

Dédicaces

*Tout d'abord je remercie mon Dieu tout puissant pour toutes les
bénédictions.*

&

*Je tiens à faire un dédicace exceptionnelle pour une personne qu'elle
est la plus chère au monde mon père. Tu m'as tellement donné aussi
que je n'ai pas assez de mots pour t'exprimer, tout d'abord ma
reconnaissance et ma plus profonde tendresse.*

*Je dédie aussi ce modeste travail à ma mère, je veux dire que tu es la
personne que j'aime le plus au monde je prie Dieu le tout puissant de
vous garder au près de nous et de vous donner la santé et la force
pour terminer jusqu'au bout.*

A mes chers frères

Hichem. Zaki.

A mes chères sœurs

Samira. Assia. Amel

A mes amis

Abdallah. Sarah. Abdou. Idir. Mouloude. Housine. Abd el kader

A tous ceux que j'aime et qui m'aime et toute la promotion de master

« PTEPE » 2013 - 2014.

AMINE

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à remercier Dieu Tout- Puissant, pour m'avoir donné la force et la patience.

Je tiens à remercier en premier lieu Mr : M Boughedaoui Promoteur

Je tiens à remercier aussi M^{ell} L. Yasmina Mon co-promotrice pour ses conseils, ses discussions enrichissantes, ses orientations et ses encouragements.

Je remercie sincèrement les membres du Jury pour avoir accepté et pris le temps de juger ce travail.

Je tiens à remercier aussi tous ce qui a contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie, toutes les personnes qui m'ont encouragé et soutenu, de près ou de loin, durant la réalisation de ce travail

SOMMAIRE

Résumé	
Sommaire	
Introduction.....	1
I.1. Procédé de fabrication de ciment a Meftah.....	2
I.1.1. Extraction et transport des matières premières.....	3
I.1.1.1. Matières premières.....	3
I.1.1.2. Concassage des matières premières.....	4
I.1.2. Prétraitement des matières premières.....	5
I.1.2.1. Broyage.....	6
I.1.2.2. Séparation.....	6
I.1.2.3. Séchage.....	10
I.1.3. Cuisson.....	12
I.1.3.1. Réactions de la cuisson.....	14
I.1.3.2. Refroidissement.....	15
I.1.4. Broyage de ciment.....	16
I.1.4.1. Définition de ciment.....	16
II.1. Emission polluante de l'industrie cimentière.....	17
II.1.1. Source d'émission polluante.....	17
II.1.2. Types de polluant de la cimenterie de Meftah.....	17
II.1.3. La formation des polluants.....	18
II.2. Mesure des émissions polluantes.....	20
II.2.1. Mesure de particules solide.....	20
II.2.1. Opacimétrie.....	21
II.2.2. Analyse de particules gazeuses.....	22
II.2.2.1. Echantillonnage.....	23
II.2.2.2. Prélèvement.....	23

II.2.2.3. Filtration des gaz	24
II.2.2.4. Ligne chauffée	24
II.2.2.5. Refroidissement des gaz	25
II.2.3. L'analyse infrarouge « IR »	26
III.1. Définition de facteur d'émission unitaire	27
III.1.1. Calcul de facteur d'émission unitaire	27
III.2. Technique d'inventaire	30
IV.1. Méthodologie de calcul	33
IV.1.1. Objectifs	33
IV.1.2. Approche méthodologique	33
IV.1.2.1. Traitement des données brutes	33
IV.1.2.2. Périodes d'échantillonnages	34
IV.1.2.3. Calcul de masse de polluant « CO, NO _x , CH ₄ »	34
IV.2. Résultats des facteurs d'émission unitaire	37
IV.2.1. Facteur d'émission unitaire de CO	37
IV.2.2. Résultat de facteur d'émission unitaire de NO _x	39
IV.2.3. Résultat de facteur d'émission unitaire méthane	42
IV.2.4. Résultats de facteur d'émission unitaire CO ₂ combustion	44
IV.2.4. Résultats de facteur d'émission unitaire de particules	46
IV.2.5. Facteurs d'émissions unitaires polluants	48
IV.3. Discussion	49
IV.4. Comparaison	50
V. Conclusion	54
Références Bibliographique	56
Annexes	59

Liste des tableaux

Tableau I.1: Caractéristique est gisement de carrière de Meftah.....	4
Tableau I.2 : Composition du clinker à Meftah.....	5
Tableau I.3: Caractéristiques des traitements de dépoussiéage.....	8
Tableau I.4 : Caractéristiques générale du gaz de four.....	13
Tableau II.1: Poussières issus de la cheminé.....	18
Tableau II.2: Gaz issus de la cheminé.....	18
Tableau II.3: Localisation préférentielle des métaux.....	20
Tableau II.4 : Comparaison des diverses méthodes de mesure des particules.....	21
Tableau II.5 : Critères de fonctionnement des analyseurs du gaz.....	22
Tableau III.1: Facteur d'émission unitaire de CO, NO ₂ , particule par pays.....	28
Tableau III.2: Résultats de facteur d'émission unitaire par cas étudié.....	29
Tableau III.3: Facteur d'émission unitaire de CO ₂ de différente source.....	29
Tableau III.4 : Comparaison de facteur d'émission basé sur l'émission de CO ₂	29
Tableau IV.1: Valeurs statistiques des différents facteurs d'émission de polluants.....	33
Tableau IV.2: Nombre de mesure traité.....	34
Tableau IV.3 : Facteur d'émission unitaire polluant.....	48
Tableau IV.4 : Comparaison de facteur d'émission unitaire de CO par pays.....	53
Tableau 1:Facteur d'émission unitaire moyenne mensuelle de CO.....	59
Tableau A2: Facteur d'émission moyen par classe de débit clinker.....	60
Tableau A3:Facteur d'émission unitaire moyenne mensuelle de NO _x	60
Tableau A4: Facteur d'émission unitaire moyen de NO _x par classe de débit de clinker....	61
Tableau A5: Facteurs d'émissions unitaire de NO _x par classe de température.....	61
Tableau A6:Facteur d'émission unitaire mensuelle de CH ₄	62

Tableau A7 : Facteur d'émission moyen de CH4 par classes de production de clinker.....	62
Tableau A8: Facteur d'émission de CO2 de combustion par classe de débit clinker.....	63
Tableau A9 : Facteur d'émission de CO2 combustion par classe da date mensuelle.....	63
Tableau A10: Facteur d'émission moyen de particule par classe de débit de clinker.....	64
Tableau A11: Facteur d'émission moyen de particule par classe de date.....	64

V. Conclusion

L'analyse et le traitement des données de mesures des polluants effectuées expérimentalement à l'unité de Meftah a permis de déterminer les facteurs d'émission unitaire de polluants :CO, CO₂, CH₄, NO_x, particules. Les niveaux de CO, CH₄ trouvés restent faible compte tenu du combustible qu'est le gaz naturel utilisé et le contrôle de la combustion au niveau de four et des bruleurs installés. Les valeurs moyennes pondérés, avant et après la modification de procédé, sont calculées respectivement 0.94, 0.88 mg CO/t clinker et 0.53, 0.42 mg CH₄/t clinker. Le niveau des NO_x s'est vu réduire presque du tiers (1/3) à la suite de l'installation des bruleurs sans l'installation du procédé DéNO_x.

Le calcul des émissions unitaire du CO₂ est décliné en deux parties : celle relative à la combustion de gaz naturel et celle due à la décarbonatation. Il ressort que le niveau d'émission de CO₂ arrive 682 kg CO₂/t clinker à Meftah en raison de la teneur de clinker de le ciment algérien et du CaO dans le clinker. Le CO₂ due à la combustion est évalué à 300.83 kg CO₂/t clinker et à 181.93 kg CO₂/t clinker respectivement avant et après la modification du procédé. Ceci montre l'importance des améliorations effectuées sur le procédé pour la réduction des émissions polluantes et à la consommation énergétique.

Des facteurs d'émissions unitaires moyens pondérés sont déterminés pour tout usage de calcul d'inventaire ou de modélisation de la dispersion des polluants, de l'évaluation de la qualité de l'air et des impacts sur l'environnement.

Ces facteurs d'émission unitaire peuvent être utilisés dans le développement de projet d'atténuation de gaz à effet de serre ou dans le développement de toute mesure réglementaire ou de politique visant le contrôle ou la réduction des émissions de polluants en Algérie.

Ce travail est effectué pour une seule unité, celle de Meftah, qui mérite d'être étendu aux autres cimenteries Algériennes. Par ailleurs, ce travail n'a pas inclus le calcul d'incertitude qui mérite d'être développé pour la démonstration de ces calculs.

La série de données traitées couvre dix-sept mois d'activités de la cimenterie qui comprend une période d'arrêt pour une modification du procédé. La durée ayant couvert des mesures post-modification du procédé est de seulement de six mois. Il

serait fort intéressant de poursuivre le travail pour le calcul sur une plus longue durée afin de vérifier les performances obtenues à ce stade et de confirmer la stabilité des niveaux de pollution enregistrés.

Bibliographie

- [1]. PliskinCacien. La fabrication de ciment. Paris : Eyrolles, 1993, 217P
- [2]. CETIM. Audit environnemental de Cimenterie de Meftah. Boumerdes. Avril 2007.
- [3]. Antoine Morandea. Carbonatation atmosphérique des systèmes cimentiers a faible teneur en portlandite. Thèse de doctorat en génie civile. Université de Paris-Est. 2013, 235p.
- [4]. Cances Julien. Formation et réduction du NO_x par charbon, un lignite, un anthracite et une coke de pétrole dans les conditions d'un précalcinateur de cimenterie. Thèse de doctorat. Toulouse, Institut National Polytechnique, 2006, 241p.
- [5]. EEA. Cement production. EMEP/EEA emission inventory guide book 2013.
<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook>
(Consulté le 24/03/2014).
- [6]. IPCC. Procédé Industriels.
http://www.ipcc-nggip.iges.org.jp/public/gp/french/gpgaum_fr.html
(Page consultée le 13/02/2014).
- [7]. BELBOOM S. Influence de l'utilisation des combustibles de substitution sur le cycle de vie de ciment. Thèse d'ingénieur Civil Chimiste. Université de Liège. 2008. 124p.
http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/114261/1/TFE_SBelboom
(Consulté le 28/04/2014)
- [8]. Groupe SNEF. Système d'analyse gaz pour four de cimenterie. Disponible sur site : www.ICER.fr
(Consulté le 10/07/2014)
- [9]. Groupe SNEF. Système d'analyse gaz pour four de cimenterie. Disponible sur site : www.ICER.fr
(Consulté le 10/07/2014)
- [10]. Benhelal E Zahedi G et al. Global strategies and potentials to curb CO₂ emissions in cement industry. Cleaner Production Review, 2013, 51, p142-161

- [11]. Pierre Blazy. et al. Technique d'ingénieur opération unitaire-Génie de la réaction chimique, 1992.
- [12]. Erik GUILLAUME, opacité et visibilité à travers des fumées d'incendie. Technique d'ingénieur risque d'incendie, 2014..
- [13]. Robert BUSTIN, Alexander BOCON, Aloin REGNAULT, four de cimenterie-atelier de cuisson de clinker. Technique d'ingénieur chaudière et four industriel, 2000.
- [14]. Diane THOMAS. NO (oxide d'azote). Technique d'ingénieur traitement de l'air, 2009. Base documentaire : 42446210.
- [15]. Pierre LAZY, El-Aïd JDID, Jacques YVON. Fragmentation. Technique d'ingénieur opération unitaire : tri et traitement des liquide et des solide, 2006.
- [16]. Pierre LE CLOIREC. Traitement des fumées. Technique d'ingénieur économie et environnement. 2006
- [17]. Bernard SIRET. Dépoussiérage et dévésiculage. Technique d'ingénieur opération unitaire : traitement des gaz. 2001.
- [18]. Laurence LE COQ. Elimination des particules. Technique d'ingénieur traitement de l'air. 2006.
- [19]. Alain Navarro. Déchet en cimenterie-contexte générale. Technique d'ingénieur gestion des déchets. 2004.
- [20]. Michel DALIBART, Laurent SERVONT. Spectroscopie dans l'infrarouge. Technique d'ingénieur [Archive] technique d'analyse. 2000.
- [21]. Jin-Hua Xu, Canpolat, et al. Energy consumption and CO2 emissions in China's cement industry: A perspective from LMDI decomposition analysis. Energy policy. 2002, 50, p 821-832.
- [22]. Baris R. Canpolat, Aysel T. Atimtay, et al. Emission factors of cement industry in Turkey. Kluwer Academic Publishers. 2002, p 235-252.
<http://download.springer.com.www.snd11.arn.dz/static/pdf/>
- [23]. Lei Shen, Tianming Cao, et al. Factory-level measurements on CO2 emission factors of cement production in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014, 34, p 337- 349.
<http://www.ignrr.cas.cn/xwzx/jxltwtj/201405/P020140522355603140914.pdf>
- [24]. Jing Ke et al. Estimation ofCO2 emissions from China's cement production: Methodologies and uncertainties. Energy Policy. 2013, 57, P 172–181.
<http://ac.els-cdn.com/S0301421513000359/1-s2.0-S0301421513000359-main.pdf>

[25]. Yu Lei et al. An inventory of primary air pollutants and CO₂ emissions from cement production in China, 1990-2020. *Atmospheric Environment*. 2011, 45, P 147-154

<http://ac.els-cdn.com/S1352231006003645/1-s2.0-S1352231006003645-main.pdf>

Annexes

Tableau 1: Facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de CO

Classes de date (mensuelle)	EF Moy (mg CO/t clinker)	Ecart-type (mg CO/t clinker)
T <10/05/2013	2.40	3.21
10/05/2013 ≤ T <01/06/2013	1.05	0.67
01/06/2013 ≤ T <02/07/2013	0.86	0.40
02/07/2013 ≤ T <01/08/2013	1.69	2.96
01/08/2013 ≤ T <01/09/2013	1.07	1.85
01/09/2013 ≤ T <08/10/2013	1.13	1.03
08/10/2013 ≤ T <01/11/2013	0.98	1.65
01/11/2013 ≤ T <01/12/2013	0.86	0.27
01/12/2013 ≤ T <01/01/2014	0.96	0.25
01/01/2014 ≤ T <06/04/2014	1.07	0.31
06/04/2014 ≤ T <01/05/2014	2.02	3.66
01/05/2014 ≤ T <02/06/2014	0.90	0.30
02/06/2014 ≤ T <01/07/2014	0.69	2.59
01/07/2014 ≤ T <01/08/2014	0.66	2.46
01/08/2014 ≤ T <01/09/2014	0.51	0.14
01/09/2014 ≤ T <01/10/2014	1.19	0.75
T >01/10/2014	3.07	0.61

Tableau A2: Facteur d'émission moyen par classe de débit clinker

Débit clinker (t/h)	FE moy (mg CO/t clinker)	Ecart-type (mg CO/t clinker)
25	8.38	12.59
75	1.86	1.32
125	0.93	0.24
175	0.87	0.20
200	0.74	0.69
220	0.98	0.94

Tableau A3: Facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de NOx

Période	FE mensuelle (g NOx/t clinker)	Ecart-type (g NOx/t clinker)
T < 10/05/2013	61.38	24.02
10/05/2013 ≤ T < 01/06/2013	29.15	14.32
01/06/2013 ≤ T < 01/07/2013	30.89	16.66
01/07/2013 ≤ T < 01/08/2013	49.20	27.65
01/08/2013 ≤ T < 01/09/2013	42.94	24.26
01/09/2013 ≤ T < 01/10/2013	52.42	32.14
01/10/2013 ≤ T < 01/11/2013	58.76	26.22
01/11/2013 ≤ T < 01/12/2013	57.80	19.99
01/12/2013 ≤ T < 01/01/2014	55.51	14.62
01/01/2014 ≤ T < 01/04/2014	52.32	25.08
01/04/2014 ≤ T < 01/05/2014	59.50	38.26
01/05/2014 ≤ T < 01/06/2014	37.98	13.38
01/06/2014 ≤ T < 01/07/2014	28.43	13.41
01/07/2014 ≤ T < 01/08/2014	26.14	10.68
01/08/2014 ≤ T < 01/09/2014	23.00	6.92
01/09/2014 ≤ T < 01/10/2014	35.19	17.81
T > 01/10/2014	32.24	7.72

Tableau A4: Facteur d'émission unitaire moyen de NOx par classe de débit de clinker

Classe de débit de clinker (t/h)	FEmoyen (g NOx/ t clinkers)	Ecart-type (g NOx/ t clinker)
$2 \leq D < 25$	84.67	56.73
$25 \leq D < 75$	81.34	44.70
$75 \leq D < 125$	47.04	20.20
$125 \leq D < 175$	39.02	20.02
$175 \leq D < 200$	25.14	7.14
$200 \leq D < 220$	27.41	6.14

Tableau A5: Facteurs d'émissions unitaire de NOx par classe de température

Classes de température moyenne (°k)	FE Moy (g NOx/t clinker)	Ecart-type (g NOx/t clinker)
$T < 550$	44.01	23.61
$550 \leq t < 610$	23.61	53.07
$610 \leq t < 630$	37.64	16.07
$630 \leq t < 680$	47.22	32.55
$680 \leq t < 700$	70.31	40.03
$T > 700$	68.32	41.48

Tableau A6: Facteur d'émission unitaire mensuelle de CH₄

Périodes	FE Moy (mg CH₄/t clinker)	Ecart-type (mg CH₄/t clinker)
12/08/2013 ≤ T < 01/09/2013	0.45	0.38
01/09/2013 ≤ T < 08/10/2013	0.69	0.45
08/10/2013 ≤ T < 01/11/2013	0.60	0.60
01/11/2013 ≤ T < 01/12/2013	0.27	0.08
01/12/2013 ≤ T < 01/01/2014	0.51	0.22
01/01/2014 ≤ T < 13/04/2014	0.59	0.46
13/04/2014 ≤ T < 01/05/2014	1.45	0.50
01/05/2014 ≤ T < 01/06/2014	0.83	0.75
01/06/2014 ≤ T < 01/07/2014	0.23	0.52
01/07/2014 ≤ T < 01/08/2014	0.39	0.45
01/08/2014 ≤ T < 01/09/2014	0.31	0.18
01/09/2014 ≤ T < 01/10/2014	0.30	0.50
T > 01/10/2014	0.41	0.11

Tableau A7 : Facteur d'émission moyen de CH₄ par classes de production de clinker

Classes de débit (t/h)	EF Moy (mg CH₄/t clinker)	Ecart-type (mg CH₄/t clinker)
2 < D < 25	7.02	6.28
25 ≤ D < 75	1.34	1.31
75 ≤ D < 125	0.55	0.37
125 ≤ D < 175	0.66	0.37

$175 \leq D < 200$	0.3	0.16
$200 \leq D < 220$	0.36	0.34

Tableau A8: Facteur d'émission moyen de CO2 de combustion par classe de débit clinker

Classe débit clinker (t/h)	EF Moy (kg CO2/t clinker)	Ecart-type (t CO2/t clinker)
D <25	528.03	328.20
25 ≤ D <75	355.78	73.73
75 ≤ D <125	306.42	26.14
125 ≤ D <175	249.43	34.84
175 ≤ D <200	181.56	7.28
200 ≤ D <220	170.26	7.33

Tableau A9 : Facteur d'émission moyen de CO2 combustion par classe da date mensuelle

Classes date (mensuelle)	EF moy (t CO2/t clinker)	Ecart-type (t CO2/t clinker)
14/05/2013 ≤ T <01/06/2013	313.51	34.21
01/06/2013 ≤ T <02/07/2013	301.23	29.21
02/07/2013 ≤ T <01/08/2013	283.59	54.46
01/082013 ≤ T <01/09/2013	272.32	28.70
01/09/2013 ≤ T <08/10/2013	292.77	32.63
08/10/2013 ≤ T <01/11/2013	321.76	25.05
01/11/2013 ≤ T <01/12/2013	332.53	24.51
01/12/2013 ≤ T <09/01/2014	250.01	25.76
06/04/2014 ≤ T <01/05/2014	182.83	64.47
01/05/2014 ≤ T <01/06/2014	180.99	34.42
01/06/2014 ≤ T <01/07/2014	190.76	36.89
01/07/2014 ≤ T <01/08/2014	183.87	50.65
01/08/2014 ≤ T <01/09/2014	184.02	17.46
01/09/2014 ≤ T <01/10/2014	194.68	53.38
01/10/2014 ≤ T <12/10/2014	163.53	21.11

Tableau A10: Facteur d'émission moyen de particule par classe de débit de clinker

Débit de clinker (t/h)	EF particule (kg particule/t clinker)	Ecart-type
25	11.5	0.73
75	1.68	3.16
125	0.36	2.04
175	0.16	1.28
200	0.08	0.3
220	0.13	0.48

