution est également aggravée par de nombreuses fuites existantes au niveau des différentes installations, ainsi que lors d'une situation de dysfonctionnement comme :

-Arrêt et démarrage du four.

-Dysfonctionnement de l'électrofiltre.

-Déclenchement automatique des filtres électrostatiques, lorsque le volume du CO dépasse 0.8%.

Les taux d'émission de poussière relatifs à ces sources sont estimés dans la sous-section suivante.

### III.3.2.2 Approche 'Input-Output':

L'inventaire se calcule en multipliant l'inventaire de production par des facteurs d'émission ou d'extraction. L'inventaire de production récapitule les flux de référence ainsi que les différents flux intermédiaires correspondant au processus unitaire du système.

Les facteurs d'émissions et d'extractions, donnent les quantités de chaque substance émise ou extraite par unité d'intrant utilisé. Les facteurs d'extractions sont calculés directement à partir de bilan annuel de production.

L'évaluation des rejets gazeux et poussiéreux est incertaine aussi bien pour les masses émises que pour la spéciation chimique. Pour compromettre la précision de l'estimation, des techniques de quantification basées sur des mesures de concentration 'à l'émission' ont été proposé:

#### III.3.2.2.1 Emission de Dioxyde de Carbone 'CO<sub>2</sub>':

Les émissions de CO<sub>2</sub> attribuables aux procédés industriels de la cimenterie sont inévitablement liées au produit et au mode de fabrication, et non à la qualité des processus industriels. Ils résultent principalement du procédé de calcination de farine crue, et de combustion pour la clinkérisation (gaz naturel) .

De telles émissions se produisent également en raison de la poussière de four à ciment (PFC) et de la poussière de déviation (PD) qui sont liées à la production du clinker. Ces flux peuvent être recyclés dans le système de fours; utilisés à d'autres fins ou éliminés (p. ex., par enfouissement). Les quantités de PFC ou PD qui ne sont pas recyclées peuvent être considérées comme perdues dans le système pour ce qui est des émissions de CO<sub>2</sub> et elles doivent, par conséquent, être comptabilisées (Anonyme, 2004).

#### A. Emissions de CO<sub>2</sub> du procédé de décarbonatation :

Le CO<sub>2</sub> résultant de décarbonatation dépendrait essentiellement de la production clinker:

$$E_{CO_2} = FE_{KK} \times Q_{KK}$$

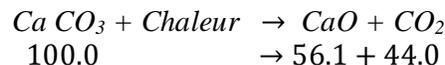
où :

$E_{CO_2}$ : Emission de CO<sub>2</sub> en tonne.

$FE_{KK}$ : Facteur d'émission pour le clinker produit ( $T_{CO_2}/T_{KK}$ );

$Q_{KK}$ : quantité de clinker produite (tonnes).

Le facteur d'émission sera calculé à partir de la réaction chimique qui transforme le calcaire (CaCO<sub>3</sub>) en oxyde de calcium (CaO), sur la base du ratio 0,785 t CO<sub>2</sub> /t CaO.



Le titre total du calcaire:  $CaMg(CO_3)_2 + Chaleur \rightarrow CaO + MgO + 2CO_2$

$$FE_{décarbonatation KK} = \left(\frac{44.0}{56.1}\right) CaO_{KK} + \left(\frac{44.0}{40.3}\right) MgO_{KK}$$

Où :

44.0/56.1: Rapport stœchiométrique du CO<sub>2</sub>/CaO;

$CaO_{kk}$ : La teneur en oxyde de calcium (CaO) du clinker produit;

44.0/40.3: Rapport stœchiométrique du CO<sub>2</sub>/MgO;

$MgO_{kk}$ : La teneur en oxyde de magnésium (MgO) du clinker produit;

Les données propres à notre installation pour la teneur en CaO et MgO de la farine crue sont successivement: 42.41, 0.71 pour 2005.

Le temps de séjour de la matière dans le four (PAF) est estimé par un taux de décarbonatation moyen de 35%, cela conduit à une valeur en chaux par défaut de 65%.

Le facteur d'émission de CO<sub>2</sub> fondé sur la teneur en CaO et en MgO du clinker est de:

$$FE_{décarbonatation KK} = 527 \text{ kgCO}_2/T_{KK \text{ produite}}$$



Soient:

$d_{Gaz}$  : densité du gaz.

$\rho_{Gaz(n)}$  : masse volumique du gaz dans les conditions normales (1,01325 bar et 0°C).

$\rho_{Air(n)}$  : masse volumique de l'air dans les conditions normales = 1,292923 kg/N m<sup>3</sup>.

$x_i$  : fraction molaire du constituant "i" (i = méthane, éthane,...).

$n_{c_i}$  : nombre de carbones du constituant "i".

$$M_{gaz} = m_{gaz}/n_{gaz} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i M_i}{\sum_{i=1}^n X_i}, \quad m_c = M_c \left( \frac{\sum_{i=1}^n X_i n_{c_i}}{\sum_{i=1}^n X_i} \right)$$

Tenons compte de rapport des masses volumiques dans les conditions normales :

$$\rho_{gaz(n)} / \rho_{air(n)} = d_{gaz} \Rightarrow V_{gaz} = m_{gaz} / d_{gaz} \times \rho_{air(n)}$$

$$[C]_{massique} = m_c / V_{gaz} \text{ (Kg/Nm}^3 \text{ gaz)} \text{ avec } m_{gaz} = M_{gaz} \times n_{gaz}; \text{ et } n_{gaz} = 1.$$

$$FE_{combustion} = M_c \times \left( \frac{\sum_{i=1}^n X_i n_{c_i}}{\sum_{i=1}^n X_i M_i} \right) \times d_{gaz} \times \rho_{air(n)} \text{ (Kg CO}_2 \text{/Nm}^3 \text{ gaz)}$$

Sachant que: 1000 Nm<sup>3</sup> gaz = 11.6 Mwh.

$$FE_{combustion} = \frac{1 \times 4 \times 3 \times 2}{6 \times 5} = 184,66 \text{ (Kg CO}_2 \text{/ Mwh)}$$

FUMEES	Dans les conditions stoechiométriques (Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup> gaz)	Avec excès d'air (+12% d'air)
CO <sub>2</sub>	1.0936	1.0936
H <sub>2</sub> O	2.0322	2.0322
N <sub>2</sub>	8.078	9.0413
O <sub>2</sub>	0	0.2528
Total	11.2038	12.4199

**Tab.-III.16 :Bilan des fumées résultant de la combustion de gaz naturel.**

N.B: Les 12% d'air on les rajoute de manière à faire une combustion oxydante, et avoir de l'oxygène libre dans les fumées.

Les facteurs d'émissions varieront en fonction de gaz consommé. Nous effectuons le calcul pour l'année 2005, où la production de 617980 tonne de clinker correspond à une consommation de 911932736 thermie de gaz.

$$184.66 \text{ kg}_{CO_2} \rightarrow \text{Mwh}$$

$$x \rightarrow 911932736 \text{ thermie} \quad x = 195341098.87 \text{ kg}_{CO_2}$$

Avec: 1 Thermie = 1,16 Kwh;

et  $FO = 1$ ;  
Cela conduit à un facteur d'émission :

$$FE_{combustion} = 316 \text{ Kg } CO_2/T_{kk \text{ produite}}$$

### C. Émissions de CO<sub>2</sub> résultant de la poussière de four à ciment et de la poussière de déviation:

La PFC est également produite dans le four et les émissions de CO<sub>2</sub> associées à la poussière perdue dans le système devraient être prises en compte puisqu'elles ne sont pas captées avec les émissions résultant de la production de clinker. De la même façon, il peut y avoir production de poussière par les dispositifs de déviation et les émissions des quantités rejetées de cette poussière doivent être également comptabilisées s'il y a lieu (Anonyme, 2004).

Pour calculer les émissions de la PFC ou de la PD, ou des deux, il faut résoudre l'équation suivante :

$$Emission_{PFC+PD} = FE_{PFC} \times Q_{PFC} + FE_{PD} \times Q_{PD}$$

Où:

$FE_{PFC}$ ,  $FE_{PD}$ : coefficient d'émission pour la PFC et la PD (tonnes CO<sub>2</sub> par tonne PFC / PD);

$Q_{PFC}$ ,  $Q_{PD}$ : quantité de PFC / PD (tonne).

La PD peut être considéré comme pleinement calcinée Pour ce qui est de la PFC, le degré de calcinations peut varier et la relation entre ce paramètre et les émissions de PFC n'est pas linéaire. Pour en tenir compte, il faut appliquer l'équation suivante (Anonyme, 2004) :

$$FE_{PFC} = [ FE_{KK}/(1+ FE_{KK}) ] \times d / 1 - [ FE_{KK}/(1+ FE_{KK}) ] \times d \quad (\text{tonnes } CO_2/\text{tonne PFC})$$

où :

$FE_{PFC}$  :Coefficient d'émission de la PFC partiellement calcinée (tonnes CO<sub>2</sub>/tonne PFC);

$FE_{KK}$  :Coefficient d'émission du clinker produit (tonnes CO<sub>2</sub>/tonne clinker)

$d$  = degré de calcination de la PFC (CO<sub>2</sub> rejeté comme pourcentage des carbonates totaux émis dans le mélange brut).

Il n'existe aucune donnée disponible pour les quantités de PFC et de PD ainsi que pour le degré de calcination de la PFC, un facteur par défaut de **0,02 tonnes CO<sub>2</sub>/tonne kk** peut être employé afin d'estimer les émissions des sources de poussière rejetées.

En additionnant ces différents facteurs d'émissions on peut retenir l'estimation grossière :

$$FE_{total \text{ } CO_2} = 863 \text{ Kg } CO_2/T_{kk}$$

#### III.3.2.2.2 Emissions de Particulate matter (PM10):

Les PM10 sont des poussières de diamètre aéraulique inférieur à 10 µm. Ils ont une composition très proche de celle des matières premières. En effet, on y retrouve

majoritairement  $\text{CaCO}_3$  provenant du calcaire et  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  provenant de l'argile.

Les  $\text{PM}_{10}$  couverts par l'inventaire sont déterminées sur la base des mesures de concentration à l'émission au niveau de la cheminée IMAZA de caractéristiques suivantes:



**Fig.-III.4: Caractéristique de la cheminée IMAZA.**

Les concentrations des  $\text{PM}_{10}$  et gaz sont estimés par le centre d'études et de services technologiques CETIM qui donne :

Evaluation à partir des mesures par l'organisme CETIM		Elément analysé	Seuil déclaration	Normes algérienne des rejets à l'émission (mg/Nm <sup>3</sup> )	
Etat de l'électrofiltre IMAZA				Valeurs limites (mg/Nm <sup>3</sup> )	tolérance pour les installations anciennes (mg/Nm <sup>3</sup> )
Electrofiltre en marche	Electrofiltre à l'arrêt				
42 mg/Nm <sup>3</sup>	95 mg/Nm <sup>3</sup>	<b>PM10</b>		<b>30</b>	<b>50</b>
166.52 g/ m <sup>3</sup>		<b>CO2</b>	12.21 %	Non réglementé	
86.8 mg/Nm <sup>3</sup>		<b>CO</b>	0.01 %	<b>150</b>	<b>200</b>
-		<b>NO</b>	244 ppm		
123.11 µg/m <sup>3</sup>		<b>NO2</b>	4 ppm		
230 mg/Nm <sup>3</sup>		<b>NOX</b>	248 ppm	<b>1500</b>	<b>1800</b>
0		<b>H2S</b>	0		
0		<b>SO2</b>	Neg.	<b>500</b>	<b>750</b>

Les normes d'émission sont données selon le décret exécutif N° 06-138 du Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solide, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle, et cela pour une production de 1 million de tonnes kk/an.

**Tab.-III.17: Evaluation à partir d'IMAZA par l'organisme CETIM.**

► L'expression générale employée pour le calcul des émissions des  $\text{PM}_{10}$  est la suivante :

$$E_{\text{PM}_{10}} = C_{\text{PM}_{10}} \times Q_d \times O_p \text{Hrs} \quad (\text{gaz sec, } 101,3 \text{ kPa, } 273 \text{ K}).$$

Où:

E<sub>PM10</sub>: Émissions des PM<sub>10</sub> en kg/an.

C<sub>PM10</sub> : Concentration des PM<sub>10</sub> en g/m<sup>3</sup>

Q<sub>d</sub> : Débit volumétrique de gaz sec en m<sup>3</sup>/h.

OpHrs: Heures d'exploitation(atelier cuisson) en h/an.

D'après CETIM: C<sub>PM10</sub> = 42 mg/Nm<sup>3</sup> EM.  
= 95 mg/Nm<sup>3</sup> EA.

Débit

Sec = 210463 Nm<sup>3</sup>/h.

Humide = 242033 Nm<sup>3</sup>/h.

Le bilan de BMP présente des chiffres plus précis sur le nombre et heures d'arrêt. Il donne 2694 HA pour l'année 2000. L'émission donc sera déterminée en tenant compte de 6066 OpHrs,

$$E_{PM10} = 53.62 \text{ tonne PM10. (EM)} \\ = 121.28 \text{ tonne PM10. (EA)}$$

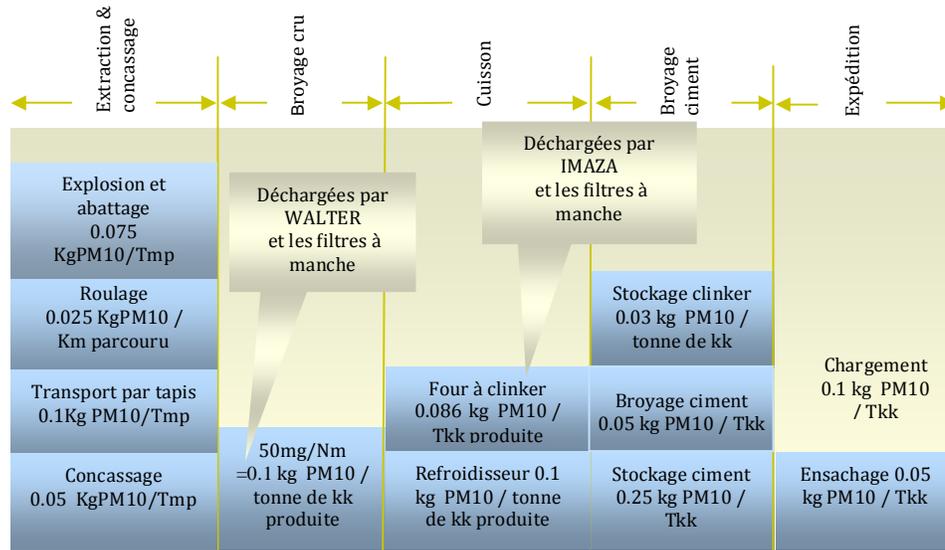
Cela conduit à un facteur d'émission de:

$$FE_{PM10} = 0.086 \text{ Kg PM10/T}_{kk} \cdot \text{(EM)} \\ = 0.19 \text{ Kg PM10/T}_{kk} \cdot \text{(EA)}$$

► La catégorisation des sources d'émissions peut contribuer à clarifier le processus d'estimation et à garantir qu'aucune activité d'émissions des PM10 n'a été omise. Le calcul pour les sources non contrôlées s'appuie sur l'une des équations:

<i>Catégories de sources</i>	<i>Formules</i>
<p>Dépôt de matière première à l'air libre</p>	$FE_{PM10} = 0.75 \times 0.001184 \times [(V / 2.2)^{1.3} / (H / 2)^{1.4}] \times RE_{PM10}$ <p>Où:  <b>FE<sub>PM10</sub></b>: facteur d'émission en Kg/tonne de matière première.  <b>V</b>: Vitesse moyenne du vent en m/s .V moy =2.9 m/s.  <b>H</b>: Humidité moyenne de matière en %.H moy=8%.  <b>FR<sub>PM10</sub></b>: taux de réduction de PM10 = 1-EC/100.avec EC est l'efficacité du dispositif de contrôle =30%.</p>
<p>Roulage des engins et dumpers</p>	$FE_{PM10} = 0.0019 \times (NR)^{3.4} \times (Silt)^{0.2} \times RE_{PM10}$ <p>Où:  <b>FE<sub>PM10</sub></b> :facteur d'émission en Kg/Km parcouru.  <b>NR</b>: Nombre des roues.  <b>Silt</b>: contenu de surface de matériel g/m<sup>2</sup>.  <b>FR<sub>PM10</sub></b>: taux de réduction de PM10 = 1-EC/100.avec EC est l'efficacité du dispositif de contrôle=75%. Source : The Cement Industry Federation Limited,1998.</p>
<p>Stockage farine, clinker et ciment hors silos</p>	$E_{PM10} = FE_{PM10} \times area \times RE_{PM10} \times OpHrs$ <p>Où:  <b>E<sub>PM10</sub></b>: Émissions des PM<sub>10</sub> en kg/an.  <b>FE<sub>PM10</sub></b>: facteur d'émission en Kg/hect×h.  <b>area</b>: surface de stockage en hec.  <b>FR<sub>PM10</sub></b>: taux de réduction de PM10 = 1-EC/100.avec EC est l'efficacité du dispositif de contrôle=50%.  <b>OpHrs</b>: heures d'exploitation (h/an).</p>

La figure (III.5) représente succinctement les principaux points de rejets liés à l'activité du secteur, et les valeurs obtenues de FE relatifs à chaque source .À noter que les facteurs décrits proviennent du bilan 2005:



**Fig.-III.5 : Facteur d'émission PM10 par phase de vie produit.**

La quantité des PM10 émise par les cinq phases de vie se situe aux alentours de 63 millions de tonnes.

