



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

OPTIMISATION DES PARAMETRES DE LA TUYERE

Présenté par :

- ◆ EL FADILI Ismail

Encadré par :

- ◆ Mr. ELMIAYAR Hamza (Sté Lafarge)
- ◆ Pr. MELIANI Abdeslam (FST – Fès)

Soutenu le 15 Juin 2010 devant le jury composé de:

- Mr. Ahmed BOULAHNA, Professeur, FST-Fès
- Mr. Mohammed CHAOUQI, Professeur, FST-Fès
- Mr. Hamza ELMIAYAR, Ingénieur, Lafarge Meknès
- Mr. Abdeslam MELIANI, Professeur FST-Fès

Stage effectué à LAFARGE

Année Universitaire 2009 / 2010

Remerciement

Au terme de ce travail et en témoignage de ma profonde reconnaissance, Je tiens à exprimer ma gratitude à Mr le directeur Général de la société Lafarge, Mr ASFAJ responsable des ressources humaines pour m'avoir accordé ce stage, Mr BOUMEDIANE et Mr FARAJI service Formation pour leur gentillesse et sympathie et pour leur aide morale et matérielle

Mes vifs remerciements à monsieur MOUNIR BELFAKIR l'ingénieur procédé.

Mes remerciements les plus sincères à Monsieur HAMZA, et toutes les positions législatives et expérimentales qui a mis à ma disposition.

Je remercie également Mr A.BOUCHAMA, et Mr NABIL, qui m'ont bien aidé à effectuer ce stage.

Je tiens à remercier également mon Professeur Mr. A.MELIANI de la FST de Fès pour son encadrement et son suivi tout au long de ce stage.

Je remercie vivement aussi tous mes chers professeurs de l'option Génie Chimique pour leur encouragement et leurs conseils, ils ont contribué beaucoup à ma formation pendant l'année universitaire 2009/2010 au sien de la faculté des sciences et technique de Fès.

Un grand merci à toute l'équipe du service procédé de La Société Lafarge de Meknès.

Bref, mes remerciements les plus chers à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin, d'une façon ou d'une autre à réaliser ce travail.

Sommaire

Introduction	4
Première partie : Présentation de LAFARGE Meknès	
I- Présentation de LAFARGE Meknès	5
1- Historique.....	5
2- Fiche signalétique	5
3- Organigramme de Lafarge Meknès.....	6
Deuxième partie : Description du cycle de fabrication du ciment	
I- Carrières et matières premières	7
1- Les matières premières.....	7
2- Exploitation de carrière	7
2-1- Extraction.....	7
2-2-Concassage.....	8
II- La préparation du cru	8
1- La composition du cru.....	8
2- La pré homogénéisation.....	9
3- Reprise du tas.....	9
4- Broyage cru.....	9
5- L'homogénéisation.....	10
III- Préparation des combustibles	11
IV- cuisson du cru	11
1- clinker.....	11
2- production de clinker.....	11
2-1- Préchauffage.....	12
2-2- Four rotatif.....	12
2-3- Refroidissement.....	13
3- les réactions de cuisson.....	13
V- Le broyage et l'expédition du ciment	14
1- Broyage ciment.....	14
2- Stockage de ciment et ensachage.....	15
Troisième partie : optimisation des paramètres de la tuyère	
Introduction	17
I- Généralités sur la tuyère, et méthode de calcul de l'impulsion et Swirl	18
A-Généralités sur la tuyère	18
1- Définition.....	18
2- Le rôle de la tuyère.....	18
3- l'installation de la tuyère.....	18
4- La tuyère Lafarge et son fonctionnement.....	19
B-Méthodes de calcul de l'impulsion et swirl	20
1- L'impulsion.....	20
2- Le swirl.....	20
3- Influence de l'air axial et de l'air rotationnel sur la flamme.....	21
II- Mesures, calculs et exploitation des résultats	22
1- les appareils utilisés pour les mesures.....	22
2- schéma explicatif des points de mesures.....	23
3- les paramètres à mesurer.....	23
4- le calcul de l'impulsion et swirl à l'état initial (avant l'optimisation du réglage).....	24
4-1-Au refoulement du ventilateur et du sur presseur (à l'entrée tuyère).....	24
4-2-A la sortie tuyère.....	27
4-3- calcul de l'impulsion spécifique et swirl.....	29
4-4-les résultats d'état initial.....	32
III- Optimisation et nouveaux réglages	33
1-résultats 1er réglage.....	33
2-résultats 2eme réglage.....	34
3- comparaison entre les 3 cas.....	35
Conclusion générale	36

Introduction

Toute formation ne pourra donner ses fruits, sans une application dans des cas concrets au sein de l'entreprise, et l'acquisition d'un savoir faire et d'une expérience bien appropriée.

S'inscrivant dans cette logique, et afin de couronner la formation théorique, la faculté des sciences et techniques, fait bénéficier ses étudiants à l'issue de la Licence Sciences et Techniques, d'un stage de fin d'études.

Je vous présente mon projet de fin d'études sous forme de trois parties :

La première partie consiste à une approche de mon milieu de stage en décrivant une présentation de LAFARGE ciment usine de Meknès et du secteur ciment au Maroc.

La deuxième partie c'est une « Description du procédé de fabrication du ciment » : nous ferons l'analyse des différentes étapes de production du ciment, avec la précision du processus suivi à l'usine de Meknès.

*La troisième partie sera réservé a la partie pratique sous le titre suivant **optimisation du réglage de la tuyère.***

I- PRESENTATION DE LAFARGE Meknès:

1- Historique :

Créée en 1952, sous le nom de CADEM (ciments artificiels de Meknès), elle représentait l'une des composantes clef du secteur industriel marocain. Depuis 1997, elle est devenue LAFARGE CEMENTS.

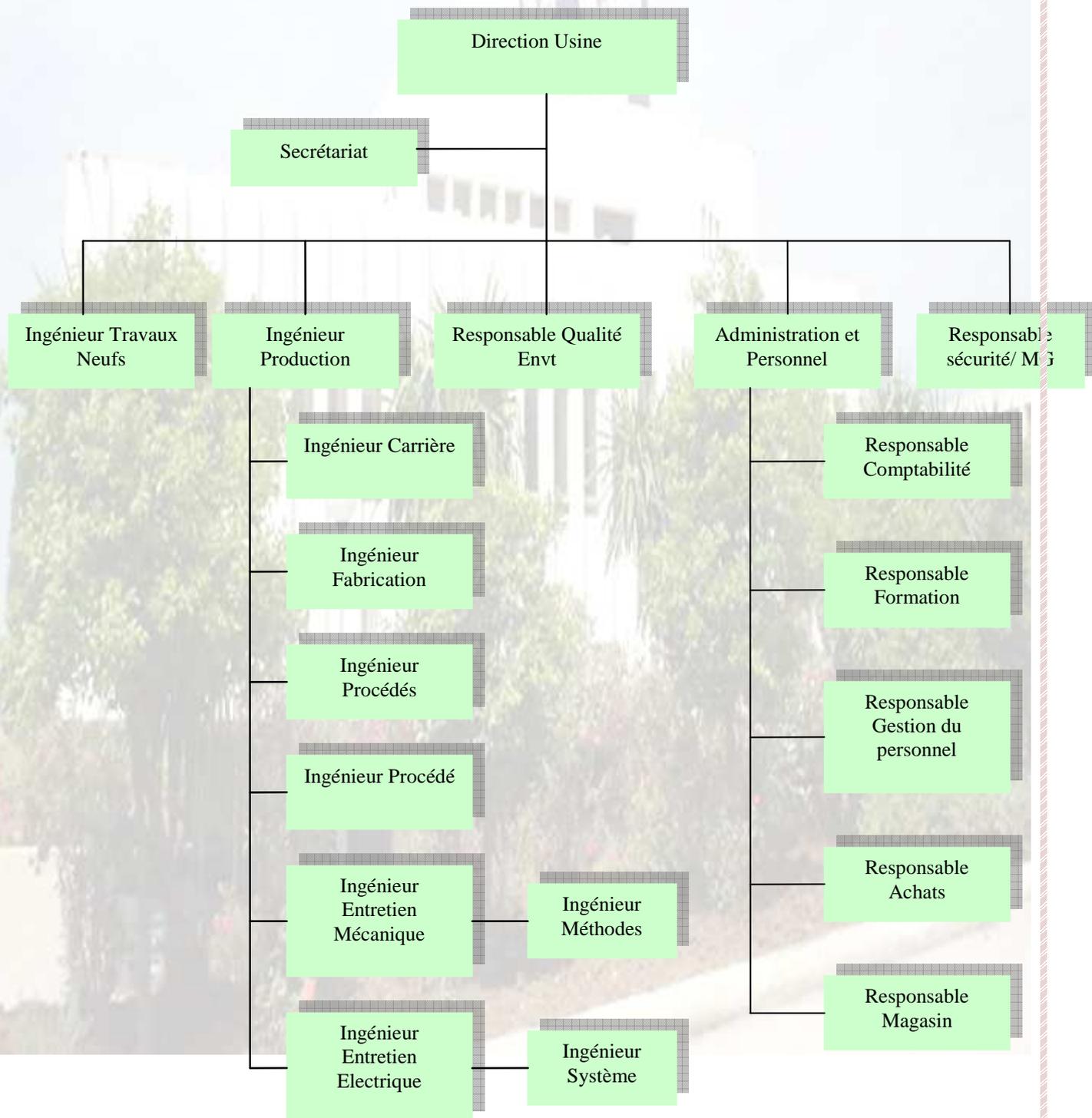
Grâce à son potentiel de production et à son dynamisme, elle assure le leadership cimentier au MAROC.