Tableau A11: Facteur d'émission moyen de particule par classe de date

Classe date (mensuelle)	EF particule moy (t particule/t clinker)	Ecart-type (t particule/t clinker)
T <09/10/2013	0.52	0.58
09/10/2013 ≤ T <01/11/2013	0.51	1.33
01/11/2013 ≤ T <01/12/2013	0.46	1.08
01/12/2013 ≤ T <01/01/2014	0.42	1.19
01/01/2014 ≤ T <10/04/2014	0.63	2.19
10/04/2014 ≤ T <01/05/2014	1.25	4.56
01/05/2014 ≤ T <01/06/2014	0.24	0.90
01/06/2014 ≤ T <01/07/2014	0.11	0.63
01/07/2014 ≤ T <01/08/2014	0.25	1.79
01/08/2014 ≤ T <01/09/2014	0.14	0.65
01/09/2014 ≤ T <01/10/2014	0.07	0.12
01/10/2014 ≤ T <12/10/2014	0.12	0.34

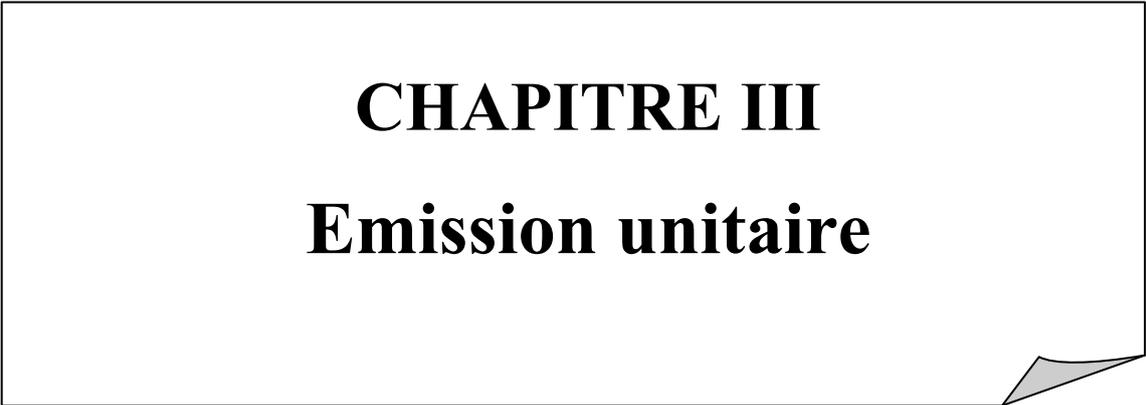
Introduction

CHAPITRE I

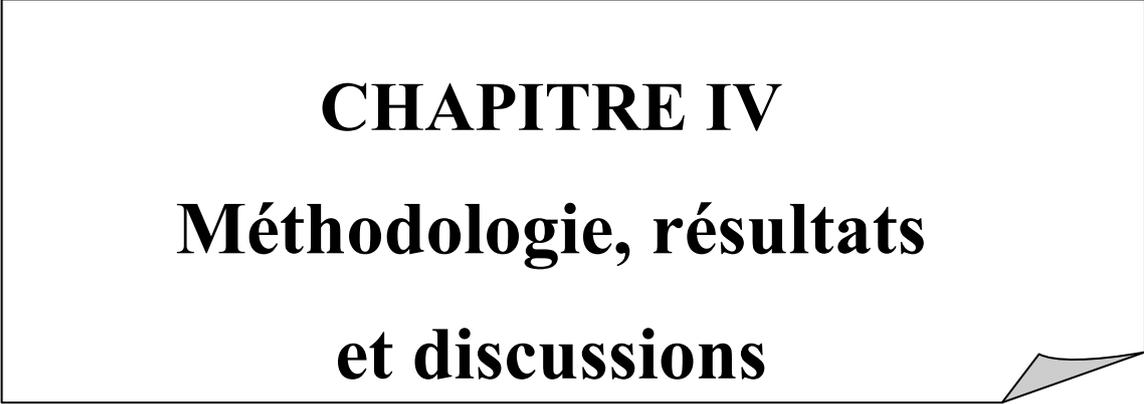
Procédé de fabrication de ciment

CHAPITRE II
Emission polluantes

CHAPITRE III
Emission unitaire



CHAPITRE IV
Méthodologie, résultats
et discussions



CONCLUSION

I.1. Procédé de fabrication de ciment de Meftah

La fabrication du ciment est une industrie importante de produit minéraux. En cour de fabrication le processus consomme énormément des ressources d'énergie non renouvelable. Il ya quatre types du procédé de fabrication de ciment – sèche, semi sèche, humide et semi humide. Le choix du procédé est dans une large mesure déterminés par l'état de la matière première (sèche ou humide), les procédés humides consomment plus d'énergie et sont donc plus couteux. [1]

- **Fabrication de ciment-semi sèche:** Farine cru est agglomérée avec de l'eau et introduite dans le dispositif de préchauffage à grille en amont du four ou dans un long four équipé de croix.
- **Fabrication de ciment-humide :** les matières premières (souvent a haute teneur en humidité) sont broyées dans de l'eau pour former une bouillie pompable. Ce mélange est ensuite introduit directement dans le four. Cependant, leur besoin d'énergie est plus élevé en raison de la quantité d'eau dans le mélange qui doit évaporée avant la calcination eu lieu.
- **Dans le procédé semi-humide :** la pâte est d'abord déshydratée dans un sécheur des matières premières.
- **Dans le procédé par voie sèche :** qui est utilisée au niveau de la cimenterie de Meftah les matières premières sont broyées et séchées a cru sous forme d'une poudre fluide. Le cru est ensuite introduit dans le dispositif de préchauffage ou pré-calcination four, ou plus rarement dans un four a long sec. Ce procédé évite l'emploi de suspension de matériaux, par conséquent est beaucoup moins énergivore. [15]

La production de ciment implique généralement quatre étapes :

- Extraction et transport des matières premières.
- Production de clinker.
- Production de ciment.
- Stockage et distribution de ciment [5].

I.1.1. Extraction et transport des matières premières

La production de ciment nécessite un mélange de minéraux contenant de l'oxyde de calcium, l'oxyde de silicium, l'oxyde d'aluminium et l'oxyde ferreux. Les principales matières premières, sont le calcaire et de schiste « argile », sont extraite de carrières qui sont presque toujours exploitées à ciel ouvert. L'extraction des roches s'effectue par deux méthodes directes par ripage ou bien après abatage à l'explosif. [1]

Dans la plus part des cas, la carrière est proche de l'usine. Après le concassage primaire, les matières premières sont acheminées vers l'usine de ciment pour le stockage et la préparation ultérieure. D'autres matières premières sont amenées d'ailleurs. Les matières premières, dans des proportions contrôlées sont broyer et mélanger ensemble pour former un mélange homogène avec des spécifiqués stricts, concernent la finesse et la composition chimique [5].

I.1.1.1. Matières premières

➤ Carrière

L'extraction après abatage est la méthode d'extraction la plus rependue, particulièrement pour les roches dure. Cette méthode consiste à fragmenter le massif exploité à l'aide d'explosif afin que les matériaux soit repris par des engins et acheminé a l'usine, l'extraction compris plusieurs étapes :

- Etablissement du plan de tir.
- Forage.
- Transport Les matériaux [2].

Différents matériel utilisés pour le transport des matériaux comme :

- **Les transporteurs à bande** : sont généralement associés aux engins de reprise automatique, tels que roues-pelles ou excavateurs a godets, leur emploi suppose que les matériaux à transporter ne se présentent pas en gros blocs [1].

I.1.1.2. Concassage des matières premières

Il comprend une chaîne d'opération qui donne des particules de dimensions inférieures au centimètre. Pour les roches dures et abrasives, on choisit des appareils agissant par compression lente, car la résistance de la roche à l'écrasement augmente très vite avec la vitesse de mise en charge et l'utilisation d'appareils à exploration conduit à des taux d'usage prohibitifs. Les matériels couramment utilisés sont [11].

- **Les concasseurs à impact :** constituée à l'intérieur d'un carter tournant à vitesse élevée deux rotors de grande masse équipés de battoires frappent les matériaux introduits et les projettent sur des écrans de chocs contre lesquels ils se fragmentent.
- **Les concasseurs à marteaux :** ont des rotors portant sur leur périphérie des axes sur lesquels s'articulent des masses de choc autonomes (marteaux). Les marteaux peuvent avoir des formes diverses. Ce concasseur présente des grilles à la partie inférieure provoquant une rétention plus ou moins longue dans la chambre de concassage [15].
- **Les concasseurs à rouleaux :** comportent deux rouleaux lisses ou dentés tournant en sens inverse. Ils sont conviennent aux matériaux durs et abrasifs.
- **Les concasseurs à mâchoire :** la chambre de concassage est constituée par deux mâchoires disposées en V dont l'une est fixe et l'autre mobile. Cette dernière est articulée autour d'un axe horizontal qui peut être placé à la partie supérieure ou inférieure de l'appareil. Les matériaux sont concassés par compression et sont évacués par gravité [15].

Tableau I.1: Caractéristiques du gisement de la carrière de Meftah [2].

Caractéristiques	Gisements	
	Calcaire	Argile
Durée de vie	40ans	
Réserves en millions de tonnes	79 000 000	20 000 000
Mode de détention du gisement	Concession d'exploitation	
Distance de l'usine	1Km	4Km
Mode d'acheminement	Transport par tapis	Transport routier

I.1.2. Prétraitement des matières premières

La préparation de cru est constituée par un mélange de matière première naturelle de composition chimique adéquate. Les matières extraites de la carrière contiennent les éléments nécessaires de la fabrication de ciment dans des proportions bien définies. Il est donc nécessaire de créer un mélange optimisé de matières premières qui présente la composition requise [5].

Une combinaison essentielle des différents matériaux préalablement concassés et broyés doit être réalisée de manière à disposer d'un mélange de caractéristique chimique et physique uniformes dans la masse. Des procédés d'homogénéisation spécifique permettent la mise en œuvre en deux temps : le pré homogénéisation des matériaux provenant directement des carrières et l'homogénéisation ultérieure des matériaux pré-homogénéisés avec d'autres matériaux complémentaires [1].

Cette phase permet la préparation du cru est l'opération qui consiste à réaliser un mélange homogène de calcaire, d'argile et éventuellement des matériaux complémentaires, dans les proportions permettent d'obtenir un clinker dont la composition chimique respecte les limites précisées par le tableau suivant [1] :

Tableau I.2 : Composition du clinker à Meftah [1].

Oxydes	Teneur %	
CaO	80	Minimum
SiO ₂	6	Maximum
Al ₂ O ₃	2	Maximum
Fe ₂ O ₃	1.3	Maximum
MgO	0.5	Maximum
P ₂ O ₅	0.2	Moyenne
TiO ₂	0.2	Moyenne

Les matières premières de base doivent contenir les quatre oxydes indispensable a la fabrication du clinker : la chaux CaO, la silice SiO₂, l'alumine Al₂O₃ et l'oxyde ferrique Fe₂O₃. Ces composants se trouvent dans les gisements en proportion variable. Il faut donc élaborer des mélanges des matières de base : calcaire, argile de façon à obtenir la composition chimique voulu. Généralement, on est obligé d'affiner cette compostions par l'ajout d'autre produit de carrière ou de sous-produit industriel [1].

Les principaux ajouts correctifs sont :

- Le sable, minerais de fer, argile.
- Les cendres volantes : résidu de la combustion de charbon.
- Les cendre de pyrite, la bauxite, les laitiers de haut-fourneau, les schistes.

Il convient cependant de noter que les meilleurs clinkers sont obtenus à partir de cru très fins, cette finesse de broyage est un élément essentiel qui est déterminé expérimentalement en fonction des matériaux particuliers utilisés par chaque usine et compte tenu du coût des opérations de broyage [5].

I.1.2.1. Broyage

Le broyeur à boulet utilisé à l'usine, est constitué par un cylindre métallique rotatif, il est composé de deux compartiments remplis de boulet en acier. La première pour le dégrossisseur et l'autre pour le finisseur, le principal rôle de broyeur à boulet est la fragmentation de grain de matières [2].

Le choix des broyeurs à boulets s'impose pour atteindre des finesses de l'ordre de quelques centaines à quelques dizaines de micromètres. Leur coût opératoire est très élevé, il s'agit d'usure ou d'énergie [11].

I.1.2.2. Séparation

On a principalement deux types de séparateurs :

I.1.2.2.1. Séparateurs matière-matière

1. Séparateurs dynamiques

Dans ce domaine il existe trois générations d'appareils qui utilisent l'opposition des forces aérodynamiques provoquées par une circulation d'air ou gaz avec les forces centrifuges provoquées par un disperser et les forces de gravité, mais quel que soit le type de séparateur, il est composé de :

- Une chambre de séparation.
- Un variateur de vitesse permet le réglage de séparation.
- Un ventilateur
- Un organe de captage de fines.[1].

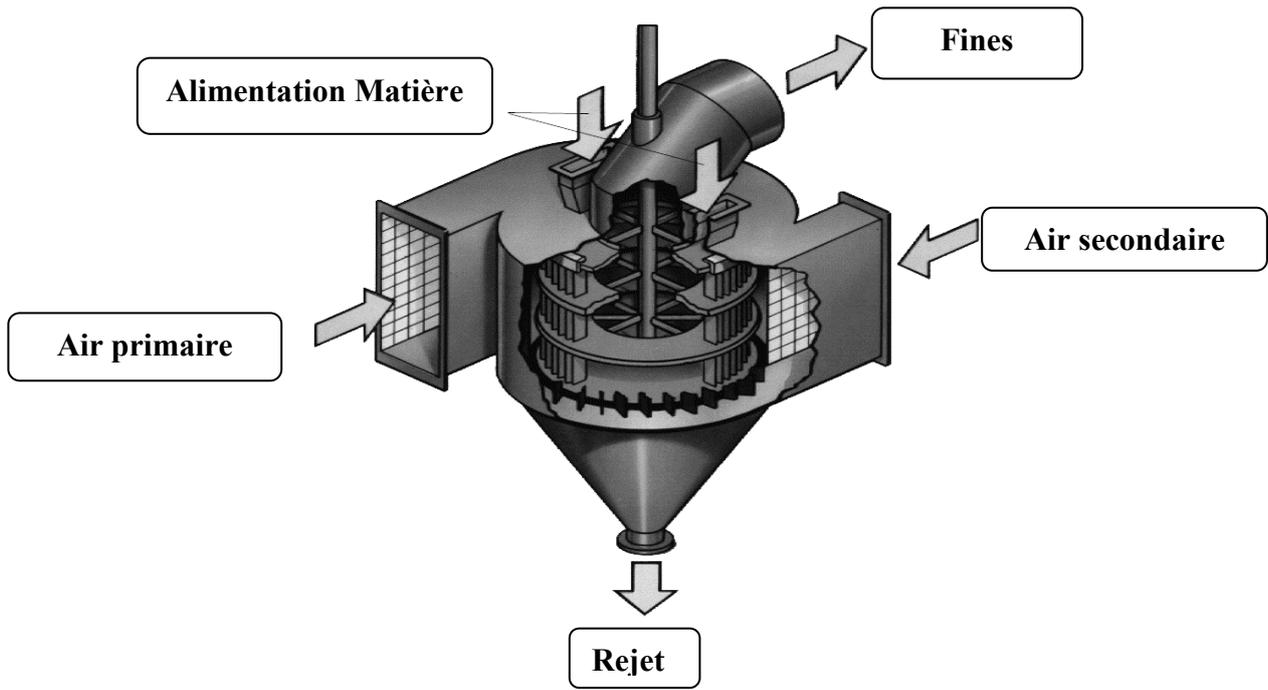


Figure II.1: separateur dynamique

2. Séparateurs statiques

Les séparateurs sont constituées de deux troncs de cône coaxiaux entre lesquels circule un flux gazeux porteur de la matière. Ce flux subit des variations de vitesse et de direction, sa vitesse décroît dans le cône extérieur et il entre en rotation dans la partie supérieure sous l'effet de la déviation imposée par des déflecteurs réglables. Ce type de séparateur est utilisé sur le circuit gazeux à la sortie du broyeur à boulet. [1]

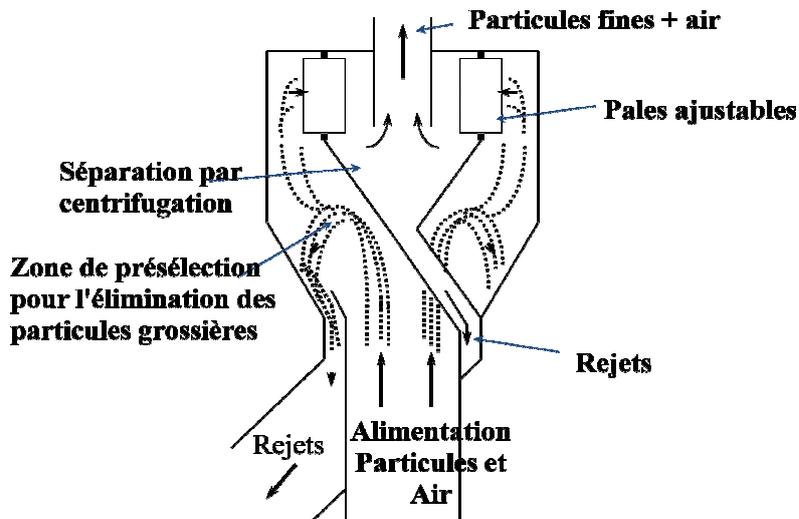


Figure II.2 : séparateur statique

I.1.2.2.2. Séparateur gaz-matière

Les fumées sont des mélanges complexes de polluants en termes dimensionnels et de propriétés. Elles comprennent des poussières, de la vapeur d'eau et un large spectre de molécules de caractéristiques très différentes. Le traitement de fumées sera la mise en œuvre d'une série d'opérations unitaires pour obtenir la qualité de la décharge dans un gaz selon les normes. Une gamme de procédés est utilisable pour le traitement des particules Solides. Les systèmes d'épurations sont définis en fonction de la distribution de tailles des particules à éliminer. Afin de compléter cette approche générale, le tableau 3 présente des caractéristiques de traitement de dépolluissage [16].

Tableau I.3: Caractéristiques des traitements de dépolluissage [16].

Technique séparative	Matériels	Avantage	Inconvénients
Electrique	Electrofiltre	Faible consommation d'énergie Grande efficacité de Filtration	Inadaptation aux variations brutales de la résistivité des poussière set des caractéristiques du flux gazeux
Couche poreuse	Filtres à manches	Grande efficacité de Filtration Possibilité de piéger certains polluants gazeux	Consommation élevée d'énergie Sensibilité des médias filtrants à la température

1. Filtre à manche

C'est l'installation qui sert à nettoyer l'air poussiéreux, le flux gazeux traiter traverse un média fibreux mis en forme de cylindres (ou manches) ou de parallélépipèdes rectangles (ou poches). Le média filtrant retient les poussières qui obstruent progressivement les pores du média, améliorant ainsi l'efficacité de capture des particules tout en augmentant progressivement la perte de charge. Pour une perte de charge maximale donnée, le filtre doit être régénéré par évacuation des poussières accumulées en surface du média fibreux [18].

2. Electrofiltre

Ce sont des appareils très utilisés par l'industrie cimentière, Les particules en mouvement dans l'air présentent très souvent une faible charge électrique due à leur composition chimique. En se basant sur le potentiel de charge d'une particule, le principe de l'électrofiltre (figure I.3) repose sur l'apport par un procédé externe d'une charge électrique suffisante et contrôlée. Les poussières sont chargées par ionisation de l'effluent gazeux qui les porte, sous l'action d'une forte tension électrique négative (effet couronne). Elles sont ensuite piégées par l'action du champ électrique élevé créé entre l'électrode émissive (un fil) et une électrode collectrice (le plus souvent une plaque) [18].

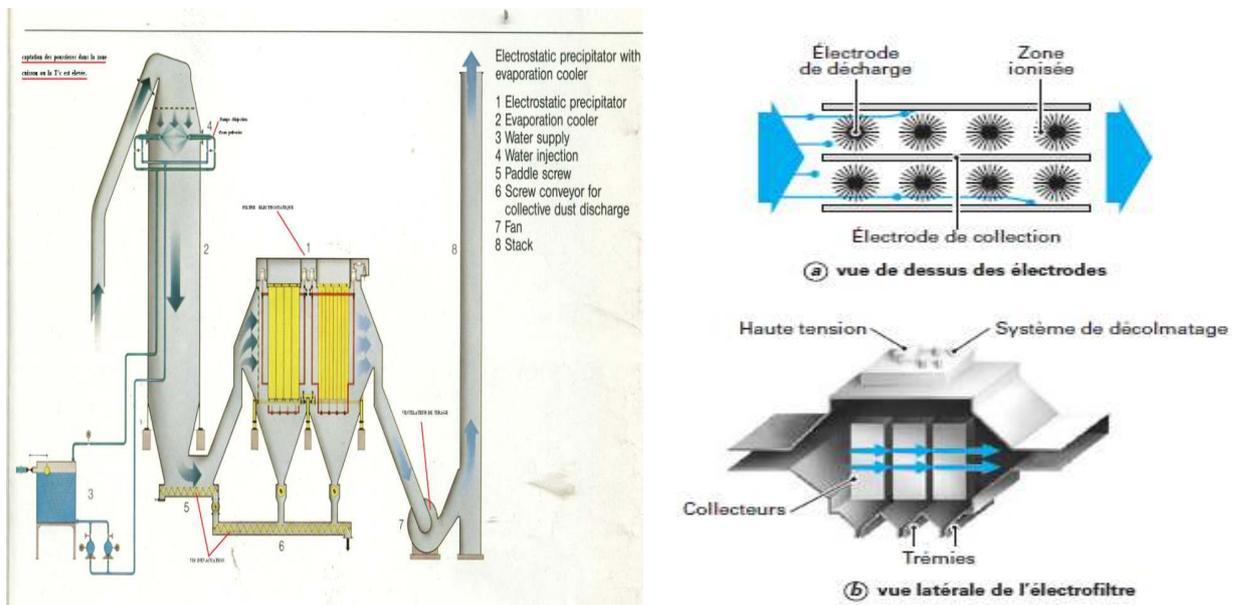


Figure I.3 : Schéma de principe d'un électrofiltre industriel.