#### II.3.2.2.3. Emissions des Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>):

Les NO<sub>x</sub> se forment soit lors de la combustion dans la zone de clinkérisation, soit dans les zones de calcination ou précalcination. Plus de 95 % des NO<sub>x</sub> mesurés au niveau de la cheminée sont des NO. Les NO<sub>2</sub> sont fréquemment présents dans les cimenteries mais à des concentrations très faibles et leurs émissions ne sont pas significatives.

Les NO<sub>x</sub> peuvent être influencés par: la température, la teneur en oxygène (facteur d'excès d'air), la durée de la réaction, la réactivité et la teneur en azote du combustible.

Soit C<sub>NO<sub>x</sub></sub> la concentration de NO<sub>x</sub>, Q<sub>d</sub> le débit de gaz horaire (Nm<sup>3</sup>/h). En appliquant l'expression (III-P.62), nous quantifierons l'émission NO<sub>x</sub> pour l'année 2005:

$$E_{NO_x} = 293.63 \text{ tonne } NO_x \Rightarrow FE_{NO_x} = 0.47 \text{ Kg } No_x/Tkk$$

#### II.3.2.2.4. Emissions de Monoxyde de carbone (CO):

Le monoxyde de carbone CO résulte de combustion incomplète de gaz naturel et des déchets qui sont généralement dues à des dérèglements des installations.

On multiplie les concentrations de CO par le débit volumétrique de gaz pour obtenir le débit du rejet moyen par unité de temps. Cette charge est ensuite multipliée par les heures annuelles d'exploitation afin de déterminer le rejet durant une année.

$$E_{CO} = 110.81 \text{ tonne } CO \Rightarrow FE_{CO} = 0.18 \text{ Kg } CO/T_{kk}$$

#### III.3.2.3. Récapitulatif et interprétation des résultats:

**Tab-III.18: Examen du cycle de vie de produit cimentier 'CPI CEM II/A - M 32.5' en 2005**

"Société des ciments de la MITIDJA".

					Phases du cycle de vie				
					Extraction et Concassage	Fabrication			Expédition
						Broyage cru	Cuisson	Broyage cim	
Désignation	Qualité	Quantité	Va-limites						
				Matières premières	Matière de base	Calcaire Argile Sable Minerai de fer	912 095 T 197 930 T 31 239 T 15 691 T	0.78-0.8 t/t <sub>tk</sub> . 0.16-0.17 0.02 0.01	907 536 T 190 212 T 21 206 T 14 680 T
Additifs crus	Gypse Tuf	51 680 T 43 758 T			- 57 714 T			51 680 T 43 758 T	
Matière auxiliaire	Explosifs N C Boulets Huiles et Grs Sacs d'expéd	63 870 Kg 825 83955L+5672Kg 32000 sacs /j		4 184 Kg Marmanit 2 202 Kg Anfomil  *	121 **	*	704 **	*	1 227 965P
Energie	Gaz Electricité Essence Gasoil	911932736 thermie 116 521 002 10 <sup>3</sup> Kwh 21 948 L 945 428 L	770-800 th/t <sub>tk</sub> 110 Kwh/t <sub>cem</sub> {20 Kwh/t <sub>ACRU</sub> 30 Kwh/t <sub>ACEM</sub> }	29 608.2 10 <sup>3</sup> Kwh  ⊕⊕ 2x3000L/cuve	- 29 608.2 10 <sup>3</sup> Kwh  ⊕⊕ 25000l /cuve Gasoil 15000l/cuve essence	13 849 719 m <sup>3</sup> 21 870 10 <sup>3</sup> Kwh	33 545 10 <sup>3</sup> Kwh		
Eau	Eaux souterraines	1 224 m <sup>3</sup> /jour (1 077.6 process +146.4 consommatio auxiliaire)		28.8 m <sup>3</sup> /jour	648 m <sup>3</sup> /j pour la tour de conditionnement	300 m <sup>3</sup> /j refroid +24 m <sup>3</sup> /j électrofiltre +76.8 fuites diverses			
Produits finis et semi finis	Farine crue Clincker Ciment	1 069 778 T 617 980 T 751 226 T			1 069 778 T	1 067 220 T 617980 T	624 521 T 751 226 T		743 228
Déchets	Déch-ménagers Pert-technologi mat usagées BR Déch-métallique	3 135 T 24 055 T 120 T 150 T		0.0014	11 362 T	1 019 T 120 T	11 674 T		
Rejets atmosphériques	PM10  CO2 CO NO <sub>x</sub>	624159 T (1.01 kgPM10/ T <sub>tk</sub> )  58666740 T (863 kgCO <sub>2</sub> / T <sub>tk</sub> ) 110.81 tonne (0.18KgCO/T <sub>tk</sub> ) 293.63 tonne (0.47 Kg NO <sub>x</sub> /T <sub>tk</sub> )	A l'émission 30 mg/Nm <sup>3</sup>  150-200  1500-1800	abattage 0.075 kg /t <sub>mp</sub> roulage 0.025 kg /km concassa 0.05 kg /t <sub>mp</sub> transport tapis0.1 kg/t <sub>mp</sub>	Déchargées par Electrofiltre WALTER seul à 50 mg/Nm <sup>3</sup>	Four 0.190 Kg/T <sub>kk</sub> EA 0.086 Kg/T <sub>kk</sub> EM 0.1kg / T <sub>kk</sub> Ref  58666740 T  110.81 T  293.63 T	0.03 kg / T <sub>kk</sub> SK 0.05 kg / T <sub>kk</sub> SC 0.25 kg / T <sub>kk</sub> BC	Ensachage 0.1 kg / T <sub>kk</sub> chargement 0.05kg/ T <sub>kk</sub>	
Bruit	Bruit à l'intérieur		Sur l'env 70dB diurne 45dBnoctur Sur poste w 91 dB exp-osition 6 h/ j 94 dB-3 h/j 100 dB-30 mn	89 dB HAZEMAG 86 dB KHD 109 dB Comp KHD 107 dB CDM KHD  73 dB HAZEMAG 97dB	99 dB +84 dB tour de conditionnement	86dB VFo 100dB V refroidisseur 75 dB échangeur four 82dB Compres FCB	105dB(bk1+bk2) 85dB VFl ciment	85 dB Bascule 76 dB Quai exp 95 dB S.sup 74 dB exp sac 85 dBexp vrac  90 dB Bascule 80 dB Quai exp	

SGS : situation globale des stocks.

CDM : centre de démarrage des moteur KHD.

\* nombre de transformateurs à l'huile.

⊙ nombre de soute « état des stations carburant au niveau de l'entreprise ».

**Evolution des inputs- outputs durant les années 1998-2008 du produit cimentier CPJ. CEM II/A – M 32.5.**

Année	Désignation	Inputs		Outputs				
		Matières premières (T) Calcaire, Argile, Sable, Mine rai de fer, Gypse et Tuf	Energie		Rejets atmosphériques			
			Gaz (thermie)	Electricité (10 <sup>3</sup> Kw.h)	CO <sub>2</sub> FE kg CO <sub>2</sub> /T <sub>kk</sub> E tonnes	CO FE KgCO/T <sub>kk</sub> E tonnes	NO <sub>x</sub> FE KgNO <sub>x</sub> /T <sub>kk</sub> E tonnes	PM10 FE KgPM10/T <sub>kk</sub> (EM) E tonnes
1998	666909	539019327	37668000	876 309331368 T	0.32 115.18 T	0.46 305.34 T	1.01 256649 T	
1999	849906	631290461	9216000	848.90 378831812	0.18 110.81	0.48 215.94	1.01 450724	
2000	1183822	938389625	105783000	880 526220640	0.18 108.17	0.47 286.76	1.01 603958	
2001	1183681	986220168	122347626	891.92 542012648	0.18 113.55	0.49 301	1.01 613769	
2002	1137855	899568907	109729000	872.38 509384426	0.19 113.32	0.5 300.41	1.01 589741	
2003	1054941	802681582	82766920	861.90 464977812	0.21 113.52	0.55 300.9	1.01 544875	
2004	1040349	827117454	96311051	881.69 463256678	0.17 93.61	0.47 248	1.01 530673	
2005	1252393	911932736	116521002	863 58666740	0.18 110.81	0.47 293.63	1.01 624159	
2006	1186441	1012319862	114271001	905.21 543488989	0.18 108.81	0.48 288.45	1.01 606405	
2007	1593704	1151941876	117917950	971.61 726487371	0.15 116.24	0.41 308.15	1.01 755192	

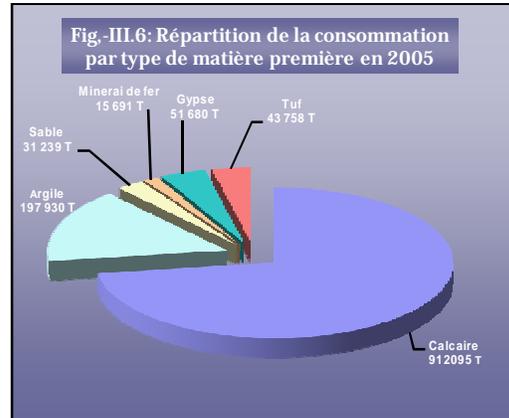
Tab.-III.19 : Evolution des inputs- outputs durant les années 1998-2008 du produit cimentier CPJ. CEM II/A – M 32.5. "Société des ciments de la MITIDJA".

- L'industrie cimentière consomme des volumes importants de matières premières. La fabrication d'une tonne de clinker consomme en moyenne une tonne et demie de calcaire et d'argile.

Le calcaire participe à 80%, il doit répondre à des critères stricts en ce qui concerne sa chimie (teneur en CaO, absence de minéraux tels que les chlorures, faibles teneurs en alcalins) et la régularité de ses caractéristiques.

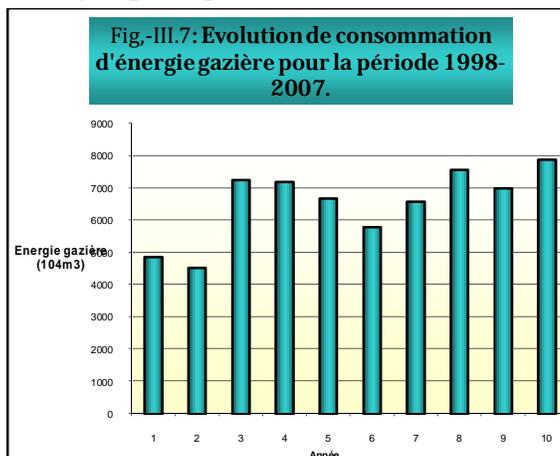
Pour produire une tonne de clinker, l'industrie cimentière Meftah consomme, pour 2005, 1.40 tonnes de pierres calcaires, 0.31 tonnes d'argile, 0.05 de sable et 0.025 tonnes de Minerai de fer.

Selon la figure 19, on a un taux de dépassement de 75% calcaire, 82% argile, 150% sable et 150% minerai de fer, par rapport aux normes admises par le BENCHMARK (principe des cimenteries performantes).



- Le transport est un élément important de la structure des coûts et peut s'élever jusqu'à 30% des coûts de revient des produits finis. Par rapport à ce qui précède, les coûts de transport de calcaire sont généralement un élément mineur de la structure des coûts, car la grande majorité de pierres calcaires est acheminée par bandes transporteuses.
- Par la nature même du processus de fabrication, le secteur cimentier est très énergivore. La clinkérisation est la partie la plus importante du procédé de fabrication du ciment pour ce qui concerne la consommation d'énergie et les rejets à l'atmosphère du fait de la nécessité d'atteindre une température d'environ 1500 °C.

-SCMI 'Meftah' est fortement consommatrice d'énergie calorifique et électrique, malgré que le procédé de fabrication soit à voie sèche. La figure III.7 présente la consommation énergétique pour la période (1998-2007).



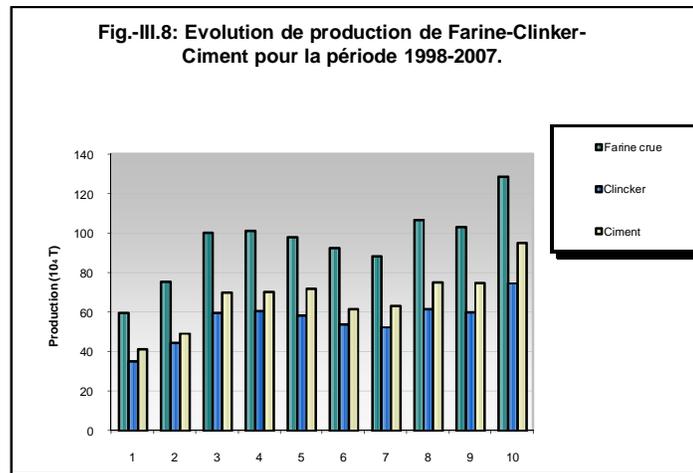
la consommation énergétique pour la période (1998-2007). Elle met en évidence que la meilleure performance du four est dans l'année 1999, ainsi que 1998, d'où la production de ciment est de 493345 t et 412918 t.

Comparativement aux normes professionnelles, le taux de dépassement est de 27% (2005) de gaz, 50% d'énergie électrique pour l'atelier cru et 65% d'énergie électrique pour l'atelier ciment. Cet excès de

consommation est imputé à la cuisson difficile du mélange cru et les pertes par les parois du four.

La comparaison d'intensité énergétique (besoins énergétiques à la tonne de clinker produite) d'une année à autre peut être expliquée par les facteurs techniques suivants :

- *Entretien des équipements.* Tout arrêt/redémarrage à la suite d'un incident entraîne une surconsommation énergétique (maintien ou remise en température du four, remise en régime après purge de la matière des broyeurs).
- *Perturbations « Procédé ».* Un défaut de cuisson attribuable à des perturbations dans la cuisson peut entraîner la mise au rebut de clinker (ce qui constitue une perte économique et énergétique) ;
- *Composition chimique du clinker.* Un faible taux de C3S (silicate tricalcique) dans le clinker donne une mauvaise aptitude au broyage ciment (surcoût en énergie électrique), et une aptitude moindre à l'obtention de résistances mécaniques pour le ciment (nécessité de broyer plus fin, et donc de dépenser plus d'énergie électrique).
- Selon les données proviennent du groupe de production 'Meftah', la grande quantité d'eau dans le processus est consommée par la tour de refroidissement d'une quantité de 0.52 m<sup>3</sup>/T ciment (refroidissement des fumées, du clinker, du ciment et des installations de production, sans contact avec la matière, telles que paliers de fours, ateliers de mouture, compresseurs,... . La consommation par benchmark est inférieur à 0.25 m<sup>3</sup> / tonne de ciment donc le taux de dépassement et de l'ordre de 48%.
- depuis 1998, la production totale de ciment CPJ et de clinker se situe aux alentours de 4,1 et de 9,5 millions de tonnes par an respectivement (figure III.8). La variation de la production d'une année à une autre peut être expliqué par :
  - *Stockage-matières inapproprié.* L'absence de stockage fermé pour les matières engendre une dégradation de sa qualité lors des intempéries, et des éventuels défauts d'étanchéité.
  - *Disposition de l'atelier APS.* Remarquons l'écart de production entre 1999-2007, il correspond à l'installation de l'atelier APS de capacité 90t/h pour satisfaire les besoin du four.
  - *Nature des matières premières.* Les caractéristiques (composition minéralogiques, analyses chimiques, etc.) des matières première ont une influence sur leur aptitude à la cuisson, ainsi qu'à leur broyabilité.
  - *Filtres non performants.* Une partie de la production est perdue dans l'atmosphère, qu'il s'agisse du cru pour les filtres des lignes de cuisson, du clinker pour le filtre du refroidisseur ou du ciment pour les filtres des ateliers de broyage ciment.

