



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Département de chimie



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

*Optimisation de la consommation du fuel dans le
procédé de séchage des phosphates*

Présenté par :

◆ AYADI Meryeme

Encadré par :

- ◆ Pr A. BOULAHNA (FST)
- ◆ A. El ARRAS (Société)

Soutenu Le 13 Juin 2011 devant le jury composé de :

- ◆ Pr EL ASRI
- ◆ Pr Khalil
- ◆ Pr BOULAHNA

Stage effectué à

Office Chérifien des Phosphates-Khouribga

Année Universitaire 2010 / 2011

REMERCIEMENT

Avant de commencer ce présent rapport, je tiens à remercier toute personne ayant contribué d'une façon ou d'une autre à sa réalisation.

Je remercie tout d'abord, Mr. ELARASS, chef de service de séchage, à l'office chérifien des phosphates-Khouribga de m'avoir permis de passer mon stage de fin d'études.

J'adresse aussi ma plus grande reconnaissance et mes plus sincères amitiés et remerciements à Mr SOUIDI et Mr ChABIL sous chefs de services qui m'ont apporté de nouveaux acquis par leurs conseils judicieux et leur aide précieuse.

Je remercie également mon encadrant Mr A.BOULAHNA pour son orientation et son soutien.

Je remercie également les membres de jury, Mr KHALIL et Mr EL ASRI d'avoir acceptés de juger mon travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de ce stage.

SOMMAIRE

Introduction.....1

Chapitre 1 :

I.	Présentation du groupe OCP	3
	1. Aperçu général	3
	2. Le rôle économique du groupe OCP	3
II.	Le phosphate au Maroc	3
	1. Site de Khouribga : La capitale mondiale des phosphates	3
	2. Composition et origine de la roche	4
	A) Caractéristiques physiques	4
	B) Caractéristiques chimique du phosphate.....	5
III.	Le complexe de Séchage d'OUED ZEM	5
	1. Généralités sur le séchage.....	5
	2. Le processus de séchage au complexe de séchage.....	5
	a) Réception du phosphate brut	6
	b) Installation de séchage	6

Chapitre 2 :

I.	généralités sur la combustion.....	9
	1. Définition.....	9
	2. La combustion du fuel.....	9
	a) Le pouvoir comburivore massique.....	10
	b) Le pouvoir calorifique	11
	c) Pouvoir fumigène massique.....	11
II.	Bilan et rendement de combustion.....	11
	1. La Puissance au bruleur	11

2. Les pertes	12
3. Rendement utile	12
4. Application : Bilan et rendement de la chambre de combustion.....	13
II. Influence du bruleur sur paramètres de combustion.....	15
1. Définition du bruleur	15
2. Composition	15
3. Rôle du bruleur.....	16
4. Application.....	16
V. Étude des paramètres de marche du four sécheur.....	18
1. Introduction	18
2. Débit de fuel.....	18
3. Impact du débit de produit	19
4. Impact du débit de la dépression.....	21
5. Interprétation des résultats.....	21
V. Bilan thermique et énergétique	23
1. Le but	23
2. Bilan de matière de l'installation.....	23
a) Les entrées.....	23
b) Les sorties.....	25
3. Bilan ENTHALPIQUE de l'installation.....	26
a) Les entrées.....	26
b) Les sorties.....	26
4. Les données d'essai.....	27
5. Résultats d'essai.....	28
c) Bilan matière	28
d) Bilan thermique	29
6. Discussion des résultats de l'essai	29

Conclusion

Introduction

Le Maroc est un pays de très grande tradition minière, non seulement pour les phosphates qui constituent sa principale richesse, mais également par la diversité des autres substances minérales qui existent dans son sous-sol.

En effet, avec les phosphates, le Maroc occupe une place de choix : trois quarts des réserves mondiales (98% dans le centre du pays et 2% dans le sud), troisième producteur et premier exportateur mondial de phosphate concentré (haute teneur).

Voici déjà 23 ans, le groupe est devenu le premier opérateur international dans le domaine de l'industrie du phosphate et des produits dérivés.

Ce produit minier constitue l'une des richesses de notre pays et l'une des principales ressources de devise. Au fil des années, le Maroc a forgé une bonne réputation au niveau mondial dans l'industrie phosphatique. Une telle performance a pu être obtenue grâce à l'organisation de l'exploitation des gisements de phosphate au sein de l'Office Chérifien des Phosphates. En effet, suite à un processus de modernisation, le groupe OCP est devenu l'entreprise modèle au niveau national.

Le complexe de séchage d'Oued-Zem (COZ) du groupe OCP (division d'accueil), destiné au séchage de 7,5 millions de tonnes/an du phosphate, est doté de 4 fours sécheurs d'une haute technologie.

En effet, le séchage se fait par voie thermique basée sur la combustion du fuel lourd, dont la charge dépasse les 60 % du prix de revient d'une tonne de phosphate séché.