I.1.2.3.Séchage

A part le sable, qui se verse directement dans le broyeur sans passer par l'atelier cru, puisqu'il contient des éléments abrasifs, qui peuvent sceller l'usure des marteaux, et à la diminution de vie du concasseur ainsi que le circuit (APS). Les trois autres matières se déversent par les doseurs vers la trémie du concasseur à marteaux, situé au bas de la tour de l'atelier. Les matières concassées sont aspirées par un ventilateur avec les gaz chauds venant du four à l'aide d'une gaine et une autre auxiliaire relié à un générateur à gaz chauds (GGS) assurant l'alimentation de la tour en gaz chauds, en cas d'arrêt du four, pour le séchage des matières. Le produit fini traverse un conduit par un séparateur statique pour la récupération de la farine grâce à l'effet gravitationnel et la force centrifuge, le produit fini est transporté vers l'atelier homogénéisation. Les autres gaz sortants du séparateur suivent leur circuit vers la tour de conditionnement pour une ionisation avant la filtration [1].

En ce qui concerne la matière récupéré du séparateur statique, elle passe à travers une presse à rouleaux avant de retourner au concasseur, ou bien transportés vers le broyeur. [1]

Le premier objectif de la tour est d'obtenir un produit semi fini à des caractéristiques suivantes :

- Granulométrie : $12 < r < 14$.
- Humidité résiduelle : 0.5 % [2].

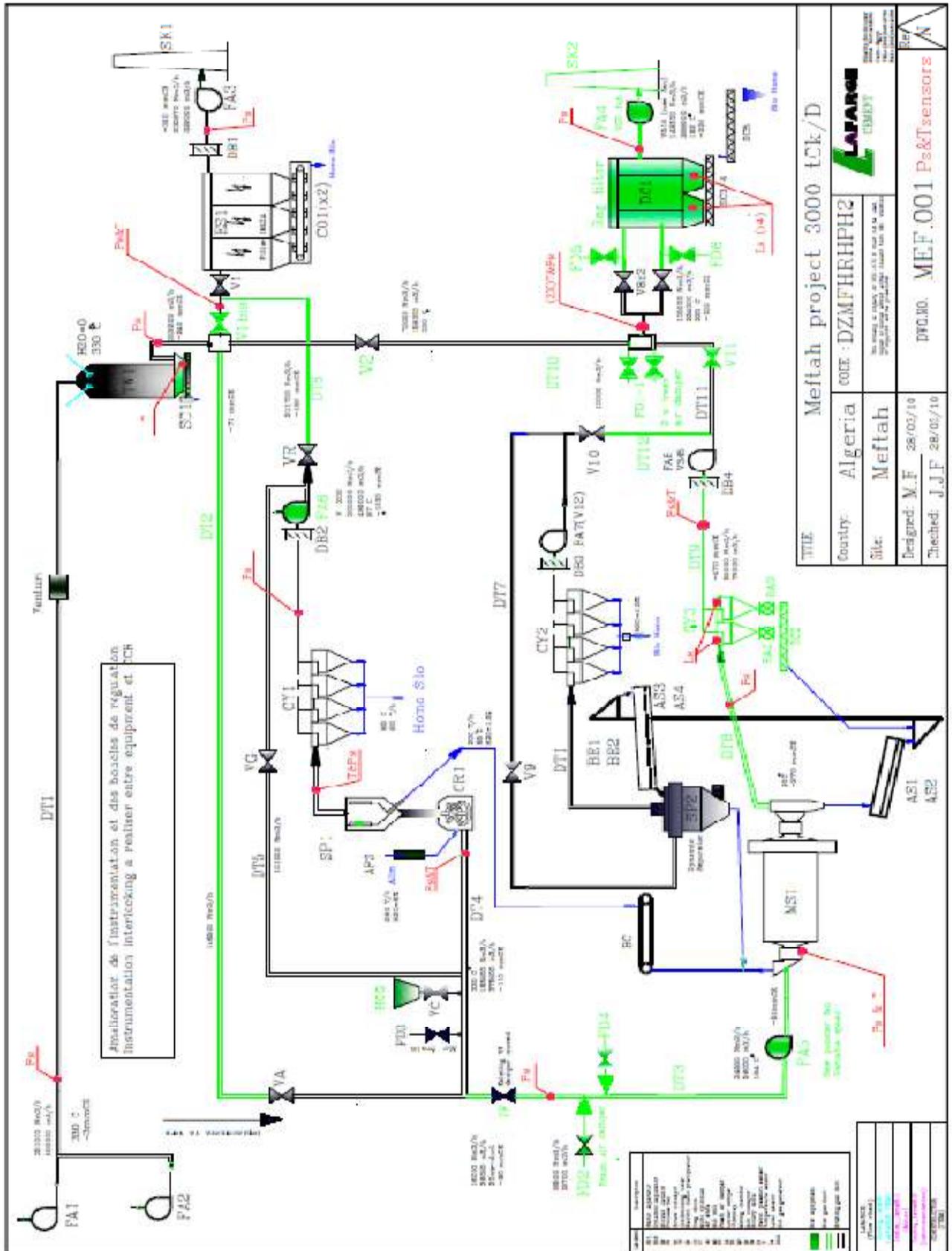


Figure I.4 : Circuit matière de l'atelier cru

I.1.3.Cuisson

Cette partie du procédé de production est la plus importante en termes d'apport d'énergie, potentiel d'émission sur la qualité des produits et du cout. La production de clinker se fait dans un four, dans lequel les minéraux du mélange brut sont transformés à des températures élevées entre 1450 à 1500 °C donne de nouveaux minéraux possédant des propriétés hydrauliques. Les fines particules du mélange brut se déplacent à partir de l'extrémité froide à l'extrémité chaude du système de four et en sens inverse. Concernent les gaz de combustion. Cela se traduit par un transfert efficace de chaleur et d'énergie.



Figure I.5: Exemple de four rotatif

Avant le passage du système du four, le mélange passe par un échangeur à cyclone « préchauffage », constituée de plusieurs étages de cyclones, en général quatre étage. Ce nombre est le meilleur compromis entre le cout d'investissement et le cout d'exploitation avec un faible cout d'énergie thermique, « figure II.6 » [13].

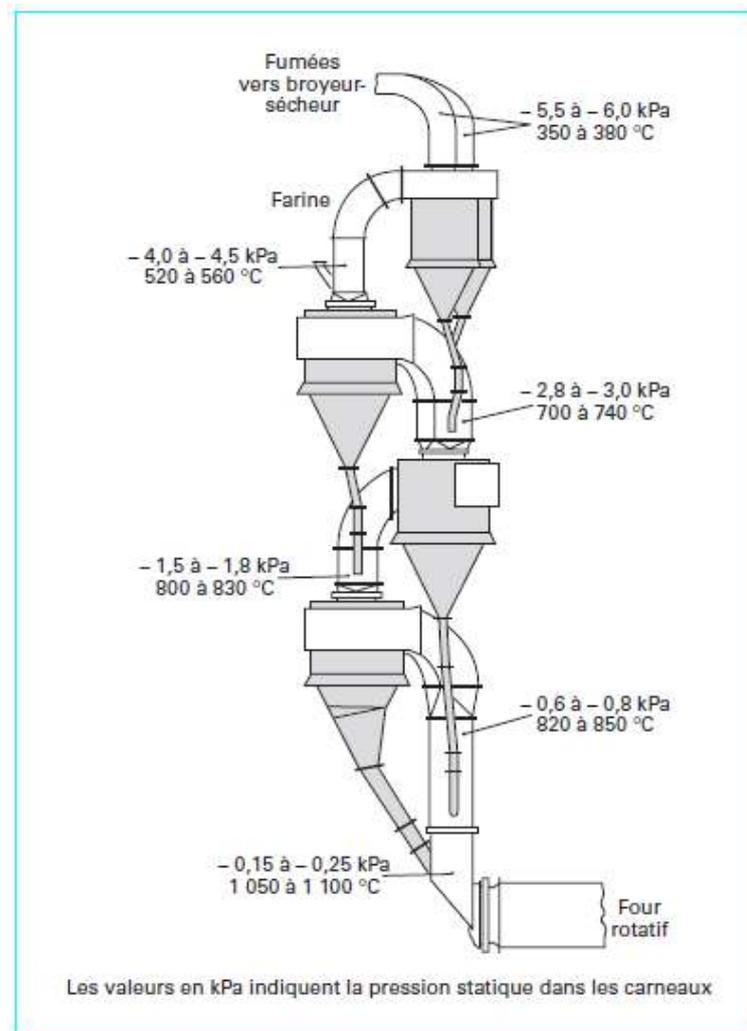


Figure I.6 : Préchauffeur a quatre étages de cyclone

Comme la farine et transmis par ces cyclone il fait contact avec le gaz d'échappement du four chaud de caractéristiques suivantes [1] :

Tableau I.4 : Caractéristiques générale du gaz de four [1].

Température (°C)	1200
Pression (mbar)	≈ -10
Taux de poussière (g/m ³)	1000
Point de rosée acide (°C)	≈ 45

Le four peut avoir 3 à 6 étapes de cyclone, avec l'augmentation de la récupération de la chaleur à chaque étape supplémentaire, après séchage du mélange brut préchauffé, entre dans four pour être calciner est fritter, le clinker. Se refroidi rapidement avec de l'air pour le stockage. La chimie de base du processus commence par la décomposition du carbonate a environ 900°C pour laisser de l'oxyde de calcium(CaO) et libérée du dioxyde de carbone gazeux (CO_2), ce processus est connu comme la calcination. Ceci est suivi par le processus de clinkérisation dans lequel l'oxyde calcium réagie a une température élevée (typiquement 1400 a 1500°C) avec du cilice, de l'alumine et de l'oxyde ferreux pour former les silicates, aluminates et ferrites de calcium qui constituent le clinker. Il tombe sur une grille refroidie par air forcé. Pour économiser l'énergie, la chaleur récupérer de ce processus de refroidissement est recyclé vers le four et la tour de préchauffage [5].

I.1.3.1. Réactions de la cuisson

La cuisson de la farine crue constitue la phase principale de la fabrication de clinker. C'est au cours de la cuisson que s'opèrent les réactions physico-chimiques endothermiques et exothermiques réalisées à haute température qui détermine les propriétés effectives du produit fini, ciment [4].

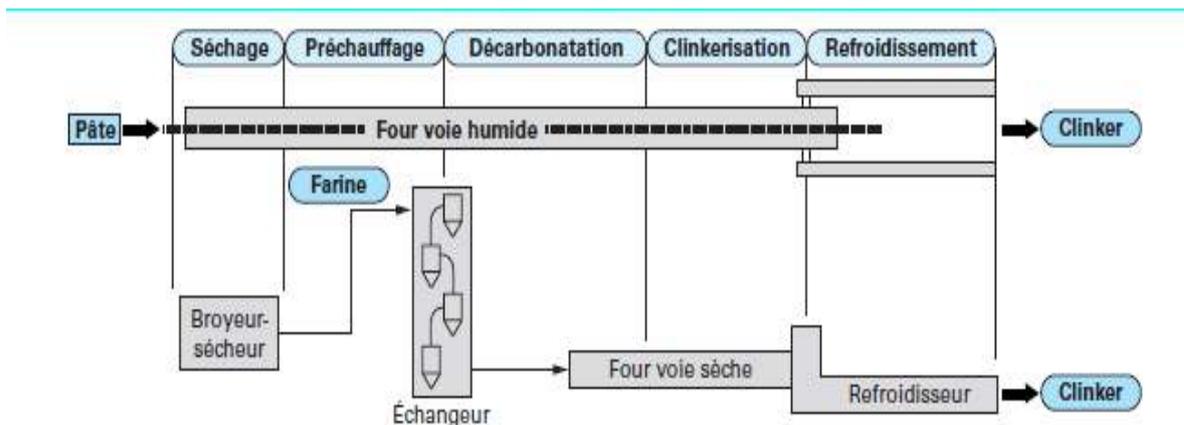


Figure I.7 : Opération principale réalisée dans l'atelier cuisson

Le processus de cuisson peut se décomposer en plusieurs phases successives qui sont :

- **Déshydratation de cru :** La farine crue présente un certain taux d'humidité. Le chauffage à 100°C élimine l'eau libre non combiné. L'eau adsorbée par les argiles et s'évapore à une température entre 100 et 300°C. La déshydratation proprement dite des argiles, c'est-à-dire la libération de l'eau chimiquement combinée sous forme d'ions hydroxydes OH^- se produit entre 300 et 900°C selon la nature de la granulométrie de l'argile [4].
- **Décarbonatation :** Le carbonate de calcium qui constitue près de 80% de cru soit décomposé par l'action de chaleur avec l'élimination du dioxyde de carbone, se produit théoriquement à environ 900°C, pour aboutir à la formation d'oxyde de calcium.



Cette réaction est fortement endothermique : l'enthalpie de réaction ΔH est d'environ 400 Kcal/Kg de CaCO_3 selon la nature de calcaire [4].

- **Calcination est la clinkérisation :** dans cette phase l'oxyde de calcium réagit à haute température (1350-1450°C) avec du silice, de l'alumine et des oxydes ferreux pour former des silicates, aluminates ou ferrites de calcium. Ces quatre composés doivent être dosés judicieusement. Cette opération constitue le clinker [4].

I.1.3.2. Refroidissement

À l'aval du four, quel que soit le procédé mis en œuvre, le clinker sort à une température de 1200 à 1450°C et tombe dans un refroidisseur. Pour baisser la température de clinker de manière à permettre le transport et la manutention dans les conditions normales et d'autre part de récupérer au maximum la chaleur qu'il emmagasine [1].

L'atelier cuisson est équipé d'un refroidisseur constituée de trois grilles horizontales inclinées en acier mobile, l'air soufflé par les ventilateurs sous les grilles traverse la couche de clinker en mouvement, Les échanges thermiques sont élevés dans ce type de refroidisseur. Dont le rendement atteint 70%. Le clinker peut sortir à une température d'environ 50°C. La consommation d'énergie est d'environ 5 à 6 KWh/t de clinker, ils sont bien adaptés aux usines de grande capacité de production. [1, 2]

I.1.4. Broyage de ciment

Le ciment est obtenu par broyage de clinker, gypse et des ajouts. Les opérations dites broyage du ciment, dans le but d'accroître la réactivité du clinker par augmentation de sa surface spécifique. Ce traitement développe les propriétés hydrauliques du ciment et lui confère ses principales propriétés rhéologiques. [2]

I.1.4.1. Définition de ciment

Le ciment est un liant hydraulique se présentant sous la forme d'une poudre très fine, non-métallique et inorganique. Lorsqu'il est mélangé à l'eau, il forme une pâte liante plus ou moins fluide qui durcit grâce à l'agglomération des matières inertes solides. [7]

Il est composé de :

- Clinker 80%.
- Gypse 5%.
- Ajouts 15% « Tuf » [2].

Cette propriété est due à la formation d'hydrates de silicate de calcium résultant de la réaction de mélange de l'eau avec les constituants du ciment. [7]

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Blida 1
Faculté de Technologie
Institut de Chimie Industrielle



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de
Master en Procédés de Traitement des Effluents et Protection de l'Environnement

Présenté par :

Mr Attou Mohamed Amine

Thème

**Evaluation des émissions unitaires des polluants gazeux issus
de la cimenterie de Meftah, Wilaya de BLIDA**

Ménouèr Boughedaoui,
Larbi Yasmina

MCA
Ingénieur

Univ. Blida 1
SCMI. Blida

Encadreur
Co encadreur

Décembre 2014

Résumé

Le travail vise le développement des facteurs d'émissions unitaires des polluants émis par l'industrie cimentière. Des mesures de concentrations de CO, CO₂, NO_x, CH₄, particules effectuées au niveau de l'unité de Meftah sur une période de 17 mois sont considérées pour le calcul des facteurs d'émissions unitaires. Les valeurs moyennes pondérées des facteurs trouvés pour le CO, CO₂, NO_x, CH₄, particules sont respectivement de 0.88 mg CO/t clinker, 29.08 g NO_x/t clinker, 0.42 mg CH₄ /t clinker, 809.93 kg CO₂/t clinker, et 0.12 kg particule/t clinker.

Abstract

The work focuses on the development of the emissions factors pollutant emitted by the cement industry. Concentration measurements of CO, CO₂, NO_x, CH₄, particles conducted at Meftah cement plant over 17 months are considered for the calculation of the emission unit factors. The weighted average factors found for CO, CO₂, NO_x, CH₄, and particles are respectively of 0.88 mg CO / t clinker, 29.08 g NO_x / t clinker, 0.42 mg CH₄ / t clinker, 809.93 kg CO₂ / t clinker 0.12 particle kg / t clinker.

ملخص

يركز هذا العمل على تطوير عوامل الانبعاثات الملوثة الصادرة من شركات تصنيع الإسمنت بعد أخذ قياسات الانبعاثات من مصنع الإسمنت بمفتاح لسبع عشرة شهرا لحساب عوامل الانبعاثات الملوثة تركيز نتيجة حساب المتوسط المرجح لعوامل الانبعاثات الملوثة لكل من ثاني أكسيد الكربون وأول أكسيد الكربون و الميثان أكاسيد النيتروجين و والجسيمات هي على التوالي 0.88 ملغ أول أكسيد الكربون / طن كلنكر، 29.08 غرام أكاسيد النيتروجين / طن كلنكر، 0.42 ملغ الميثان / طن كلنكر، 809.93 كغ ثاني أكسيد الكربون / طن كلنكر 0.12 كغ الجسيمات / طن كلنكر.

II.1. Emissions polluantes de l'industrie cimentière

Les principales émissions de la production de ciment sont les émissions atmosphériques provenant du système de four. Les effluents gazeux proviennent des réactions physiques et chimiques des matières premières et de combustibles. Les principaux constituants des gaz de sortie sont l'azote et l'oxygène en excès à partir de l'air de combustion et de gaz carbonique à partir de la matière première. Le gaz de sortie contient Les polluants suivants :

- Dioxyde de carbone CO₂.
- Oxydes d'azote (NO_x).
- Dioxyde de soufre (SO₂) et d'autres composés du soufre.
- Poussières.
- Composés organiques volatils (COV).
- Métaux et leurs composés. [5]

II.1.1. Source d'émission polluante

Les principaux Sources d'émissions polluantes qui sont rejetés au niveau de la cheminée sont :

- Emission provenant de la combustion des combustibles.
- Emission provenant de la décarbonatation du CaCO₃, MgCO₃. [2]

II.1.2. Types de polluant de la cimenterie de Meftah

Les analyses des gaz et des poussières effectuées par CETIM au niveau de la sortie de la cheminée IMAZA dans le cas de l'électrofiltre en marche et en cas de l'arrêt sont données dans le tableau suivant.

Tableau II.1: Poussières issues de la cheminé [2].

Elément analysé	Etat de l'électrofiltre	
	Electrofiltre en marche	Electrofiltre à l'arrêt
Poussières (mg/m3)	42	95

Tableau II.2: Gaz issus de la cheminé[2]

Elément analysé	Sortie électrofiltre
CO ₂ (ppm)	1221
CO (ppm)	100
NO (ppm)	244
NO ₂ (ppm)	4
NO _x (ppm)	248

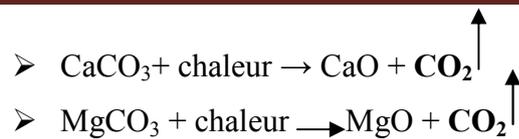
II.1.3. Formation des polluants

La production du ciment est considérée comme l'industrie la plus génératrice de GES dans le monde, le processus émet jusqu'à 900Kg CO₂/t ciment, qui représente de 5 à 7% « approximative » de l'émission de dioxyde de carbone anthropique global. [10]

➤ Formation de CO₂

L'émission de CO₂ dans le processus est générée principalement par le four.

- 40% du totale d'émission de CO₂ est produite par la combustion du combustible.
- 50% de l'émission produite par la décomposition de CaCO₃ et MgCO₃ pour obtenir le CaO et MgO suivant les réactions suivantes :



- 10% de l'émission est le résultat du transport de la matière première et la consommation électriques. [10, 3].