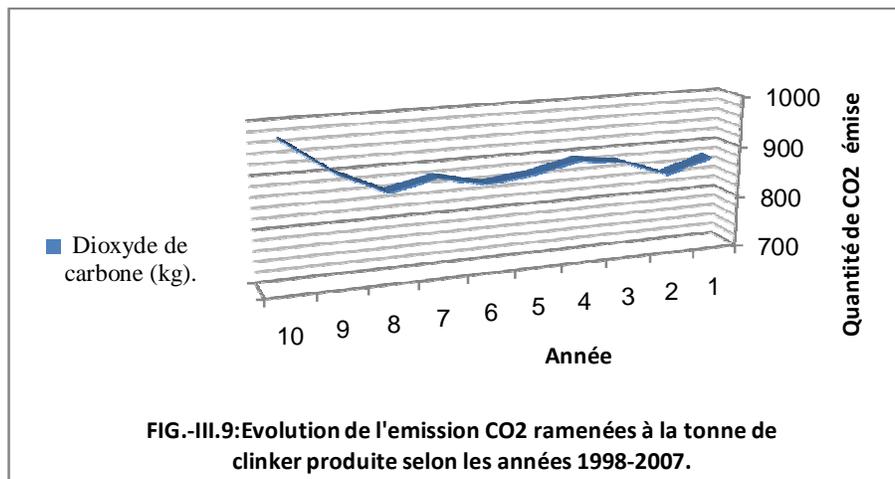


La teneur en clinker dans le ciment est de l'ordre de 80% qui est voisine à celle de cimenterie modèle, ceci due à une meilleure maîtrise de taux d'ajouts.

- Les graphes suivants montrent l'évolution des émissions atmosphériques exprimée en kg de substance par tonnes de clinker produite.

Le procédé cimentier Meftah est un grand générateur dioxyde de carbone, il émit 3693897 ktonnes durant la période 1998-2007. Nous apercevons d'après la figure III.9 que les émissions sont comprises entre 849 et 971 kg de CO<sub>2</sub> par tonne de clinker.

Notons aussi une augmentation des émissions pour 2007 de 11% par rapport à l'année de référence 1998.



Le CO<sub>2</sub> est émis lors de la décarbonatation du calcaire (61%), et de la combustion (37%). La combustion ainsi que la calcination du calcaire entraînent la dissociation du dioxyde de carbone dans la fabrication du clinker, et cela constitue les deux importantes sources d'émissions de gaz à effet de serre. Les émissions provenant de ces deux sources peuvent être évaluées précisément en fonction de la quantité de gaz consommé et de la quantité/qualité de clinker produit. Le contenu calcium/chaux est relativement constant pour l'ensemble des années et l'on calcule qu'il y a 65% de CaO par unité de poids. Les émissions de CO<sub>2</sub> process peuvent ainsi être calculées en utilisant un solde masse et des

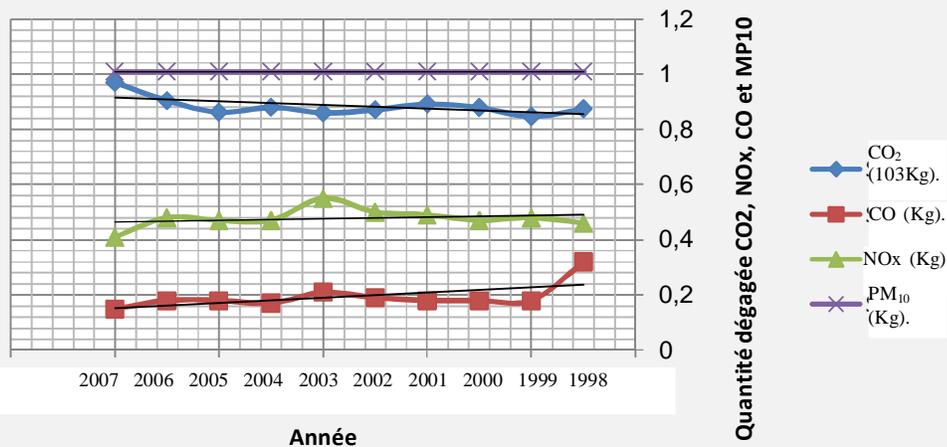
facteurs d'émission par tonne de clinker, tandis que les émissions de CO<sub>2</sub> de la combustion sont calculés en utilisant un solde énergie et des facteurs d'émissions pour le consommé. Donc Il y a donc un découplage entre les émissions de CO<sub>2</sub>, la production de ciment ou de clinker et la consommation de gaz naturel.

- Les coefficients d'émission de NO<sub>x</sub>, CO et PM<sub>10</sub> gravitent autour de 0.4, 0.1 et 1 kg par tonne de clinker produite. Ces chiffres indicatifs sont proportionnelle aux heures d'exploitation et a la quantité de gaz consommés et inversement proportionnelle à la masse de clinker produite.

-Pour ce qui est des concentrations en NO<sub>x</sub>, la teneur en azote des gaz de fumées n'est pas tant le fait de l'azote contenu dans le combustible mais provient essentiellement de l'oxydation de l'azote de l'air par l'oxygène à des températures de combustion de plus de 1200° C (NO<sub>x</sub> thermique). Dans les fours à clinker, la température des flammes peut atteindre 2.000°C, et l'oxydation de l'azote de l'air peut entraîner le rejet d'oxyde d'azote en quantités importantes. Le NO<sub>x</sub> thermique ainsi généré est très difficile à éliminer.

-les activités de production du ciment impliquent l'utilisation de matières en poudre, granulaires ou pulvérulentes. Les stockages, manutentions et manipulations de ces matières représentent un potentiel d'émission de poussières non négligeable. Ces émissions de PM<sub>10</sub> ont connu une augmentation de 3 fois de l'année 1998 à 2007. Cette importante augmentation s'explique par la mutation que connaît le secteur cimentier au niveau de sa production.

Fig.- III.10: Synthèse des émissions de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> et PM<sub>10</sub> ramenées à la tonne de clinker produite pour la période (1998-2007).



### III.3.3 Impacts évalués:

Nous avons choisi d'évaluer les impacts totaux de notre procédé par la méthode européenne 'Eco-indicateur 99(E) 2.06' proposé par 'SIMAPRO.7'. Elle a été une des méthodes permettant d'agrèger les émissions en les pondérant selon leur potentiel à causer un ou plusieurs problèmes environnementaux. Sa structure est la suivante:

#### III.3.3.1. Classification et caractérisation:

Les divers flux présentés dans la première restitution de la démarche sont classés et répartis dans les diverses catégories d'impact auxquelles ils participent. Ils sont groupés en 03 catégories d'impact, représentant les changements de qualité de l'environnement: dérèglement climatique, toxicité humaine et acidification/eutrophisation.

La description qualitative et/ou quantitative de l'impact est traduite par des indicateurs qui permettront de quantifier la contribution spécifique de chaque flux appartenant à la classe considérée.

Les facteurs de caractérisation sont basés sur les principes d'équivalence et expriment les résultats en kg-équivalent d'une substance de référence. Ils permettent de passer des kg-équivalents d'une substance aux années équivalentes de vie perdues (DALY). Les unités d'expression d'impact pour 'Eco-indicateur 99(E)' sont présentées de la manière suivante:

DALY 'Disability Adjusted Life Years: the total amount of healthy life lost, to all causes, whether from premature mortality or from some degree of disability during a period of time' pour la santé humaine;

DALY ou Kg éq.CO<sub>2</sub> pour le changement climatique;

PDF\*m<sup>2</sup>yr pour l'acidification/eutrophisation. PDF 'Potentially Disappeared Fraction of plant species: fraction: the percentage of species disappeared in a certain area due to the environmental load'.

La contribution de chaque polluant incriminé au sein de chaque catégorie d'impact sera calculer pour l'année 2005, selon la formule (II, p.31) :

Impact Category	Substance	R.Inventory (kg)	Unit	Characterization factor	Impact assessment
Respiratory inorganics	CO	0.0001	DALY	7,31E-07	7,31E-11
	NOx	0.0004		8,9E-05	3,56E-08
	PM10	0.001		3,75E-04	3,75E-07
	SO2	0.0E+00		5,46E-05	0.0E+00
<b>Total</b>				(DALY/Kg)	DALY
					4,11E-07
Climate change	CO2	0.863	DALY	2,13E-07	1,84E-07
	CO	0.0001		3,22 E-07	3,22 E-11
	CH4	-		(DALY/Kg)	DALY
	N2O	-			
<b>Total</b>					1,84E-07
Acidification / Eutrophication	NOx	0.0004	PDF*m2yr	5,72E+00	0.0022
	SO2	0.0E+00		1,04E+00	0.0E+00
<b>Total</b>				(PDF*m2yr /Kg)	PDF*m2yr
					0.0022

Les calculs sont ramenés à 1Kg de clinker.

**Tab.-III.20: Attribution des émissions aux catégories d'impact correspondante et calcul d'impact.**

### III.3.3.2. Valeur de Normalisation (Normation) et pondération:

Les impacts totaux calculés pour chaque catégorie i sont normalisés par une valeur de référence spécifique pour chaque catégorie d'impact, donc il s'agit de calculer l'amplitude des résultats des indicateurs par rapport aux valeurs de référence. Ainsi il peut être intéressant de ramener certains impacts à une valeur par individu 'équivalent habitant' (la démarche consiste à diviser les impacts nationaux par la population totale, afin de situer la contribution moyenne annuelle de chaque habitant à chacun des impacts 'DALY/hab/an').

Il est possible de faire une pondération et une agrégation des catégories pour obtenir un score unique. Ceci consiste à donner une valeur de pondération à chacune des catégories et à additionner les catégories les unes aux autres pour en arriver à un score unique.

Impact Category	Substance	Impact assessment	Normalization	Weighting (Pt)	Single score
Respiratory inorganics	CO	7,31E-11	4,73E-09	1,42E-06	<b>0.0118</b>
	NOx	3,56E-08	2,31E-06	0,000692	
	PM10	3,75E-07	2,43E-05	0,00728.	
<b>Total</b>		4,11E-07	2,66E-05	0,0079	
Climate change	CO2	1,84E-07	1,19E-05	0,00357	
	CO	3,22 E-11	2,08E-09	6,25 E-07	
	CH4				
	N2O				
<b>Total</b>		1,84E-07	1,19E-05	0,00357	
Acidification / Eutrophication	NOx	0.0022	4,46 E-07	0,000223	
	SO2	0.0E+00			
<b>Total</b>		0.0022	4,46 E-07	0,000223	

**Tab.-III.21: Normalisation et pondération par catégorie d'impact.**

Les catégories d'impact sont allouées à 03 catégories de dommages (voir tableau III.22):

Damage Category	Unit	Substance	Impact assessment	Normalization	Weighting (Pt)	Single score
Human health	DALY	CO PM10 NOx CO2	5,95E-07 DALY	3,85E-05	0.0115	<b>0.0118</b>
Ecosystem Quality	PDF*m2yr	NOx	0.00229 PDF*m2yr	4,46E-07	0.00022	
Resources	MJ surplus	-	-	-	-	

**Tab.-III.22: Normalization and Weighting Assessment According to Eco-indicator 99(E).**

### III.3.3.3. Présentation des résultats et interprétation:

Dans SIMAPRO, la méthode 'Eco-indicateur 99(E) ' présente un jeu plus ou moins complet de résultats d'évaluation des impacts du cycle de vie : caractérisation, normalisation, pondération et score.

Pour chaque impact, cette méthode modélise les effets polluants afin de calculer les facteurs d'impacts, coefficients attribués à chacune des substances contribuant à l'impact. Après modélisation une méthode de calcul d'impacts est donc une base de données constituée d'une liste de flux caractérisés par un coefficient.

L'Eco-indicateur 99(E) ' groupe, dans un premier temps, les résultats d'inventaire des substances (particulates < 10 um, carbon monoxide, carbone dioxide and nitrogen oxides) en trois catégories d'impact (respiratory inorganics, climate change and acidification/eutrophication). Elle permet dans un deuxième temps de résumer ces 3 catégories en 2 catégories de dommages représentant les changements de qualité de l'environnement (au sens large du terme).

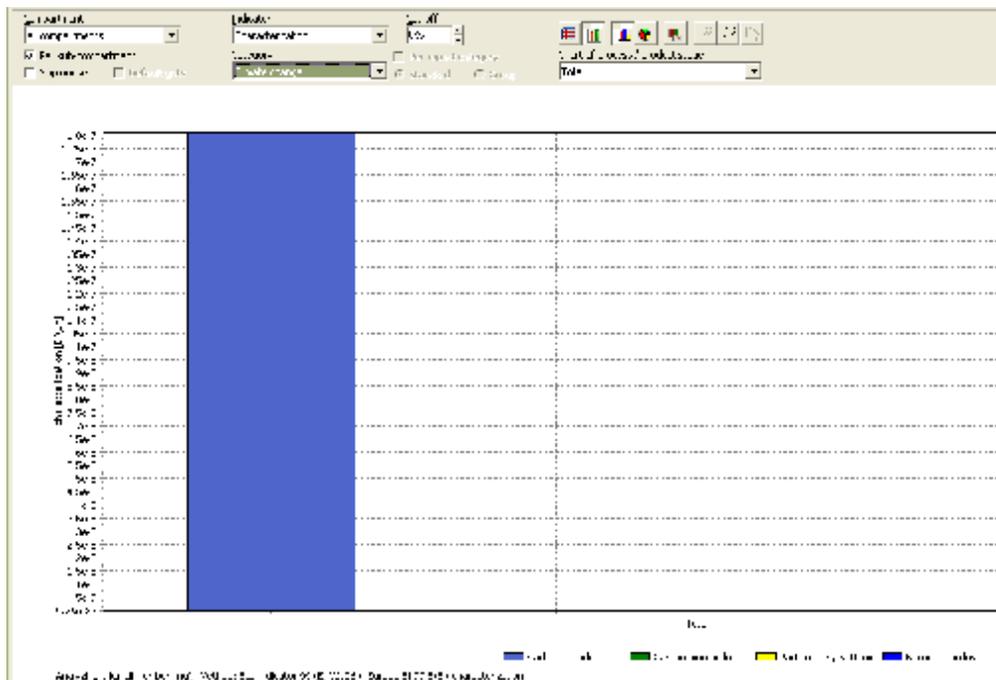
Impact category	Unit	Total	kk
Carcinogens	DALY	0	0
Respiratory organics	DALY	0	0
Respiratory inorganics	DALY	4.11E-7	4.11E-7
Climate change	DALY	1.84E-7	1.84E-7
Radiation	DALY	0	0
Ozone layer	DALY	0	0
Ecotoxicity	PDF*m2yr	0	0
Acidification/ Eutrophication	PDF*m2yr	0.00229	0.00229
Land use	PDF*m2yr	0	0
Minerals	MJ surplus	0	0
Fossil fuels	MJ surplus	0	0

Les résultats sont présentés selon deux niveaux: par catégorie de dommages, ce qui permet d'avoir une vision globale et concise des impacts considérés. Et par catégorie d'impact afin de préciser les impacts potentiels de manière plus détaillée.



Un premier screening permet de mettre en évidence l'importance des oxydes d'azote qui possèdent une cascade d'effets. Cette cascade lie ces substances à deux catégories d'impact: respiration inorganique et acidification où la contribution est à 100%. On comptabilisera aussi 91.24 % des PM10 avec la respiration inorganique.