Au démarrage de l'usine en 1953, la production du clinker du seul four installé était de 300 tonnes Par jour, soit moins de 100 000 tonnes par an. Depuis, plusieurs améliorations techniques ont été Réalisées pour augmenter le niveau et les performances de production

2- Fiche Signalétique

<i>Raison Sociale :</i>	<i>LAFARGE Ciments Usine de Meknès.</i>
<i>Siège Social :</i>	<i>Casablanca</i>
<i>Forme Juridique :</i>	<i>Société anonyme</i>
<i>Date de création :</i>	<i>Octobre 1995</i>
<i>Adresse :</i>	<i>Km 8 Route de Fès, BP 33 Meknès</i>
<i>Téléphone :</i>	<i>035-52-26-44/45/46</i>
<i>Fax :</i>	<i>0535-54-92-94 et 0535-54-93-05/07</i>
<i>CNSS :</i>	<i>1098343</i>
<i>N° Patente :</i>	<i>17045015</i>
<i>Registre de Commerce :</i>	<i>40779</i>
<i>Effectif du personnel :</i>	<i>340</i>
<i>Directeur :</i>	<i>Mr SAMAKA</i>
<i>Capital :</i>	<i>476 430 500 DH</i>
<i>Gamme de Produits :</i>	<i>CPJ 45 en sac et en vrac</i> <i>CPJ 35 en sac.</i>

3- Organigramme de Lafarge Meknès :



1- Carrières et matières premières :

1- Les matières premières :

Les matières premières (calcaire et argiles) employées sont extraites des deux carrières d usines :

- ❖ *carrière jouxtant l usine d une superficie de 50 h*
- ❖ *une autre carrière située à 5 km de l usine dont les réserves sont très importantes*

Ils apportent les 4 oxydes fondamentaux au fabrication de ciment qui sont la chaux CaO , la silice SiO_2 , alumine Al_2O_3 et ferrite Fe_2O_3 , ces derniers se trouvent rarement en proportions voulues pour cela l usine procède à des mélanges de matière d'origines différentes afin d'ajuster la composition chimique du mélange cru par incorporation d'ajouts tel que mènèrai de fer (apport fer) bauxite (apport d'alumine) et schiste (apport de la silice) .ces matières premières (provenant des carrière d'usine et achetés) peuvent contenir d'autres élément mineur dont l'influence se manifeste sur la marche d'usine et ou la qualité de ciment tel que le MgO , K_2O , Na_2O , les chlorures ,le soufre

2- Exploitation de carrière :

2-1- Extraction :

L'extraction des matières premières ce fait à ciel ouvert sur des fronts de taille de 8 à 13m de hauteur et de deux manières différentes :



Figure 1 : carrière

- ❖ l'abattage à l'explosif par des mines profondes verticales
- ❖ par ripage des parois rocheuses avec des engins

Après l'abattage le transport de calcaire et d'argile abattus vers les concasseurs est assuré par des camions (dumpers).

2-2- Concassage :

Le concassage a pour but de réaliser une première fragmentation afin d'obtenir une granulométrie inférieure à 8 cm pour cela l'usine dispose de deux concasseurs équipés de crible à disque :

- ❖ concasseur DUO6 de FCB avec un débit de 400 t/h
- ❖ concasseur HAZEMAG (concasseur à marteaux) avec un débit de 900t/h

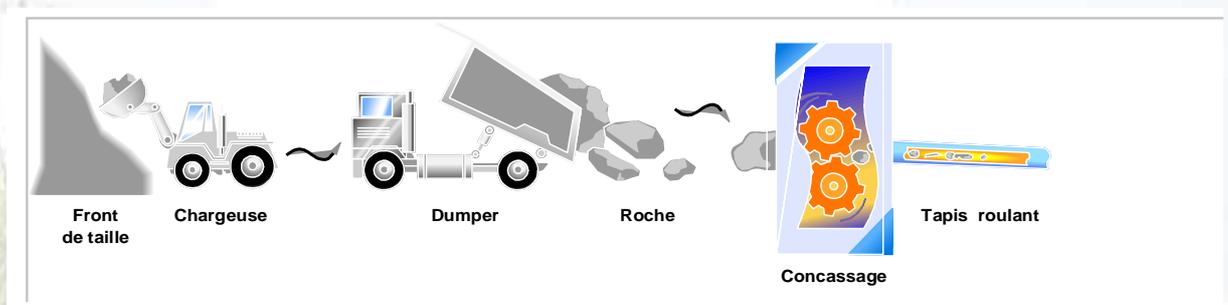


Figure 2 : concassage

La matière concassée est ensuite acheminée vers l'usine à l'aide d'une bande transporteuse appelée CURVODIC.

II- La préparation du cru :

1- la composition du cru :

La préparation du cru est l'opération qui consiste à réaliser un mélange homogène de calcaire d'argile et de matériaux complémentaire (schiste, bauxite et minerai de fer), le mélange de ces différentes matières est déterminé de façon à respecter les modules suivants :

Δ_{bc}	M_s	A/F
$C_{\Delta bc} \pm \xi_{\Delta bc}$	$C_{M_s} \pm \xi_{M_s}$	$C_{A/F} \pm \xi_{A/F}$

Tableau 1: composition du cru :

- ✓ C : consigne fixée en concentration par les services qualité procédé et fabrication
- ✓ ξ : écart
- ✓ Δ_{bc} : le coefficient de saturation en chaux

$$\Delta_{bc} = ((2.8\%SiO_2 + 0.35\%Fe_2O_3 + 1.65\%Al_2O_3) - \%CaO) * 100 / (\%CaO + \%SiO_2 + \%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3)$$

- ✓ M_s : module silicique

$$M_s = \%SiO_2 / (\%Fe_2O_3 + \%Al_2O_3)$$
- ✓ A/F : module alumine ferrique

$$A/F = \%Al_2O_3 / \%Fe_2O_3$$

NB : les trois modules dépend de la matière et de ligne de production c est à dire les modules pré homo différent de cru sortie broyeur et des lignes 1 de la ligne 2.

2- la pré homogénéisation :

Le préhomo constitue un mode de stockage qui permet de construire un tas de matière pré dosé à partir des différentes matières concassées. Son objectif principal est d'avoir un stock aussi régulier que possible à la reprise et qui respecte les consignes des trois modules de la préhomo. L'usine de Meknès dispose de deux préhomo polaires à chevrons de capacité 18000t*2 pour chaque préhomo.



Figure 3 : pré homogénéisation_

Le procédé de pré homogénéisation et le suivant :

En dépose les matières concassés par couche horizontale successive par jeteur

3- Reprise du tas :

Le mouvement de va et vient des herses provoque l'écoulement régulier du tas sur une chaîne de grattage qui transport la matière jusqu à un transport souterrains, le transporteur assure l'alimentation de la trémie d'alimentation du broyeur appelée trémie de mélange.

4- Broyage cru :

La matière de la trémie de mélange vas subir une deuxième correction en cas de besoin pour que le cru sortie broyeur réponde aux consignes des trois modules de la farine, pour cela on trouve à coté de la trémie de mélange trois autres trémies une pour schiste l'autre pour minerai de fer et la dernière pour bauxite.

La fragmentation de mélange (matière pré homo +les correcteurs) est assurée par deux broyeurs verticaux de type loesch LM27-30 à 3 galets avec une capacité qui dépasse 120 t/h et une puissance de 1200kw.

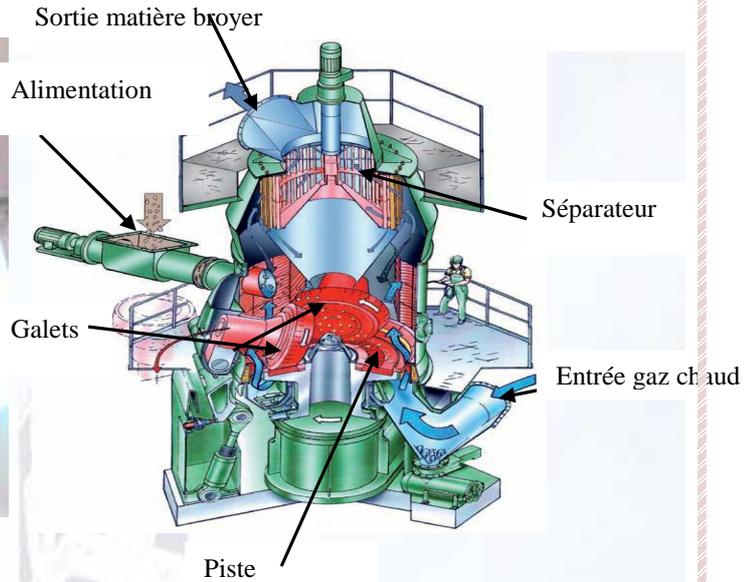


Figure 4: broyeur cru

Après écrasement de la matière entre la piste est les galets un flux de gaz chaud provenant du four assure le séchage et le transport pneumatique du matière ,un séparateur intégré à la machine permet de régler la finesse du produit final : les grosses particules retombent sur le plateau de broyage tandis que les fines sont entraînées par le flux de gaz vers des séparateurs a fin de faire une séparation solide /gaz, la farine récupérer par les filtres et acheminée vers le silo farine .