➤ Formation de NO_x

La combustion produira trois oxydes majeurs, à savoir l'oxyde nitrique (NO), le dioxyde d'azote (NO₂) et l'oxyde nitreux (N₂O). Les deux premiers sont très réactifs tandis que le dernier est très stable, il peut rester près de 125 ans dans l'atmosphère. [4].

Les oxydes d'azote sont des polluants atmosphériques dans la mesure où l'on constate des effets sur la santé humaine et une contribution aux pluies et dépôts acides, au smog photochimique, à l'effet de serre et à l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique.

NO_x sont également des polluants primaires qui conduisent à la formation, d'ozone et d'autres composés oxydants en présence de l'énergie apporté par le rayonnement UV dans la troposphère. Ils sont ainsi à l'origine d'une pollution photochimique. Enfin, le N₂O, rejeté dans l'atmosphère, peut se convertir en oxyde nitrique NO, gaz destructeur de la couche d'ozone. [14]

➤ Formation de CO et CH₄

La formation de monoxyde de carbone et le méthane du à la combustion incomplète du gaz naturel [4].

➤ Formation de métaux lourds

Les roches naturelles utilisées par les cimentiers contiennent en général, à l'état de traces, moins de 0,1 % d'éléments métalliques tels que vanadium, chrome, manganèse, nickel, zinc...etc. Cette présence résulte de l'origine géologique de ces roches. Le tableau 6démontre la présence des métaux de transition dans le clinker.

Tableau II.3: Localisation préférentielle des métaux [19].

Phase du clinker	Métaux						
	Ti	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn
Alunino-ferrite	X			X	X	X	X
Silicate dicalcique		X	X				

II.2. Mesure des émissions polluantes

La cimenterie de Meftah effectue des mesures des émissions polluantes « gaz, particule » par deux méthodes [2].

II.2.1. Mesure de particules solide

Il existe plusieurs grandes familles d'appareils pour la mesure des particules.

- **appareils qui travaillent par absorption d'un rayonnement β** : donnent une mesure qui ne dépend pratiquement pas des particules (qualité et forme), mais sont sensibles aux encrassements dans la sonde de prélèvement.
- **appareils triboélectriques** : sont moins chers, mais sensibles aux caractéristiques des poussières et aux turbulences, ainsi qu'à des variations de vitesse.
- **appareils optiques** : travaillent soit en rétrodiffusion, soit en transmission (opacimétries). Ces appareils sont sensibles et précis, mais ils sont aussi sujets aux caractéristiques des poussières, en particulier à la forme. [17]

Le tableau II.4 donne une vue d'ensemble des qualités et des défauts de chaque type de technologie.

Tableau II.4 : Comparaison des diverses méthodes de mesure des particules [17]

Technologie	Rétrodiffusion	Transmission	Absorption β	Triboélectrique
Gamme	5 à 1 000 mg/Nm ³	1 à 1 000 mg/Nm ³	1 à 1 000 mg/Nm ³	1 à 1 000 mg/Nm ³
Diamètre de la gaine	< 3 m	> 1 m	< 3 m (un seul point de mesure)	< 2 m
Points forts	Simple Précis	Sensibilité Fiabilité Utilisable en grand diamètre	Très peu dépendant des caractéristiques des particules	Bon marché Facile à installer
Points faibles	Sensible à la forme des particules	Sensible à la forme des particules Entretien nécessaire	Un seul point de mesure (représentativité)	Sensible au procédé amont Sensible à la vitesse

II.2.1.Opacimétrie

Les méthodes de mesure directes de l’opacité des fumées sont basées sur le principe d’atténuation d’un faisceau lumineux. Si les particules se trouvent sur le trajet optique entre une source de lumière et un détecteur, une partie du flux lumineux est perdue sous l’influence de plusieurs phénomènes :

- l’absorption directe, pour les particules les plus grosses (dont les tailles sont de l’ordre de quelques micromètres à quelques millimètres).
- la diffraction du faisceau lumineux sur les petites particules et suies ayant une taille comparable à la longueur d’onde du faisceau diffracté.

Le dispositif est constitué d’un émetteur, d’un récepteur et d’une zone de mesure où le faisceau interagit avec les fumées est appelé « opacimétrie ». Il existe deux types de sources lumineuses pour les opacimétries :

- **les sources monochromatiques de type laser.** Ces sources illuminent à une seule longueur d’onde (350 nm, cas des lasers He-Ne) ;
- **les sources poly chromatiques en lumière blanche.** Ces des sources de lumière blanche stable plus proches de la réalité. Travaillant à une température de couleur

de (900 à 100°K). Pour garantir la stabilité de l'intensité lumineuse de la source. L'alimentation de la lampe doit être très stable en tension. [12]

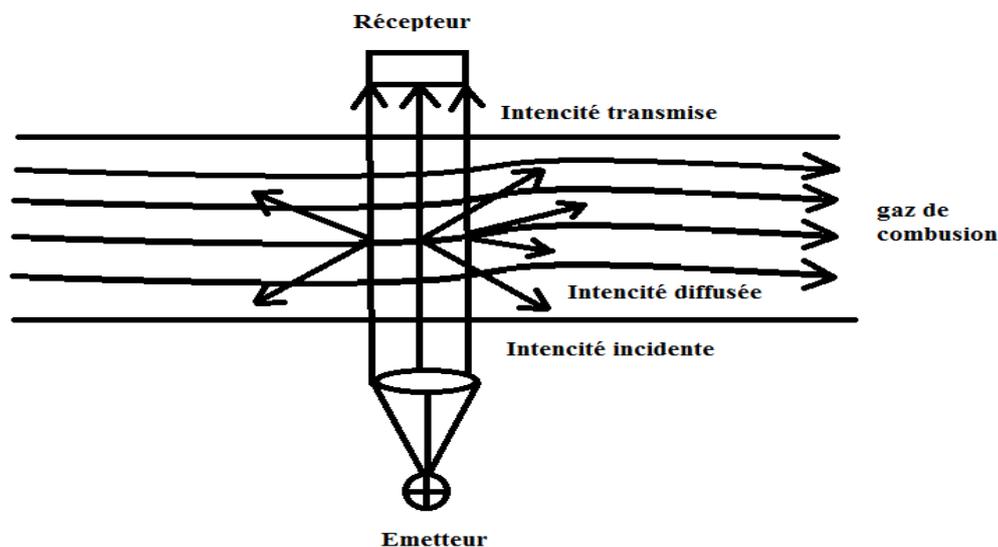


Figure II.1 : Principe de fonctionnement d'opacimétrie

II.2.2. Analyse de particules gazeuses

La cimenterie de Meftah dispose de deux analyseurs de gaz, le premier pour l'analyse de gaz de four, le second concerne l'atelier cru. L'analyse des gaz nécessite de réussir les conditions optimales de fonctionnement des analyseurs.

Tableau II.5 : Critères de fonctionnement des analyseurs du gaz [9]

Température du gaz de mesure	de 0 à 50°C
Pression	entre 0.5 et 1.5 bar absolu
Taux de poussière	0g/m ³
Débit	60 l/h
Humidité du gaz de mesure	<90% RH sans condensation

II.2.2.1. Echantillonnage

La prise d'un échantillon de gaz est toujours problématique si l'on veut garder l'intégrité qualitative et quantitative de la fumée. Alors pour effectuer l'analyse de gaz de four, une chaîne de traitement du gaz de procédé au sein du système d'analyse pour rendre ce gaz compatible avec les analyseurs.

Il faudra donc veiller à :

- Eliminer la poussière du gaz.
- Eviter la condensation acide le long de la ligne d'échantillonnage.
- Refroidir et Sécher le gaz.
- Assurer un débit suffisant de gaz au niveau des analyseurs.
- Contrôler la pression du gaz.

Pour atteindre ces cinq conditions les gaz de four passent par les étapes suivantes [9].

II.2.2.2. Prélèvement

La sonde de prélèvement à haute température est constituée d'un tube de prélèvement en acier inoxydable permettant de résister à des températures de l'ordre de 1200-1300°C lorsqu'elle est refroidie par un fluide dépend principalement de la condition climatique rencontrée sur site. Il est essentiel d'assurer une température suffisante à l'intérieur du tube pour éviter le phénomène de condensation acide. Sans refroidissement, la sonde aura tendance à se tordre et à prendre une forme incurvée suite aux contraintes thermiques subies. [9]

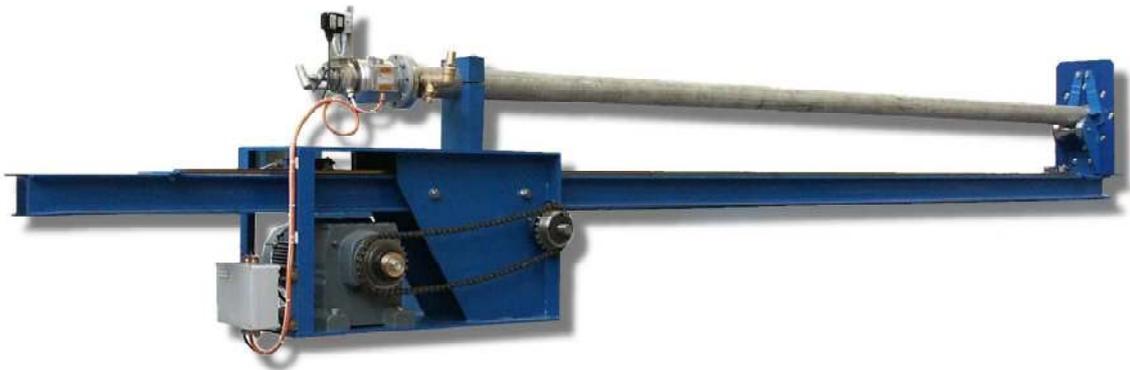


Figure II.2 : Sonde de prélèvement avec système d'extraction automatique à Meftah

II.2.2.3. Filtration des gaz

Le rôle de la filtration est d'assurer la première condition « dépolluissage ». Il permet de dépolluier le gaz jusqu'à 1000g/m³ de poussière. Un filtrage plus fin sera ensuite réalisé dans la cabine d'analyse. Le nettoyage de filtre est assuré par un système de ringardage automatique par rétro-soufflage d'air comprimé, La qualité de l'air comprimé influence directement sur la durée de vie du filtre ainsi que la fréquence de la maintenance [9].



Figure II.3: Coffret tête de sonde.



Figure II.4 : Porte filtre céramique.

II.2.2.4. Ligne chauffée

La ligne chauffée permet de garder les gaz à une température de 110°C de la sonde de prélèvement jusqu'au groupe froid, les matériels présents dans le système d'analyse permettent de dépolluier de gaz et de maintenir le gaz procédé à une température supérieure au point de rosée acide du gaz et ainsi d'éviter toute apparition de condensation dans la ligne de prélèvement et donc de prévenir tout phénomène de bouchage [9].

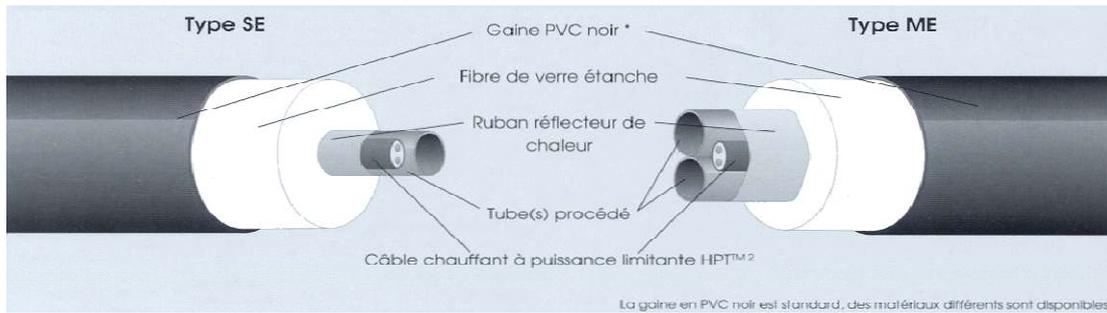


Figure II.5 : Ligne de prélèvement chauffée

II.2.2.5. Refroidissement des gaz

Le gaz procédé parvient dans la cabine, dirigé vers le système de refroidissement. Ce système va abaisser la température du gaz au-dessous du point de rosée acide entre 3°C et 5°C. Les acides et la vapeur d'eau présente dans le gaz vont se condenser. Le liquide acide résultat de cette condensation est évacué via une pompe péristaltique.



Figure II.6 : Groupe froid

A la sortie du groupe froid, nous avons un gaz en grande partie dépoussiéré, séché, épuré de ses acides et à base température. et répondent aux caractéristiques exigées pour les analyseurs [9].

II.2.3. Analyse infrarouge « IR »

Parmi les méthodes classiques de spectroscopies moléculaires optiques on distingue en général les spectroscopies UV-visible (Absorption, fluorescence) qui mettent en jeu les niveaux énergétiques électroniques, et les spectroscopies vibrationnelles (infrarouge). Ce dernier peut prendre lieu si le mouvement de vibration du mode considéré induit une variation du moment dipolaire électrique de la molécule. Alors ce types de spectroscopies permettent de révéler les niveaux énergétiques de vibration par des mécanismes différents et apportent bien souvent des informations tout à fait complémentaires. Très schématiquement, les liaisons polaires, pourvues d'un fort moment dipolaire, présenteront des absorptions importantes dans l'infrarouge.

Il existe plusieurs méthodes pour enregistrer le spectre d'absorption d'une substance. Les spectromètres optiques ont en commun les éléments suivants :

- Une source de radiation, qui doit émettre dans le domaine spectral infrarouge.
- Le dispositif de sélection des longueurs d'onde.
- Le dispositif de positionnement de l'échantillon sur le faisceau.
- Le détecteur et l'enregistreur [20].

III.1.Définition du facteur d'émission unitaire

Le facteur d'émission unitaire est une valeur qui représente la quantité d'un polluant libérée dans l'atmosphère avec l'activité associée par la quantité unitaire de production [22].

III.1.1.Calcul du facteur d'émission unitaire

La production de ciment en Turquie devenue la troisième en Europe et la 9 dans le monde. Les mesures d'émissions faites par TCMA dans les usines de ciment utilisent les techniques standards depuis 1997, nécessitent un échantillonnage représentatif et l'analyse sensible en fonction des normes internationales

- échantillonneurs isocinétiques ont été utilisés pour mesurer les Particules
- Modèle analyseur électrochimique a été utilisé pour mesurer les émissions de NO₂ CO et. Cet analyseur a été calibré avec des gaz d'étalonnage standard avant les mesures. Les mesures d'émission ont été effectuées pour chaque source de polluant dans une cimenterie [22].

Pour les particules et les polluants gazeux trois différentes mesures horaires ont été faites et moyenne arithmétique a été prise. Les résultats sont comparés avec les facteurs d'émissions internationales [22].

Les facteurs d'émission sont notés entre A et E en fonction de leur fiabilité et précision. Chaque facteur d'émission est attribué une cote de qualité de données en fonction de définitions suivantes :

- A : Une estimation basée sur un grand nombre de mesures réalisées sur un grand nombre des installations qui représentent pleinement le secteur (plus de 10 sources),
- B : Une estimation basée sur un grand nombre de mesures réalisées sur un grand nombre des installations qui représentent une grande partie de ce secteur,
- C : Une estimation fondée sur un certain nombre de mesures effectuées à un petit nombre d'installations représentatives, ou un jugement d'ingénierie basée sur un certain nombre de faits pertinents,

- D : Une estimation basée sur une seule mesure ou un calcul d'ingénierie provenant d'un certain nombre de faits pertinents et des hypothèses,
- E : Une estimation fondée sur un calcul d'ingénierie dérivé des hypothèses seulement.

Le facteur d'émission unitaire est déterminé en divisant la valeur de l'émission par la production de ciment au moment de la mesure. Il est exprimé de la manière suivante :

- **FE = Quantités d'émission par unité de temps / quantités de clinker ou de ciment produite par unité de temps**

Le facteur d'émission précédent n'est pas représentatif pour un facteur d'émission national. Les facteurs d'émission unitaire nationale sont calculés par la moyenne pondérée en fonction de leur capacité par la formule suivante :

- $$FE_{\text{national}} = (\sum_{i=1}^n FE_i * C_i) / \sum_{i=1}^n C_i$$

- FE_i : Facteur d'émission unitaire « unité d'émission/ unité de production ».
- C_i : quantité de production correspond à usine concerné.

Les résultats des facteurs d'émission sont présentés dans de tableau suivant [22].

Tableau III.1: Facteur d'émission unitaire de CO, NO₂, Particule par pays [22].

Pays	Facteur d'émission unitaire			Auteurs
	Particule	CO	NO ₂	
Turquie (kg /t clinker)	0.230	2.252	1.682	Baris et al, 2001
Turquie (kg/t ciment)	0.337	1.609	1.400	Ekinici et al, 1998
Allemagne (kg / t clinkers)	0.170		2.000	Kroboth et al, 1990
Autriche (kg /t ciment)	0.029	2.209	1.296	Lorber, 1997
Pays Bas (kg /t ciment)	0.100	0.400	1.400	Corinair, 1996
US EPA (kg /t ciment)	0.13	0.49	2.4	EPA, 1995

La chine est considéré le plus grand producteur de ciment et émetteur de CO₂ dans le monde, arrivée à une production 1.87 Gt de ciment, représente 65% de la production global de ciment, en 2011 la chine a augmenté sa production a 2.09 Gt de ciment. [24].

Le calcule de facteur d'émission unitaire de CO₂ par des méthodes approximatives sont largement acceptées et souvent utilisée. Les émissions de CO₂ proviennent principalement de la calcination de calcium carbonate (CaCO₃) et du carbonate de magnésium (MgCO₃) dans la matière première pour la production de clinker, qui pourrait être exprimé par l'équation stœchiométriques suivants [23].



Facteur est le produit de la fraction de chaux dans le clinker multiplié par le rapport de la masse relative du CO₂ libéré par unité de chaux ci-dessous:

$$\begin{aligned} \text{EF clinker} &= \text{Fraction CaO (44.01 g/moleCO}_2 / 56.08 \text{ g/mole CaO)} \\ &= \text{Fraction CaO} * 0.785 \end{aligned}$$

La méthode d'IPCC. Tiers méthodes et les facteurs d'émission unitaire par default sont largement adoptée est cité « Voir page 39 ».

Tableau III.2: Résultats de facteur d'émission unitaire par cas étudié en Chine [23].

	FE décarbonatation	FE combustion	FE total	Teneur CaO (%)
Unités	(Kg CO₂/t clinker)			
Cas A	522.84	281.00	803.85	83.12
Cas C	472.11	314.38	893.36	71

Cas A : est un processus de four avec précalcinateur grande échelle avec 83,12% de chaux pour la production de ciment.

Cas C : est un arbre four à petite échelle avec 71% de chaux et de 9% de cendres de charbon pour la production ciment.

Tableau III.3: Facteur d'émission unitaire de CO₂ de différente source. [23, 21,24]

Sources	FE (kg CO ₂ / t clinker)
IPCC	520
CSI	547
Chine2	425
CDIAC	449
India	530

Le tableau suivant présente les facteurs d'émissions unitaires des études nationaux basé sur l'utilisation des paramètres réels des industries de ciment de la chine. [25]

Tableau III.4 : Comparaison de facteur d'émission basé sur l'émission de CO₂. [25]

Auteurs	Consommation d'énergie	Processus de calcination	Total
	(t CO ₂ /t ciment)		
Y lei. 2011	0.248	0.395	0.643
Zhu. 2000	0.367	0.365	0.732
Cui et lui 2008	0.168	0.395	0.563

III.2. Technique d'inventaire

La procédure de base présentée dans la figure 11 pour l'estimation des émissions de l'industrie cimentière.