La catégorie d'impact 'dérèglement climatique' couvre les effets des émissions anthropiques de GES sur le fonctionnement du climat. On peut supposer que le dioxyde de carbone en est quasi totalement responsable de ce phénomène (voir figure III.11)

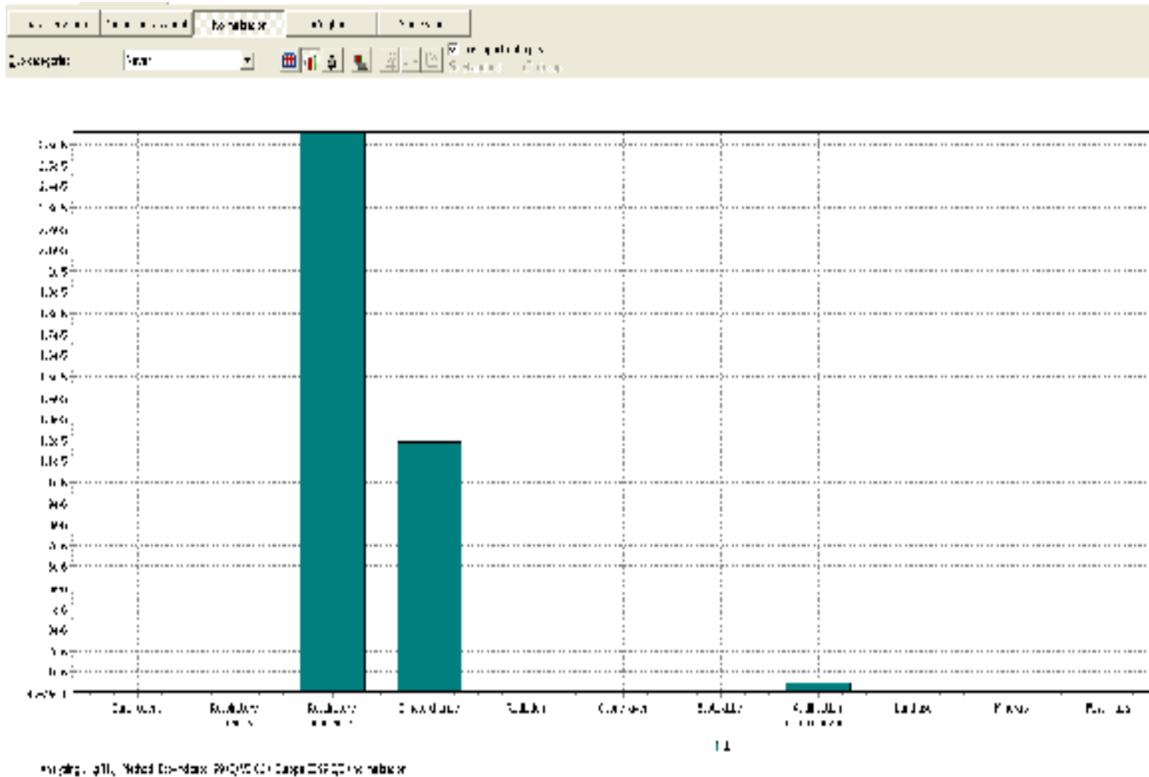


**Fig.-III.11: Graphe représentatif de l'importance relative de CO2 par rapport à la catégorie d'impact dérèglement climatique.**

La catégorie d'impact 'respiratory inorganics' est très majoritaire, elle couvre tous les impacts potentiels dans la région d'étude, car elle est liée aux émissions de diverses substances. L'impact potentiel (RIP) est calculé en utilisant un facteur en DALY/Kg, CO: 7,31E-07, PM10: 3,75E-04, et NOx: 8,9E-05. Puis, dans une moindre mesure, la catégorie 'acidification' qui a un impact réduit par rapport au

conventionnel . Ceci s'explique en grande partie par l'anéantissement de taux des composés soufrés.

Le potentiel dérèglement climatique (PCC), et en particulier l'augmentation de l'effet de serre à 100 ans (comme sous-catégorie) présente un indicateur de catégorie à niveau aval. L'impact de 1,82E-07 DALY est attaché à l'indice d'émission de CO<sub>2</sub>, il est le plus souvent identifié comme premier responsable de ce phénomène, et est fortement lié à la consommation énergétique.



**Fig.-III.12: Graphe représentatif de des catégories d'impact environnemental de CPJ.**

Pour augmenter encore la lisibilité de profil d'évaluation de l'impact. Nous normalisons les données par rapport à la quantité maximum des rejets autorisés selon le décret exécutif N° 06-138 du Rabie El Aouel correspondant au 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumées, vapeurs, particules liquides ou solide (voir tableau III.13).

N.B: les résultats sont présentés par catégorie d'impact 'respiration inorganique', vue l'absence de la valeur limite réglementaire CO<sub>2</sub>.

No	Substance	Compartment	Sub-compartment	Unit	Total	Nk
	Total of all compartments			DALY	2.9E+7	2.9E+7
1	Carbon monoxide	Air		DALY	2.19E+10	2.19E+10
2	Nitrogen oxides	Air		DALY	2.67E+7	2.67E+7
3	Particulates, < 10 um	Air		DALY	2.25E+8	2.25E+8

Fig.-III.13 Evaluation d'impact normalisé pour la catégorie 'respiration inorganique'.

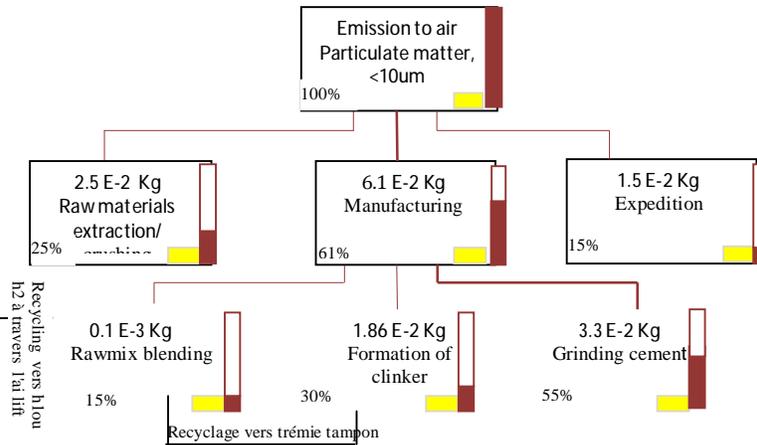
No	Substance	Compartment	Sub-compartment	Unit	Total	Nk
	Total of all compartments			DALY	4.11E+7	4.11E+7
1	Carbon dioxide	Air		DALY	*	*
2	Carbon monoxide	Air		DALY	7.31E+11	7.31E+11
3	Nitrogen oxides	Air		DALY	3.56E+8	3.56E+8
4	Particulates, < 10 um	Air		DALY	3.75E+7	3.75E+7

Fig.-III.14: Evaluation d'impact pour la catégorie 'respiration inorganique'.

Les résultats bruts issus de la caractérisation des impacts traduisent l'importance relative de l'impact du CPJ par rapport à la référence. Nous obtenons des résultats normalisés anormalement hauts et bas:

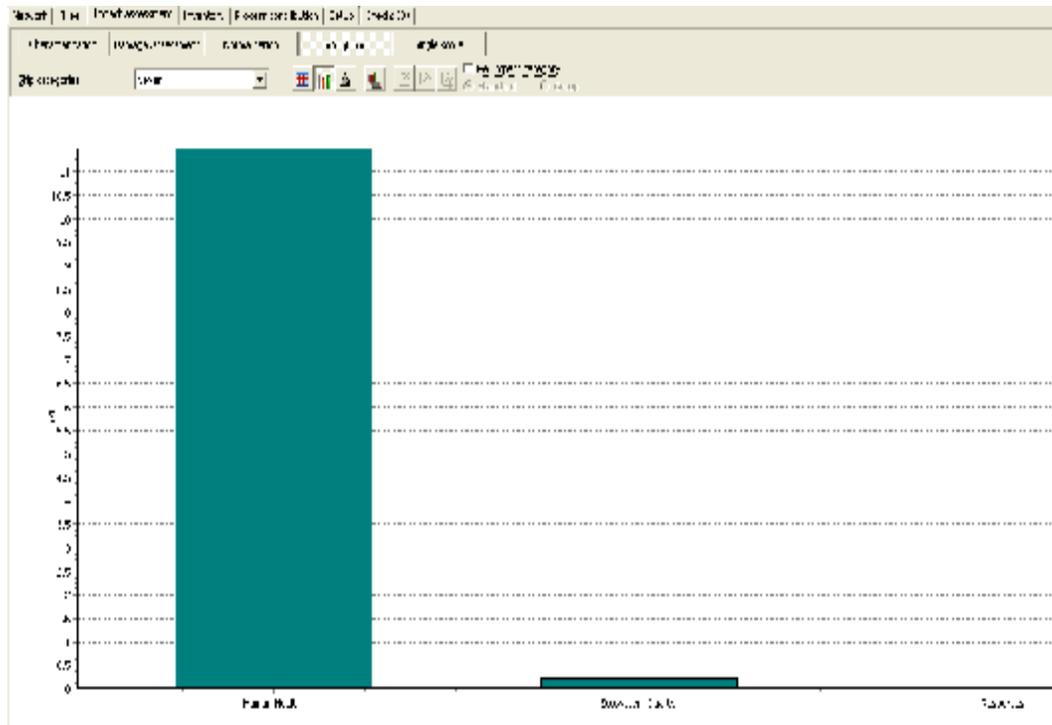
-L'impact assigné aux NOx et CO à la catégorie 'respiration inorganique' n'est pas négatif, mais il est largement inférieur de l'impact normalisé, cela traduit par la singularité de phase de vie intervenant dans la formation de ces substances.

-A contre partie, les PM10 sont très élevées par rapport au seuil de rejet, sa contribution est 17 fois plus importante de la valeur critique, en raison de leur présence à tout les niveaux du secteur (tant des processus de fabrication que des traitements mécaniques des matières premières, concassage, etc.). D'après l'arborescence ci-dessous, la phase de production est la plus impactante (61%).



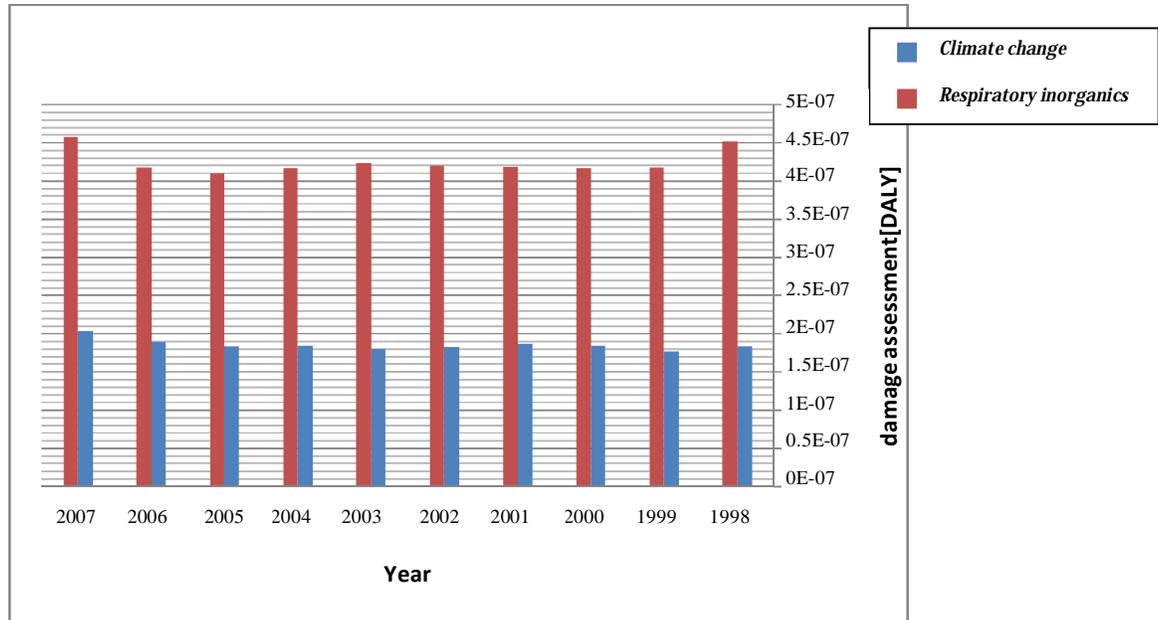
**Fig.-III.15: Contribution des PM10 aux étapes de cycle de vie-catégorie 'respiration inorganique'.**

Dans les graphes suivants, les résultats normalisés sont regroupés dans les catégories de dommage: santé humaine et qualité des écosystèmes. On peut visualiser très clairement qu'excepté 0.22 mpt, les impacts se limitent à la santé humaine, elle est due aux effets respiratoires.



**Fig.-III.16: Pondération des catégories de dommages selon Eco-indicateur 99.**

En examinant le détail des scores d'impact sur la période (1998-2000), l'impact prépondérant reste toujours lié à l'effet respiratoire causé par les substances inorganiques, et présente une contribution relativement importante au score global de 118 mpt (figure III.17)

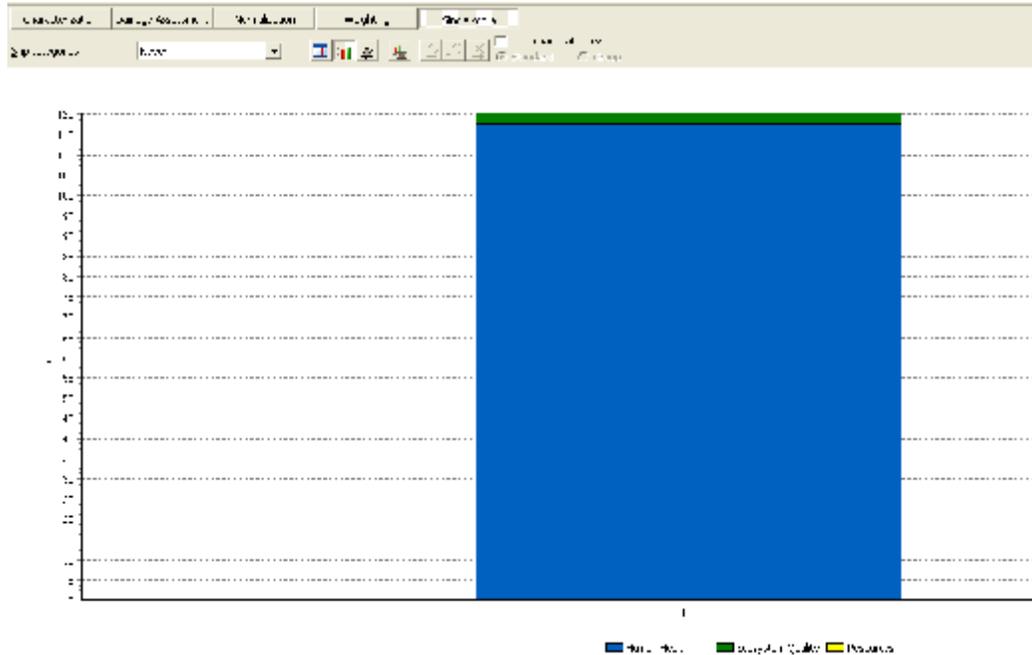


**Fig.-III.17: comparatif entre les impacts changement climatique et les impacts respiration inorganique sur la période (1998-2007).**

La comparaison des dix blocs, montre que l'activité offre pratiquement la même contribution à la catégorie changement climatique.

Pour la respiration inorganique, l'année 2005 présente le plus petit score d'impact, ainsi que l'année 2007 ayant les impacts les plus importants, cela traduit par :

- Quantité et qualité de clinker consommé (voir annexe 2);
- Consommation énergétique en gaz naturel;
- Fonctionnement et arrêt des électrofiltres IMAZA et WALTER au niveau des sources fugitives (Broyeur cru et four), et les électrofiltres à manche au niveau du concassage, broyage cru et broyage ciment.



**Fig.-III.18:Score d'impacts sur dix ans (1998-2007) par Eco-indicateur 99.**

Donc, le point faible pour ce champ d'application est celui relatif à l'effet respiratoire causé par les substances inorganique.

### CONCLUSION:

La production de ciment portland de SCMI Meftah se situe aux alentours de sept cent mille de tonnes par an, pour une capacité théorique totale d'un million de tonne. La clinkérisation est la partie la plus importante de son procédé de fabrication pour ce qui concerne les questions environnementales essentielles : la consommation d'énergie et les rejets à l'atmosphère. Les émissions essentielles sont les oxydes d'azote ( $NO_x$ ), l'oxyde de carbone (CO) et le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ). L'inventaire rejets gazeux engendre l'émission d'importantes quantités de gaz à effet de serre, la production d'une tonne de clinker pour l'année 1998 émet environ une tonne de dioxyde de carbone, contribue à l'épuisement progressif des ressources naturelles.