Tenant compte de l'importance primordial que possède le fuel dans le procédé de séchage, il nous a paru intéressant de faire une étude d'optimisation de la consommation du fuel et ceci selon les étapes suivantes :

- * Dans un premier lieu nous avons fait des essais expérimentaux sur le brûleur afin de déterminer le couplage le plus fiable pour avoir une bonne pulvérisation du fuel.
- * Dans un deuxième temps une étude des paramètres de marche de four sécheur était nécessaire pour avoir une idée sur le réglage optimal permettant d'obtenir un produit dans les normes sans déperdition de combustible.
- * Finalement et dans le but d'avoir une image claire sur le déroulement du séchage et les sources de déperdition au niveau de l'installation ainsi que son rendement ; un bilan thermique paraît nécessaire.

Ce rapport étant le fruit de ce stage est constitué de deux parties :

- Une Partie théorique consacrée à la présentation générale du groupe OCP et la description de la division d'accueil complexe Oued-Zem (COZ).
- Une deuxième partie pratique décrivant les différents essais que nous avons réalisés ainsi que les résultats obtenus dans le cadre de l'optimisation de la consommation de fuel.

I. Présentation du groupe OCP

1. Aperçu général

L'Office Chérifien des Phosphates est une firme Étatique créée depuis août 1920, dans le cadre de l'exploitation de la richesse nationale en phosphates, il est transformé à un groupe nommé le groupe OCP à partir de 1975. Le développement des activités assurées par le groupe OCP s'est propagé dans le temps et l'espace, car en commençant par la seule activité initiale qui était l'extraction des phosphates en 1921, le groupe est passé à une autre fonction telle que la commercialisation des produits dérivés du phosphate au niveau international, ainsi qu'il a entamé la fabrication et l'exportation de l'acide phosphorique en 1998. De même il est dénommé groupe, voire l'élargissement continu de son réseau sur le territoire national. Et afin d'éviter que ces richesses de phosphates tombent aux mains d'organismes privés, le gouvernement promulgua le Dahir du 27 janvier 1920 qui réservait à l'état marocain les droits de recherche, d'exploitation et de commercialisation des phosphates. De ce fait, l'Office Chérifien des Phosphates fût créé par le Dahir du 7 août 1920.

2. Le rôle économique du groupe OCP :

D'abord, il est primordial de souligner que le groupe OCP détient le monopole au niveau national, et classé à la tête des leaders à l'échelle internationale. Cela revient à l'importance de la production phosphatique marocaine, qui atteint 23 millions de tonnes de minerais est extraites du sous-sol marocain, soit 75 % des réserves du globe. Entant qu'exportateur, le groupe OCP oriente 95 % de sa production (Phosphate 38%, Acide Phosphorique 43%, Engrais 12%) vers le marché extérieur qui se compose de tous les continents, et réalise ainsi un chiffre d'affaire de 1,3 milliard de dollars annuellement .Le groupe OCP contribue au PIB avec une part de 2 à 3 %, alors que ses exportations représentent 18 à 20 % de la valeur des exportations marocaines. Les clients du groupe OCP sont nombreux, dont les principaux sont l'Inde, les États-Unis, l'Espagne et le Mexique.

II. Le phosphate au Maroc

1. Site de Khouribga : La capitale mondiale des phosphates :

À 120 Km au sud-est de Casablanca, Khouribga constitue la plus importante zone de production de phosphate du groupe OCP. Le site minier compte trois zones d'extraction. Le gisement est de type sédimentaire et les réserves estimées à plus de 35 milliards de m³. Les premiers coups de pioche ont été donnés en 1921 par la méthode souterraine. L'introduction de l'exploitation en « découverte » a débuté en 1951. Elle concerne actuellement 7 niveaux phosphatés.

La capacité de production s'élève à 19 millions de tonnes par an. Après son extraction, le phosphate épierré est stocké avant d'être repris pour alimenter les usines de traitement. En fonction de sa teneur en BPL (Bon Phosphate of Lime).

Le minerai est classé en quatre catégories :

- * le phosphate haute teneur (HT)
- * Le phosphate moyenne teneur (MT)
- * Le phosphate basse teneur (BT)
- * Le phosphate très basse teneur (TBT)

Les phosphates HT et MT ont des teneurs en BPL = 68% et sont considérés comme des produits marchands sans enrichissement. Par contre, les phosphates BT et TBT, doivent subir un enrichissement avant leur utilisation dans la fabrication des qualités marchandes. Ces derniers peuvent subir différents modes de traitements, à savoir :

- * **Le lavage** : il permet l'enrichissement du phosphate de basse teneur (BT) par lavage à l'eau.
- * **L'enrichissement à sec** : il vise le même objectif que le lavage, mais sans utilisation d'eau, il s'agit d'un traitement pneumatique sur le phosphate séché.
- * **La flottation** : elle permet l'enrichissement du phosphate de très basse teneur (TBT).
- * **La calcination** : elle permet d'éliminer les matières organiques contenues dans les phosphates (HT ou BT).
- * **Le séchage** : il permet de réduire l'humidité de phosphate à 2% de tous les produits (HT, MT, BT enrichie et TBT enrichie)

2. Composition et origine de la roche

Les gisements de phosphate de roche sont ou bien d'origine volcanique ou bien les restes des squelettes d'animaux marins qui consistent, comme pour les animaux terrestres, en un mélange de phosphates et de carbonates de calcium. Avec le temps, dans les fonds marins, les carbonates ont été remplacés par du fluor ce qui a pour effet de rendre le minerai plus stable.