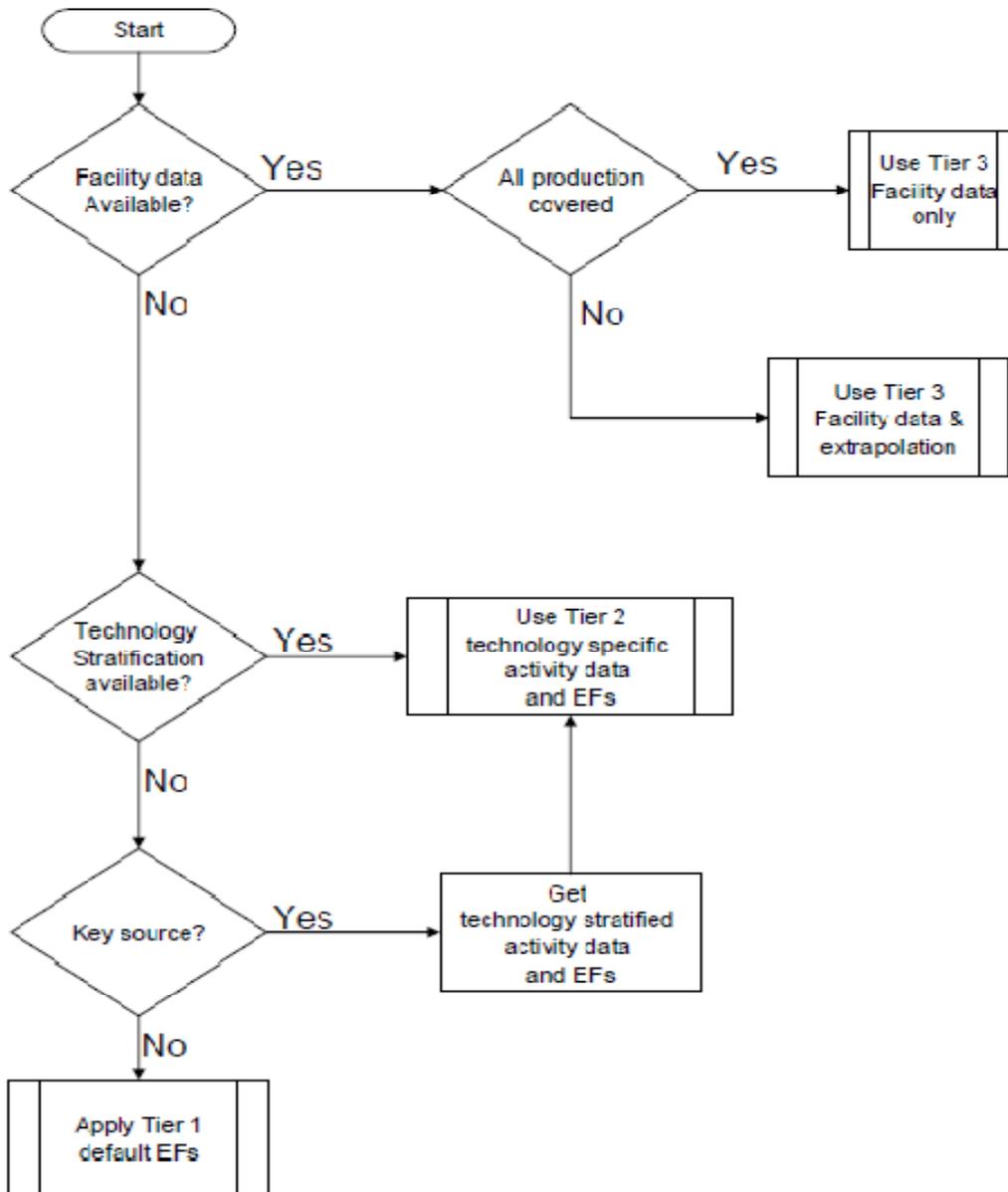


Figure III.1: Arbre de décision de trois catégories source [5].

➤ Tier 1

Pour les émissions du procédé de fabrication de ciment, l'approche de niveau 1 utilise l'équation générale ci après, cette dernière est appliquée au niveau national à partir des données de production annuelle de ciment du pays.

$$E_{\text{polluant}} = AR_{\text{production}} * EF_{\text{polluant}}.$$

Ou :

- **E** : émission de polluant (kg).
- **AR** : production annuel de ciment (Tonne).
- **EF** : facteur d'émission de polluant relever (kg polluant émis/t production de ciment).

➤ Tier 2

L'approche de niveau 2 est similaire à l'approche de niveau 1 mais les données d'activités et les facteurs d'émission doivent être associés selon différentes techniques qui peuvent se produire dans le pays. Ces techniques peuvent inclure

- différents produits finis avec des contenus différents de clinker.
- processus de mouture humide ou sèche.
- capture de la poussière.
- d'autres technologies de réduction des émissions mis en œuvre dans le pays.

L'approche de niveau 2 nécessite tous d'abord le cumule de la production nationale de ciment, selon différent modèles et process qui apparait dans les inventaires par :

- définition de la technologie dans la formule si dessous.
- l'application de facteurs d'émission spécifiques à la technologie pour chaque type de processus.

$$E_{\text{polluant}} = \sum_{\text{technologie}} AR_{\text{production technologie}} * EF_{\text{polluant technologie}}$$

Ou :

$AR_{\text{production technologie}}$: Le taux de production au sein de la catégorie de source, en utilisant cette technologie spécifique.

$EF_{\text{polluant technologie}}$: Le facteur d'émission pour cette technologie et ce polluant

➤ Tier 3

Il existe deux comportements différents pour appliquer des méthodes d'estimation des émissions qui vont au-delà de technologie approche spécifique décrit ci-dessus:

- une modélisation détaillée du processus de production de ciment.
- rapports sur les émissions au niveau de l'installation [5].

IV.1.Méthodologie de calcul

IV.1.1.Objectifs

Cette étude fait l'évaluation de deux objectifs principaux:

Détermination est la Comparaison des facteurs d'émission unitaire de dioxyde de carbone (CO₂), monoxyde de carbone (CO), Oxydes d'azote (NO_x), méthane (CH₄), particule le dioxyde de carbone (CO₂), monoxyde de carbone (CO), Oxydes d'azote (NO_x), méthane (CH₄), particule de la cimenterie de Meftah avec celle de la littérature.

IV.1.2.Approche méthodologique

IV.1.2.1.Traitement des données brutes

Le calcul des émissions unitaires nécessite un prétraitement de données tel que concentration des polluant, température, pression, débit de clinker pour éliminer les vides et les valeurs erronées. Ce traitement est constitué de plusieurs étapes :

- Elimination des lignes de donnée vides des résultats de mesure expérimentale due à l'arrêt du a production ou une production transitoire.
- Elimination des donner de mesure de polluant correspondant a une production de clinker inferieur a 2 tonne « phase transitoire ».
- Elimination des donner de mesure extrême en utilisant des valeurs Max, Min « Tableau V.1 » des différent variables, débit clinker, débit gaz naturel, concentration des polluent.

Tableau IV.1: Valeurs statistiques des différents facteurs d'émission de polluants.

Polluant	FE (mg CO/t clinker)	EF (g NO_x/t clinker)	EF (mg CH₄/t clinker)	EF (kg CO₂/t clinker)	EF (kg particule/t clinker)
Max	65.30	284.97	26.79	1741.88	39.14
Min	0.04	2.03	0.02	140.93	0.002
moyenne	1.03	41.06	0.5	257.50	0.34
Ecart-type	1.65	23.67	0.99	79.03	1.56

IV.1.2.2. Périodes d'échantillonnages

Le nombre de mesure expérimentale considérée est de 8081 valeur s'étale sur la période d'activité du 09/05/2013 au 12/10/2014, soit la couverture de 17 mois d'activité de l'unité de Meftah. Après élimination des données erronées et des vides, la base de données valide utilisée pour le calcul des facteurs d'émissions contiens un équivalent de 11 mois de mesures horaires de tous les polluant et paramètre opératoire correspondants. « Tableau IV.2 »

Tableau IV.2: Nombre de mesures exploité.

Donnée de mesures	CO	NOx	CH ₄	CO ₂	Particule
Nombre de mesures valide(h)	7873	8081	5398	7981	5549
Nombre de mesures rejetées (h)	913	700	3388	805	3237
Période mesure valide équivalent (mois)	11	11	7	11	7
Période activité (mois)	17				
Valeur validé (%)	89.6	91.9	61.4	90.8	63.1

IV.1.2.3. Calcul de masse de polluant « CO, NOx, CH₄ »

Après le traitement de la base de donnés brute, la détermination de facteur d'émission unitaire polluant suit plusieurs étape.

- **Concentration moyenne « mesuré par heure en ppm »**

$$[C] \text{ PPM} = (C1+C2)/2.$$

Avec C1 et C2 deux mesures de concentrations expérimentales dans le même point de mesure

- **Conversion au CNTP**

$$(P_i \cdot V_i) / T_i = (P_f \cdot V_f) / T_f \text{ AVEC } V_f = (P_i \cdot V_i \cdot T_f) / (P_f \cdot T_i)$$

- **Conversion de PPM en g/l**

$$[C] \text{ (g/l)} = (VF \cdot M \text{ polluant}) / (10^6 \cdot 22.4).$$

- **Paramètres opératoires, température, pression et conversion**

$$T_{\text{moy}} (^{\circ}\text{C}) = (T_1 + T_2) / 2$$

$$T_{\text{moy}} (^{\circ}\text{K}) = T_{\text{moy}} (^{\circ}\text{C}) + 273.$$

$$P_{\text{moy}} (\text{bar}) = (P_1 + P_2) / 2 \text{ AVEC } 1 \text{ mbar} = 0.00098 \text{ atm}$$

- **Masse polluant**

$$M (\text{t/h}) = [C] * \text{débit gaz.}$$

- **Calcul de masse de particule**

$$M (\text{particules/h}) = C (\text{mg/m}^3) * \text{débit} (\text{m}^3/\text{h})$$

- **Conversion de débit gaz naturel**

$$D_{\text{gaz naturel}} (\text{TJ}) = D_{\text{gaz naturel}} (\text{m}^3/\text{h}) * 38.1 * 10^{-6}$$

- **Calcul de masse CO₂ de décarbonatation**

A partir de la composition de cru de Meftah, le facteur d'émission unitaire de CO₂ est calculé à partir de la réaction de décarbonatation de CaCO₃ et MgCO₃ par la relation suivante:

$$FE_{\text{CaCO}_3 \text{ CO}_2} = (\text{teneur CaCO}_3 * \text{masse molaire CO}_2) / \text{masse molaire CaCO}_3$$

$$FE_{\text{MgO}_3 \text{ CO}_2} = (\text{teneur MgCO}_3 * \text{masse molaire CO}_2) / \text{masse molaire MgCO}_3$$

$$FE_{\text{CO}_2 \text{ total}} = FE_{\text{CaCO}_3 \text{ CO}_2} + FE_{\text{MgO}_3 \text{ CO}_2}$$

Dans l'unité Meftah on a négligé la fraction de MgO, car des faibles pourcentages inférieur à 0.5% existent.

- **Calcul de la masse de CO₂ de combustion**

Pour calculer la masse de CO₂ à partir de donner de débit de gaz naturel en Nm³/h, il faut d'abord le convertir vers les conditions normale de température et de pression avec la relation suivante :

$$(P_i * V_i) / T_i = (P_1 * V_1) / T_1$$

Avec la température de gaz naturel à la cimenterie et de 20°C à une pression de 5 bar.

Le facteur d'émission de CO₂ donné par l'agence national pour la promotion et la rationalisation « APRUE » égale à 65.1 t équ CO₂/TJ, alors le calcul de masse nécessite la quantité d'énergie produite par unité de débit gaz naturel consommée multiplié par le débit de gaz naturel, le pouvoir calorifique inférieur égale à 38.1 MJ/m³ multiplier par 10⁽⁻⁶⁾ pour le changement d'unité vers le TJ. Le facteur d'émission unitaire de CO₂ combustion et calculé utilisent la formule suivante :

$$FE_{CO_2 \text{ comb}} = (\text{débit de gaz naturel} * 38.1 * 10^{(-6)} * 65.1) / \text{débit clinker}$$

- **Calcul de facteur d'émission polluant**

Pour arriver à des valeurs finale de facteur d'émission unitaire par polluant il faut calculer la moyenne pondéré par port au débit de production de clinker par la formule suivante

$$FE_{\text{pondéré}} = (\sum_{i=1}^n FE_i * D) / \sum_{i=1}^n D$$

FE_i : Facteur d'émission unitaire polluant « unité d'émission/ unité de production »

D: débit de production de clinker.

IV.2. Résultats

IV.2.1. Facteur d'émission unitaire de CO

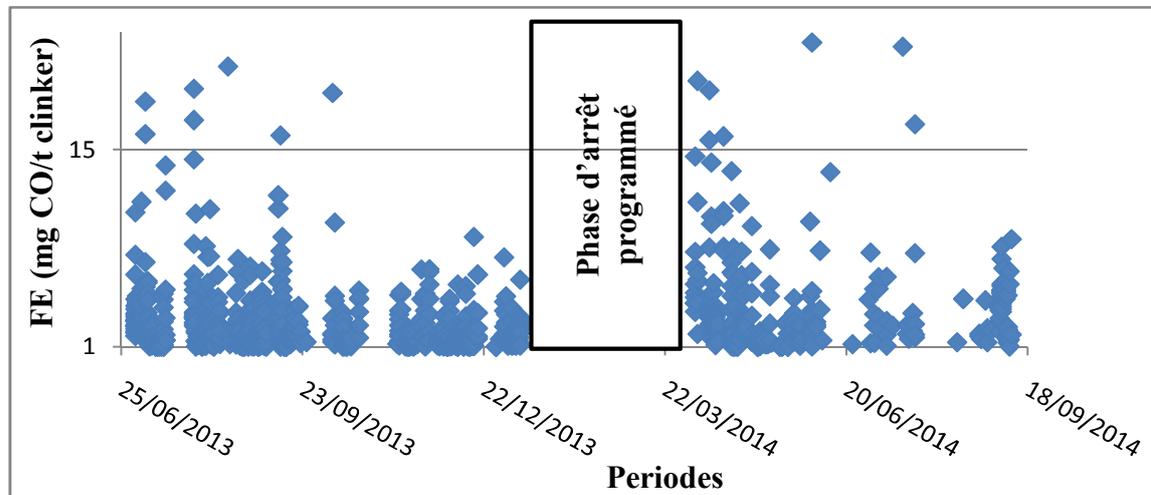


Figure IV.1: Variation de facteur d'émission de CO en fonction du temps.

La figure IV.1 présente le contrôle continu de facteur d'émission unitaire de CO, on observe une fluctuation entre 0 – 15 mg CO/t clinker dans les deux phases avec une amplitude jusqu'à 45 mg CO/t clinker avant la phase d'arrêt et arrivé à 65 mg CO/t clinker.

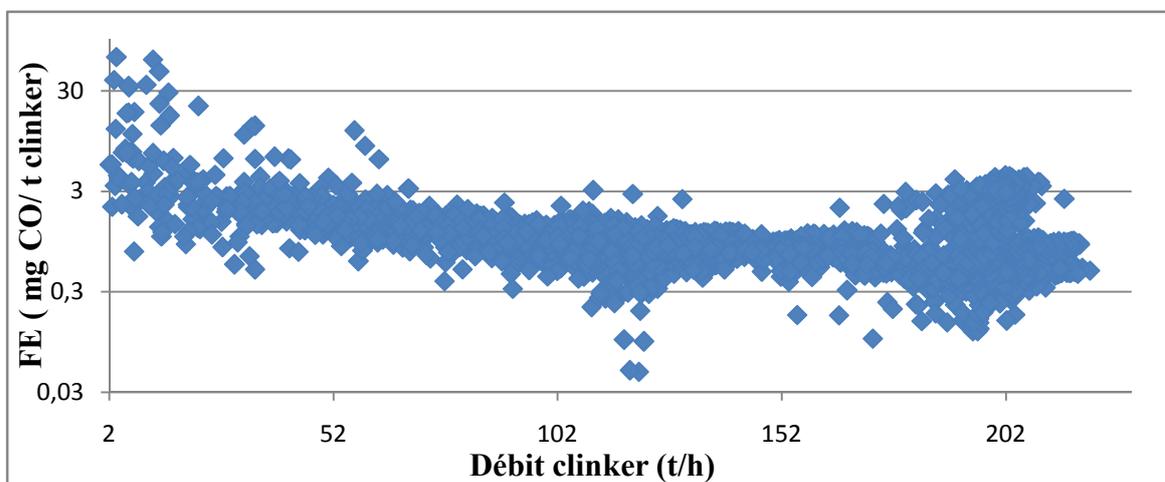


Figure IV.2: Variation de facteur d'émission de CO en fonction du débit de clinker.

La figure IV.2 présente l'influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire de CO, on observe une dispersion d'un facteur d'émission entre 0.3 – 65 mg CO/t clinker au tour d'une production clinker de 50 t, avec une tendance décroissant entre 3 et 0.3 mg CO/ t clinker à une production de clinker.

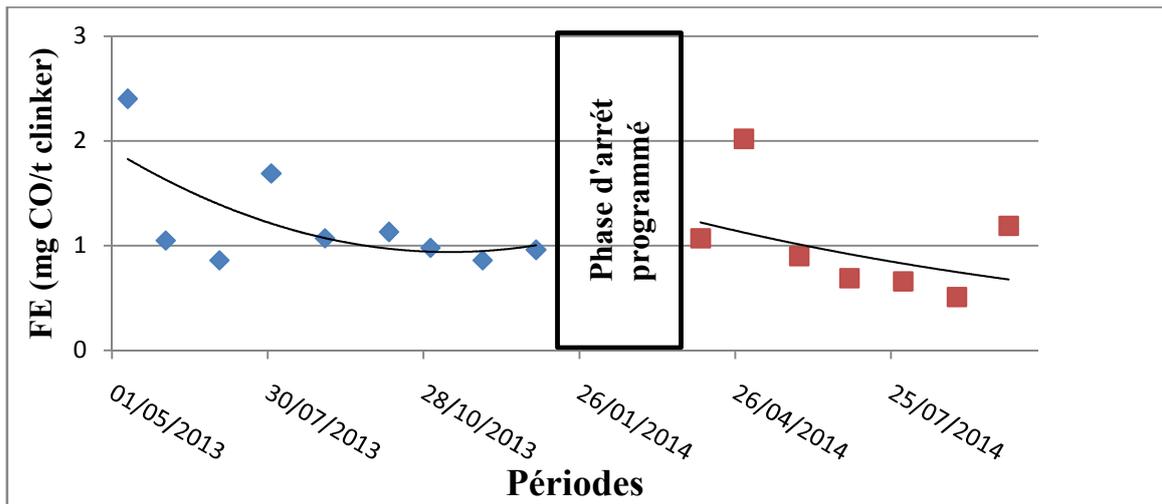


Figure IV.3: Variation du facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de CO.

Figure IV.3 présente le contrôle continu de facteur d'émission unitaire moyen mensuelle, en voie une tendance dans les deux phase varie entre 0.25 – 1.65 mg CO/t clinker avec une amplitude jusqu'à 3.21 mg CO/t clinker avant la phase d'arrêt et de 0.14 – 0.75 mg CO/ t clinker avec une amplitude de 3.66 mg CO/t clinker après l'arrêt.

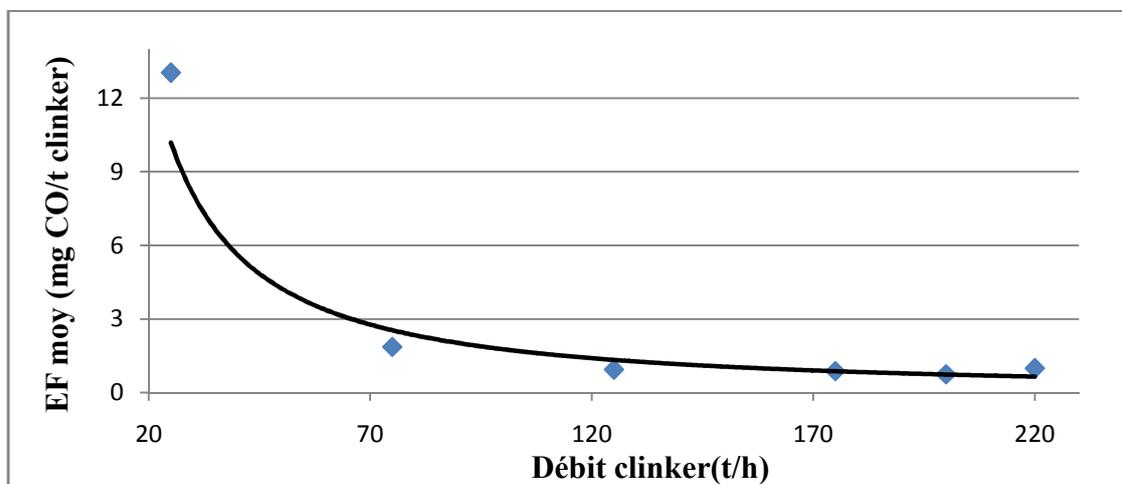


Figure IV.4: Facteur d'émission unitaire moyenne de CO en fonction du débit clinker

Figure IV.4 présente l'influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire de CO, en voie une tendance varie de 1.32 vers 0.20 mg CO/ t clinker a une production de 70 à 230 t/h avec une amplitude de 12.59 mg CO/t clinker a des faible production de clinker inferieur a 20 t/h.