5- L'homogénéisation :

Après broyage, le cru est expédié, à l'aide de deux élévateurs, vers deux silos d'homogénéisation qui assurent à la fois le stockage et l'homogénéisation de la farine de capacité :

- ❖ Silo 1 :7500 tonnes.
- ❖ Silo 2 :5000 tonnes.

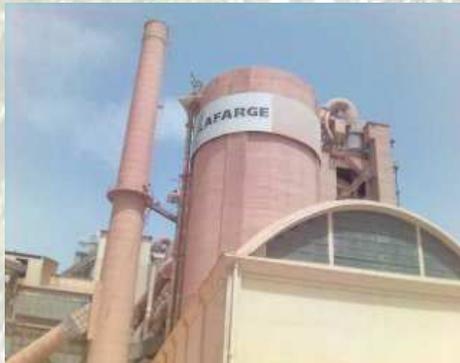


Figure 5: silo

Cette homogénéisation permet d'alimenter les fours avec un cru de composition chimique constante dans le temps.

III- Préparation du combustible :

L'usine de Meknès utilise deux types de combustible :

- ❖ combustible solide : coke de pétrole + les pneus déchiquetés
- ❖ combustible liquide : fuel

Le coke de pétrole va subir une opération de broyage avec un broyeur verticale de type loesche LM 17-20D à 2 galets avec une puissance de 250 kW (même principe de fonctionnement que les broyeur cru), après le broyage le coke broyé est transporté vers un filtre qui alimente les trémie d'alimentation des deux four en coke.

Le fuel va subir un petit chauffage jusqu'à 120 C° afin de diminuer sa viscosité pour faciliter son transport vers les fours (utilisé surtout pendant l'allumage des fours)

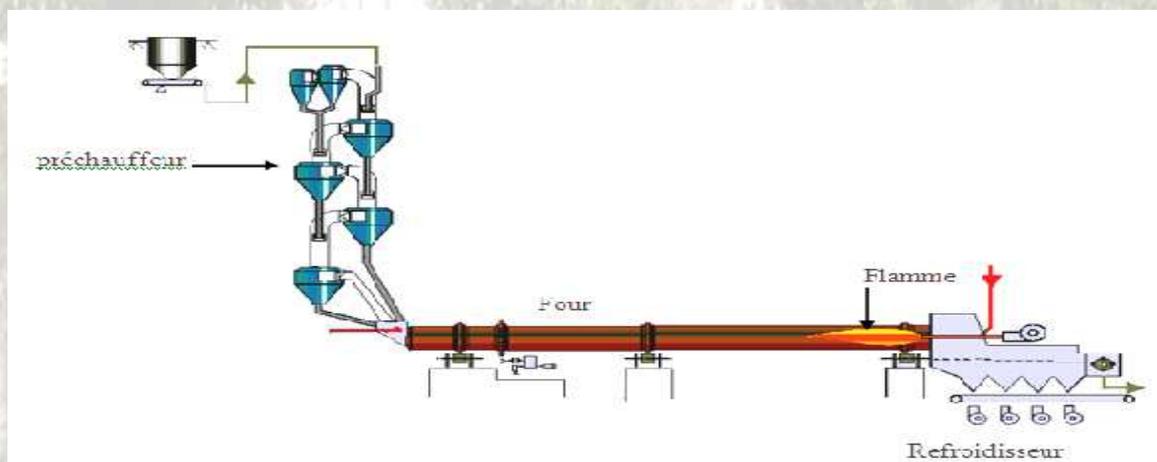
IV- Cuisson du cru :

1- Clinker :

Le clinker est le composé constitué par les nouvelles espèces formées au cours des réactions chimiques, qui se produisent lors de la cuisson du cru dans un four à haute température. Le clinker est essentiellement composé de quatre phases cristallines : les silicates bi et tricalciques l'aluminate tricalcique et l'alumino-ferrite de calcium.

2- Production du clinker :

La farine crue obtenue à l'issue de processus de broyage et d'homogénéisation des matières premières est transformée en clinker par traitement thermique, la transformation se réalise dans des fours rotatifs au sein desquels s'opère le traitement du cru à des températures de l'ordre de 1400°C à 1500°C , à l'usine de Meknès le traitement thermique s'effectue dans deux fours rotatifs munis



d'un préchauffeur à 4 étages de cyclones.

Figure 6 : production de clinker

2-1- Préchauffage :

L'usine de Meknès dispose de deux préchauffeurs à cyclones qui sont constitués de 5 cyclones placés à l'intérieur de chaque tour sur 4 étages. Lors de cette étape la farine est introduite dans la partie supérieure des tours de préchauffage à une température de 60 à 80°C.



Figure 7: Préchauffage

A l'intérieur de la tour les transferts thermiques s'effectuent par contact entre la matière et les gaz, la farine descend par gravité d'un cyclone au carneau du cyclone inférieur commence donc à chauffer progressivement au fur et à mesure qu'il s'approche du four, à l'entrée du four sa température atteint environ 850°C. Elle est totalement déshydratée et partiellement décarbonatée, son degré de décarbonation s'étageant entre 50% et 80% selon le four 1 au 2 cette différence du taux

décarbonatation le four 1 et 2 provoqué par l'installation d'un précalcinateur dans la ligne 1.

2-2- Four rotatif :

Le four rotatif est l'élément principale de fabrication du clinker, il est essentiellement constitué par des viroles en acier protégées par un revêtement intérieur des matériaux réfractaires (brique) .dans lequel brûlent les combustibles injectées à fort débit en

Produisant une flamme de plusieurs mètres de longueur.



Figure 8:four rotatif

Il fonctionne comme un échangeur de chaleur à contre courant dans lequel la flamme atteint 2000°C, elle est dirigée de l'aval vers l'amont du four et elle porte la farine à des très hautes températures jusqu'à 1400 à 1500°C. L'usine dispose de deux fours rotatifs légèrement inclinés, dont les caractéristiques sont les suivantes :

Four n°	Longueur	Diamètre	Pente	Capacité (t/j)	Consommation calorifique (Kcal /Kg de clinker)
1	96m	3,75m	3°	1800	860
2	64m	4m	3°	1200	840

Tableau 2: les caractéristiques de deux fours

2-3- Refroidissement :

Le clinker sort à une température de 1200 à 1400°C tombe dans un refroidisseur, le refroidissement a notamment pour buts d'une part, d'abaisser la température du clinker à la

Température ambiante. Afin de garder intacte la nouvelle structure chimique de la matière et d'autre part, de récupérer au maximum la chaleur qu'il emmagasine.

Le refroidissement est provoqué par le passage de l'air frais tiré de l'atmosphère à travers la grille du refroidissement sur laquelle a été déposé le clinker.

L'usine dispose de deux refroidisseurs :

- refroidisseur de ligne 1 : mis en service fin mois d'avril 2008 c'est un refroidisseur à couloirs (5 couloirs) de type éta-coler l'écoulement du clinker est assuré par le déplacement des couloirs.
- refroidisseur de la ligne 2 : de type Clausius perles 1 grille H. la mobilité de clinker est assurée par la translation et le mouvement alternatif des plaques de grille.

3- Les réactions de cuisson :

La cuisson de la farine crue constitue la phase principale de la fabrication du clinker, et donc du ciment, c'est en effet au cours de la cuisson que s'opèrent les réactions chimiques de transformation du cru en clinker.

✓ La déshydratation :

Les granules de farine présentent un certain taux d'humidité un chauffage à 100°C élimine l'eau libre non combinée l'eau adsorbée par les argiles est libérée et s'échappe entre 100 et 300°C.

✓ La décarbonatation :

Le cru étant séché, il s'échauffe sans grande réaction chimique jusqu'à une température de l'ordre de 750°C où intervient la décarbonatation de la phase calcaire :

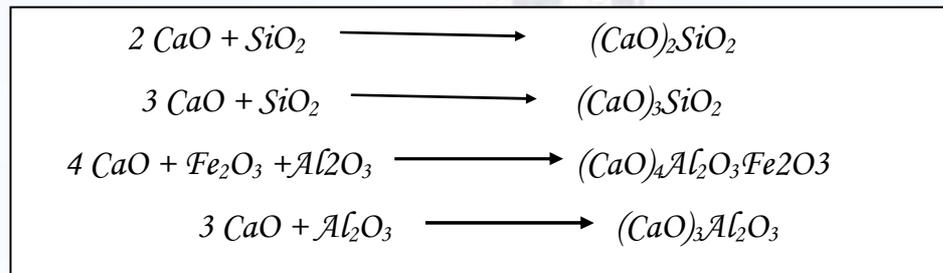


De cette réaction endothermique résulte la formation de CaO naissante indispensable pour la formation des différentes phases du clinker.

✓ le clinkerisation :

La transformation du cru en clinker se caractérise par un changement de la structure moléculaire, les composants de l'argile (principalement silicates d'alumine et oxyde de fer) se combinent à la chaux provenant du calcaire et donnant des silicates et des aluminates de calcium, molécules qui réagissent avec l'eau pour la prise du ciment.

Les équations de réaction sont les suivantes :



Une faible proportion de la chaux reste libre on l'appelle la chaux libre.