a. Caractéristiques physiques

Les principales caractéristiques physiques utilisées sont la compacité, la porosité, la finesse du broyage et la surface active. Règle générale, la réactivité du phosphate de roche, donc sa disponibilité, s'accroît lorsque sa densité décroît et que sa surface active ou spécifique s'accroît. La

surface active tend à augmenter selon la finesse des particules, bien que les résultats soient très variables d'un type de phosphate à l'autre.

b. Caractéristiques chimiques du phosphate

Les gisements sédimentaires de phosphates naturels sont composés principalement d'apatite de formule générale: $M_{10}(ZO_4)6X_2$ avec pour cations les plus communs : $M = Ca, Sr, \dots$; $Z = P, As, Si, \dots$; $X = F, OH, Cl, \dots$ exemple $[Ca_5(PO_4)_3(OH, F)]$ et $[Ca_5(PO_4, CO_3, OH)_3(OH, F)]$.

En plus de la matrice principale contenant le phosphore, les gisements phosphatés contiennent des impuretés de la gangue qui se différencient selon les conditions de sédimentation. Ces impuretés incluent, dans diverses combinaisons et concentrations, de la matière organique, de la silice, des minéraux argileux, de la calcite, de la dolomie et des oxydes hydratés de fer et d'aluminium.

Elles ont une influence sur les processus de valorisation des phosphates et sur l'efficacité du phosphate naturel utilisé en application directe. La connaissance au préalable de la nature des stériles contenues dans le minerai phosphaté est très importante parce qu'elle permet de déterminer exactement le type de traitement approprié à ce minerai. En fonction de sa teneur en BPL.

Les qualités HT et MT (teneur en BPL supérieurs à 68 sont considérées comme des produits marchands, pour lesquels on utilise des méthodes conventionnelles telles que le séchage.

III. Le complexe de Séchage d'OUED ZEM :

1. Généralités sur le séchage :

Le séchage est une opération unitaire mettant en jeu un transfert de matière (le liquide imprégnant le solide passe à l'état de vapeur dans une phase gazeuse) et un transfert thermique (une fourniture de chaleur permet le changement de phase du liquide). Le séchage a pour but d'éliminer par vaporisation le liquide qui imprègne un solide. Il se pratique dans plusieurs cas :

- * Le liquide résiduel est incompatible avec la suite du procédé.
- * Le produit humide se conserve mal (hydrolyse possible, modification de l'aspect physique par agglomération des grains)
- * Le coût du transport est plus élevé en présence de liquide.
- * Le séchage permet outre l'élimination du liquide, la création de modification de la structure interne du solide soit par exemple l'apparition d'une structure poreuse.

2. Le processus de séchage au complexe de séchage :

Le complexe de séchage d'OUED ZEM est situé à l'est de khouribga sur la route principale 28km, il est doté de 4 fours sécheurs identiques de capacité annuelle 7 millions de tonnes.

a. Réception du phosphate brut :

Le procédé de séchage est effectué sur un produit humide provenant du secteur Daoui : laverie, criblage point B, trémie sud et parc Elwafi ; son transport se fait au moyen des convoyeurs qui versent le produit dans un parc humide comprenant trois aires de stockage A, B et C de capacité unitaire 75 000 tonnes chacun. Le phosphate lavé est stocké au-dessus d'un lit drainant afin de diminuer son humidité. La réception du produit humide est assurée par deux stockeuses une orientable et l'autre est réservée pour le stockage du podzolisé. Le déstockage du phosphate est réalisé par deux roues pelles 2 et 3, donnant un débit 1400T/h chacune.

Le phosphate est transmis à l'usine au moyen de convoyeurs, ensuite il est versé dans une trémie centrale, que sa base est équipée par un casque qui permet l'écoulement du produit sur un convoyeur mené d'un répartiteur qui permet la répartition du produit dans la trémie privée pour chaque four. Chaque trémie est liée à un extracteur équipé d'un variateur d'énergie qui contrôle le débit avec lequel le produit est intégré dans la buse après son passage par la goulotte qui sert pour l'alimentation du four sécheurs.

Le four est une installation qui permet d'obtenir un courant d'air sec est chaud, et par la suite le mettre en contact avec le produit humide afin d'y avoir un échange thermique entre les deux, pour qu'à la fin on aura un produit ayant un taux d'humidité bas.

b. Installation de séchage :

Le phosphate est introduit au four sécheur, afin d'y avoir un contact avec les gaz chaudes produites par le foyer de combustion. Le four sécheur est composé de :

*** Chambre de combustion :**

La chambre de combustion est une enceinte de longueur 12,8 m et de diamètre 4m, elle est constituée de trois couches de briques réfractaires et une couche de la tôle d'acier pour être capable de résister à des changements de pression et de température brusque.

Cette enceinte est conçue pour obtenir, à partir des gaz issus de la combustion, une énergie calorifique, avant qu'ils ne soient évacués. La chambre de combustion doit assurer les fonctions suivantes:

- mélanger les ergols venant du système d'alimentation.
- permettre la réaction chimique entre ces ergols.
- accélérer les gaz de combustion vers la tuyère.