IV.2.2. Facteur d'émission unitaire de NOx

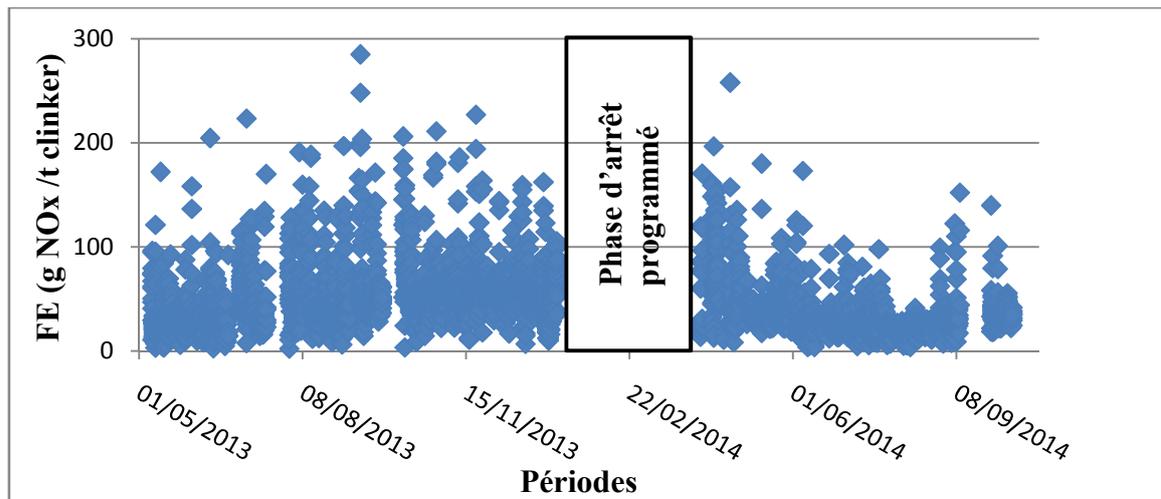


Figure IV.5 : Variation de facteur d'émission unitaire de NOx en fonction du temps.

La figure IV.5 présente le contrôle continu de facteur d'émission unitaire de NOx, en voie un degré de stabilité entre 2.03 – 100 mg NOx/t clinker dans les deux phases avec une amplitude jusqu'à 280 mg NOx/t clinker avants la phase d'arrêt et arrivé à 260 mg NOx/t clinker.

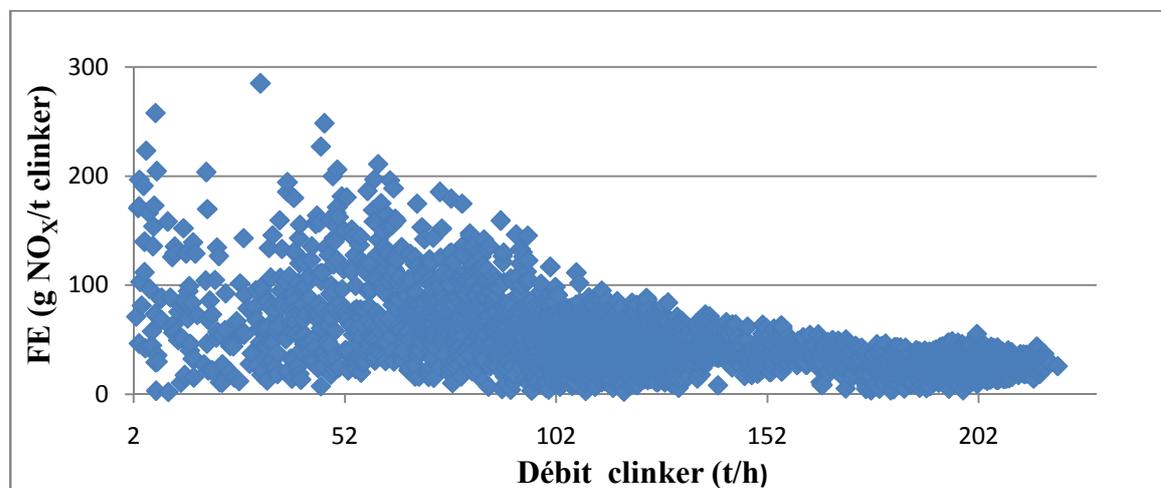


Figure IV.6: Variation de facteur d'émission unitaire en fonction de débit du clinker

La figure IV.6 présente l'influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire de NOx, en voie une dispersion d'un facteur d'émission entre 2.03 – 290 mg NOx/t clinker au tour d'une faible production de clinker inférieur a 50 t, et une tendance décroissante de 100 vers 35 mg NOx/t clinkers a une production de clinker de 230 t/h.

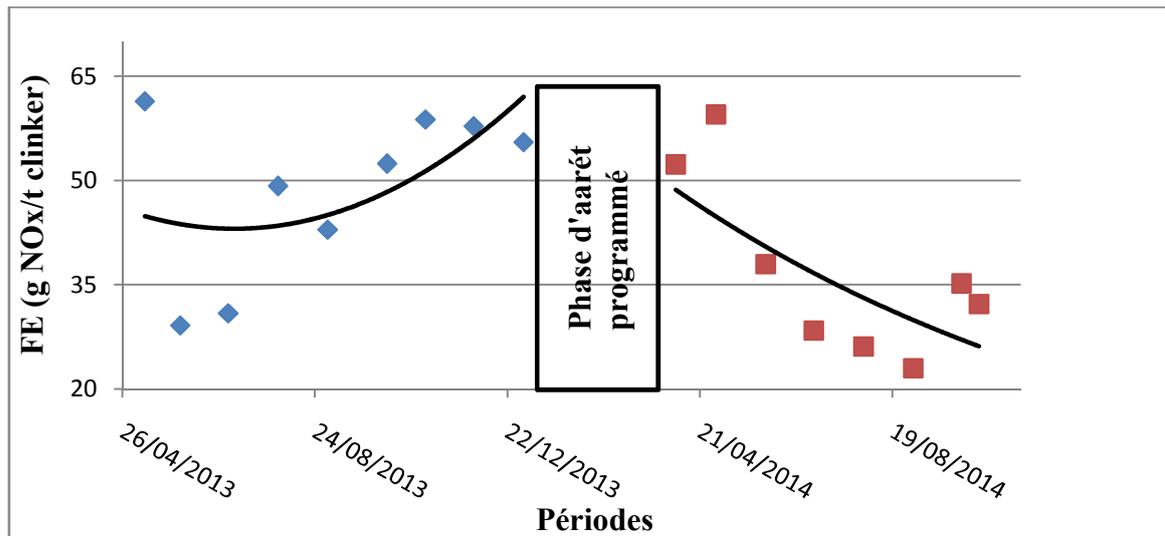


Figure IV.7: Variation de facteur d'émission unitaire mensuelle de NO_x.

Figure IV.7 présente l'évolution de facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de NO_x, en voie une tendance croissante varie entre 30 et 60 g NO_x/t clinker avant la phase d'arrêt et une tendance décroissante varie entre 55 vers 25 g NO_x/t clinker après la phase d'arrêt.

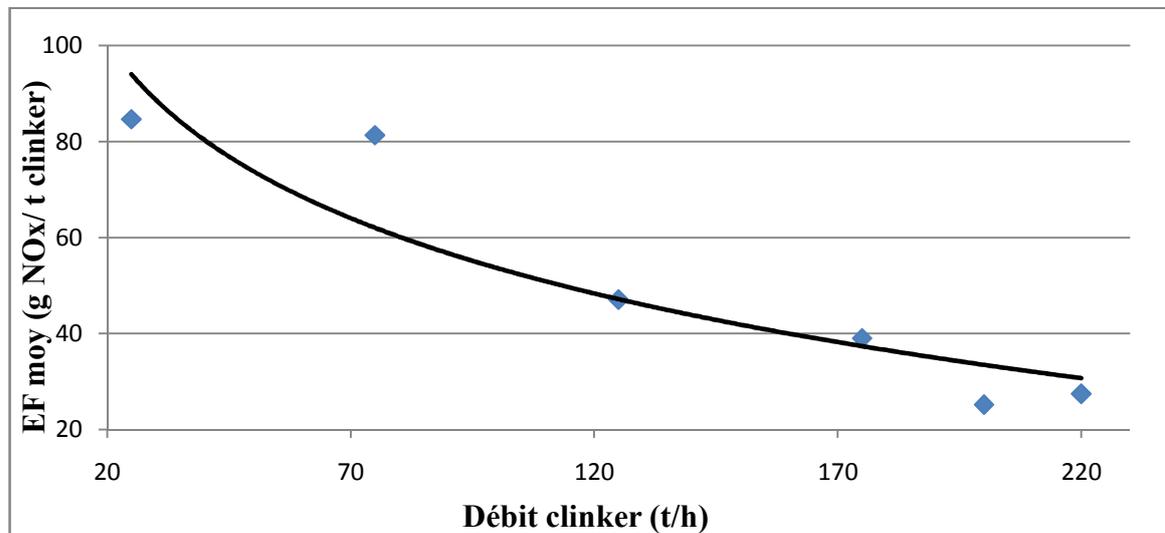


Figure IV.8: Variation de facteur d'émission moyen de NO_x en fonction de débit de production de clinker.

Figure IV.8 présente l'influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de NO_x, en voie une tendance décroissante de 81 vers 25 g NO_x/t clinker a une production maximum de clinker de 230 t/h avec d'amplitude de 84.67 g NO_x/t clinker correspond à des faible production inferieur 25 t/h.

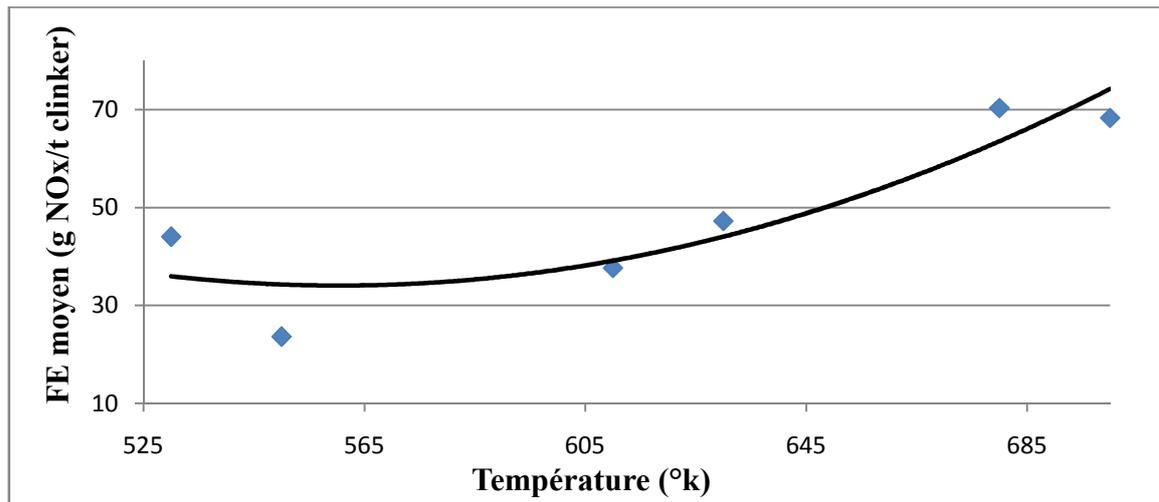


Figure IV.9: Variation de facteur d'émission unitaire de NOx en fonction de la température.

Figure IV.9 présente l'influence de la température sur le facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de NOx, en voie une tendance croissante de facteur d'émission proportionnellement avec la température varie entre 23 et 44 g NOx/t clinker a une température moyenne 530 °k vers 68 et 70 g NOx/t clinker a une température maximum 700 °K.

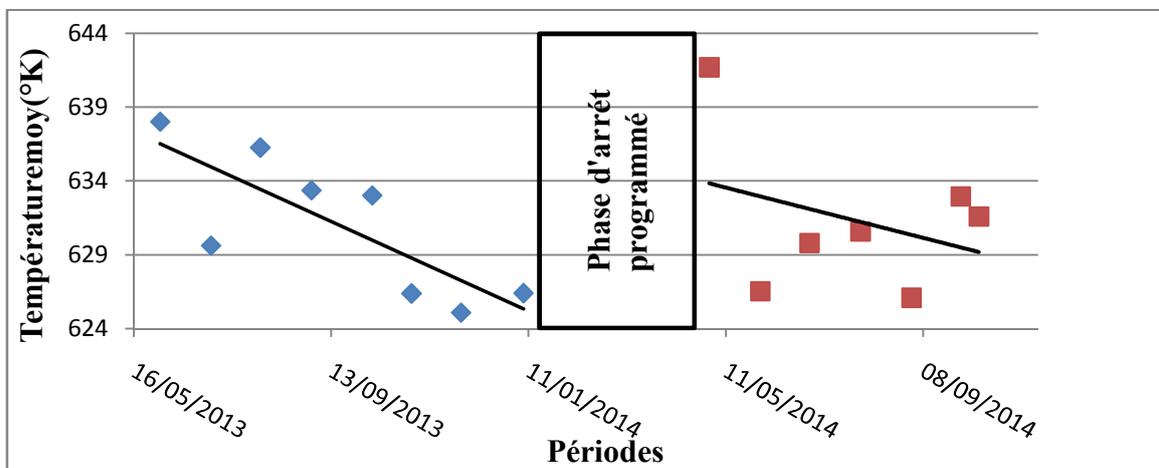


Figure IV.10: Variation de la température moyenne mensuelle.

La figure 24 présente le contrôle continu de la température moyenne au point de mesure. En voie une tendance décroît de 638 vers 626 °k avant l'arrêt avec des amplifications qui dépasse 640°K après la modification de procédé mais le niveau de température va diminuée vers un intervalle de 624 et 632 °k. Par contre on a une grande réduction de température au niveau de four de 1200°c vers 900°C.

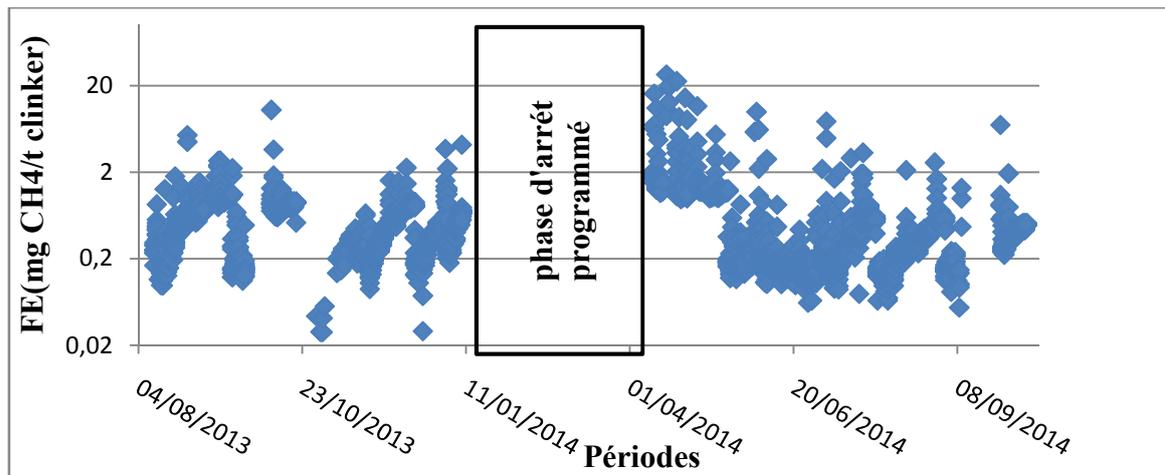
IV.2.3. Facteur d'émission unitaire méthane « CH₄ »

Figure IV.11: Variation de facteur d'émission unitaire de méthane en fonction du temps

Figure IV.11 présente le control continue de facteur d'émission unitaire de méthane, en voie un degré de stabilité dans l'intervalle de 0.02 et 5 mg CH₄/t clinker avec des amplitudes vers 10 mg CH₄/t clinker avant la phase d'arrêt et arrive a 26 mg CH₄/t clinker après la phase d'arrêt.

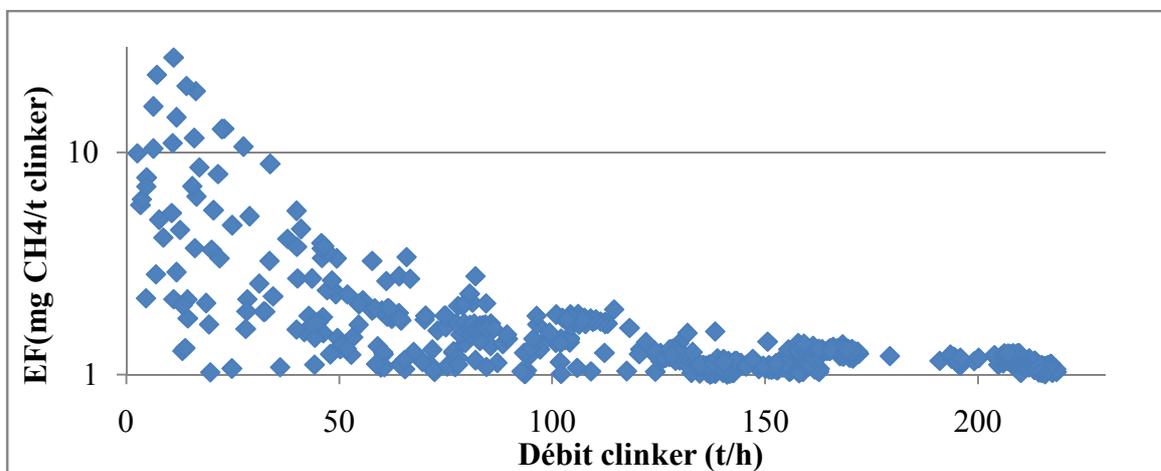


Figure IV.12: Variation du facteur d'émission unitaire de CH₄ en fonction du débit de production de clinker.

Figure IV.12 présente l'influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire, en voie une dispersion de valeur de facteur d'émission de entre 1 – 11 mg CH₄/t clinker inferieur a une production de clinker de 40 t/h avec une tendance de 3 à 0.13 mg CH₄/t clinker correspond à une production de clinker vers 230 t.

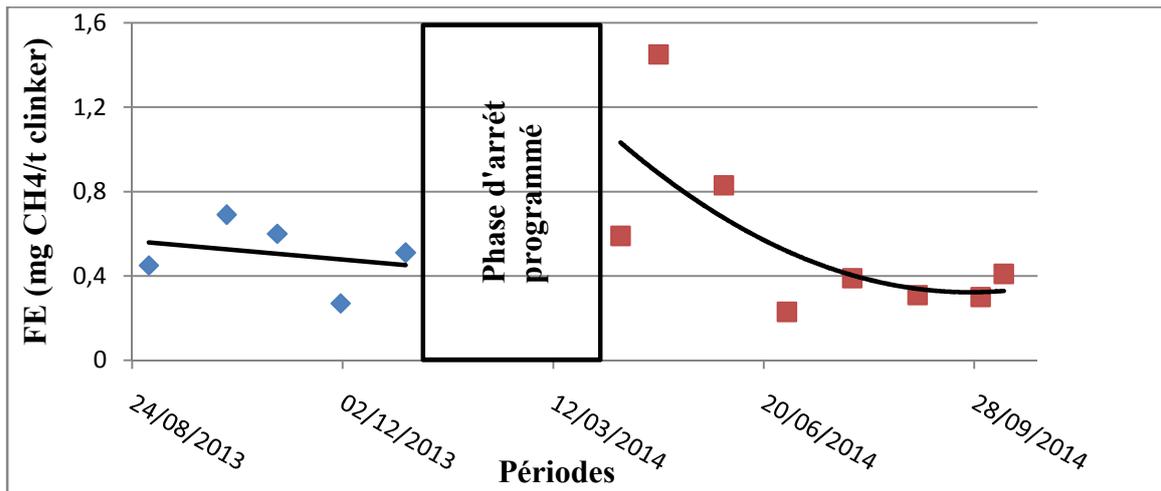


Figure IV.13: Variation de facteur d'émission moyen de CH₄ en fonction de classe de date mensuelle.

Figure IV.13 présentes le control continue de facteur d'émission unitaire moyen de CH₄, en voie une tendance croissante varie entre 0.27 – 0.69 mg CH₄/t clinker avant la phase d'arrêt et une tendance décroissante après l'arrêt entre 0.83 vers 0.23 mg CH₄/t clinker.

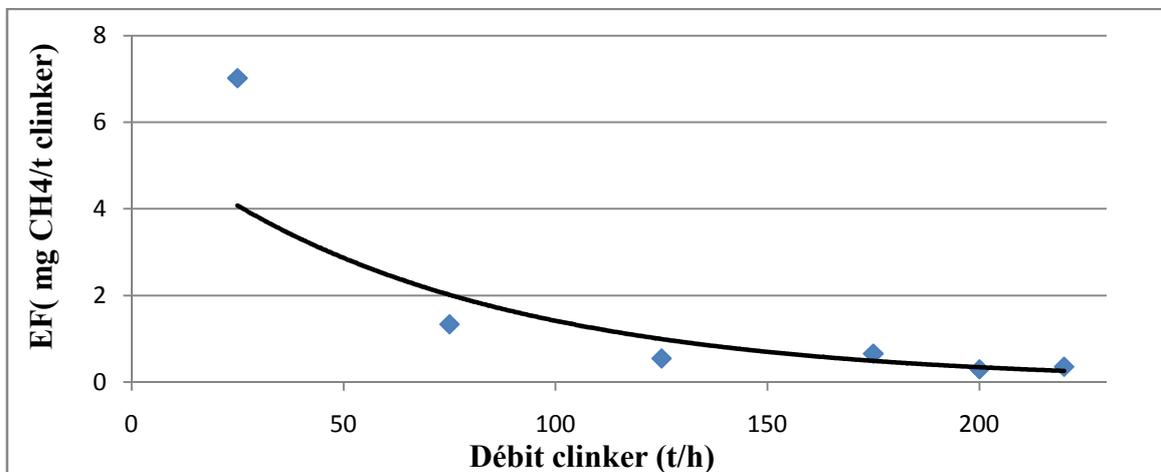


Figure IV.14: Variation de facteur d'émission moyen de CH₄ en fonction de classes de la production de clinker.