V- Broyage et expédition du ciment

1- Broyage ciment :



Figure 9: broyage ciment

✓ **Broyeurs à boulets :**

Une fois refroidis, le clinker est stocké dans un hall d'une capacité de 20 000 t, équipé de deux ponts roulants. Le clinker est broyé dans un broyeur à boulet avec des matières d'ajouts, qui sont le calcaire et le gypse qui est un régulateur de prise. Le broyeur à boulets est constitué de :

- Deux compartiments et une cloison de séparation
- Blindage (fond d'entrée, blindage 1er compartiment, cloison double, blindage 2ème compartiment et fond de sortie)
- Charge broyante : ce sont les boulets qui sont de diamètre de 60 à 100 mm pour le premier compartiment et de 15 à 25 mm pour le deuxième.



Figure 10: boulets

L'atelier de broyage de l'usine est équipé de 3 broyeurs à boulets nommés BK3, BK4 et BK5, dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :

Broyeur Ciment	Marque	Débit	Puissance	Diamètre Nominal	Longueur
BK3	PFEIFFER	60 t/h	1600 KW	3400 mm	11250 mm
BK4	POLYSIUS	45 t/h	1600 KW	3200 mm	11060 mm
BK5	POLYSIUS	100 t/h	2700 KW	4200 mm	12000 mm

Tableau 3: les caractéristiques des 3 broyeurs

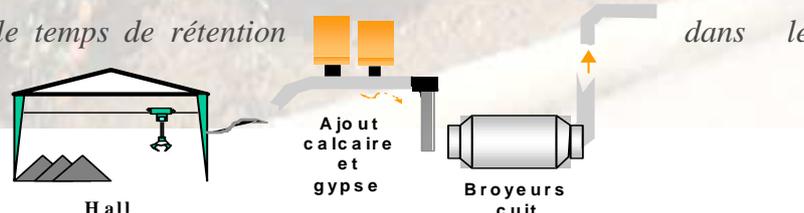
C'est la variation des dosages de ces divers produits et la finesse du broyage qui permet de définir les différents types de ciment.

LAFARGE usine de Mekenès fabrique actuellement 2 types de ciment :

- * Le Ciment Portland avec ajouts CPJ 45 (% calcaire entre 19 et 23%)
- * Le Ciment Portland avec ajouts CPJ 35 (% calcaire entre 29 et 34%)

✓ **Séparateur :**

Le séparateur joue un rôle important dans le fonctionnement global de l'atelier du broyage du ciment, il augmente l'efficacité du broyeur car il optimise la récupération des fines, permet la détermination de la taille maximale des grains dans le ciment et diminue le temps de rétention dans le broyeur.



2-Stockage du ciment et Ensachage :

Le ciment est expédié par des pompes à vis à l'aide des compresseurs d'air vers des silos de stockage du produit fini.



Figure 11: Stockage du ciment

Lafarge dispose de 2 silos d'environ 5000 tonnes, et 4 silos de 2000 tonnes chacun.

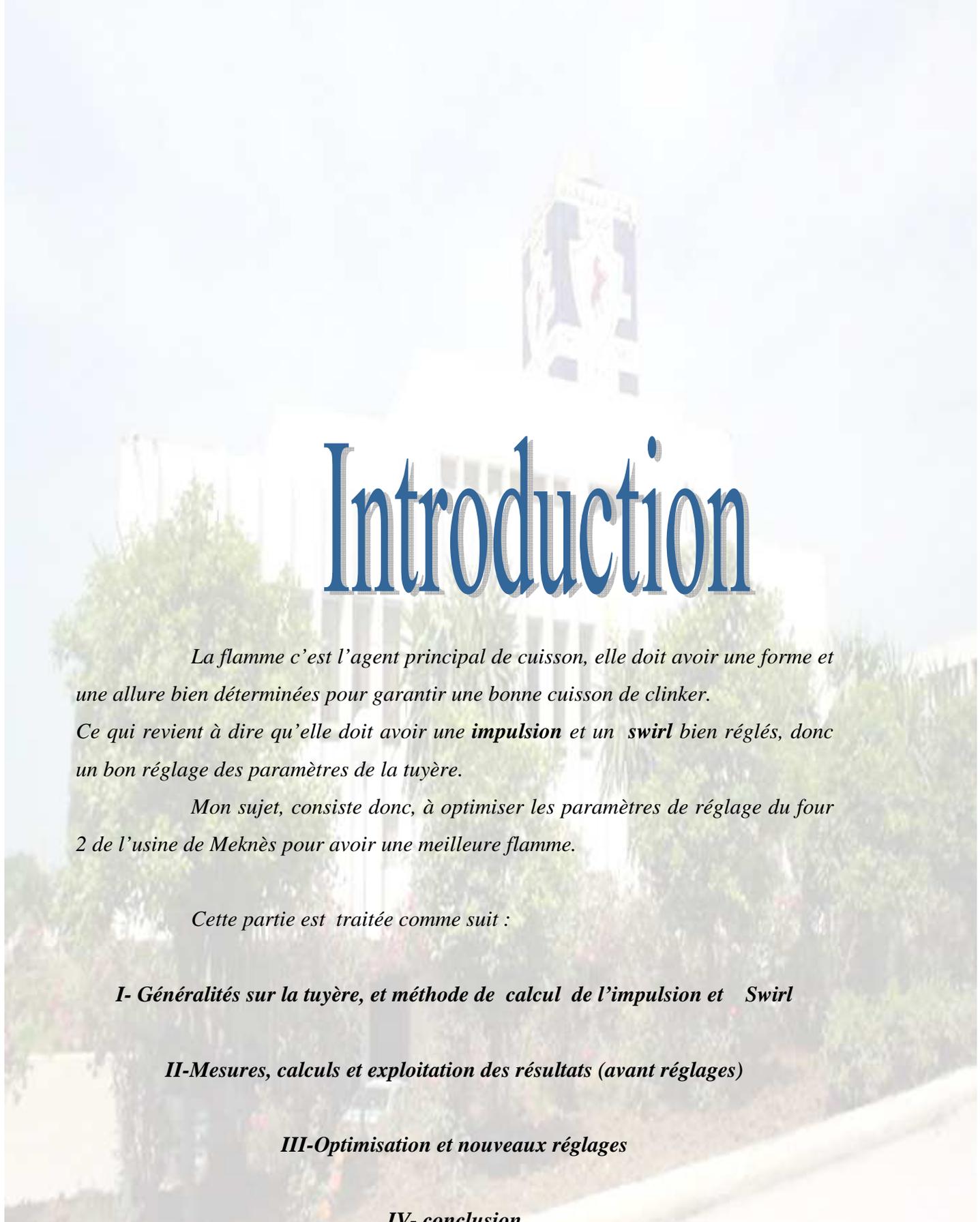
La capacité de stockage totale est d'environ 18000 tonnes de ciment.

La livraison du ciment se fait soit en sacs, soit en vrac (transport par la route).

Pour ceci, l'usine dispose de 2 ensacheuses rotatives (Haver), de 4 ensacheuses statiques (Bates) et de deux stations de chargement du vrac.

Type de Machine	Débit t/h	N° silo	Capacité des silos	Type ciment
<u>Haver n°1</u>	90	1 ou 2	Silo1 : 5000 t	CPJ 35
<u>Haver n°2</u>	90	1 ou 2	Silo2 : 5000 t	CPJ 35
<u>Haver n°3</u>	90	1 ou 7	Silo7 : 5000 t	CPJ 45
Bates n°3	40	3 ou 4	Silo3 : 2000 t	CPJ 45
Bates n°4	40	5 ou 6	Silo4 : 2000 t	CPJ 35
Bates n°5	40	5 ou 6	Silo5 : 2000 t Silo6 : 2000 t	CPJ 45 CPJ 35

Tableau 4: havers



Introduction

La flamme c'est l'agent principal de cuisson, elle doit avoir une forme et une allure bien déterminées pour garantir une bonne cuisson de clinker.

*Ce qui revient à dire qu'elle doit avoir une **impulsion** et un **swirl** bien réglés, donc un bon réglage des paramètres de la tuyère.*

Mon sujet, consiste donc, à optimiser les paramètres de réglage du four 2 de l'usine de Meknès pour avoir une meilleure flamme.

Cette partie est traitée comme suit :

I- Généralités sur la tuyère, et méthode de calcul de l'impulsion et Swirl

II-Mesures, calculs et exploitation des résultats (avant réglages)

III-Optimisation et nouveaux réglages

IV- conclusion

I- Généralités sur la tuyère, et méthode de calcul de l'impulsion et Swirl

A- Généralités sur la tuyère

1- Définition de la tuyère :



Figure 12 : tuyère Lafarge Meknès

La tuyère est un tube cylindrique long d'environ 8m, pour un diamètre de 50cm dans lequel vont transiter deux éléments pour produire une flamme : le comburant et le carburant.

2- Le rôle de la tuyère :

Son rôle est de préparer et contrôler la combustion du mélange air/combustible dans le four par :

- ☛ Un mélange intime combustible /comburant
- ☛ Un réglage de la flamme

3- L'installation de la tuyère :

La tuyère est située à l'aval du four.