La façade du foyer se compose de :

- **Circuit fuel** : une conduite qui nous assure l'arrivée du fuel qui est déjà passé par le réchauffeur ou il s'est chauffé pour faciliter son passage par la canalisation et sa combustion.

- **Circuit air comprimé** : on l'appelle aussi injecteur, il pulvérise le fuel pour qu'il soit brûlé, cet air passe dans un premier temps par deux compresseurs situés dans la salle des compresseurs, on a également deux réservoirs pour cet air avec un purge automatique pour éliminer l'eau.
- **Allumeur** : canalisation qui circule le propane à l'intérieur du foyer, une étincelle créée par un courant électrique permet d'avoir une flamme qui jouera le rôle d'énergie d'activation.
- **Ventilateur d'air de combustion** : il fournit l'air nécessaire pour la combustion du fuel ; le débit de cet air est commandé par la salle de contrôle, il est constitué d'une turbine, un moteur, un grillage et un couloir pour entrer l'air vers la chambre de combustion.
- **Cellule photo- électrique** : dès que la flamme de propane déclenche, cette dernière est détectée grâce à la cellule photo -électrique. La commande est transmise à la vanne d'alimentation de fuel qui s'ouvre tant que celle de retour se ferme.
- **Les carneaux** : la façade du foyer comporte 24 carneaux, ils sont sous forme d'ailette s'ouvrant automatiquement quand la température de la buse dépasse 1000 C.
- **Thermocouples** : servent à mesurer la différence de la température de brique, une différence importante induit que la flamme n'est pas bien concentrée.
- **Brûleur** : Un brûleur assure la pulvérisation (atomisation) du combustible par de l'air comprimé afin de faciliter sa combustion, cet appareil influence directement la combustion.

* **La virole :**

C'est un tube cylindrique horizontal de longueur de 25 m et de diamètre de 2.5m ; elle tourne d'une vitesse de 10 tours/min ; son mouvement rotatif est assuré par un système à engrenage entraîné par une tête motrice (moteur, coupleur, réducteur, pignon). Le produit est entraîné d'une façon inclinée dans la buse. Cette virole contient des augets (366 augets) pour transporter le produit et des palettes (66 palettes) pour le mélanger à l'intérieur, on trouve aussi au dessous de ce tube deux cendriers pour une première récupération du stérile.

* **Système de dépoussiérage :**

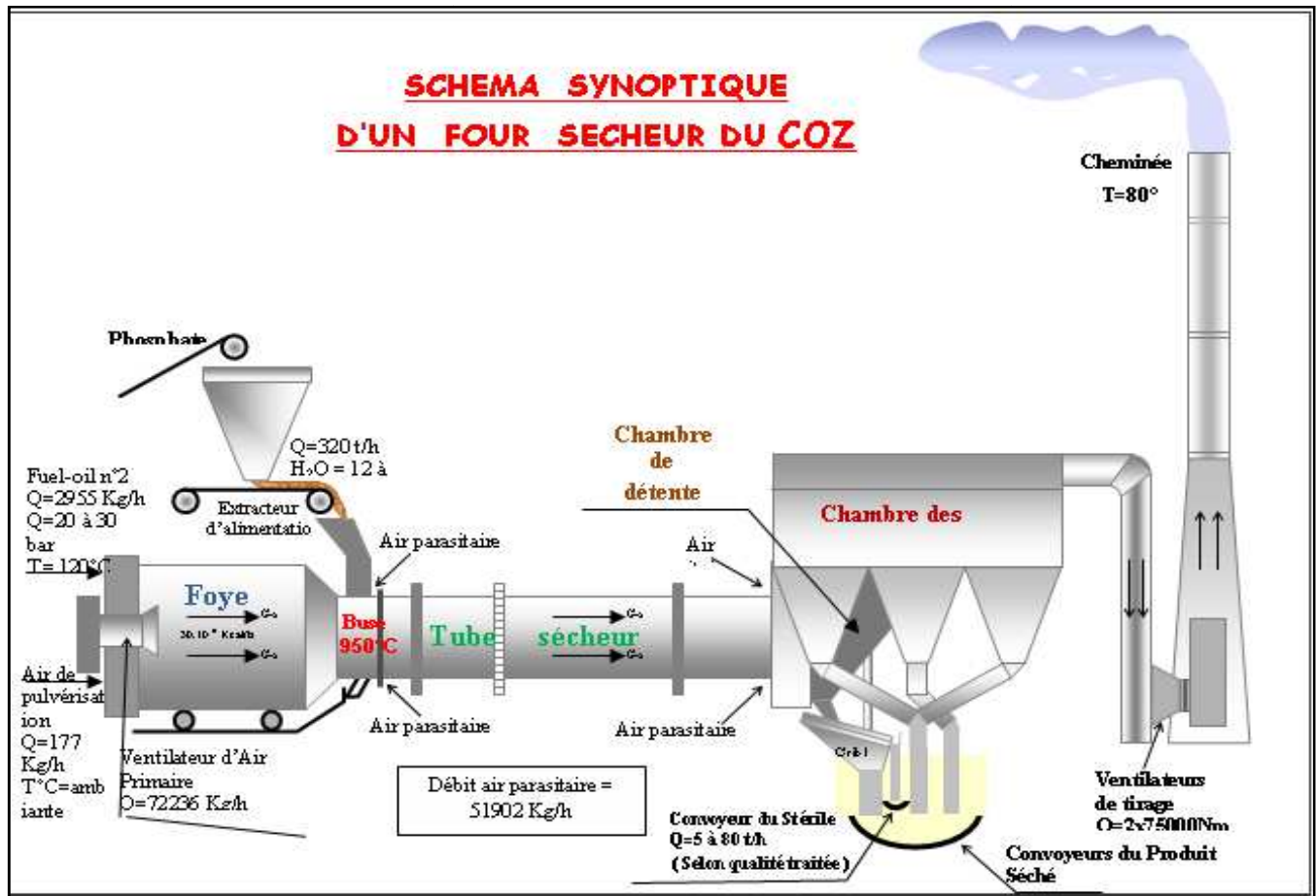
C'est un système qui permet de récupérer le maximum du produit de différentes tailles, et par la suite rejeter le stérile vers son propre convoyeur, ce système est constitué de :