La carrière, la ligne de fabrication et l'expédition contribuent de ce fait de façon relativement importante à la diffusion des poussières (PM10) mettant la vie ambiante en danger.

En examinant le détail des scores d'impact de la cimenterie de Meftah, l'impact prépondérant est lié à l'effet respiratoire causé par les substances inorganiques. Le  $CO_2$  présente aussi une contribution relativement importante. Donc, on est appelé à remédier aux problèmes de pollution causés par les rejets des poussières qu'elle dégage à tous les niveaux de la fabrication de ses ciments.

# CHAPITRE IV

**DEMARCHE SOCIO-ECONOMIQUE :  
PROPOSITION METHODOLOGIQUE**

## INTRODUCTION:

Actuellement, le ciment est considéré comme l'un des secteurs stratégiques voire névralgique, pour le développement économique du pays. Il est à l'amont de toute activité de construction et de réalisation d'ouvrages d'infrastructures. S'agissant d'une industrie de base, l'Etat y a consenti de très importants investissements pour la construction de la filière.

Le besoin en ciment a fortement augmenté au cours des cinq dernières années conséquence du programme de relance économique et des grands travaux initiés (autoroute, barrages, nouvelle voie ferrée, des millions de logements avec les structures d'accompagnement).

Au niveau des coûts le secteur cimentier est caractérisé par une forte intensité capitalistique, le ratio -charges d'exploitation/chiffre d'affaire- et les coûts d'investissement sont élevés. C'est une industrie lourde fortement consommatrice d'énergie et fabricant un produit pondéreux (Bendib,2006).

Au-delà de l'analyse factuelle, cette sous section est une démarche d'évaluation des impacts sur le budget de l'état et la main d'œuvre de l'usine Meftah. Elle a été réalisée à l'aide de la technique d'analyse « intrants-extrants ».

### IV.1. LES DONNEES SOCIO-ECONOMIQUES:

Le ciment joue un rôle capital en tant que matériau de construction dans les grands projets de travaux publics et présente un coût avantageux (prix moyen de 380DA au sachet). Sa production est directement liée à l'activité du secteur de la construction et du génie civil, activité qui fluctue selon la conjoncture économique. Le secteur cimentier est donc étroitement tributaire de la conjoncture économique générale et se caractérise par sa forte dépendance vis-à-vis de l'évolution économique Algérienne.

#### IV.1.1. Commercialisation du ciment:

La production du secteur cimentier Meftah suit un rythme évolutif. Il est essentiel de noter que pour la première fois, la production a permis de mettre sur le marché plus de 951951 tonnes, soit environ une couverture de 6.34% des besoins nationaux estimés à 15 millions de tonnes. Donc, Meftah a connu une évolution de 40% comparativement à l'année de référence 1998 soit un plus de 539.600 tonnes.

La distribution de la production est organisée par le groupe ERCC intervient prioritairement sur une zone couvrant les wilayas limitrophes. Le groupe assure, généralement, la distribution des ciments aux transformateurs (PLATRE/GYPSE MEDIA,...), petites entreprises (U.C BARAKI, TIZI RACHED, U.C OUED SMAR,...), artisans et auto-constructeurs. Toutefois, l'approvisionnement des clients codifiés est maintenu sous la responsabilité et le contrôle de cimenterie.

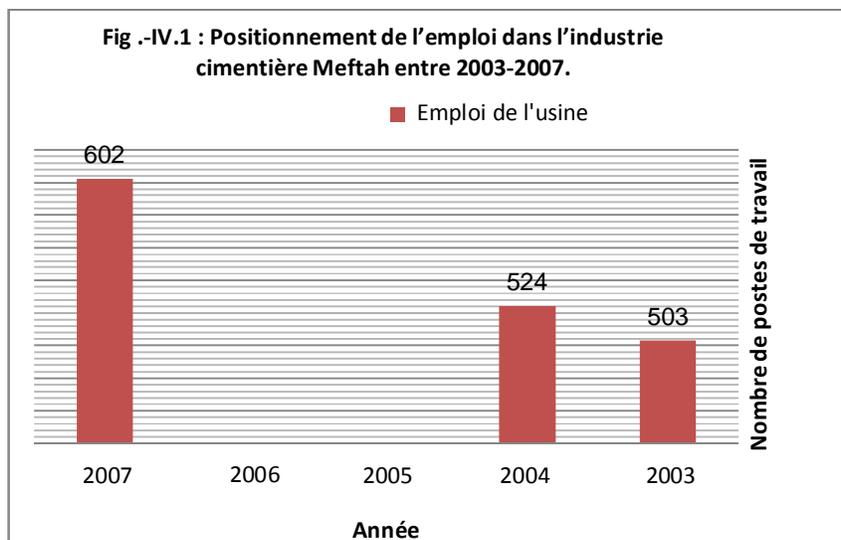
	Nom	Quantité		
		Sac	Vrac	Total
CLIENTS INTRA GROUPE	AMIANTE CIMENT MEFTAH	0.00	22090.58	22090.58
	PLATRE/GYPSE MEDEA	260.00	0.00	260.00
	U.C TIZI RACHED	1360.00	5614.86	6974.86
	U.C OUED SMAR	25800.00	72043.58	97843.58
	U.C.OS BIS BOUMERDAS	3020.00	0.00	3020.00
	C FOUKA TIPAZA	20.00	0.00	20.00
	U.C FOUKA TIPAZA	12620.00	4111.54	16731.54
	U.CBARAKI	13960.00	40918.74	54878.74
	U.C DIRAH	200.00	272.20	472.20
	SODISMAC U.C KSEUR BEJA	440.00	0.00	440.00
	SODISMAC U.C KSEUR BEJA	80.00	0.00	80.00
	PRESTATION U.M.P	25.00	0.00	25.00
	PRESTATION U.M.I	60.00	0.00	60.00
	Divers clients	6680.00	0.00	6680.00
	Clients codifiés	263195.00	479179.68	742374.68
Total	327720.00	624231.18	951951.18	

**Tab.-IV.1: Commercialisation du ciment pour 2007.**

#### IV.1.2. Evolution de l'emploi:

La société des Ciments de la Mitidja Meftah comptait, en 2004, 524 salariés et comprend actuellement plus de 602 employés.

En 2003, la cimenterie recrute 21 postes : un assistant à la maîtrise (réceptionniste) et 20 postes en exécution (arrimeur, ensacheur, électricien et conducteur engin). La figure (IV.1) montre l'évolution de l'emploi de 2003 à 2007.



Durant la période 2003-2007, la cimenterie connaît une augmentation du nombre de ses emplois de 9%.

#### IV.1.3. Chiffre d'affaires et la valeur ajoutée:

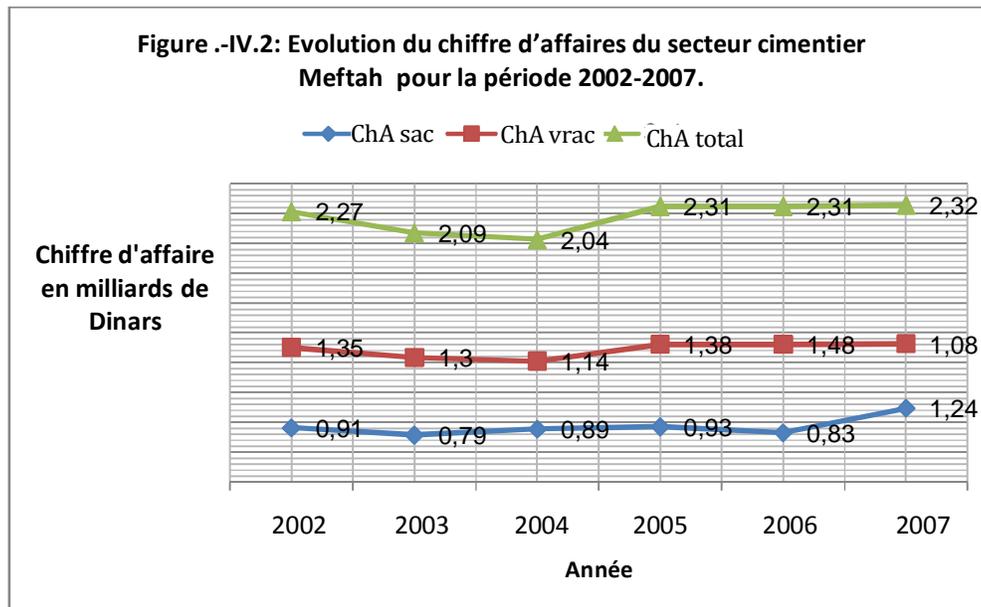
La demande actuelle en cet intrant est fortement augmentée, elle dépasserait les 14 millions de tonnes au cours des cinq dernières années conséquence du programme de relance économique et des grands travaux initiés.

-L'offre a connu une forte croissance (+38%) durant la période 1998-2007. Elle s'est sensiblement améliorée pour passer en 2007 à un record de 951951 de tonnes.

Année	Production (1)	Offre (2)	% Production (1)×100/(2)
2002	720 942	723117	99.69%
2003	618 356	633879	97.55%
2004	634 304	641936	98.81%
2005	751 226	743228	101%
2006	750 348	750376	99.99%
2007	952 543	951951	100%

**Tab.-IV.2: Evolution des volumes de l'offre de CPJ MEFTAH.**

La figure (IV.2) montre le chiffre d'affaires en milliards de dinars de l'industrie, s'établit pour la période 2002-2007.



Source: service commercial cimenterie 'Meftah'.

Prix de vente de ciment à augmenter pour le sac de 336 DA à 376 entre 2006 et 2007. Cette forte croissance de prix et de quantité vendue a réalisé un pic record de 2329 millions de dinars en 2007. Donc l'année 2007 a été une bonne année en termes de conjoncture économique pour l'usine.

Le chiffre d'affaires a reculé de 970 million DA de 2002 à 2003, soit une diminution de 26%.

-La production se fait à partir de facteurs de production (travail et capital) et de consommations intermédiaires (CI). On présente traditionnellement cette relation sous la forme d'une fonction de chiffre d'affaire, consommation intermédiaire, et valeur ajoutée :

$$\text{Chiffre d'affaire (CA)} = \text{Valeur ajoutée (VA)} + \text{consommations intermédiaires (CI)}$$

Où:

**CA (chiffre d'affaires)** : Montant des ventes réalisés pendant une période;

**CI (Consommations intermédiaires)**: Valeur d'achat de matières premières, produit finis et semis finis...

**VA**: Valeur ajoutée sur une période donnée ; elle inclut la valeur du capital fixe qui, par usure et incorporation dans le produit, a disparu au cours de la production.

#### IV.1.4. Productivité:

La mesure de la productivité se réfère implicitement ou explicitement aux facteurs de production. Elle est mesurée en termes de chiffre d'affaires par emploi, et s'exprime aussi grâce au rapport :

$$\text{Productivité} = \text{valeur ajoutée} / \text{employé.}$$

#### IV.1.5. Investissement:

Les investissements du secteur cimentier ont principalement pour objet la modernisation des outils de production, l'amélioration de la productivité, l'amélioration de performance, l'automatisation et le remplacement de certains équipements, l'acquisition de nouveaux dispositifs de dépoussiérage, etc.

En effet, l'industrie du ciment est un secteur à très forte intensité de capital investi. Les installations modernes se chiffrant en millions de dinars, les modifications des procédés de production ont rendu l'industrie très prudente en ce qui concerne le choix et le développement de nouvelles technologies.

L'industrie cimentière investit continuellement en innovations techniques et en nouveaux procédés afin de maintenir la compétitivité de ses installations.

## IV.2. ESTIMATION DES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES:

### IV.2.1.Principe de calcul:

L'évaluation de l'impact économique 'qui quantifie les flux monétaires ' et l'impact social 'qui reflète le nombre d'équivalents à temps plein (ETP) d'emploi' généré par l'usine présente des effets directs, indirects et induits:

#### IV.2.1.1.Les effets directs:

- Les effets directs vont correspondre aux impacts économiques générés dans les secteurs directement touchés par les dépenses initiales, c'est-à-dire auprès des premiers fournisseurs de biens et services, ils sont constitués:



#### IV.2.1.2. Les effets indirects :

Les effets indirects, pour leur part, vont correspondre aux impacts économiques imputables aux dépenses effectuées auprès des fournisseurs du secteur initial et auprès des fournisseurs de ces derniers. Ces effets seront généralement exprimés en termes d'emplois ou en termes de valeur ajoutée (masse salariale versée aux travailleurs, revenus nets d'entreprises et autres revenus).

Les effets indirects sont constitués:

-du montant total des dépenses liées aux activités induites pour la fourniture des consommations intermédiaires.

-de la somme des valeurs ajoutées créées pour produire ces biens et services fournis directement et indirectement aux agents de la filière

#### IV.2.1.3. Les effets induits :

Ce sont les effets des multiplicateurs des dépenses de l'industrie. Ils sont calculés grâce à l'effet vertueux des impacts direct et indirect. Il s'agit des effets supplémentaires générés par les activités de l'industrie qui sont réinjectés dans l'économie et qui à leur tour, créent en partie d'autres emplois pour d'autres agents économiques.

$$VA_{include} = VA_{directe} + VA_{indirecte}$$

On chiffre l'influence effective de ces trois effets en termes d'emploi ou en terme de population

-en termes d'emplois, l'impact analysé sera estimé par la somme des effets directe, indirecte et induit.

-en terme de population, l'impact analysé sera estimé par la nombre de personnes qui "dépendent" des salariés des trois effets.

#### IV.2.2. La méthode d'évaluation des impacts:

L'impact économique (exprimé en million de dinars), et l'impact social (exprimé par emplois) traduisent les retombées économiques issues des diverses activités d'une industrie. On n'a pu faire l'objet d'une estimation relative à ces impacts, en raison de difficultés de recueil des données.

##### IV.2.2.1. Effets directes:

Pour quantifier la part d'activité que le secteur réalise on doit présente les différentes données :

- 1-Evaluer les dépenses de consommation (achat, transport, manutention): X millions de dinars.
- 2-Estimer la masse salariale: Xbis millions de dinars équivalent à un impact social de Z personnes.

Pour l'évaluer l'impact social, la proportion de masse salariale générée directement par l'activité est appliquée au nombre total d'emplois, l'impact social direct équivaut ainsi à Z personnes

3- Evaluer le montant total des investissements réalisés au sein de l'établissement: X2bis millions de dinars.

4-Reversement des taxes pour les collectivités locales (X3bis millions de dinars), il s'agit de :

- La taxe de l'activité professionnelle;
- La taxe foncière;
- La taxe d'apprentissage;
- La taxe de pollueur payeur;

5- Calculer au total l'impact économique direct 'retrancher les différente composantes de l'impact direct du chiffre d'affaires' (Y millions de DA).

Composante de l'impact direct	Montant
Consommation	X DA
Masse salariale	Xbis DA
Investissement	X2bis DA
Taxes	X3bis DA
<b>Impact économique direct</b>	<b>Y DA</b>
<b>Impact social direct*</b>	<b>Z</b>

\* Nombre d'emplois en équivalents emplois temps plein

**Tab.-IV.3 : Calcul de l'impact économique direct.**

**IV.2.2.2. Effets indirectes:** L'évaluation de l'impact indirect est liée à d'autres secteurs industriels.

#### IV.2.2.3. Effets induits:

L'impact induit représente les dépenses des bénéficiaires des impacts direct et indirect. Ces dépenses interviennent par vagues successives au travers d'un effet vertueux.

La mesure de l'impact induit passe par l'établissement d'un coefficient multiplicateur qui, en tenant compte des caractéristiques économiques du département, permet d'évaluer ces vagues successives de revenus en amplifiant la somme des impacts direct et indirect.

Le coefficient repose sur l'analyse du tissu économique et du comportement de secteur en matière de consommation, d'investissements, de fiscalité locale et de salaires. On fixe le coefficient à Wbis:

<b>1</b>	Somme des impacts direct et indirect	W DA
<b>2</b>	Coefficient multiplicateur de l'impact induit	Wbis
<b>3 = 1*2</b>	<b>Impact économique induit</b>	<b>Y2bis DA</b>
	<b>Impact social induit*</b>	<b>Z2bis</b>

\*Nombre d'emplois en équivalents emplois temps plein

Impact social induit = Impact économique induit / Salaire moyen annuel

**Tab.-IV.4 : Détermination de l'impact induit.**

L'impact social induit, qui détermine le nombre d'emplois à temps plein équivalent

à l'impact économique induit, est évalué à Y' emplois.