Figure IV.14 présentes influences de débit de production de clinker sur le facteur d'émission moyen de CH₄, en voie une tendance décroissante de 1.34 vers 0.3 mg CH₄/t clinker avec une amplitude de 7.02 mg CH₄/t clinker correspond à des faibles débits de clinker inférieur à 50 t/h.

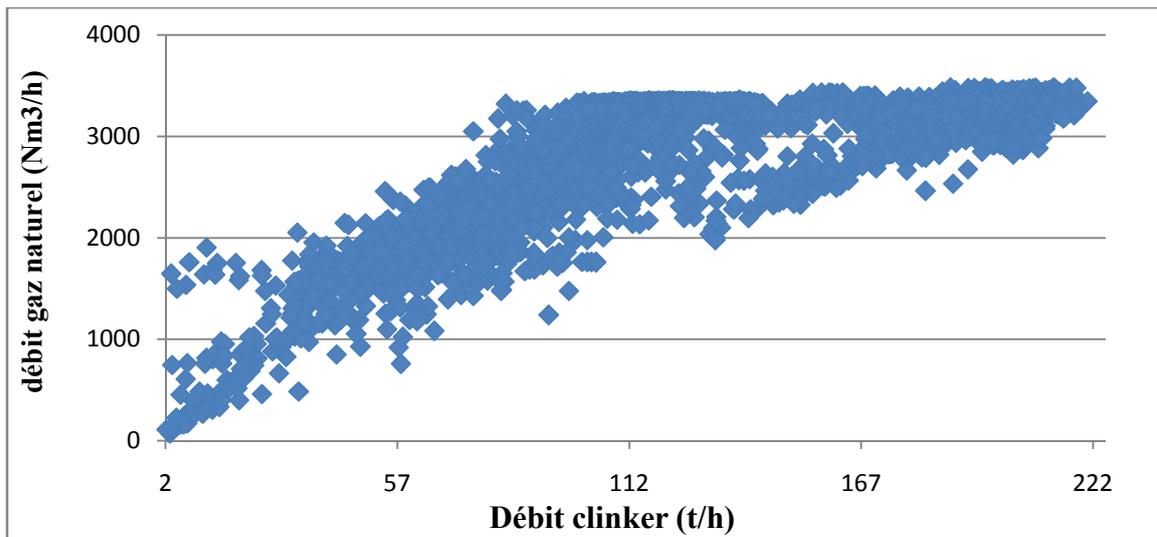
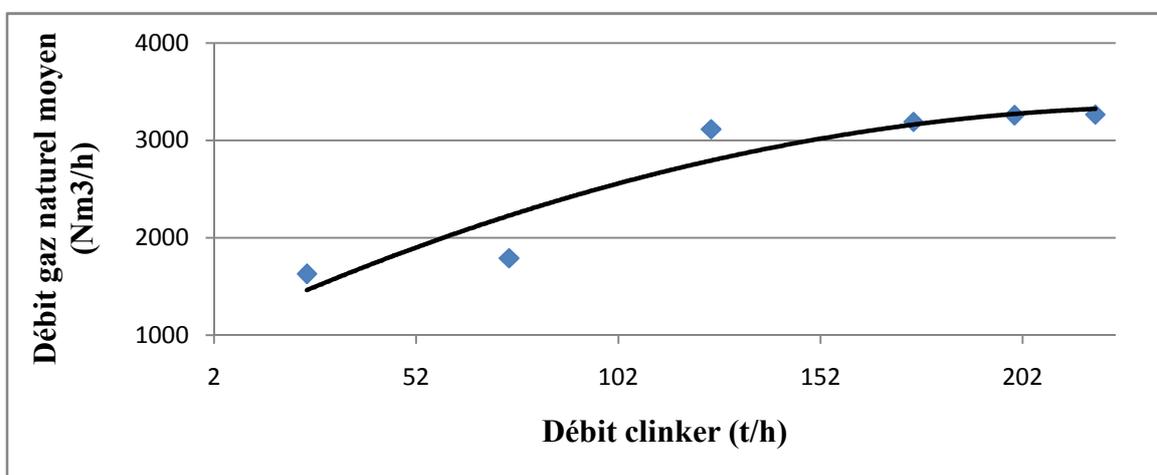
IV.2.4. Facteur d'émission unitaire CO₂ combustion

Figure IV.15: Consommation de gaz naturel en fonction de la production de clinker.

La figure IV.15 présente l'influence de débit de production de clinker sur la consommation de gaz naturel. En observe une croissance du débit de gaz naturel de 0 à 3000 Nm³/h correspond à une production de clinker inférieur a100 t/h avec une stabilité entre 3000 et 3500 Nm³/h pour les productions de clinker supérieur de 100 t/h.



La figure IV.16 : Consommation moyenne de gaz naturel en fonction de débit de production de clinker.

La figure IV.16 présente l'influence de débit de production de clinker sur la consommation de gaz naturel moyenne en observe une tendance croissante proportionnellement avec l'augmentation de production de clinker.

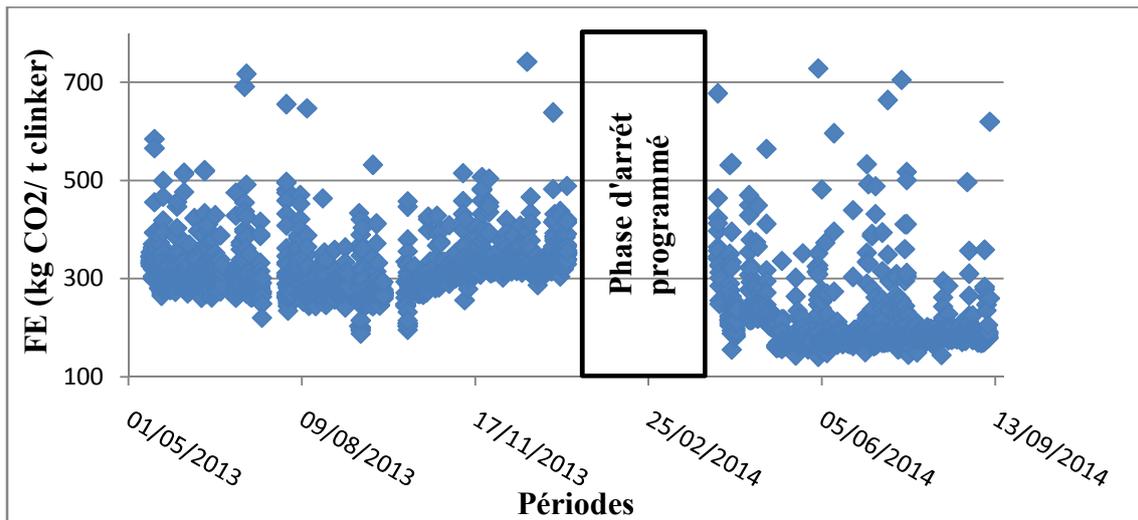


Figure IV.17: Variation de facteur d'émission unitaire de CO_2 combustion en fonction de temps.

La figure IV.17 présente le contrôle de facteur d'émission unitaire de CO_2 combustion on observe deux niveaux entre 300 et 400 kg CO_2 / t clinker avant l'arrêt programmé avec une réduction vers les 200 kg CO_2 /t clinker.

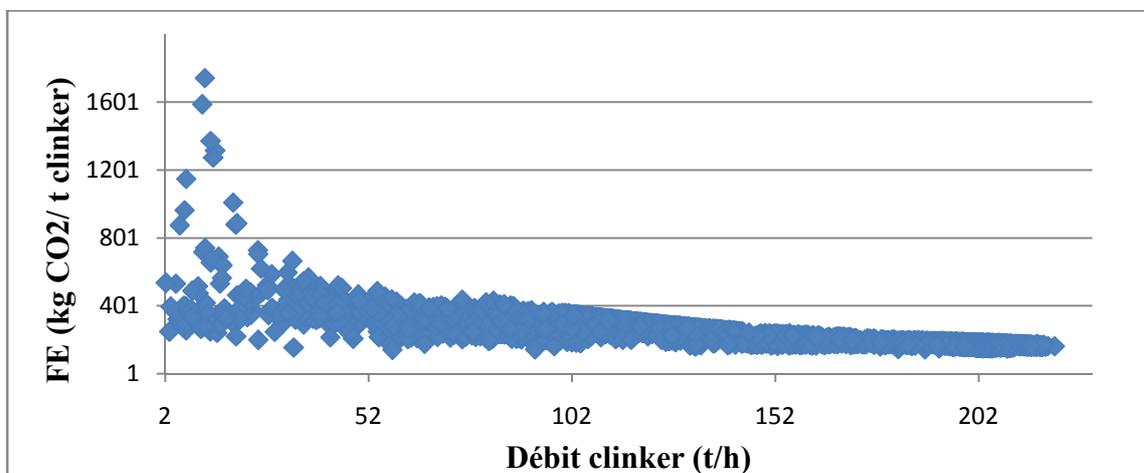


Figure IV.18: Variation de facteur d'émission de CO_2 combustion en fonction de débit de clinker.

La figure IV.18 présente l'influence de débit de production sur le facteur d'émission unitaire moyen de CO_2 de combustion. On voit une dispersion de facteur d'émission qui dépasse les 1000 kg CO_2 /t clinker à faible débit de production de clinker 20 t/h avec une tendance décroissante de 500 à jusqu'à 150 kg CO_2 /t clinker à une production de clinker supérieur à 50t/h.

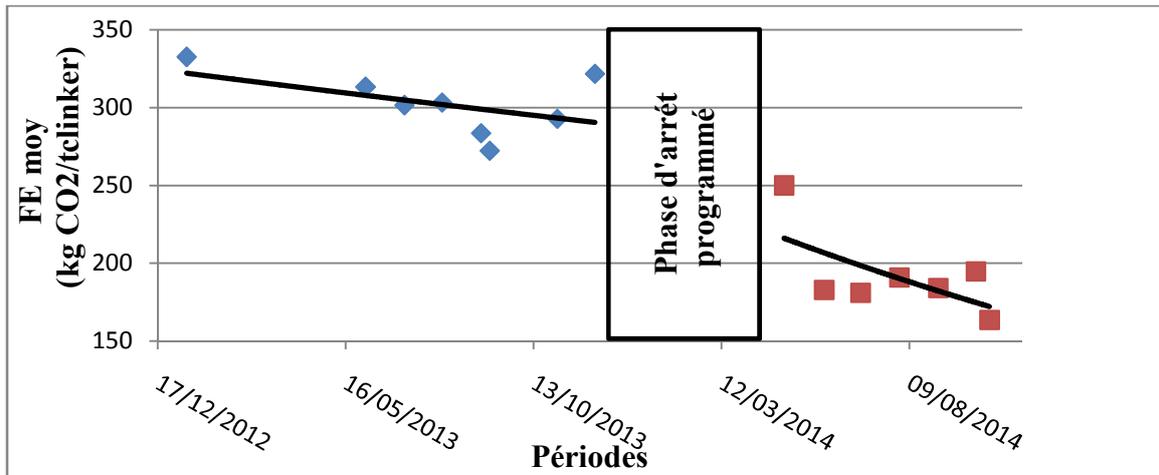


Figure IV.19: Variation du facteur d'émission unitaire mensuelle de CO₂ combustion

La figure IV.19 présente la variation de facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de CO₂ de combustion. On observe un degré de décroissance au tour de 280 et 350 kg CO₂/t clinker avant l'arrêt programmé avec une tendance décroissante de 200 vers 850 kg CO₂/t clinker après la phase d'arrêt.

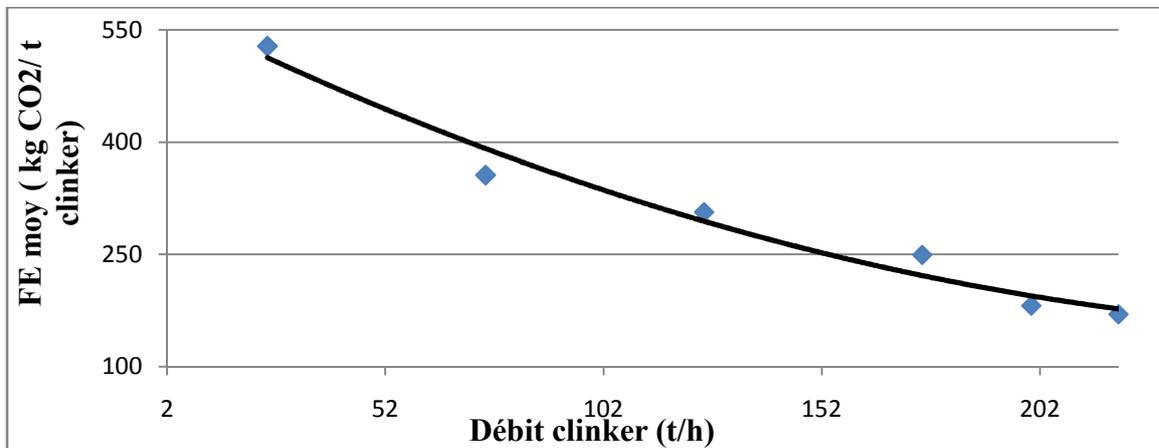


Figure IV.20: Variation de facteur d'émission unitaire moyen de CO₂ combustion en fonction de production de clinker.

La figure IV.20 présente l'influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire moyen de CO₂. On observe une tendance décroissante de 360 vers 180 kg CO₂/t clinker proportionnellement avec l'augmentation la production de clinker.

IV.2.4.Facteur d'émission unitaire de particules

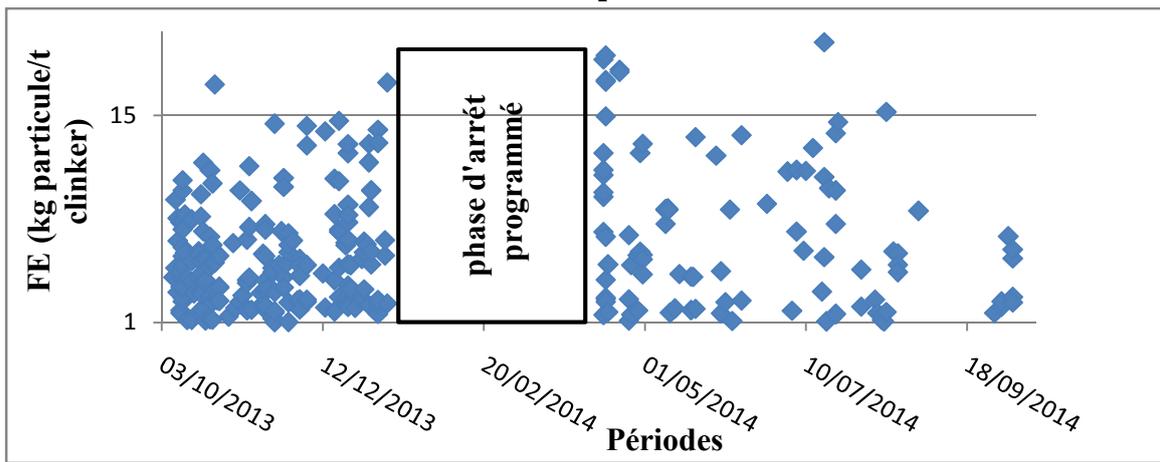


Figure IV.21: Variation de facteur d'émission de particule en fonction du temps.

Figure IV.21 présente le contrôle continue de facteur d'émission unitaire de particule, en voie un degré de stabilité de facteur d'émission compris entre 0.002 et 5 kg particule/t clinker avec des amplitude jusqu'à 23 kg particule/t clinker avant la phase d'arrêt et de 39 kg particule/t clinker après l'arrêt.

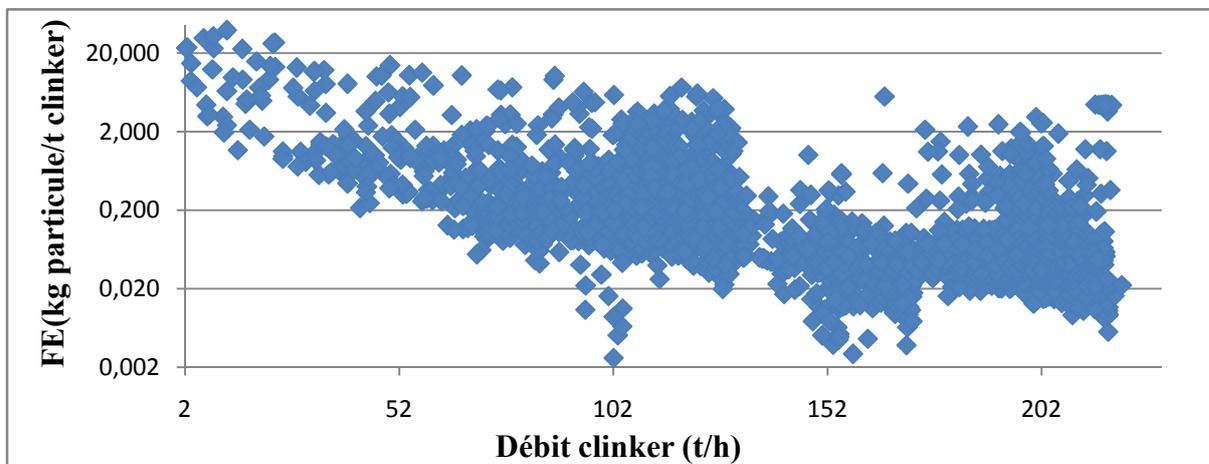


Figure IV.22: Variation de facteur d'émission de particule en fonction de la production de clinker.

La figure IV.22 présente l'influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire de particule, en voie une dispersion d'un facteur d'émission entre 0.02 et 39 kg particule/t clinker a une production de clinker inferieur a 50 t/h avec une tendance décroissante vers 0.01 kg particule/t clinker a une production maximum de clinker de 220 t/h.

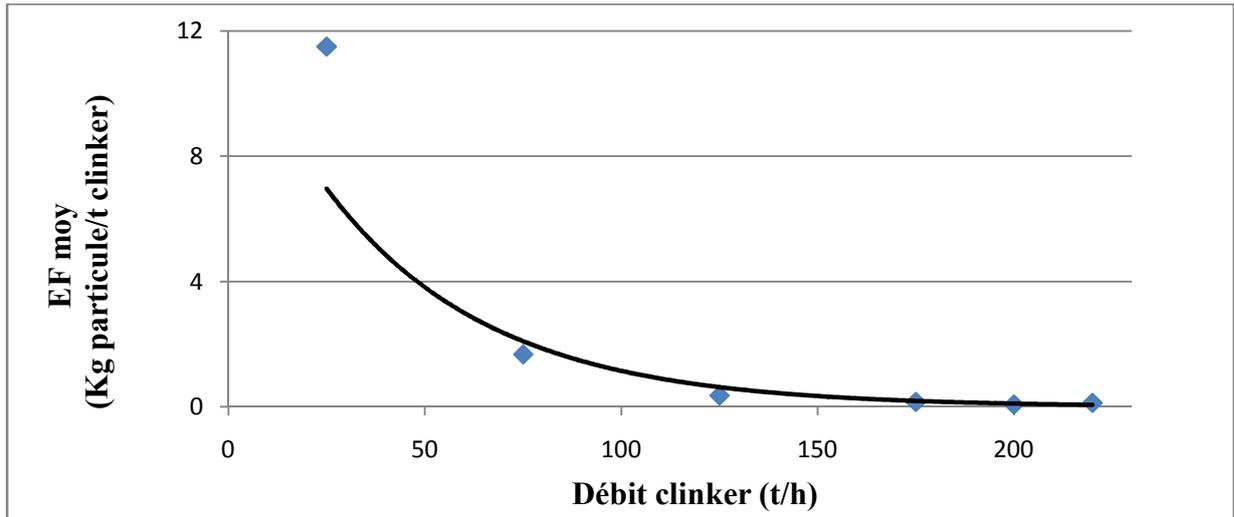


Figure IV.22: Variation de facteur d'émission moyenne de particule en fonction de classe de débit clinker.

La figure IV.22 présente influence de débit de production de clinker sur le facteur d'émission unitaire moyen de particule, en voie une tendance décroissante varie entre 1.68 vers 0.13 kg particule/t clinker pour une production de clinker de 220 t/h avec des amplitude jusqu'à 11.5 kg particule/t clinker a faible production inferieur a 30 t/h.