Chambres à poussière : après avoir passé par la virole le produit passe à ces chambres qui récupèrent 25% des poussières par la centrifugation dans deux compartiments à l'aide des cyclones (192 cyclones dans chacun).

Les cyclones sont des appareils de corps essentiellement cylindro-coniques dans lesquels le mouvement giratoire est obtenu en faisant entrer le fluide tangentiellement à la circonférence, au voisinage de la paroi. Sous l'effet de la force centrifuge, les particules solides prises dans le vortex se déplacent vers la paroi, y perdent leur vitesse par frottement et tombent dans la partie inférieure de l'appareil, avant d'être récupérées sur le convoyeur.

Le crible : c'est un caisson à deux étages : le premier étage de mailles 10x10mm² et le deuxième avec des mailles 6x6mm², les grains qui sont supérieurs à ces diamètres seront rejetés comme stérile.

Les ventilateurs de tirage : chacun de ces deux ventilateurs de tirage contient une turbine avec une vitesse de 750 tr/min ils servent à créer une dépression à l'intérieur du four et évacuer les fumés par la cheminée vers l'atmosphère.



I. généralités sur la combustion :

1. Définition

La combustion est une réaction chimique au cours de la quelle il y a oxydation complète ou partielle d'un corps, les réactions d'oxydation sont en général exothermique. Le terme combustion s'applique au cas ou la réaction est suffisamment rapide pour qu'elle se matérialise par une flamme ou étincelle.

L'espèce oxydée totalement ou partiellement est appelée combustible ou carburant, l'espèce oxydante est appelée comburant.



La réaction chimique de combustion ne peut se produire que si on réunit trois éléments : un combustible, un comburant, une énergie d'activation en quantités suffisantes. De la même manière, la combustion cesse dès qu'un élément du triangle est enlevé.

2. La combustion du fuel

Le fuel désigne de façon générale un résidu de distillation du pétrole formé d'un mélange de carbures liquides, c'est un combustible utilisé notamment dans les chaudières. Il est classé dans les ressources énergétiques fossiles et est impliqué dans la pollution de l'air. Sa composition est la suivante :

✳ Pour 1 kg de combustible (Fuel) on a :

$$m_1 = 840 \text{ g de carbone} \quad ; \quad \Delta H (\text{C}) = 97,6 \text{ Kcal / mol} \quad ; \quad M(\text{C}) = 12 \text{ g / mol}$$

$$m_2 = 120 \text{ g d'hydrogène} \quad ; \quad \Delta H (\text{H}_2) = 58,2 \text{ Kcal / mol} \quad ; \quad M(\text{H}) = 1 \text{ g / mol}$$

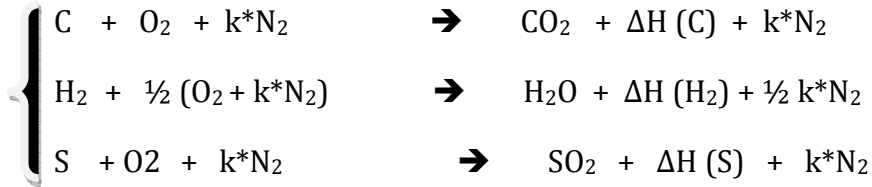
$$m_3 = 40 \text{ g de soufre} \quad ; \quad \Delta H (\text{S}) = 69,2 \text{ Kcal / mol} \quad ; \quad M(\text{S}) = 32 \text{ g / mol}$$

$$M(\text{O}) = 16 \text{ g / mol} \quad ; \quad V_m(\text{gaz}) = 22,4 \text{ L} \quad ; \quad M(\text{N}) = 14 \text{ g / mol}$$

$$k = \frac{\text{pourcentage volumique de l'azote dans l'air : 79}}{\text{Pourcentage volumique de l'oxygène dans l'air : 21}} = 3,76$$

$$k' = \frac{\text{pourcentage massique de l'azote dans l'air : 76}}{\text{Pourcentage massique de l'oxygène dans l'air : 23}} = 3,30$$

La combustion du fuel se fait par les équations suivantes



a. Le pouvoir comburivore massique:

Il désigne la quantité d'air strictement nécessaire et suffisante qu'il faut fournir pour assurer la combustion neutre de l'unité de combustible.