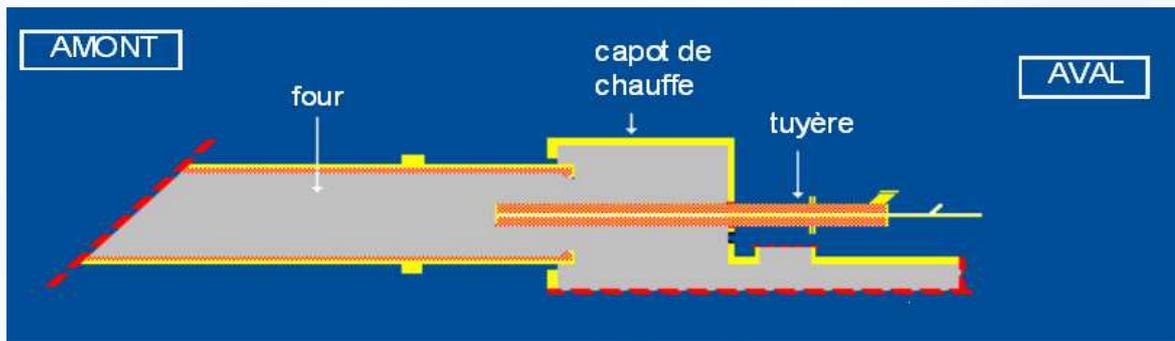


Figure 13: L'installation de la tuyère

traverse le capot de chauffe, son extrémité est située de 0 à 1m en amont du n'ose-ring

4- La tuyère Lafarge et son fonctionnement :

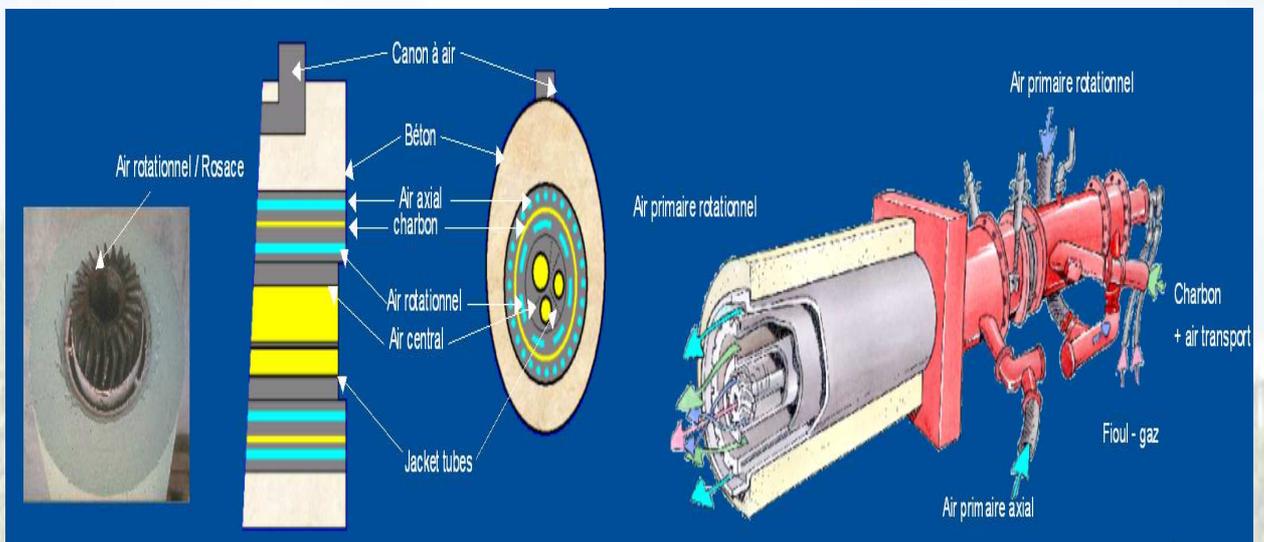


Figure 14 : La tuyère Lafarge

Les tuyères sont constituées de plusieurs circuits concentriques transport l'air primaire et le(s) combustible(s).

L'air primaire est réparti généralement en deux circuits :

- ☛ Un circuit d'air « axial » injectant l'aire dans l'axe de la tuyère
- ☛ Un circuit d'air « rotationnel » injectant l'air en partie « radialement » grâce a une rosace dont les aubes sont inclinées a environ 20°.

Les combustibles sont amenés par d'autres circuits :

- ☛ Soit annulaires pour les combustibles solides (charbon),
- ☛ Soit au centre de la tuyère pour les gaz, les liquides ou les solides pulvérulents (sciures)ce sont les « jacket tubes ».

On trouve aussi au centre un « moyeu » central de relativement gros diamètre, qui a pour fonction d'accrocher la flamme en créant une zone morte de recirculation.

Un canon à air peut être installé au-dessus de la tuyère, sa fonction est détruire les concrétions et amas de matière accumulés qui pourraient dépasser du nez et transformer la flamme.

La tuyère est protégée des hautes températures par une gaine de béton réfractaire.

B-Méthodes de calcul de l'impulsion et swirl

Le réglage des tuyères consiste à régler les flux d'air axial et rotationnel.

1-L'impulsion

➤ définition :

- ☛ C'est la quantité de mouvement axiale communiquée à la flamme par l'air primaire
- ☛ Ramenée à la puissance thermique, elle traduit un rapport de quantité de mouvement entre l'air primaire et l'air secondaire.

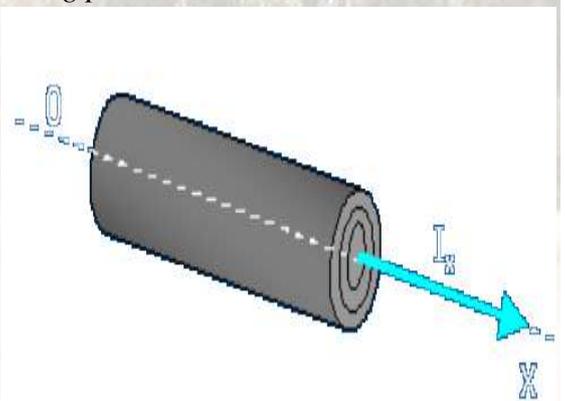
➤ Calcul de l'impulsion :

L'impulsion s'exprime par cette formule : $I_x = Q_m \cdot V$

- ☛ Q_m : représente le débit d'air primaire en kg par seconde
- ☛ V : représente la vitesse axiale de cet air en m par seconde

On peut la présenter par une flèche (un vecteur) qui a pour direction l'axe OX de la tuyère, et sa longueur, la valeur de cette impulsion.

L'impulsion I est la somme de toutes les impulsions axiales dues aux airs axial, rotationnel, central, de transport et le combustible lui-même dans le cas du gaz.



➤ **Impulsion spécifique :**

Pour définir un critère d'impulsion indépendant de la puissance thermique du four, on définit l'impulsion spécifique comme étant le rapport :

$$I_s = I_x / Q$$

I_s : s'exprime en $N.h.GJ^{-1}$

P_{th} : puissance thermique au four

I_x : Impulsion suivant l'axe du four du circuit

⇒ Plus l'impulsion spécifique est élevée, plus la flamme se raccourcit et plus elle est chaude

2-Le swirl

➤ **définition :**

C'est le rapport entre l'impulsion $I_{\theta r}$ radiale et l'impulsion I_x axiale, De ce fait, c'est un nombre sans unité.

➤ **Calcul du Swirl**

$$Sw = \frac{I_{\theta r} \times r_g}{I_x \times D_e}$$

Formule dans laquelle :

$I_{\theta r}$ est l'impulsion tangentielle du circuit rotationnel

Avec : $I_{\theta r} = I_x \tan \alpha$

$I_{\theta r}$: impulsion tangentielle de l'air rotationnel

I_x : impulsion axiale de l'air rotationnel

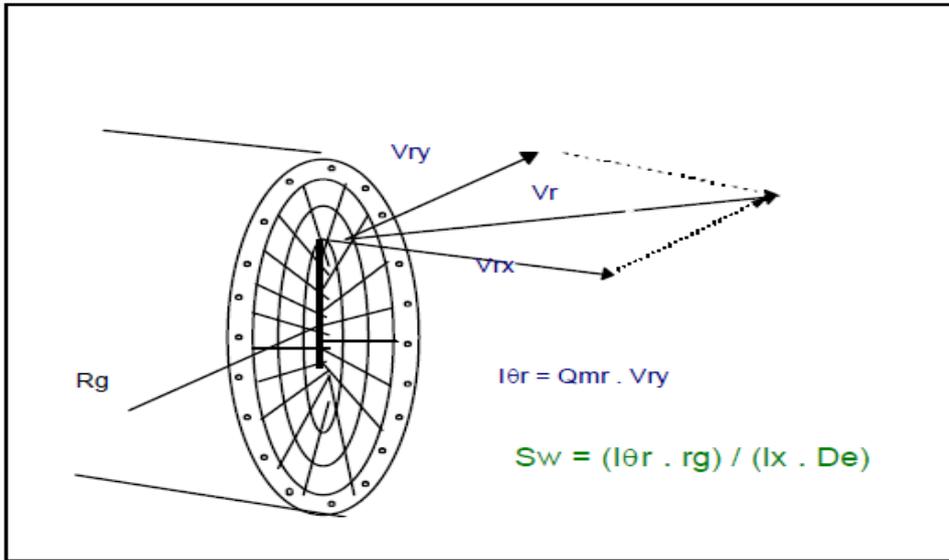
α : angle de la rosace

r_g : Le rayon de giration se définit en fonction des rayons respectifs du circuit rotationnel au nez de la tuyère.

$$r_g = 2/3 (r_{e3} - r_{i3}) / (r_{e2} - r_{i2})$$

r_e : rayon extérieur de la rosace

r_i : rayon intérieur de la rosace



I_x est l'impulsion axiale déjà calculée ($I_x = \sum I_{xi}$).