#### IV.2.2.4. Effets total:

L'impact économique total s'établit à Y3bis DA:

<b>1</b>	<b>Impact économique direct</b>	<b>Y DA</b>
<b>2</b>	Impact économique indirect	Ybis DA
<b>3</b>	Impact économique induit	Y2bis DA
<b>4=1+2+3</b>	<b>Impact économique total</b>	<b>Y3bis DA</b>

**Tab.-IV.5 : Détermination de l'impact économique total**

L'impact économique total s'établit à Y3bis DA:

<b>1</b>	<b>Impact social direct</b>	<b>Z</b>
<b>2</b>	Impact social indirect*	Z bis
<b>3</b>	Impact social induit*	Z2 bis
<b>4=1+2+3</b>	<b>Impact social total</b>	<b>Z3bis</b>

**Tab.IV.6 : Détermination de l'impact social total**

(en nombre d'emplois équivalents temps plein).

\*Impact social = Impact économique / Salaire moyen annuel

### IV.3. SYNTHÈSE DE L'IMPACT GÉNÉRE PAR L'INDUSTRIE DANS L'ÉCONOMIE DE L'ÉTAT:

Sans preuve, les cimenteries ces sont des moteurs économique importants dans l'économie algérienne en générant des retombées économiques annuelles importantes.

Dans le marché d'offre nationale, l'importance économique de l'industrie cimentière est reflétée par sa forte contribution à la valeur ajoutée nationale, d'une part et le caractère stratégique de ses productions qui conditionnent en aval, toute l'activité de réalisation, d'autre part. Vu que l'ensemble des matières premières essentielles (argile, calcaire, électricité et gaz) est produit localement, cette industrie est par excellence, une activité d'intégration économique et de valorisation de la matière première algérienne.

Ainsi il est bien établi qu'elle ne souffre pas de contraintes de marché et qu'au contraire, elle jouit de perspectives favorables à sa croissance.

Bien que les prix de ciment, aient peu augmenté depuis 1998, les excédents d'exploitation dégagés par les sociétés sont d'un niveau satisfaisant et croissant, conséquence d'une position dominante sur le marché.

En termes de salariés, la contribution de Meftah à l'emploi est considérable atteint plus de 600 en 2007, soit un recrutement de 20 personnes /année .

Enfin, l'industrie des ciments est une importante source de revenus pour les gouvernements.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

L'industrie du ciment occupe une place prépondérante dans les économies de toutes les nations puisqu'elle est à la base du développement de secteur vitaux dans l'économie des pays, par la production des matériaux les plus usités. Employé dans la construction des bâtiments, d'ouvrages d'art et d'infrastructures, le béton, principale application du ciment contribue à l'amélioration des conditions de bien et du bien être individuel.

Avant 1962, le secteur algérien comprenait à la nationalisation trois (03) cimenteries totalisant une capacité productive de l'ordre de 1.5 millions tonnes, répartie entre l'actuelle société de ciment de Meftah (Ex-Rivet Lafarge), de Rais Hamidou (Ex-Pointe Pescade Lafarge) et de Zahana (Ex- Saint Lucien CADO). Aujourd'hui, la capacité nationale s'est trouvée renforcée, par quatorze (14) lignes de production en voie sèche, avec 11.5 millions de tonnes/an.

### **1. Principaux constats de recherche:**

Ce mémoire apporte un éclairage sur la question de l'intégration de ces entreprises dans le développement durable. Il a été créé dans le but de faire progresser les connaissances théorique et pratique de l'évaluation environnementale, ainsi de concrétiser les aspects économiques et sociaux. La demande d'outils d'évaluation objectifs pour l'ensemble des modes de production cimentière semble incontournable.

Parmi ces outils d'évaluation environnementale globale, l'Analyse de Cycle de Vie est fondée sur le concept très efficace de cycle de vie. Son cadre méthodologique a été formalisé en normes internationales (ISO 1997, 1998a, 1998b, 2000). Cependant sa mise en œuvre pratique soulève encore de grands défis scientifiques, parmi lesquels la fiabilité des résultats est sans doute un des plus importants.

L'analyse du cycle de vie est à la fois :

- une procédure, c'est-à-dire une suite d'étapes standardisées ;
- un modèle de transformations mathématiques permettant de transformer des flux en impacts environnementaux potentiels.

#### **1.1 A travers les indicateurs économiques:**

L'industrie cimentière occupe une position dominante dans le marché d'offre nationale de ciment, et est dans un environnement particulièrement favorable pour son développement du fait de l'existence:

- D'un marché domestique de taille importante et croissant,
- De coûts attractifs des matières premières et énergétiques,
- De réserves de productivité par rapport aux capacités installées et aux référentiels internationaux.

Bien que les prix de ciment, aient peu augmenté depuis 1998, les excédents d'exploitation dégagés par les sociétés sont d'un niveau satisfaisant et croissant conséquence d'une position dominante sur le marché.

Il est substantiel de relever que, la production nationale a triplé sur une période de 25 ans. Le chiffre d'affaires atteint  $40\,424\,099\,10^3$  DA pour les quatre groupes cimentiers: ERCE, ERCC, ERCO et CHLEF, et la valeur ajoutée est de  $23\,643\,244\,10^3$  DA, pour 2005. Il est indéniable que la progression s'intensifiera au cours du prochain quinquennat, avec l'apport des futurs partenaires étrangers.

Outre qu'il s'agit d'un produit à forte valeur ajoutée dont l'ensemble des inputs est produit localement, cette industrie est une activité d'intégration économique et de valorisation des ressources naturelles.

L'ouverture planétaire des marchés, avec la participation de l'Algérie à l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC) et son association avec l'Union Européenne (UE), implique une mise à niveau de l'ensemble des entreprises de ciment pour éviter leur disqualification. La plus part ont fait des efforts appréciables pour atteindre ou se rapprocher des normes de qualité internationalement reconnues (normes ISO 9000 et ISO 14 000). Certaines sont déjà certifiées, alors que 'Meftah' est en voie de l'être.

### **1.2 A travers les indicateurs environnementaux:**

Nonobstant la volonté qui témoigne l'intérêt particulier qu'accordent ces entreprises pour assurer la qualité à travers une mise à niveau conforme aux normes universelles, la fabrication du ciment, comme c'est le cas pour de nombreux matériaux industriels, consomme une quantité considérable de gaz. Ces derniers sont à forte teneur en chaux dans le four à ciment, ce qui neutralise les acides libérés pendant la combustion et réduit efficacement les émissions dans l'atmosphère. Les composantes organiques sont entièrement consommées par la chaleur intense ( $1450^{\circ}\text{C}$ ) et la longue durée de séjour dans nos fours. Quant aux composantes minérales et aux métaux lourds, ils sont en quasi-totalité intégrés de façon insoluble dans le ciment.

L'étude a démontré que la production d'une tonne de clinker, un ingrédient essentiel du ciment portland, émet environ une tonne de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), contribue à l'épuisement progressif des ressources naturelles et entraîne la production de certains résidus que l'on se doit d'éliminer. L'émission de  $\text{CO}_2$  qui y est associée à la production de la dernière décennie de 'Meftah', est plus de quatre milliard et demi de tonnes. On prévoit qu'elle passera à environ 7 milliards de tonnes au cours des décennies prochaines.

On note aussi l'émission des Oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), Monoxyde de carbone (CO) et la poussière (PM10) qui peut constituer une grave source de pollution de l'air, elle se classe parmi les rejets dangereux provoquant les maladies respiratoires. Les chiffres actuellement communiqués donnent 53.62 tonne de PM10 de la zone cuisson 'Meftah' en présence de l'électrofiltre IMAZA. Les meilleures techniques disponibles pour la réduction des émissions de poussières consistent à conjuguer des mesures primaires

générales avec une élimination efficace des matières particulaires provenant des sources ponctuelles par l'emploi de précipitateurs électrostatiques et/ou de dépoussiéreurs à surface filtrante (filtres en tissu). Aussi la prévention des émissions de poussières provenant des sources fugitives.

Parmi les méthodes de calculs d'ACV Eco-indicateur 99. La conception de la méthode est basée sur une approche top down. Trois types de dommages ont été retenus: santé humaine, qualité des écosystèmes et ressources. Ces trois comprennent eux même des impacts:

Santé humaine regroupe les effets respiratoires, et le changement climatique. L'unité de mesure est le DALY (Disability Adjusted Life Years). Les DALYs sont la somme des années passées malades et des années de vie perdues à cause d'un de ces impacts.

Qualité des écosystèmes regroupe acidification et l'eutrophisation. L'unité est le PDF\*m2yr (Potentially Disappeared Fraction) représente le pourcentage d'espèces de plantes qui disparaissent à cause de changement de qualité de milieu. 'm<sup>2</sup>.an' c'est la surface touchée par la pollution par le temps d'occupation de la surface ou de durée de la pollution.

Ressource: l'unité est le surplus d'énergie en MJ PAR Kg de matière extraite.

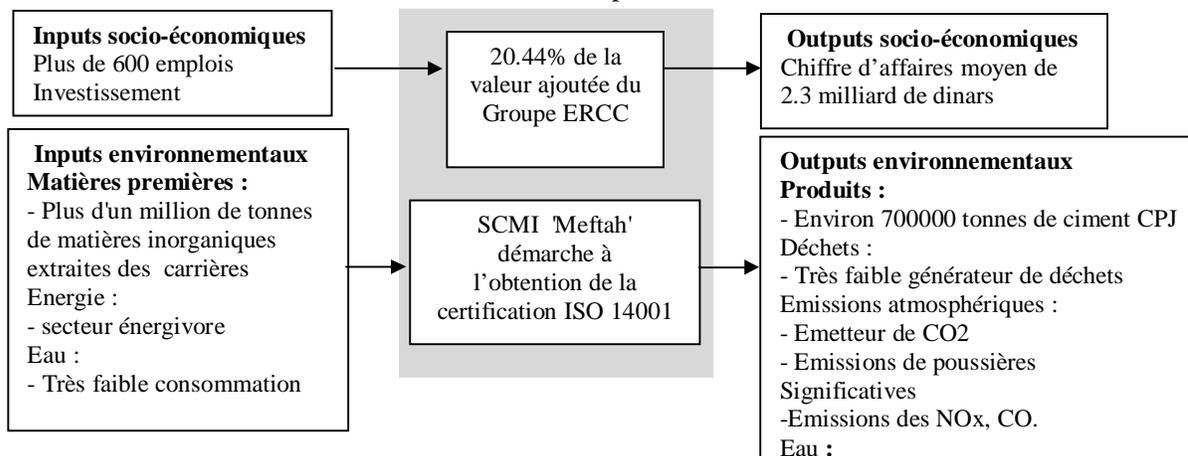
### 1.3 A travers l'indicateur social:

La modernisation et l'automatisation des équipements ont fait de l'industrie du ciment un secteur d'activité en personnel de plus en plus spécialisé et de moins en moins nombreux. En moyenne, une installation moderne assure l'emploi de 500 personnes.

La question sociale a été aussi la pierre angulaire de notre engagement envers le développement durable. Cet engagement s'articule en nous préoccupant de nos employés, et voisins ainsi que de nos clients et fournisseurs. On souligne que le dialogue social peut être source de progrès pour les travailleurs et vise à réduire les risques d'exposition des travailleurs à la silice cristalline.

On souhaite que la gestion prévisionnelle de l'emploi et des compétences, la formation professionnelle tout au long de la vie et la sécurisation des parcours professionnels soient les grandes orientations à prendre en matière sociale par les employeurs de ce secteur d'activité.

La figure suivante résume les principaux flux socio-économiques et environnementaux dans l'industrie de Meftah pour une année:



## **2. Le plan d'action concret pour le développement durable:**

L'industrie du ciment doit envisager maintenant et pour demain les actions à engager pour :

- la réduction de manière continue de toutes les émissions (gaz à effets de serre, d'oxyde d'azote, poussière et bruit): par amélioration de contrôle des émissions et d'efficacité énergétique;
- une meilleure utilisation des ressources naturelles (matières premières et combustibles) ;
- l'investissement constamment dans l'équipement de pointe: l'entreprise s'est dotée d'un système de mesure en continu de ses émissions;
- Le maintien d'un partenariat durable avec les collectivités qui accueillent l'activité: Ceci se transpose par des journées portes ouvertes;
- L'utilisons d'un système de gestion environnementale basé sur les normes internationale ISO 14001, ISO 9001 et OHSAS 18001;
- donner constamment la priorité absolue à la Santé et à la Sécurité des employés, des contractants et des voisins.

## **3. Difficulté de l'exercice:**

Plusieurs facteurs ont rendu notre tâche de recherche très ardue. Notons d'abord, la rareté des ouvrages traitant l'analyse économique de l'industrie cimentière algérienne. Aussi, l'incertitude des résultats qui se réfère à un manque de connaissance concernant les valeurs réelles des quantités d'extrants qui ne sont pas jugés pour eux-mêmes, mais pour les dommages auxquels ils conduisent.

Le processus d'évaluation des impacts ne peut être mené à bien que partiellement: Certains dommages sont très incertains, d'autres ne sont pas évalués du tout. Ensuite, les impacts peuvent être regroupés en "catégories de dommage", ce qui constitue un grand gain, car le nombre des catégories est très inférieur à celui des extrants possibles, mais il est vain de chercher à le pousser trop loin. Après une période où on a pu ne penser que toutes les catégories pouvaient être ramenées à trois classes fondamentales (Goedkoop, 2000), on est revenu en arrière, et les méthodologies proposées dans la ligne des normes ISO utilisent une dizaine de catégories.

Enfin, les unités adoptées aux impacts environnementaux sont incommensurables entre elles pour unifier la valeur de chaque catégorie.

## **4. Perspectives:**

### **4.1 Un nouveau cadre d'étude:**

Notons d'abord que, sous certains aspects, l'étude que nous avons réalisée est d'une portée limitée. Premièrement, il faut souligner que nous avons travaillé sur un échantillonnage restreint puisque notre application ne s'est faite que sur une seule

entreprise. A cela, il faut ajouter que l'étude a été réalisée que sur trois phases de vie (c'est une 'Analyse de Cycle de Vie Simplifiée' 'ACVS' en réalité), sachant qu'une analyse de cycle de vie quantitative complète n'a jamais été achevée.

Nous croyons que le type de recherche que nous avons menée mériterait d'être poussé d'avantage en appliquant l'outil d'évaluation sur un plus vaste échantillonnage des cimenteries, en partant de l'extraction et la transformation des matières premières, à sa production, transport, distribution jusqu'à son utilisation. Les résultats ainsi obtenus seraient plus concluants et permettraient de mieux cerner la fiabilité et l'acceptabilité de cette méthode.

#### **4.2 Pour aller plus loin:**

Dix huit mois est une période insuffisante au regard de la quantification des impacts économique et sociale, dans le dernier chapitre, on a catalogué les effets, mais on n'a pas estimé leur amplitude probable. En cela nous pensons à des recherches plus poussées qui tiennent compte de multiples indicateurs économiques et sociales (santé sociale, insécurité sociale, bien-être économique, bien-être des Nations ...) ce qui donne lieu à une consolidation des connaissances.

Enfin, travailler sur le couplage entre l'ACV et une méthode d'évaluation des impacts locaux représente une nouvelle piste de recherche.

**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**



- ADEME, 2000. *Changement climatique – un défi majeur*. Document ADEME et Mission Interministérielle de l'effet de serre, 23 p
- Akermann, M., 2007. *Croissance et développement durable dans la concurrence mondiale - les défis que les entreprises doivent relever*. Zürich, Fédération des entreprises suisses.  
[www.economiesuisse.ch](http://www.economiesuisse.ch)
- Anonyme, 2004. *Guidance manual for estimating greenhouse gas emissions from fuel combustion and process-related sources for cement production*. ISBN 0-662-76295-9. N° de cat. En 49-2/9-3F, Canada.
- Anonyme, 2008. *Détermination du facteur d'émission FE - quantification des émissions de CO<sub>2</sub>*. GRT gaz.
- Apichat, I., 2000. *Méthodologie d'évaluation environnementale des déchets stabilisés/solidifiés par liants hydrauliques*. Thèse de doctorat, INSA Lyon.
- Basset-Mens, C., 2005. *Propositions pour une adaptation d'Analyse de Cycle de Vie aux systèmes de production agricole - mise en œuvre pour l'évaluation environnementale de la production porcine*. Thèse de doctorat, INRA Rennes.
- Bendib, A., 2006. *Historique du ciment et situation de la production du ciment en Algérie de 1962 à 2005*. Groupe industriel et Commercial de Ciment et Dérives de l'Est/ GIC.
- Benoist, A., Dron, D., Rabl, A., Zoughaib, A., 2008. *Méthodologie de l'Analyse de Cycle de Vie - Normes et méthodes courantes*. Centre d'énergie, Paris.
- Boeglin, N., Veuillet, D., 2005. *Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)*. ADEME. Département Eco-Conception & Consommation Durable.
- Bogue, R.-H., 1952. *La chimie du ciment portland*.
- Boivin, R., Dion, M., 2004. *Étude des impacts économiques générés par l'usine Vaudreuil d'Alcan en 2004*. Saguenay.
- Camille, D., 2004. *Chimie du ciment valorisation des déchets en cimenterie*. FDSA, Université Libre de Bruxelles.
- CAN, 2004. *Ciments selon la norme SN EN 197-1: 2000*. Fiche technique n°10 F/05 CRB Zurich.