* La masse d'oxygène nécessaire pour la combustion complète d'un Kg de fuel est :

$$m(O_2) = (1x + (1/2)y + 1z)*M(O_2)$$

$$\text{Avec :} \quad x = m_1 / M(C) = 840 / 12 = 70 \text{ mol}$$

$$y = m_2 / M(H_2) = 120 / 2 = 60 \text{ mol}$$

$$z = m_3 / M(S) = 40 / 32 = 1,25 \text{ mol}$$

$$m(O_2) = 3240 \text{ g} = 3,240 \text{ Kg}$$

Puisque le pourcentage massique d'oxygène dans l'air est 23% alors le pouvoir comburivore massique de cette combustion est :

$$P_{cm} = m(O_2) * 100/23$$

$$P_{cm} = 14,08 \text{ kg d'air / kg de fuel}$$

* **Le pouvoir comburivore volumique :**

Le volume d'oxygène nécessaire pour la combustion complète d'un Kg de fuel est :

$$V(O_2) = (1x + 1/2y + 1z)*V_m(\text{gaz})$$

$$V(O_2) = 2268 \text{ L} = 2,268 \text{ m}^3(N)$$

Puisque le pourcentage volumique d'oxygène dans l'air est 21% alors le pouvoir comburivore volumique de cette combustion est :

$$P_{cv} = V(O_2) * 100/21$$

$$P_{cv} = 10,8 \text{ m}^3 \text{ (N) d'air / kg de fuel}$$

b. Le pouvoir calorifique :

Calculant maintenant le pouvoir calorifique de combustion d'un kilogramme de fuel :

$$P_{cal} = x*\Delta H (C) + y*\Delta H (H_2) + z*\Delta H (S)$$

$$P_{cal} = 10410,5 \text{ Kcal / kg de fuel}$$

c. Pouvoir fumigène massique :

$$P_{fm} = [(x*M(CO_2) + y*M(H_2O) + z*M(SO_2)) + (x + (1/2y) + z) * k' * M(N_2)] / 1000$$

$$P_{fm} = 14,93 \text{ kg / kg de fuel}$$

*** Pouvoir fumigène volumique:**

$$P_{fv} = [(x + y + z) + (x + 1/2y + z) * k] * V_m(gaz) / 1000$$

$$P_{fv} = 11,47 \text{ m}^3 \text{ (N) / kg de fuel}$$

II. Bilan et rendement de combustion

5. La Puissance au brûleur :

Le brûleur fournit à l'appareil une puissance appelée puissance au brûleur grâce au dégagement de chaleur du à la réaction exothermique de combustion, cette puissance est définit par :

$$P_{\text{puissance au brûleur}} = \text{quantité de combustible} * \text{pouvoir calorifique}$$

La majeure partie de cette puissance est récupérée par l'utilisateur sous forme de calories, c'est la puissance utile.

6. Les pertes :

Une partie de la puissance au brûleur est évacuée sous forme de pertes qui peuvent se présenter sous plusieurs formes :

a. Pertes par fumées : (Produits de combustion) :

Ces pertes comprennent la chaleur d'échauffement des gaz de combustion, et éventuellement une certaine quantité de chaleur latente de vaporisation de l'eau.

$$\text{Pertes par fumée} = Q_c * C_p * (P_{fm} + \rho * P_{cm}) (T_f - T_{air})$$

Avec Q_c : débit de combustible (kg/H)

C_p : chaleur spécifique de la fumée (kcal/kg. °K)

$\rho = 100(n-1)$; n = l'excès d'air (%)

T_f : Température de fumée (°C)

T_{air} : Température de l'air (°C)

b. Pertes par les parois :

Qui transitent par conduction à travers les parois des équipements, elles sont diffusées par radiation et convection vers le milieu extérieures. Elles sont relativement faibles, elles représentent entre 2 à 5% du rendement global.

c. Pertes par les imbrûlées :

Elles peuvent résulter d'un mauvais réglage ou détérioration du brûleur. Pour un appareil bien réglé ces pertes sont négligeables.

7. Rendement utile

Le Rendement utile noté R_u c'est le rapport :

$$R_u = \frac{P_{Utile}}{P_{au\ bruleur}} = \frac{P_{au\ bruleur} - \Sigma P_{ertes}}{P_{au\ bruleur}} = 1 - \frac{\Sigma P_{ertes}}{P_{au\ bruleur}}$$

8. Application : Bilan et rendement de la chambre de combustion

Pour obtenir le rendement de la chambre à combustion, nous calculons d'abord les différents types de pertes :

* les pertes par fumée :

$$C_p(\text{fumée}) = \frac{[C_p(\text{CO}_2) * m(\text{CO}_2) + C_p(\text{H}_2\text{O}) * m(\text{H}_2\text{O}) + C_p(\text{SO}_2) * m(\text{SO}_2) + C_p(\text{N}_2) * m(\text{N}_2)]}{m(\text{CO}_2) + m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{SO}_2) + m(\text{N}_2)}$$