De est le diamètre équivalent de l'écoulement du fluide, calculé comme le diamètre d'un orifice cylindrique au travers duquel circulerait le débit total d'air primaire à une vitesse telle qu'il produise l'impulsion I_x . On passe ainsi d'une configuration à n circuits à une configuration mono circuit.

$$De = \frac{2Qm}{\sqrt{\Pi \rho_m I_x}}$$

Avec Qm : débit d'air primaire

ρ_m : masse volumique moyenne de l'air primaire au nez

I_x : impulsion axiale totale

Le swirl est un nombre sans dimension, il permet donc de comparer les flammes de puissances thermiques différentes.

⇒ Plus le nombre de swirl est élevé plus le diamètre de la flamme est grand.

3-Influence de l'air axial et de l'air rotationnel sur la flamme

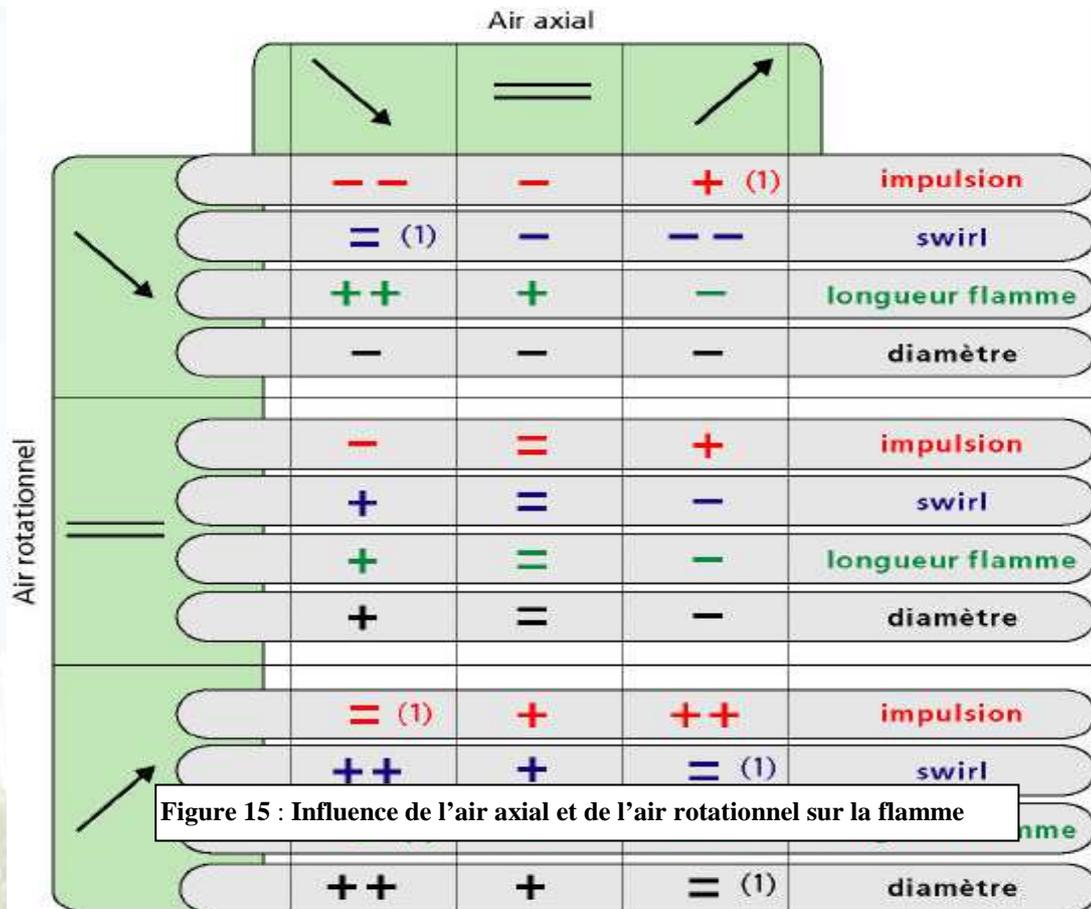


Figure 15 : Influence de l'air axial et de l'air rotationnel sur la flamme

II- Mesures, calculs et exploitation des résultats

1- les appareils utilisés pour la mesure

☛ Le manomètre :

C'est un appareil utilisé Pour prendre des valeurs de pression statique de l'air axial, de l'air radial et de l'air transporteur, il donne les valeurs en mbar

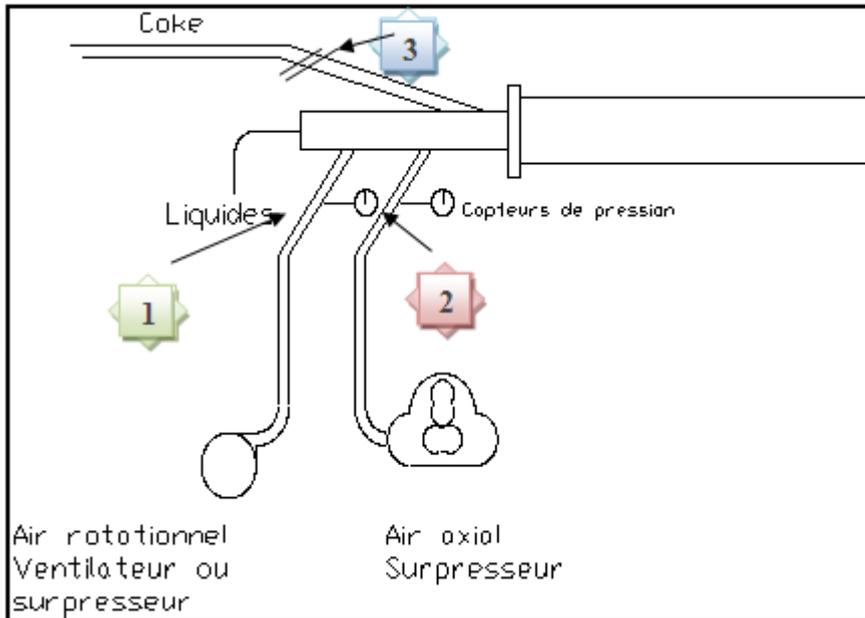
☛ Le thermocouple :

C'est un appareil utilisé Pour mesurer la température de l'air axial, de l'air radial et de l'air transporteur qui circule à l'intérieur des tubes il donne les valeurs en °C

☛ Tube de PITOT

C'est un appareil utilisé Pour prendre des valeurs de la pression dynamique de l'air axial, de l'air radial et de l'air transporteur, il donne les valeurs en mm CE

2 -un schéma explicatif des points de mesures



D'après le schéma il y a trois points de mesure, pour chaque point on mesure la pression statique par le manomètre, la pression dynamique par le Tube de PITOT et la température par le thermocouple, afin de prendre des valeurs plus précises on mesure dix valeurs de pression dynamique pour chaque point d'enfoncement du tube puis on fait la moyenne.

Ces trois points représentent successivement :

- ☛ *L'air rotationnel au refoulement du ventilateur*
- ☛ *L'air axial au refoulement du surpresseur*
- ☛ *L'air transporteur au refoulement d'un petit surpresseur*

3 -les paramètres mesurés

Le but principal de ce calcul c'est de déterminer la valeur de l'impulsion spécifique et swirl pour chaque point de réglage ; pour les calculer nous avons besoin des débits volumiques qui peuvent être calculés à partir de la pression statique, dynamique et de la température.

4- le calcul de l'impulsion et swirl à l'état initial (avant l'optimisation du réglage)

4-1 Au refoulement du ventilateur et du surpresseur (à l'entrée tuyère)

➤ **Les mesures :**

	<i>Air axial</i>	<i>Air radial</i>	<i>Air transport</i>
<i>moyen pression dynamique en mm CE</i>	89,87	4,87	53,27
<i>Pression statique en mm CE</i>	6837	675	1579
<i>La température en °C</i>	120	34	48
<i>Le diamètre en m</i>	0,16	0,2	0,16

Tableau 5: les mesures de refoulement ventilateur-

➤ **Les calculs :**

☛ *On calcule les débits volumiques :*

$$\text{On sait que : } Q=V*S \text{ et } S=\pi D^2/4$$

Avec

Q : le débit d'air en m³ /s

V : la vitesse de l'écoulement en m /s

S : la section de tube en m²

ρ : La masse volumique d'air

Et *La pression dynamique (P_d) = pression total (P_t) - pression statique(P_s)*

$$P_d = P + \rho g h + 1/2 \rho V^2 - P - \rho g h = 1/2 \rho V^2$$

$$V = \sqrt{(2*P_d) / \rho}$$

Donc

$$Q = V * S = \sqrt{(2*P_d) / \rho} * S$$

✓ *Pour l'air axial :*

☛ *On calcul d'abord la masse volumique de l'air à la température de travail (120°C)*

La loi des gaz parfait PV = n RT et P_{ab} = P_s + P_{atm}

$$P = mRT/VM = \rho RT/M \quad \rho = P_{ab}M/RT$$

Avec

$$M = (0.209*32) + (0.791*28) = 28.836 \text{ g/mol}$$

$$P = (6837*10^2 / 10.19) + 10^5 = 1167095.29 \text{ Pa}$$

$$\rho = 1167095.29 * 28.836 / 8314 * (120 + 273) = 1.432 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = \sqrt{(2*89.87*102/10.19) / 1.45} = 35.095 \text{ m/s}$$

$$S = \pi \cdot (0.16/2)^2 = 0.0201 \text{ m}^2$$

Alors $Q = 0.0201 \cdot 35.095 = 0.705 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q = 2539 \text{ m}^3/\text{h}$$

✓ Pour l'air radial :

☛ On calcul d'abord la masse volumique de l'air à la température de travail (34°C)