- Crettaz,P., Saadé,M., Jolliet,O., 2005. *Analyse de cycle de vie - comprendre et réaliser un écobilan*.ISBN-13 : 978-2880745684, 246 p  
available at <http://www.polymtl.ca/pub>.
- Cembureau, 1997. *Procédés et techniques de fabrication du ciment*. Bruxelles, Belgique,  
Available from: URL: [www.ciments-calcia.fr](http://www.ciments-calcia.fr)
- CETIM, 2007. *Audit environnemental SCMI Meftah*. Boumerdes, Algérie.
- Ciment,St.-L., 2005. *L'intégration du développement durable dans la fabrication du ciment et du béton au Québec*. Direction du patrimoine écologique et du Développement durable, Ministère de l'Environnement, Québec.
- Côté,C., 2005. *Analyse comparative de deux méthodes d'analyse de cycle de vie simplifiées (ACVS) utilisables pour la conception de produits*. Université de montréal, p 93
- Décret exécutif n° 06-138 du 15 avril 2006, Journal officiel de la république algérienne n°24, le 16 avril 2006.
- Defeyt,Ph., 2004. *Le social et l'environnement - des indicateurs alternatifs au PIB*.  
IDD, OTTIGNIES.  
E-mail : [idd.org@skynet.be](mailto:idd.org@skynet.be)
- Defossé,C.,2004. *Chimie du ciment –valorisation des déchets en cimenterie*.  
Laboratoire de chimie industrielle, FDSA, Université Libre de Bruxelles.
- Delabre,L., Thuret,A., Pilorget,C., Févotte. Joëlle,F., 2007. *Matrice emplois-expositions aux poussières alvéolaires de ciment*. INV, Saint-Maurice, Lyon.
- El Kharmouz,M., Sbaa,M., Oujidi,M., Zarrouqi,Z. , Bengamra,S., 2005. *Evaluation de l'impact des matières en suspension émises par la cimenterie Holcim-Oujda sur la germination et la croissance de l'orge (Hordeum Vulgare) – Essais expérimentaux*. El Jadida,Maroc.
- Estelle,D., Soichiro,A.,Thibaud,D., Yannick,P., 2006. *Les enjeux du développement durable au sein de l'Industrie du Ciment - réduction des émissions de CO2*.
- Gisèle,B., Revéret,J.-P., Gendron,C., 2005. *L'analyse du cycle de vie comme outil de développement durable*. ISBN 2-923324-29-3. Université de Montréal, Québec.
- Grisel,L., Osset,P., 2004. *L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service- Application et mise en pratique*. Ed AFNOR . ISBN 2-12-475091-7, 375 p

- Goedkoop, M., Spriensma, R., 2000. *The Eco-Indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment- Methodology report*, PRé consultants, Pays Bas, 111 p
- Goedkoop, M., Oele, M., Effting, S., 2000. *Simapro 5.0 - Database manuel- Methods library*, PRé consultants, Pays Bas, 24 p
- Heijungs, R., et al, 1992. *Environmental life cycle assessment of products*. ISBN 90-5191-064-9. Leiden. 96 p (Guide) et 130 p (Backgrounds).
- ICEDD, 2005. *Situation environnementale des industries cimentières. wallonne*.  
E-mail : [icedd@icedd.be](mailto:icedd@icedd.be)
- ISO 14040, 1997. Norme NF EN ISO 14040 (X30-300), *Management environnemental, analyse de cycle de vie- principes et cadre*
- ISO 14041, 1998. Norme NF EN ISO 14041 (X30-301), *Management environnemental, analyse de cycle de vie- définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire*
- ISO 14042, 2000. Norme NF EN ISO 14042 (X30-302), *Management environnemental, analyse de cycle de vie- évaluation de l'impact du cycle de vie*
- ISO 14043, 2000. Norme NF EN ISO 14043 (X30-303), *Management environnemental, analyse de cycle de vie- interprétation du cycle de vie*
- ISO 14049, 2003. Norme NF EN ISO 14049, *Management environnemental, analyse de cycle de vie- exemples d'application de l'ISO 14041 traitant la définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire*
- Joshi, S., 2005. *Integrated economic development and environmental protection assessment for the muskegon river watershed*. Department of Agricultural Economics, Michigan State University East Lansing, MI 48824
- Khalifa, K., 1999. *Analyse du cycle de vie - Problématique de l'évaluation des impacts*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie industriel, G5610. 12 p
- Khalifa, K., 2002. *Analyse du cycle de vie - Méthodes d'évaluation des impacts*. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie industriel, G5615. 20 p
- Khelifa, R., Rahim, N., Sekiou, S., Muzahim A.-M., 2005. *L'impact des cimenteries sur l'environnement - Le cas de la cimenterie de Ain-Touta*. Université Mentouri de Constantine, Algérie.
- Legrand, E., *Comprendre les ACV et leurs limites*. Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon.

- Mouss, Dj., 2005. *Modélisation et simulation d'un procédé industriel par approche à base de connaissance - cas de SCIMAT, Ain Touta*. Département de génie industriel, Batna.
- Nemry,F., Theunis,J., Bréchet, T., Lopez, P., 2001, *Greenhouse gas emissions reduction and Material flows*, Final report, For the OSTC. 23 p
- NPI, 2008. *Emission estimation technique manual for cement manufacturing. version2.1*. Department of the environment, water, heritage and the arts, Canberra, Australia.  
E-mail: [npi@environment.gov.au](mailto:npi@environment.gov.au), web: [www.npi.gov.au](http://www.npi.gov.au).
- NPI, 1999. *Emission estimation technique manual for cement manufacturing. first versionj*. Department of the environment, water, heritage and the arts, Canberra, Australia.
- Poncet, p., 2006. *Introduction à l'analyse de cycle de vie*, p14
- Renou, S., 2006. *Analyse de Cycle de Vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées*. Institut national Polytechnique de Lorraine.
- Rousseaux, P., 1993. *Evaluation comparative de l'impact environnemental global du cycle de vie des produits*. Thèse de Doctorat, INSA Lyon.
- Royer,M., 2008. *Analyse de cycle de vie [CD-ROM]*. UNEP/SETAC.
- Schmoldt, H., 2007. *L'industrie du ciment - le point de vue de l'EMCEF sur les défis que doit relever cette industrie*. Fiche CESE 3264.  
E-mail: [info@emcef.org](mailto:info@emcef.org)
- Signes-Frehel, M., Maes P., Haehnel,C., 1996. *Etude des phases d'un clinker par diffractometrie des rayons X - vers la quantification*. Centre Technique, Groupe Italcementi-Cements, Volume 6. Guerville, France.  
available at <http://dx.doi.org/10.1051/jp4:1996414>
- Sirius-CCI, 2004. *Impact économique et social du Port de Golfe Juan*. Nice côte d'azur.
- Suren, E., 1998. *Vers une écologie industrielle : comment mettre en pratique le développement durable dans une société hyper-industrielle*. Éditions Charles Léopold Mayer, 147 p
- Vaillancourt, J.-G, 1994. *Penser et concrétiser le développement durable dans Écodécision*, no 15, p. 24-29.

# ANNEXES

### Critères chimiques et minéralogiques du clinker

Dans la zone de cuisson et sous l'effet de la température les réactions chimiques commencent. L'oxyde de fer se combine à l'oxyde d'aluminium et à l'oxyde de calcium pour former l'aluminoferrite tétracalcique (**C4AF**). L'alumine restante réagit avec de l'oxyde de calcium pour former l'aluminate tricalcique (**C3A**). Ces 2 composants forment la phase liquide.

Les oxydes de silicium et de calcium réagissent ensemble pour former le silicate bicalcique (**C2S**) qui, lui-même, se transforme en silicate tricalcique tant qu'il reste de l'oxyde de calcium non combiné. A la sortie du four, l'oxyde de calcium non combiné s'appelle chaux libre.

La magnésie ne réagit pas avec les autres constituants. Elle cristallise sous forme de périclase ou reste en solution solide dans la phase liquide. Les alcalis et les sulfates forment des sulfates alcalins ou réagissent avec l'aluminate tricalcique pour donner des cristaux d'alcali aluminate.

	Minimum	Maximum
Perte au feu	0.2	1.1
SiO <sup>2</sup>	20.0	24.3
Al <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	3.7	7.1
Fe <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	1.7	5.7
CaO	61.0	68.1
MgO	1.7	4
SO <sup>3</sup>	0.05	1.3
K <sup>2</sup> O	0.05	1.4
Na <sup>2</sup> O	0.05	0.7
TiO <sup>2</sup>	0.15	0.4
Mn <sup>2</sup> O <sup>3</sup>	0.05	1.2
P <sup>2</sup> O <sup>5</sup>	0.05	0.6
Cl	0	0.1
F	0.01	0.3
CaO libre	0.6	2.8
Module silicique	1.8	3.9
Module aluminoferrique	0.7	2.8
Indice de saturation	84.8	100.8

Tab.-1 : Composition chimique de clinker

	Minimum	Maximum
Alite C <sup>3</sup> S	45.0	79.7
Bélite C <sup>2</sup> S	5.7	29.8
Aluminate C <sup>3</sup> A Aluminoferrite	1.1	14.9
C4AF Périclase MgO	2.0	16.5
Chaux libre CaO	0	5.8
	0.6	2.8

Tab.-2 : Composition minéralogique de clinker

**Eléments mineurs du clinker (de 0.1 à quelques %) :**

**SO<sub>3</sub>**: présent sous forme de CaSO<sub>4</sub> ou de sulfates alcalins (limité dans le ciment): de 0.5 à 2.5%

**Alcalins**: -teneur exprimée en Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub> (% Na<sub>2</sub>O + 0.658 K<sub>2</sub>O)

-majoritairement dans les phases C3A (Na), C2S(K)

-Pas de spécification mais ciments à basse teneur en alcalins (< 0.6 %

Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub>) souvent demandés

-de 0.2 à 1%

**Courants**: MgO (0.5 à 5%), Cl

**Possibles**: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.1 à 0.75%), Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.1 à 0.5%), TiO<sub>2</sub> (0.1 à 0.3%), Sr (0.1%).

La composition chimique du calcaire, argile, cru et ciment est présenté dans le tableau suivant:

	Limestone (exemple)	Clay (exemple)	Raw mix	Clinker (coal burned)	Cement
PF	41,4	14,7	36,6	0,3	1,4
SiO <sub>2</sub>	4,5	46,2	13,0	21,6	20,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0	16,9	3,1	5,1	4,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	4,8	1,9	3,0	2,25
MnO					
TiO <sub>2</sub>	0,1	0,8	0,2	0,3	0,3
CaO	51,0	7,7	42,1	64,9	63,2
MgO	0,7	2,7	2,0	3,1	2,9
SO <sub>3</sub>	0,1	0,2	0,2	0,6	3,0
K <sub>2</sub> O	0,4	4,5	0,4	0,7	0,7
Na <sub>2</sub> O	0,05	0,4	0,1	0,1	0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
K	-	-	102,3	95,2	95,2
MS	3,0	2,1	2,6	2,7	2,7
Al/Fe	2,0	3,5	1,6	1,7	1,7

Evolution des inputs- outputs durant les années 1998-2008 du produit cimentier CPJ, "Société des ciments de la MITIDJA".

Année Désignation	INPUTS				OUTPUTS						
	Explosifs (Kg)	Matières premières (T)	Energie		Produits finis et semi finis			Rejets atmosphériques			
	Marmanit Anfomil	Calcaire,Argile,S able,Minerai de fer, Gypse et Tuf	Gaz (thermie)	Electricité (10³Kw.h)	Farine crue	Clincker	Ciment	CO2 FE $\text{KgCO}_2/\text{T}_{kk}$ E tonnes	CO FE $\text{KgCO}/\text{T}_{kk}$ E tonnes	NOx F $\text{KgNO}_x/\text{T}_{kk}$ E tonnes	PM10 FE $\text{Kg}$ $\text{PM10}/\text{T}_{kk}(\text{EM})$ E tonnes
1998	34200	666909	539019327	37668000	597 511P	<b>353 118 P</b>	412 918	876	0.32	0.86	1.01
	7700				604214C			346 647 C	309331368 T	115.18	305.34 T
1999	45260	849906	631290461	9216000	756 321 P	<b>446 262 P</b>	493 345	848.90	0.18	0.48	1.01
	9700				760 351 C			435 847 C	378831812	110.81	215.94
2000	55500	1183822	938389625	105783000	1 004 651 P	<b>597 978 P</b>	700 585	880	0.18	0.47	1.01
	11025				1 004 888 C			616 783 C	526220640	108.17	286.76
2001	65360	1183681	986220168	122347626	1 013 667 P	<b>607 692 P</b>	704 464	891.92	0.18	0.49	1.01
	11500				1 013 487 C			606 844 C	542012648	113.55	301
2002	49780	1137855	899568907	109729000	980 430 P	<b>583 902 P</b>	720 942	872.38	0.19	0.5	1.01
	19975				976 887 C			584 178 C	509384426	113.32	300.41

<b>2003</b>	22225	1054941	802681582	82766920	927 056 P	<b>539 480 P</b>	618 356	861.90	0.21	0.55	1.01
	19900				920 019 C	532 747 C		464977812	113.52	300.9	544875
<b>2004</b>	33175	1040349	827117454	96311051	883 677 P	<b>525 419 P</b>	634 304	881.69	0.17	0.47	1.01
	19050				892 739 C	523 142 C		463256678	93.61	248	530673
<b>2005</b>	41845	1252393	911932736	116521002	1 069 778 P	<b>617 980 P</b>	751 226		0.18	0.47	1.01
	22025				1 067 220 C	624 521 C		58666740	110.81	624159	
<b>2006</b>	45000	1186441	1012319862	114271001	1 033 307 P	<b>600 401 P</b>	750 348	905.21	0.18	0.48	1.01
	18000				1 034 145 C	603 711 C		543488989	288.45	606405	
<b>2007</b>	31250	1593704	1151941876	117917950	1 288 881 P	<b>747 715 P</b>	952 543	971.61	0.15	0.41	1.01
	27725				1 290 073 C	739 336 C		726487371	116.24	308.15	755192

## **Le processus de fabrication du ciment de l'usine Meftah**

Il est divisé en cinq zones :

### **ZONE I - CARRIERE CALCAIRE :**

#### **1/ Abattage :**

La matière première (calcaire) extraite par (sondage) : le sondage est effectué par une machine qui sert à sonder des trous en distance de 3 m, en deux trous et de 1 m en dessous du gradin, ensuite la gendarmerie met en place des explosifs (TNT) est fait abattre le gradin.

#### **2/ Le chargement**

Ce fait par des engins qui sont chargés de faire ce travail. On a deux types d'engins :

- Le rôle du premier bulldozer (mini-chargeuse) sert à rassembler le calcaire
- Le rôle du deuxième (chargeuse) sert à charger le calcaire dans les camions (dumper)

#### **3/ Transport :**

Les camions transportent le calcaire vers les concasseurs. Les camions déchargent le calcaire dans la chambre de concassage.

#### **4/ Le concassage :**

Le calcaire se dirige vers le concasseur avec ATM (Alimentation Tablier Métallique), elle rentre dans le concasseur, et là on trouve deux concasseurs FCB 450T/H et KHD 1000 T/H, où elle se concasse à de petits morceaux à la sortie.

Les tapis T0, T1, T2, T2 bis, transportent le calcaire vers le hall stockage calcaire dont la capacité est de 60 000 T.