Avec:	$C_p(\text{CO}_2) = 0,20 \text{ Kcal / kg.}^\circ\text{C}$	$m(\text{CO}_2) = x * M(\text{CO}_2) = 3,08 \text{ kg}$
	$C_p(\text{H}_2\text{O}) = 0,44 \text{ Kcal / kg.}^\circ\text{C}$	$m(\text{H}_2\text{O}) = y * M(\text{H}_2\text{O}) = 1,08 \text{ kg}$
	$C_p(\text{SO}_2) = 0,14 \text{ Kcal / kg.}^\circ\text{C}$	$m(\text{SO}_2) = z * M(\text{SO}_2) = 0,08 \text{ kg}$
	$C_p(\text{N}_2) = 0,25 \text{ Kcal / kg.}^\circ\text{C}$	$m(\text{N}_2) = [k * (x + 1/2y + z) * M(\text{N}_2)] = 10,7 \text{ kg}$

$$C_p(\text{fumée}) = 0,25 \text{ Kcal/kg.}^\circ\text{C}$$

On a :

$$\text{Pertes par fumée} = Q_c * C_p * (P_{fm} + \rho * P_{cm})(T_f - T_{air})$$

Avec :	$Q_c = 2600 \text{ Kg/H}$
	$\rho = 100(1,4 - 1) = 40\%$
	$T_f = 80 \text{ }^\circ\text{C}$
	$T_{air} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\text{Pertes par fumées} = 735 \text{ 091 500 Kcal/h}$$

* les pertes par parois de notre chambre à combustion :

Le flux de chaleur qui traverse les parois est estimé par la loi de fourier mais on peut pas déterminer la température à l'intérieur du foyer, donc nous avons utilisé la formule empirique sur Excel qui permet d'estimer les pertes à partir des températures (paroi et ambiante) :

Tableau 1 : pertes par parois au long du foyer

Points	L(m)	D(m)	S(m ²)	T(°C)	Kf(kcal/Hm ² °C)	Q(kcal/H)
1	1	2,63	8,26	130	13,04	10119,16
2	1	2,75	8,64	98	11,44	6124,79
3	1	3,14	9,86	100	11,54	7282,60
4	1	3,86	12,12	93	11,19	7728,41
5	1	3,94	12,37	106	11,84	10255,11
6	1	3,94	12,37	90	11,03	7370,74
7	1	3,94	12,37	115	12,29	12011,57
8	1	3,94	12,37	103	11,69	9691,22
9	1	3,94	12,37	100	11,54	9138,03
10	1	3,94	12,37	86	10,83	6696,67
11	1	3,94	12,37	94	11,24	8063,55
12	1	4,42	13,88	86	10,83	7512,51
TOTAL	12		139,35			101994,37

On a $Q = K_f * S * (T_{\text{parois}} - T_{\text{ambiante}})$ avec

$$K_f = 4,42 * \left(\left(\frac{T+273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a+273}{100} \right)^4 \right) / (T_p - T_a) + 1,58 * (T_p - T_a)^{(1/4)}$$

Avec L : longueur du foyer (m)

D : diamètre de chaque mètre du foyer (m)

S : surface d'un mètre du foyer (m²)

T_p, T_a : températures de la paroi et ambiante

Q : flux perdu par parois Kcal/H

$$\text{Pertes par parois} = 101994,37 \text{ Kcal/H}$$

Après avoir déterminé les pertes par parois et par fumée, nous calculons la puissance au brûleur pour obtenir le rendement de la chambre à combustion.

* **La puissance au brûleur :**

On a $P_b = Q_c * P_{\text{cal}}$

$$\text{Puissance au brûleur} = 27067300.10^3 \text{ Kcal/H}$$

* **Rendement utile :**

$$R_u = \frac{P_{\text{Utile}}}{P_{\text{au bruleur}}} = \frac{P_{\text{au bruleur}} - \Sigma \text{Pertes}}{P_{\text{au bruleur}}} = 97\%$$

III. Influence du brûleur sur les paramètres de combustion

1. Définition du brûleur

Un brûleur est un injecteur résistant à de hautes températures son rôle est en général double: assurer le mélange carburant - comburant dans les proportions choisies et réaliser la combustion de ce mélange dans les conditions optimales (allumage et maintien de la flamme, combustion complète). Il a donc un rôle déterminant dans la qualité de la combustion, et par suite dans l'émission de polluants ou d'imbrûlés en plus ou moins grande quantité dans les fumées. Les brûleurs utilisés sont de types ZV2, ils permettent de combiner l'action de la pulvérisation mécanique à l'atomisation par un fluide auxiliaire, qui est dans notre cas l'air comprimé injecté à 5 bars.