La loi des gaz parfait $PV = nRT$ et $P_{ab} = P_s + P_{atm}$

$$P = mRT/VM = \rho RT/M \quad \rho = PM/RT$$

Avec $M = 28.836 \text{ g/mol}$

$$P = (675 \cdot 10^2 / 10.19) + 10^5 = 106624.14 \text{ Pa}$$

$$\rho = 106624.14 \cdot 28.836 / 8314 \cdot (34 + 273) = 1.148 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = \sqrt{((2 \cdot 4.877 \cdot 10^2 / 10.19) / 1.148)} = 9.131 \text{ m/s}$$

$$S = \pi \cdot (0.2/2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

Alors $Q = 0.0314 \cdot 9.131 = 0.286 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q = 1032 \text{ m}^3/\text{h}$$

✓ Pour l'air transporteur:

☛ On calcul d'abord la masse volumique de l'air à la température de travail (48°C)

La loi des gaz parfait $PV = nRT$ et $P_{ab} = P_s + P_{atm}$

$$P = mRT/VM = \rho RT/M \quad \rho = PM/RT$$

Avec $M = 28.836 \text{ g/mol}$

$$P = (1579 \cdot 10^2 / 10.19) + 10^5 = 115495.58 \text{ Pa}$$

$$\rho = 115495.58 \cdot 28.836 / 8314 \cdot (48 + 273) = 1.195 \text{ Kg/m}^3$$

$$V = \sqrt{((2 \cdot 53.27 \cdot 10^2 / 10.19) / 1.195)} = 29.580 \text{ m/s}$$

$$S = \pi * (0.16/2)^2 = 0.0201 \text{ m}^2$$

Alors $Q = 0.0201 * 29.5 = 0.589 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q = 2120 \text{ m}^3/\text{h}$$

☛ On convertit les débits dans les conditions normales :

On a : $P_1 Q_1 = nRT_1$ et $P_2 Q_2 = nRT_2$

On a une conservation de nombre de mole : $P_1 Q_1 / T_1 = P_2 Q_2 / T_2 = nR$

Donc : $Q_2 = P_1 Q_1 T_2 / P_2 T_1$

$P_1 V_1 T_1 Q_1$: les paramètres à la température de travail

$P_2 V_2 T_2 Q_2$: les paramètres à la condition normale (0°C)

Avec : $P_1 = P_{\text{barométrique}} + P_{\text{Statique}}$ et $P_{\text{barométrique}} = 94535 \text{ Pa}$

✓ Pour l'air axial :

$$P_1 = 94535 + (6837 * 10^2 / 10.19) = 161983.479 \text{ Pa}$$

$$Q_2 = (161983.479 * 2539.581 * 273) / ((120 + 273) * 10^5)$$

$$Q_2 = 2800.272 \text{ N m}^3/\text{h}$$

✓ Pour l'air radial :

$$P_1 = 94535 + (675 * 10^2 / 10.19) = 101159.141 \text{ Pa}$$

$$Q_2 = (101159.141 * 1032.203 * 273) / ((34 + 273) * 10^5)$$

$$Q_2 = 906.175 \text{ N m}^3/\text{h}$$

✓ Pour l'air transporteur :

$$P_1 = 94535 + (1579 * 10^2 / 10.19) = 110030.584 \text{ Pa}$$

$$Q_2 = (110030.584 * 2120.062 * 273) / ((48 + 273) * 10^5)$$

$$Q_2 = 1983.899 \text{ N m}^3/\text{h}$$

4-2 -A la sortie tuyère :

A la sortie tuyère il a une augmentation de la température et une perte de pression statique de l'air axial

➤ **Les mesures :**

Le débit volumique à la condition normal reste constante même si il ya une augmentation de la Température et une perte de pression statique

	Air axial	Air radial	Air transport
moyen Pression dynamique en mm CE	89,87	4,87	53,27
Pression statique en mm CE	6546	675	1579
La température en °C	220	34	48
La section en mm ²	3619	4068	22740
La masse volumique en Kg/ m ³		1,149	1,195
Débit volumique normal (Nm ³ /h)	2800	906	1983

Tableau 6: les mesures de la sortie tuyère

➤ **Calcul des vitesses d'éjection de l'air en sortie tuyère :**

☛ **calcul des masses volumiques à la sortie tuyère :**

✓ **Pour l'air axial**

On a un changement de température de 120 °C à 220 °C dû à l'échange thermique suite au contact de la tuyère avec l'air secondaire au niveau du capot de chauffe :

On sait que : $P_1 V_1 = n R T_1$ et $P_2 V_2 = n R T_2$

$P_1 V_1 T_1 \rho_1$: les paramètres à 0°C
 $P_2 V_2 T_2 \rho_2$: les paramètres à 220°C

$$R = P_1 V_1 / n T_1 = P_2 V_2 / n T_2 = P_1 V_1 M / m T_1 = P_2 V_2 M / m T_2$$

$$\rho_2 = P_2 \rho_1 T_1 / T_2 P_1$$

$$\rho_2 = 167095.19 * 1.253 * 273 / (220 + 273) * 10^5 = 1.122 \text{ Kg/m}^3$$

☛ **On calcul la masse volumique à la sortie on utilise la formule suivante :**

$$\rho_{\text{Sortie}} = \rho_{\text{conduit}} * (P_{\text{s conduit}} + P_{\text{atm}} / P_{\text{s axial}} + P_{\text{atm}})^{1/1.4}$$

Avec : $P_{\text{s conduit}} = -2 \text{ mm CE}$ et $\rho_{\text{conduit}} = 1.122 \text{ Kg/m}^3$

$$\rho_{\text{Sortie}} = 1.122 * ((-2 * 10^2 / 10.19 + 10^5) / (6546 * 10^2 / 10.19 + 10^5))^{1/1.4}$$

$$\rho_{\text{Sortie}} = 0.776 \text{ Kg/m}^3$$

✓ *Pour l'air radial*

☛ *On utilise la même formule :*

$$\rho_{\text{Sortie}} = \rho_{\text{conduit}} * (P_{s \text{ conduit}} + P_{\text{atm}} / P_{s \text{ radial}} + P_{\text{atm}})^{1/1.4}$$

Avec : $P_{s \text{ conduit}} = -2 \text{ mm CE}$ et $\rho_{\text{conduit}} = 1,149 \text{ Kg/m}^3$

$$\rho_{\text{Sortie}} = 1,149 * ((-2 * 10^2 / 10.19 + 10^5) / (675 * 10^2 / 10.19 + 10^5))^{1/1.4}$$

$$\rho_{\text{Sortie}} = 1.096 \text{ Kg/m}^3$$

✓ *Pour l'air transporteur*

☛ *On utilise la même formule :*

$$\rho_{\text{Sortie}} = \rho_{\text{conduit}} * (P_{s \text{ conduit}} + P_{\text{atm}} / P_{s \text{ transport}} + P_{\text{atm}})^{1/1.4}$$

Avec : $P_{s \text{ conduit}} = -2 \text{ mm CE}$ et $\rho_{\text{conduit}} = 1.195 \text{ Kg/m}^3$

$$\rho_{\text{Sortie}} = 1.195 * ((-2 * 10^2 / 10.19 + 10^5) / (1579 * 10^2 / 10.19 + 10^5))^{1/1.4}$$

$$\rho_{\text{Sortie}} = 1.074 \text{ Kg/m}^3$$

☛ *Calcule des débits massiques et débits volumiques et les vitesses à la sortie tuyère :*

On sait que : $Q_m = Q_{VN} * \rho_{\text{air à } 0} / 3600$ et $Q_v = Q_m * 3600 / \rho_{\text{sortie}}$ et

$$V = Q_v / S$$

✓ *Pour l'air axial*

$$Q_m = 2800,272 * 1.253 / 3600 = 1.009 \text{ Kg/s}$$

$$Q_v = 1.009 * 3600 / 0.776 = 4665.01 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$V = 4665.01 / 3619 = 385.06 \text{ m/s}$$

✓ Pour l'air radial

$$Q_m = 906.175 * 1.253 / 3600 = 0.325 \text{ Kg/s}$$

$$Q_v = 0.325 * 3600 / 1.096 = 1069.5 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$V = 1069.5 / 4068 = 73.29 \text{ m/s}$$