#### **Remarque :**

Stockage de (03) matières premières : sable, argile, minerai de fer dans le hall stockage ajout avec une capacité de 60 000 T.

#### **2 Broyeur à boulets :**

K.H.I,  
Système de broyage : en circuit fermé,  
Débit : 240 T/H,  
Longueur de la virole : 12,50 M,  
Diamètre intérieur : 4,60,  
Vitesse du broyeur : 14,5 Tt/Min,  
Nombre de compartiment : 2,  
Puissance du moteur : 4000 KW 5500 v,  
Vitesse moteur : 750 Tr/Min,  
Corps broyant nécessaire : 265 T,  
Charge normal,

#### **2 Presse à rouleaux :**

K.H.D,  
Débit : 250 T/H. taille max. du produit,  
Alimenté : 0% 10mm,  
Température max. admissible du produit : 393 K,

Largeur des plaquettes : 960 mm, P = 2 x 600,  
Epaisseur des plaquettes : 21 x 30mm,  
Caractéristiques des rouleaux :  
Diamètre : 1150,  
Largeur : 1000,  
Vitesse 1-20 - 11 23.3 (tr/min).

### **ZONEII - CRU :**

**\* Récupération de la matière :**

Gratteur à palette (gratteur portique et gratteur semi portique)

**\* Les moyens de transport :**

Aéroglossière,  
Elévateur à godets.

**\* Les principaux équipements :**

Broyeur à marteaux,  
Broyeur à boulets, Séparateurs (statique et dynamique).

**Hall calcaire :** Le gratteur portique (à palette) sert à gratter le calcaire et se déplace en translation de tas en tas et jette la matière sur le tapis 2MK 03 01 pour le transporter au trémie calcaire (les tapis T5bis, T5, T10)

**Hall ajout :** on a deux gratteurs semi-portique (à palette) qui servent à gratter les ajouts (argile, sable, fer), il dirige les produits sur les bandes transporteuses jusqu'aux trémies (les tapis T6, T7, T8, T9 et T11).

Le transporteur T12 est réversible de fer au sable.  
Il existe 4 trémies (calcaire, fer, argile, sable)

- Dosage du calcaire : 80%
- Dosage de l'argile : 17%
- Dosage du sable : 2%
- Dosage du M fer : 1%

et se dirige par le transporteur T13 vers le concasseur (broyeur à marteau).

**Le broyeur à marteau :** il sert à concasser la matière, plus le débit de séchage se fait du four.

**Z L'aspiration :**

Aspiration de la matière + les gaz chauds par le ventilateur de tirage 1200 KW,

**Z Séparateur statique :**

Le séparateur statique sépare la granulométrie (grosses particules et fines particules)

- \* Les Grosses particules passent par vers les broyeurs à boulets.
- \* Les fines particules partent vers le stockage (silos d'homogénéisation).

**Z Le broyeur à boulets :**

Tous les rejets du séparateur vont passer pour être broyés dans les deux compartiments du broyeur.

**Elévateur à godets** : l'élévateur à godets transporte le produit vers le séparateur dynamique. Le produit tombe sur un plateau dispersé qui tourne à vitesse continue, les grosses particules tombent sur l'Aérogliissière (rejet) et qui va retourner au broyeur pour être broyé de nouveau, les petites particules vont vers les silos de stockage

**Z L'homogénéisation :**

Le produit sera mélangé dans les silos H1, H2 pour être prêt au stockage.

**ZONEIII - CUISSON:**

L'Atelier homogénéisation est composé de deux sous ateliers :

- **S/Atelier** : homogénéisation, recirculation et stockage (cru)
- **S/Atelier** : alimentation four (cuisson)

**Alimentation four** : la farine est extraite des silos de stockage ou homogénéisation par des équipements composés de :

- Vanne à casque (tout ou rien),
- Vanne à casque réglée (ouverture de 0% à 100% suivant besoin),
- Aérogliissière + souffleur d'air.

A travers cet équipement la farine sera acheminée vers la trémie peseuse pour être transportée :

- A l'aide des pompes fuller vers la tour de préchauffe ou elle subit des transformations calorifiques.
- A travers les cyclones et les ventilateurs fumés qui tirent les gaz chauds du four.
- La farine passe dans les cyclones à étages puis la boîte à fumée pour atteindre une température progressive, pour être prête aux réactions du Clinkérisation dans le four.

Les gaz tirés par le VF seront refoulés vers la tour de conditionnement pour être conditionnés puis tirés par le ventilateur 516 en passant par l'électro-filtre pour filtrer les gaz poussiéreux.

◆ Zone de déshydratation 100°C – 450 °C  
(440 °C décarbonatation eau de constitution des argiles)

◆ Zone de décarbonatation du Mg CO<sub>3</sub> en Mg O + CO<sub>2</sub>  
(500°C décarbonatation du Mg CO<sub>3</sub> en Mg O + CO<sub>2</sub>)  
900°C décarbonatation du CaCO<sub>3</sub> en CaO +CO<sub>2</sub>  
950°C – 1200°C formation du C<sub>2</sub>S)

◆ Zone de Clinkérisation 1000°C-1450°C  
(1200°C-1300°C formation du C<sub>3</sub>A et C<sub>4</sub> AF),  
vers 1250°C apparition du premier liquide  
vers 1450°C formation C<sub>3</sub>S avec disparition progressive de la chaux libre.

**ZONE IV - CIMENT**

Cet atelier est composé de deux lignes électriques avec un débit de 90T/H chacune, de production du Ciment.

**1/ Le remplissage des trémies (Clinker, gypse, tuf)**

**a. Remplissage par la trémie de réception :**

Les deux premiers (gypse, ajouts) sont acheminés vers la trémie de réception par des camions, le gypse sera transporté sur le tapis T 19 qui déverse sur T 20, et à l'aide d'un élévateur gypse, ce dernier sera stocké dans le silo de stockage gypse avec une capacité de 5000T (silo spécial gypse)

Les ajouts et gypse seront transportés du T20 vers le tapis AUMOUND vers l'élévateur à godets qui alimentent la chaîne TKF2 pour remplir la trémie ajout plus gypse.

**b. Remplissage par T16**

Le remplissage se fait directement de la zone cuisson à partir des chaînes traînantes 24 (pousse) qui divise la matière (Clinker) dans une goulotte cette dernière verse T16 ou bien :

Par des silos de stockage chaque silo a trois bouches, deux bouches manuelles et l'autre motorisé.

Et à travers eux la matière est versé sur T16 vers l'élévateur à godets qui acheminé vers la chaîne TKF1 pour remplir les trémies (Clinker, gypse).

**2/ Broyeur Ciment**

Après le dosage des matières

- Clinker 80%
- Gypse 5%
- Ajouts 15%

Elle est transportée sur un tapis vers le broyeur Ciment BK1 – BK2 pour le broyage. La matière broyée sera transportée par élévateur à godets sortie broyeur, puis elle sera déversée dans le séparateur dynamique. Les rejets seront transportés par aéroglisseur rejets vers l'entrée broyeur pour le rebroyage. Le produit fini (Ciment) sera acheminé par aéroglissière principale vers les silos de stockage à l'aide d'élévateur à godets sur l'air lift.

Il y a 8 silos de stockage silo 1-2-3-4-5-6-7 et 10

Les gaz poussiéreux sont aspirés par un ventilateur de tirage à travers un filtre à manche pour la récupération du Ciment et les gaz épurés sont expulsés vers l'atmosphère.

**ZONE V - EXPEDITION**

**V – EXPEDITION :**

Le Ciment est stocké dans huit silos avec une capacité de 5000T chacun ; l'expédition du Ciment se fait en sac ou en vrac.

**1/ Expédition en sac**

Elle se fait par quatre ensacheuses avec un débit de 90 T/h, chacune possède huit becs pour le remplissage des sacs. Les sacs de 50 kg sont chargés sur des camions à bennes.

**2/ Expédition en vrac**

Le remplissage se fait par un flexible (oscilloscope) branché au fond d'une trémie et qui est dirigé par l'opérateur pour le mettre à l'intérieur de la bouche de la cocotte des camions pour les remplir.

### Récapitulatif des catégories d'impacts par méthode proposées dans le logiciel Simapro

Méthodes	CML 1992	CML2000	Eco-indicateur99	EDIP 96
Nombre d'impacts	9	10	11	16
Catégorie d'impacts	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acidification</li> <li>Ecotoxicity</li> <li>Energy resources</li> <li>Eutrophication</li> <li>Greenhouse</li> <li>Humain toxicity</li> <li>Ozone layer</li> <li>Solid waste</li> <li>Summer smog</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abiotic depletion</li> <li>Acidification</li> <li>Aquatic ecotoxicity (fresh water)</li> <li>Aquatic ecotoxicity (marine)</li> <li>Eutrophication</li> <li>Global warming</li> <li>Humain toxicity</li> <li>Ozone layer depletion</li> <li>Photochemical oxidation</li> <li>terrestrial ecotoxicity</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acidification/ Eutrophication</li> <li>Carcinogens</li> <li>Climate change</li> <li>Ecotoxicity</li> <li>Fossil fuels</li> <li>Land use</li> <li>Minerals</li> <li>Ozone layer</li> <li>Radiation</li> <li>Respiratory inorganic</li> <li>Respiratory organics</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acidification</li> <li>Bulk waste</li> <li>Ecotoxicity water acute</li> <li>Ecotoxicity soil chronic</li> <li>Ecotoxicity water chronic</li> <li>Eutrophication</li> <li>Global warming</li> <li>Hazardous waste</li> <li>Humain toxicity air</li> <li>Humain toxicity soil</li> <li>Humain toxicity water</li> <li>Ozone depletion</li> <li>Photochemical smog</li> <li>Radioactive waste</li> <li>Resources</li> <li>Slages/ashes</li> </ul>

# GLOSSAIRE

GLOSSAIRE

Les termes relatifs aux notions et à la méthodologie d'Analyse de Cycle de Vie, ont été employés en accord avec les définitions établies par la norme NF EN ISO 14040 à 14043.

**Analyse d'incertitude** : procédure systématique permettant de rechercher, puis de quantifier, l'incertitude introduite dans les résultats d'un inventaire du cycle de vie par les effets cumulés de l'imprécision du modèle, de l'incertitude sur les intrants et de la variabilité des données.

**Analyse du cycle de vie, ou ACV** : compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie.

**Affectation** : imputation des flux entrant ou sortant d'un processus ou d'un système de produits entre le système de produits étudié et un ou plusieurs autres systèmes de produits.

**Aspect environnemental** : élément des activités, produits ou services d'un organisme susceptible d'interactions avec l'environnement.

**Catégorie d'impact** : classe représentant les points environnementaux étudiés à laquelle les résultats de l'inventaire du cycle de vie peuvent être affectés.

**Cendres de centrale thermique** : Résidu de la combustion des charbons dans les centrales thermiques (EDF) recueilli dans les filtres. A l'état vitreux, elles peuvent devenir actives et leur silice se combine à la chaux dégagée par l'hydratation du clinker.

**Cendres volantes** : Elles proviennent du dépoussiérage des gaz de chaudières alimentées au charbon pulvérisé. Mélangées au clinker, elles se comportent comme les pouzzolanes.

**Clinkérisation** : Passage de la matière de l'état de farine crue à l'état de clinker.

**Cuisson** : Les composés du ciment sont cuits dans des fours où, à environ 1450 °C, ils prennent une consistance pâteuse et sont proches de la fusion. A la fin de la cuisson ils forment le clinker.

**Cycle de vie** : phases consécutives et liées d'un système de produits, de l'acquisition des matières premières ou de la génération des ressources naturelles à l'élimination finale.

**Energie procédé** : apport d'énergie nécessaire dans un processus élémentaire pour mettre en œuvre le processus ou faire fonctionner l'équipement correspondant, à l'exclusion des intrants énergétiques de production et de livraison de cette énergie.

**Evaluation de l'impact du cycle de vie, ou ACVI** : phase de l'analyse du cycle de vie destinée à comprendre et évaluer l'ampleur et l'importance des impacts potentiels d'un système de produits sur l'environnement au cours de son cycle de vie.

**Extrant** : flux de produit, de matière ou d'énergie sortant d'un processus élémentaire.

**Facteur de caractérisation** : facteur établi à partir d'un modèle de caractérisation qui est utilisé pour convertir les résultats de l'inventaire du cycle de vie en unité commune d'indicateur de catégorie.

*Note : L'unité commune permet le regroupement des résultats dans un même indicateur de catégorie.*

**Flux de produits** : produits entrant ou sortant d'un système de produits en direction d'un autre.

**Flux de référence** : mesure des extrants des processus, dans un système de produits donné, nécessaire pour remplir la fonction telle qu'elle est exprimée par l'unité fonctionnelle.

**Flux élémentaire** : matière ou énergie entrant dans le système étudié, qui a été puisée dans l'environnement sans transformation humaine préalable, ou matière ou énergie sortant du système étudié, qui est rejetée dans l'environnement sans transformation humaine ultérieure.

**Flux énergétique** : intrant ou extrant d'un processus élémentaire ou d'un système de produits, exprimé en unités d'énergie.

**Flux intermédiaire** : flux de produit, de matière ou d'énergie intervenant entre des processus élémentaires du système de produits étudié.

**Frontière du système** : ensemble de critères qui spécifient quels processus élémentaires font partie d'un système de produits.

**Impact final par catégorie** : attribut ou aspect de l'environnement naturel, de la santé humaine ou des ressources, permettant d'identifier un point environnemental à problème

**Indicateur de catégorie d'impact, ou indicateur de catégorie** : représentation quantifiable d'une catégorie d'impact.

**Interprétation du cycle de vie** : phase de l'analyse du cycle de vie au cours de laquelle les résultats de l'analyse de l'inventaire ou de l'évaluation de l'impact, ou des deux, sont

évalués en relation avec les objectifs et le champ définis pour l'étude afin de dégager des conclusions et des recommandations.

**Intrant** : flux de produit, de matière ou d'énergie entrant dans un processus élémentaire.

**Inventaire du cycle de vie, ou ICV** : phase de l'analyse du cycle de vie impliquant la compilation et la quantification des intrants et des extrants, pour un système de produits donné au cours de son cycle de vie.

**Laitier de haut fourneau** : résidu de l'industriel sidérurgique. Il est issu du refroidissement rapide de la scorie fondue provenant de la fusion du minerai de fer. Ce matériau présente des caractéristiques hydrauliques latentes.

**Liant hydraulique** : un matériau minéral finement moulu qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réaction et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. » (Norme NF EN 197-1)

**Matière première** : matière première ou secondaire utilisée pour réaliser un produit.

**Mécanisme environnemental** : ensemble de processus chimiques, biologiques et physiques pour une catégorie d'impact donnée, reliant les résultats de l'inventaire du cycle de vie aux indicateurs de catégorie d'impact et aux impacts finaux par catégorie.

**Normalisation**: étape de l'évaluation d'impact dans laquelle les résultats des indicateurs sont exprimés relativement à des références bien établies.

**Point d'application de catégorie (end point)**: attribut ou aspect de l'environnement naturel, de la santé humaine ou des ressources permettant d'identifier un point environnemental à problème.

**Pouzzolane naturelle** : D'origine volcanique, cet élément améliore la qualité hydraulique des ciments.

**Processus** : ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des intrants en extrants.

**Processus élémentaire** : plus petite partie prise en compte dans l'inventaire du cycle de vie pour laquelle les données d'entrée et de sortie sont quantifiées

**Produit** : tout bien ou service.

**Produit intermédiaire** : extrait d'un processus élémentaire qui est un intrant vers d'autres processus élémentaires parce qu'il nécessite une transformation ultérieure au sein du système.

**Qualité des données** : caractéristiques des données reposant sur leur capacité à répondre aux exigences requises.

**Résultat de l'inventaire du cycle de vie, ou résultat de l'ICV** : issue d'un inventaire du cycle de vie qui catalogue les flux traversant les frontières du système et fournit le point de départ pour l'évaluation de l'impact du cycle de vie.

**Système de produit** : un ensemble de processus élémentaires liés par des flux de produit intermédiaires, qui remplissent une ou plusieurs fonctions définies. La propriété essentielle d'un système de produit est caractérisée par sa fonction et ne peut être définie seulement par ses produits finaux.

**Unité fonctionnelle** : performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une analyse du cycle de vie.

Le défi de l'industrie du ciment consiste, à produire un ciment de grande durabilité, à un coût compétitif et avec un impact environnemental minimal.