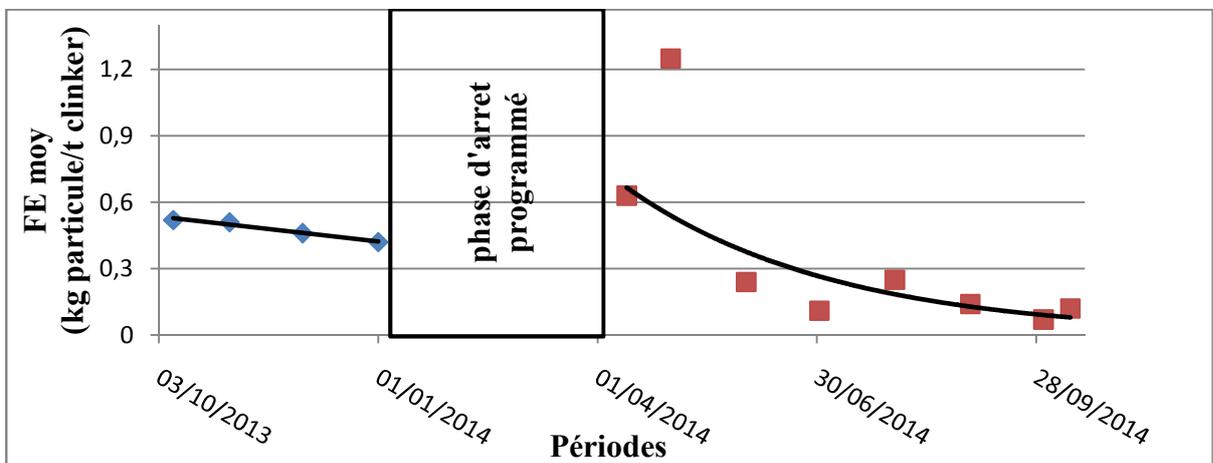


Figure IV.23: Variation de facteur d'émission moyen de particule en fonction de classe de temps mensuelle.

La figure 35 présente le control continue de facteur d'émission unitaire moyen de particule, en voie une tendance décroissante varie entre 0.63 vers 0.42 kg particule/ t clinkers avant la phase d'arrêt et de 0.63 vers 0.07 kg particule/t clinker avec des amplitudes jusqu'à 1.25 kg particule/t clinker après l'arrêt vers une diminution environ 0.1 kg particule/t clinker environ.

IV.2.5. Synthèse des Facteurs d'émissions unitaires polluants

Le tableau IV présente les résultats finaux de facteur d'émission polluants pondéré. En voie une réduction de FE1 qui représente le facteur d'émission unitaire avants l'arrêt para port au FE2 qui représente le facteur d'émission unitaire après l'arrêt sauf le facteur d'émission unitaire de CO₂ de combustion avec un facteur d'émission unitaire de CO₂ de décarbonatation qui est constant.

Tableau IV.3 : Synthèse des facteurs d'émission unitaire par polluant.

Polluant	FE1	FE2	Unité
CO	0.94	0.88	Mg CO/t clinker
NO_x	45.34	29.08	g NO _x /t clinker
CH₄	0.53	0.42	Mg CH ₄ /t clinker
CO₂ combustion	300.83	181.93	Kg CO ₂ /t clinker
CO₂ décarbonatation	628		Kg CO ₂ /t clinker
CO₂ totale	928.83	809.93	Kg CO ₂ /t clinker
Particule	0.38	0.12	Kg particule/t clinker

IV.3. Discussion

La variation de facteur d'émission unitaire polluant est reliée à l'arrêt programmé par l'usine de 09/01/2013 à 06/04/2014 « 3 mois », dans le cadre de l'augmentation et la perfection de la production de ciment. Qui fait l'objet de changement de deux parties de la virole de four plus la mise en œuvre de deux injecteurs au niveau cyclone 1 de la tour de préchauffeur.

Les résultats de cette étude relever un taux de réduction de facteur d'émission unitaire de CO de 0.94 à 0.88 mg CO/t clinker et le CH₄ de 0.53 à 0.42 mg CH₄/t clinker à cause de l'oxydation de CO, CH₄ généré par le four et la régénération de nouveau CO, CH₄ par la combustion de gaz naturel au niveau des injecteurs.

En absence d'installation de procédé de traitement de DeNO_x la réduction de facteur d'émission unitaire NO_x de 45.34 à 29.08 g NO_x/t clinker due à la baisse de température dans le four qui passé de 1230 vers 900°C. En parallèle, une réduction de facteur d'émission

unitaire de CO₂ de combustion 928 à 808 kg CO₂/t clinker à cause de réduction de consommation de gaz naturel.

A cause du manque de données sur le fonctionnement de l'électrofiltre, tout ce qui concerne le paramètre opératoire de rendement le contrôle, il est difficile d'expliquer les résultats relatifs aux émissions unitaires de particules

IV.4.Comparaison international des facteurs d'émissions unitaires

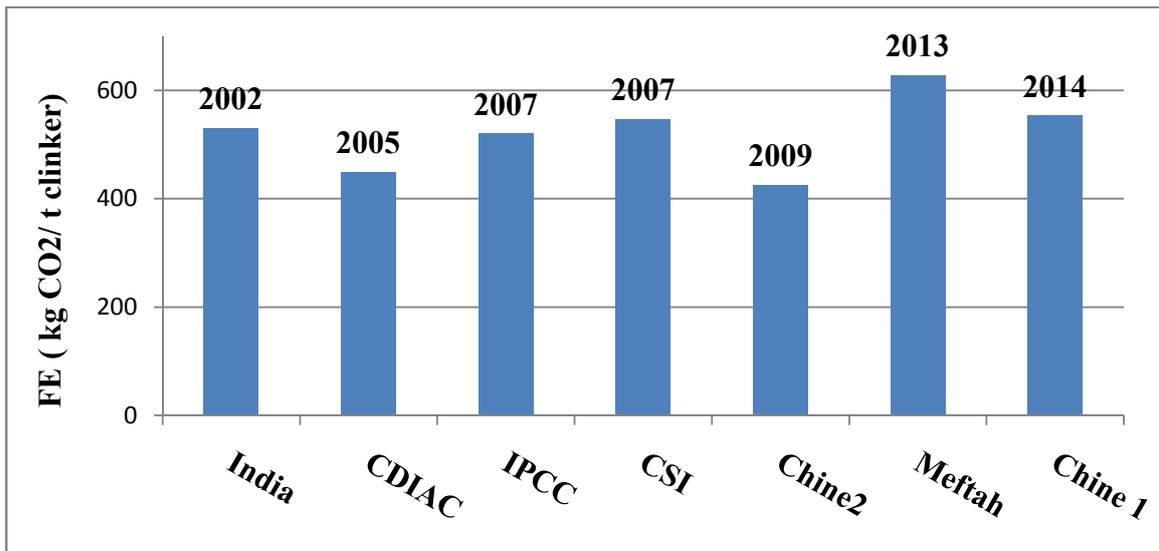


Figure IV.24: facteur d'émission unitaire de CO₂ du à la décarbonatation

La figure IV.24 présente comparaison de facteur d'émission polluant de CO₂ du seulement à la décarbonatation. En voie que le facteur d'émission majeur de 628 kg CO₂/t ciment de la cimenterie de Mefath avec un degré de stabilité entre les facteurs d'émission unitaire varie entre 525 et 550 kg CO₂/ t clinker pour les autre facteurs d'émission par défaut de l'IPCC, CSI, et la Chine1 plus des valeur inferieur a 450 kg CO₂/t clinker pour la Chine2 et Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC).

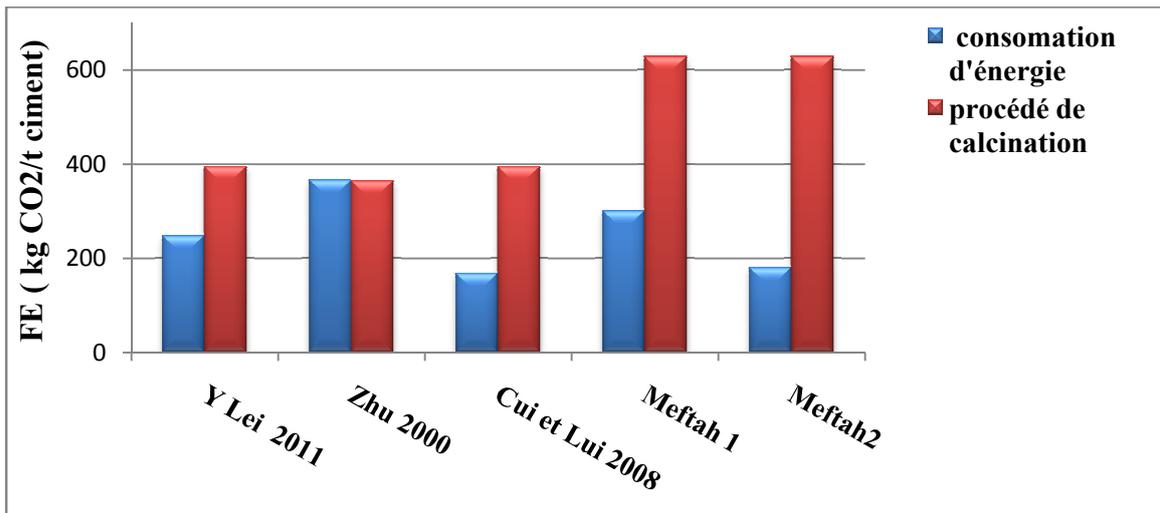


Figure IV. 25 : Comparaison de facteur d'émission de CO₂ de la Chine et Meftah.

La figure IV.25 présente une comparaison entre les deux facteurs d'émissions unitaires de CO₂ celle de la combustion de combustible et la décarbonatation de la Chine et Meftah. On observe un facteur d'émission de décarbonatation de la Chine égale à 2/3 environ le facteur d'émission de la cimenterie de Meftah. En parallèle on voit une réduction de facteur d'émission de Meftah2 avec celle de Cui et Lui en 2008.

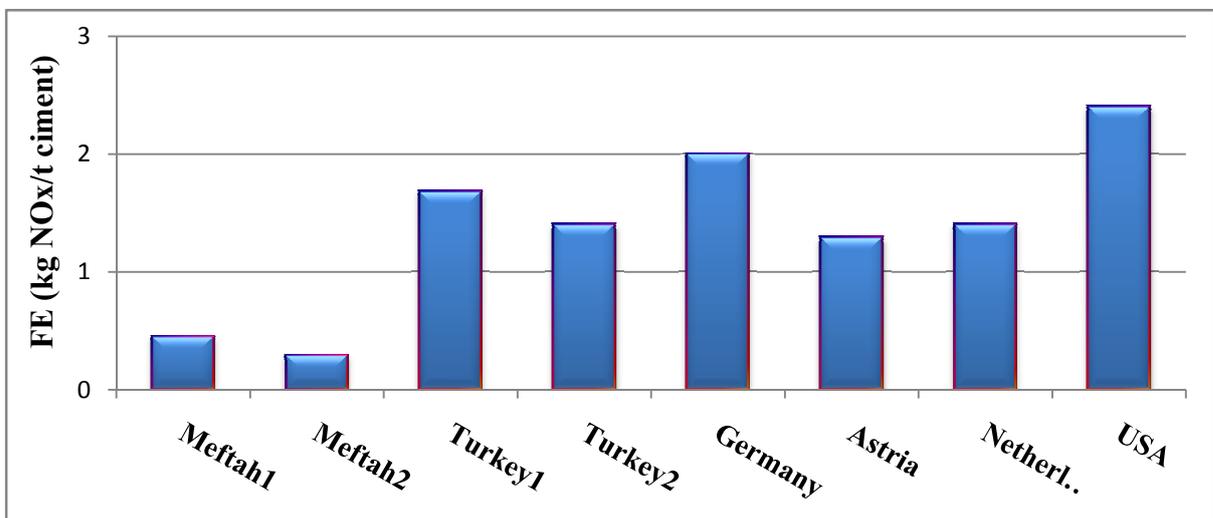


Figure IV.25: Facteur d'émission unitaire de NO₂ par pays.

La figure 38 présente une comparaison de facteur d'émission unitaire de NO₂ par pays. On observe un facteur d'émission unitaire de 2 à 2.4 kg NO₂/t clinker pour l'Allemagne et les USA majeur avec un facteur d'émission moyen au tour 1.3 kg NO₂/t clinker pour l'Autriche et Pays Bas. Plus un facteur d'émission unitaire mineur de 0.51 kg NO₂/t

clinker environ pour la Turquie et Meftah1 vers un minimum de 0.29 kg NO₂/t clinker de Meftah2.

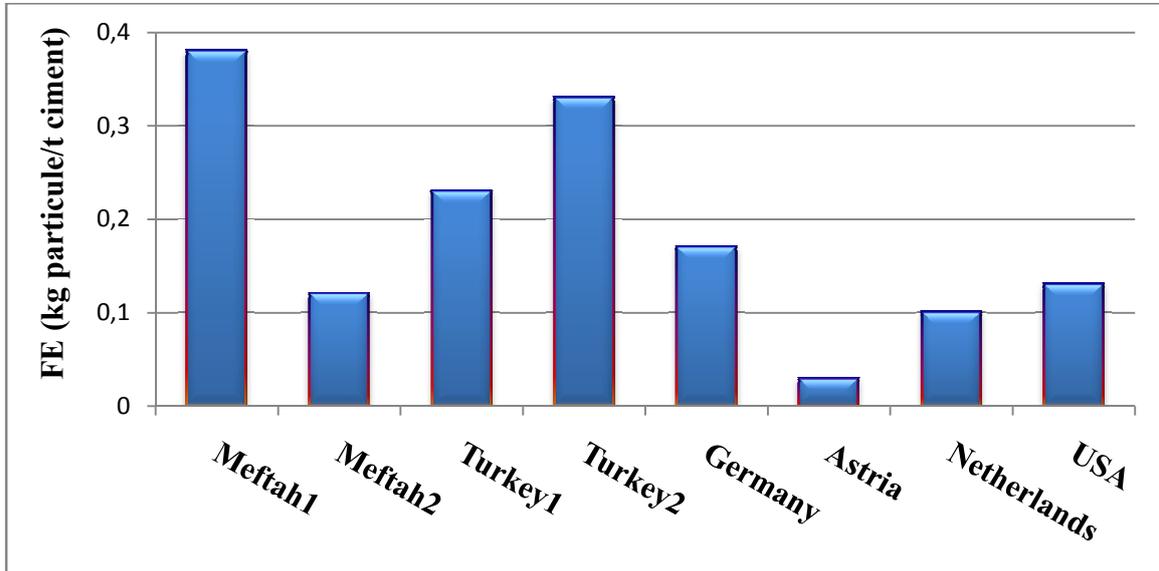


Figure IV.26: Facteur d'émission unitaire de particule par pays.

La figure 40 présente une comparaison de facteur d'émission de CO₂ par pays. En voie un facteur d'émission unitaire majeur de 0.33 a 0.38 kg particule/t clinker par la Turquie et Meftah avec un degré de stabilité sur le niveau de 0.1 et 0.2 kg particule/t clinker pour USA, Germany, Pays Bas et Meftah2 et un facteur d'émission mineur de 0.02 kg particule/t clinker. Le tableau suivant représente la comparaison de facteur s'émission de CO de défèrent pays. On observe que le facteur d'émission unitaire de Meftah de 0.94 mg CO/t clinker reste faible par rapport aux autres pays de 0.49 à 2.25 kg CO/t ciment environ.

Tableau IV.4. Comparaison de facteur d'émission unitaire de CO par pays

Pays	Facteur d'émission unitaire de CO
Turquie (kg /t clinker)	2.252
Turquie (kg/t ciment)	1.609
Autriche (kg /t ciment)	2.209
Pays Bas (kg /t ciment)	0.400

US EPA (kg /t ciment)	0.49
Meftah 1 (mg /t clinker)	0.94
Meftah 2 (mg /t clinker)	0.88

Introduction

Les cimenteries sont considérés comme les plus énergivores et polluant, parmi les autres secteurs industriels. Il contribue par ces émissions gazeuses et particulaires à la pollution locale et globale. L'intérêt de la communauté mondiale se focalise essentiellement sur les émissions de gaz à effet de serre émis par les cimenteries qui sont dues à la combustion de combustibles et la décarbonatation de la matière première pour la production de clinker.

L'utilisation de facteur d'émission unitaire permet non seulement de comparer les niveaux de pollution des procédés technologiques mais aussi les niveaux de consommation énergétique de ces procédés. Ces facteurs d'émissions unitaires servent aussi à l'estimation des émissions polluantes des cimenterie pour réaliser des inventaires d'émission de gaz à effet de serre dans le cadre de la convention des nations unies sur les changements climatiques, UNFCCC, ou régional au niveau Européen et au niveau local. L'utilisation des facteurs d'émission unitaire de polluants dans des modèles de dispersion permet l'évaluation de l'impact des cimenteries sur la qualité de l'air local.

Ce travail est effectué en collaboration avec la cimenterie de Meftah dans le cadre de la coopération entre l'université de Blida 1 et le groupe cimentier CSMI. Il vise la détermination des facteurs d'émission unitaire des polluants « CO, CO₂, CH₄, particules » à partir des données de mesures expérimentales effectués aux niveaux de l'unité de Meftah. Les données de mesure de polluants et des paramètres opératoires collectées à partir la base de données de l'unité de Meftah sont traitées et validées pour construire une base de données pour le calcul des émissions unitaires.

Le présent rapport est composé de quatre chapitres pour introduire le procédé de fabrication du ciment et les émissions polluantes en général et les facteurs d'émission unitaire en particulier. Le chapitre trois est consacré à la présentation de la méthodologie de calcul des émissions unitaires et les résultats trouvés sont discutés et comparés aux facteurs d'émissions unitaires de la littérature internationale.

Le travail a permis de déterminer les niveaux des émissions et de mettre en évidence les performances environnementales lors des modifications techniques apportées au procédé de l'unité de Meftah.

Liste des figures

Figure II.1: Séparateur dynamique troisième génération.	7
Figure II.2 : Séparateur statique	7
Figure I.3 : Schéma de principe d'un électrofiltre industriel.	9
Figure I.4 : Circuit matière de l'atelier cru.....	11
Figure I.5: Four rotatif.....	12
Figure I.6 : Préchauffeur à 4 étages de cyclone.....	13
Figure I.7 : Opération principale réalisée dans l'atelier cuisson	14
Figure II.1 : Principe de fonctionnement d'opacimétrie	22
Figure II.2 : Sonde de prélèvement avec système d'extraction automatique.....	23
Figure II.3: Coffret tête de sonde.	24
Figure II.4 : Porte filtre céramique.	24
Figure II.5 : Ligne de prélèvement chauffé	25
Figure II.6 : Groupe froid	25
Figure III.1: Arbre de décision de trois catégories source.....	31
Figure IV.1: Variation de facteur d'émission de CO en fonction du temps.	37
Figure IV.2: Variation de facteur d'émission de CO en fonction du débit de clinker.	37
Figure IV.3: Variation du facteur d'émission unitaire moyen mensuelle de CO.....	38
Figure IV.4: Facteur d'émission unitaire moyenne de CO en fonction du débit clinker.	38
Figure IV.5 : Variation de facteur d'émission unitaire de NOx en fonction du temps. ..	39
Figure IV.6: Variation de facteur d'émission unitaire en fonction de débit du clinker ...	39
Figure IV.7: Variation de facteur d'émission unitaire mensuelle de NO _x	40
Figure IV.8: Variation de facteur d'émission moyen de NOx en fonction de débit de production de clinker.	40
Figure IV.9: Variation de facteur d'émission unitaire de NOx en fonction de la température.....	41

Figure IV.10: Variation de la température moyenne mensuelle.....	41
Figure IV.11: Variation de facteur d'émission unitaire de méthane en fonction du temps.....	42
Figure IV.12: Variation du facteur d'émission unitaire de CH ₄ en fonction du débit de production de clinker.	42
Figure IV.13: Variation de facteur d'émission moyen de CH ₄ en fonction de classe de date mensuelle.....	43
Figure IV.14: Variation de facteur d'émission moyen de CH ₄ en fonction de classes de la production de clinker.	43
Figure IV.15: Consommation de gaz naturel en fonction de la production de clinker.	
44Figure IV.16 :Consommation moyenne de gaz naturel en fonction de débit de production de clinker.....	44
Figure IV.17: Variation de facteur d'émission unitaire de CO ₂ combution en fonction de temps. 45	45
Figure IV.18: Variation de facteur d'émission de CO ₂ combution en fonction de débit de clinker.	45
Figure IV.19: Variation du facteur d'émission unitaire mensuelle de CO ₂ combustion	46
Figure IV.20: Variation de facteur d'émission unitaire moyen de CO ₂ combustion en fonction de classe de débit de production de clinker.	46
Figure IV.21: Variation de facteur d'émission de particule en fonction du temps.....	47
Figure IV.22: Variation de facteur d'émission de particule en fonction de la production de clinker.	47
Figure IV.22: Variation de facteur d'émission moyenne de particule en fonction de classe de débit clinker.....	48
Figure IV.23: Variation de facteur d'émission moyen de particule en fonction de classe de temps mensuelle.....	48
Figure IV.24: Facteur d'émission unitaire de CO ₂ par pays	49
Figure IV.25: Facteur d'émission unitaire de NO ₂ par pays.	49
Figure IV.26: Facteur d'émission unitaire de particule par pays.	50

Figure IV.27: Facteur d'émission unitaire de CO2 par source. 51