✓ Pour l'air transporteur

$$Q_m = 1983,899 * 1.253 / 3600 = 0.712 \text{ Kg/s}$$

$$Q_v = 0.712 * 3600 / 1.074 = 2388.42 \text{ m}^3 / \text{h}$$

$$V = 2388.42 / 22740 = 29.17 \text{ m/s}$$

4-3 calcul de l'impulsion spécifique et swirl

☛ On calcul les impulsions axiaux et tangentiels

✓ Pour l'air axial

On sait que : $I_{xa} = Q_{ma} * V_a$ et $I_{\theta a} = I_{xa} * \text{tg} \alpha$

$$I_{xa} = 1.009 * 385.06 = 359.85 \text{ N}$$

$$I_{\theta a} = 359.85 * \text{tg} 0 = 0 \text{ N}$$

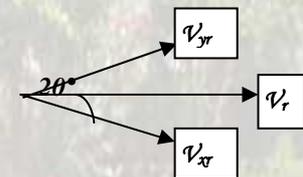
✓ Pour l'air radial

On sait que : $I_{xr} = Q_{mr} * V_{xr} = Q_{mr} * V_r * \text{Cos} \alpha$

$$I_{\theta r} = Q_{mr} * V_r * \text{Sin} 20^\circ = I_{xr} * \text{tg} \alpha$$

$$I_{xr} = 0.325 * 73.29 * \text{Cos} 20^\circ = 22.38 \text{ N}$$

$$I_{\theta r} = 0.325 * 73.29 * \text{Sin} 20^\circ = 8.14 \text{ N}$$



✓ Pour l'air transporteur

On sait que : $I_{xt} = Q_{mt} * V_t$ et $I_{\theta t} = I_{xt} * \text{tg} \alpha$

$$I_{xt} = 0.712 * 29.17 = 20.76 \text{ N}$$

$$I_{0t} = 20.76 * \text{tg } 0 = 0 \text{ N}$$

☛ *On calcul l'impulsion spécifique :*

On sait que : $I_s = (I_{xa} + I_{xr} + I_{xt}) / P_{th}$

Avec $P_{th} = 32,69 \text{ Gcal/h}$

$$I_s = ((359,85 + 22,38 + 20,76) / 32,69) * (1 - 0,22)$$

$$I_s = 9.61 \text{ N.h./Gcal}$$

☛ *On calcul Swirl:*

On calcul d'abord r_g : $r_g = 2/3 (re^3 - ri^3) / (re^2 - ri^2)$

$$r_g = 2/3 ((0.201/2)^3 - (0.184/2)^3) / ((0.201/2)^2 - (0.184/2)^2) = 0.0986 \text{ m}$$

☛ *On calcul D_e*

Avec $Q_m = 1.009 + 0.325 + 0.712 = 2.042 \text{ Kg/s}$

$$\rho_m = (0.776 + 1.096 + 1.074) / 3 = 0.980 \text{ Kg/m}^3$$

$$I_x = 359.85 + 22.38 + 20.76 = 402.99 \text{ N}$$

$$D_e = (2 * 2.042) / \sqrt{(\pi * 0.980 * 402.99)} = 0.106 \text{ m}$$

Donc $Sw = (8.14 * 0.0986) / (402.99 * 0.106)$

$$Sw = 0.0187$$

4-4 -les résultats d'état initial :

➤ le Tableau :

consigne vitesse sur presseur AA=1450 tr/min
 consigne vitesse ventilateur AR=1800 tr/min
PRODUCTION =1200 T CK /j

	Air axial	Air radial	Air transport
	Refoulement sur presseur-ventilateur		
La température (°C)	120	34	48
Pression dynamique (mm CE)	89,87	4,87	53,27
Pression statique (mm CE)	6837	675	1579
La masse volumique (Kg/m ³)	1.432	1.148	1.195
Vitesse (m/s)	35.095	9.131	29.58
Section (m ²)	0,02	0,03	0,02
Débit volumique (m ³ /h)	2539	1032	2120
Débit volumique (Nm ³ /h)	2800,27	906,175	1983,89
Débit massique (kg/h)	3635,84	1184,73	2533,4
	Sortie tuyère		
Débit volumique (Nm ³ /h)	2800,27	906,175	1983,89
Débit massique (kg/S)	1,009	0,325	0,712
La masse volumique (Kg/m ³)	0,776	1,096	1,074

La température (°C)	220	34	48
Débit volumique (m3/h)	4665,01	1069,5	2388,42
Section (mm ²)	3619	4068	22740
Vitesse (m/s)	358,06	73,29	29,17
Impulsion axial	359,8	22,38	20,76
Impulsion tangentiel	0	8,14	0

➔ Impulsion spécifique $I_s=9,61N \cdot h/Gcal$

➔ Swirl $S_w= 0,0187$

➤ **Interprétation :**

Dans les catalogues, on trouve que pour une bonne flamme, l'impulsion spécifique doit se situer entre 8 et 9 et le swirl doit être supérieur à 0,015.

Pour l'état initial, l'impulsion est supérieur à 9 et le swirl est acceptable.

III- Optimisation et nouveaux réglages

1-résultats du 1er réglage :

➤ le Tableau :

Tableau 7: des résultats à l'état initial

Consigne vitesse sur presseur AA=1400 tr/min
 Consigne vitesse ventilateur AR=1400 tr/min
 PRODUCTION =1200 T CK /j

	Air axial	Air radial	Air transport
	<i>Refolement sur presseur-ventilateur</i>		
La température (°C)	105	32,5	44
Pression dynamique (mm CE)	72,66	3,32	55.585
Pression statique (mm CE)	6185	443	1722
La masse volumique (Kg/m3)	1.431	1,128	1.224
Vitesse (m/s)	31,81	7,6	30,13
Section (m ²)	0,02	0,03	0,02
Débit volumique (m3/h)	2307	859	2181
Débit volumique (Nm ³ /h)	2553	750	2065
Débit massique (kg/h)	3301,317		2669,544
	<i>Sortie tuyère</i>		
Débit volumique (Nm ³ /h)	2553	750	2065
Débit massique (kg/S)	0,917	0,269	0,742
La masse volumique (Kg/m3)	0,729	1,093	1,089
La température (°C)	205	32,5	44

Débit volumique (m ³ /h)	4168	887	2452
Section (mm ²)	3619	4068	22740
Vitesse (m/s)	330	64	30
Impulsion axiale	302	17	22
Impulsion tangentielle	0	6	0

Tableau 8: résultats de 1er réglage

➡ Impulsion spécifique $I_s=7,88N \cdot h/Gcal$
 ➡ Swirl $S_w=0,014$

➤ **Interprétation :**

Ce réglage n'est pas bon puisque on obtient des valeurs de l'impulsion et swirl plus petites que les normes.

2 -résultats du 2eme réglage :

➤ **le Tableau :**

Consigne vitesse sur presseur AA=1400 tr/min
Consigne vitesse ventilateur AR=1800 tr/min
PRODUCTION =1200 T CK /j

	Air axial	Air radial	Air transport
	<i>Refoulement sur presseur-ventilateur</i>		
La température (°C)	105	31	44
Pression dynamique (mm CE)	72,66	4,765	55.585
Pression statique (mm CE)	6185	663	1722
La masse volumique (Kg/m ³)	1.431	1.158	1.224
Vitesse (m/s)	31,81	9,07	30,13
Section (m ²)	0,02	0,03	0,02
Débit volumique (m ³ /h)	2307	1026	2181
Débit volumique (Nm ³ /h)	2553	919	2065
Débit massique (kg/h)	3301,317	1621,08	2669,544
	<i>Sortie tuyère</i>		
Débit volumique (Nm ³ /h)	2553	919	2065
Débit massique (kg/S)	0,917	0,330	0,742
La masse volumique (Kg/m ³)	0,729	1,105	1,089
La température (°C)	205	31	44
Débit volumique (m ³ /h)	4168	1075	2452
Section (mm ²)	3619	4068	22740

Vitesse (m/s)	330	81	30
Impulsion axial	302	25	22
Impulsion tangentiel	0	9	0

➔ Impulsion spécifique $I_s=8,1N .h/Gcal$

➔ Swirl $S_w= 0,021$

➤ **Interprétation :**

Ce 2ème réglage nous permet donc de trouver une impulsion et un swirl qui sont dans les normes et qui théoriquement permettent d'avoir une bonne flamme.

En effet on a appliqué au processus ce réglage et un contrôle au laboratoire nous a bien confirmé la meilleure qualité du clinker obtenu ce qui prouve que sa cuisson était de qualité.

3-comparaison entre les 3 cas

Les cas	Production	L' impulsion	Swirl
Etat initial	1200	Tableau 9: résultats de 2eme réglage	
		9,61	0,018
1 ^{er} réglage	1200	7,88	0,014
2eme réglage	1200	Tableau 6: résultats de 2 ^{eme} réglage	
		8,1	0,021

Tableau 10: comparaison entre les 3 cas

➤ **Interprétation finale**

D'après les interprétations précédentes, on doit adopter le 2ème réglage, c'est-à-dire une vitesse de sur presseur égale à 1400 tr/min et une vitesse de ventilateur égale à 1800 tr/min.

C'est le réglage le plus convenable, puisqu'il permet d'une part d'obtenir une valeur de swirl maximal qui donne un élargissement et raccourcissement de la flamme, ce qui provoque une flamme plus dure et une distance d'inflammation plus courte, donc une bonne cuisson de clinker.

D'autre part, on obtient avec ce réglage, une valeur d'impulsion assez importante, ce qui assure une flamme plus chaude, et un meilleur mélange de l'air avec le combustible, d'où un meilleur fonctionnement de la tuyère.

conclusion générale

Le stage que j'ai effectué au sein de Lafarge Meknès, m'a permis d'une part, d'évaluer mes compétences théoriques acquises durant mes études et surtout de les pratiquer, d'autre part, d'avoir une vision sur le monde de travail et d'éprouver le sens de la responsabilité tout en découvrant jour après jour l'importance et l'utilité des atouts pratiques.

Ce présent stage a été donc une occasion pour maîtriser avec précision le procédé de fabrication du ciment, et surtout de m'initier à l'esprit recherche, puisque j'ai contribué activement à la recherche d'un nouveau réglage des paramètres permettant d'avoir une meilleure flamme pour bonne cuisson du clinker.

Ce nouveau réglage a été testé puis finalement adopté par la société Lafarge Meknès.

Nous pouvons donc dire que nous avons participé à l'amélioration des paramètres dans ce procédé de fabrication du ciment.

Je suis fier de ce résultat et je souhaiterais qu'il soit mon grand soutien dans mes activités futures.