2. Composition

Un brûleur est composé :

- ✱ **D'un poigné** qui a deux entrées une pour le fuel et l'autre pour l'air comprimé
- ✱ **D'une cane** formée de deux tubes concentriques débouchant sur une pièce appelée atomiseur qui a 16 trous centraux de diamètre 3.2 mm et 20 trous périphériques de diamètre 3.2 mm.
- ✱ **D'un atomiseur** : il est suivi de la pastille qui porte à son tour un orifice central calibré dont les dimensions courantes sont 5- 5.5 - 6 - 6.5 et 7.5 mm, sur la périphérie on compte 20 trous plus petits donnant passage à l'air comprimé (diamètre 3.2 mm).
- ✱ **D'un émulseur** : il suit immédiatement la pastille munie d'ouvertures disposées de la même manière qu'elle.
- ✱ **D'une Multi buse** : vient en dernier lieu et ne contient qu'une seule rangée circulaire de trous divergents disposés sur une sortie de calotte centrale.
- ✱ **D'un Écrou de blocage** : L'ensemble est maintenu dans cet ordre par un écrou de blocage qui vient de se fileter sur le bout extérieur du brûleur.
- ✱ **D'un Jacket tube** est limité à son extrémité par un écrou porte brûleur qui porte d'un côté l'arrivée de l'air comprimé et le fuel avec des portées étanche. L'autre extrémité porte le déflecteur (cône de flamme), cône à ailettes en fonte moulée, son rôle consiste à assurer un centrage et une stabilité de la flamme.
- ✱ **D'un Déflecteur** : c'est un distributeur à vanelles articulées commandées par un poignet sur la façade amène, autour du brûleur, l'air nécessaire pour la combustion provenant d'un ventilateur d'air primaire (VAP).

3. Rôle du brûleur

Le fuel étant admis à l'intérieur du tube central du brûleur, traverse l'atomiseur dans lequel il prend un mouvement de rotation grâce aux voies tangentielles qui débouchent sur la chambre d'atomisation et s'échappe sous forme de jet pulvérisé par l'orifice de la pastille dans la chambre de l'émulseur.

Le fluide auxiliaire, l'air comprimé, est admis dans le tube extérieur, traverse à son tour l'atomiseur et la pastille par les trous périphériques et arrive dans la chambre de l'émulseur. Le mélange ainsi formé à ce niveau donne naissance à une émulsion homogène et se trouve projeté avec une certaine pression vers l'extérieur sous forme de nappe favorisant la combustion avec le milieu ambiant. Le brûleur est introduit pendant l'utilisation dans un « Jacket tube » servant de support et de guidage.

4. Application

Dans le but de déterminer les combinaisons des composants du brûleur, qui permettent d'obtenir une bonne combustion, nous avons effectué des essais sur le four N°2 où nous avons testé différentes combinaisons (pastille- émulseur).

Notons que

- ✱ pour les débits réduits, par exemple après un arrêt du four supérieur à 3 jours, on utilise les pastilles (50,55)
- ✱ pour les débits normaux on utilise celle de type (60), par exemple le cas d'un démarrage après un arrêt court.
- ✱ pour les débits élevés (cas d'humidité élevée) il est préférable d'opérer avec des pastilles de types (65, 70,75).

Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : variation des paramètres suivant les combinaisons (pastille –émulseur)

Essais		Débit du fuel (l/H)	Pression du fuel (bar)	Couleur de flamme	Longueur de flamme	Largeur de la flamme
1	Pastille 60	2909	20.38	Jaune brillante	2/3 du foyer	Ne touche pas aux briques
	Émulseur 12					
2	Pastille 55	2658	30	Jaune brillante	2/3	Ne touche pas aux briques
	Émulseur 8,384					
3	Pastille 60	2920	27	Jaune brillante	2/3	Ne touche pas au brique
	Émulseur 21x171					
4	Pastille 60	2406	33	orange	½	Ne touche pas aux briques
	Émulseur 900					
5	Pastille 60	2855	15	Orange	1/3	Touche aux briques
	Émulseur 8					
6	Pastille 50	1914	33	Orange jaunâtre	½	Touche pas aux briques
	Émulseur 12,900					
7	Pastille 75	3000	15	Orange	2 /3	Touche pas aux briques
	Émulseur 8,384					

5. Interprétations des résultats

L'émulseur type 8.384 qui est muni de 8 rainures ayant une forme de trapèze donne un bon résultat seulement avec la pastille de type 55. Cet émulseur ayant une géométrie permettant une injection radiale du fuel. Mais vue le nombre réduit des rainures le contact air- fuel reste faible par rapport à la pastille 75.

Or la pastille 60 s'adapte bien avec les émulseurs 12 et 21 choses qui permet d'avoir une bonne combustion avec maintient de la pression et de débit dans les normes. Pendant que les autres couplages nous ont donné des résultats insatisfaisants.

Les meilleures combinaisons sont rassemblées dans le tableau suivant :

Tableau2 : meilleurs combinaisons pour le brûleur

<i>Combinaison</i>	<i>Pastille</i>	<i>Émulseur</i>
1	60	12
2	55	8,384
3	60	21x171

IV. Étude des paramètres de marche du four sécheur :

1. Introduction

Les paramètres qui agissent sur le fonctionnement du four sont classés en deux types :

1^{er} type : représenté par les paramètres extérieurs qu'on ne peut pas modifier à savoir : les paramètres physico-chimiques du produit (température, humidité,..), granulométrie, chaleurs spécifique

2^{ème} type : dans l'objectif d'avoir un bon fonctionnement l'opérateur agit sur des paramètres appelés grandeurs réglantes:

✱ **Paramètres sur lesquels l'opérateur peut agir directement :**

Débits d'alimentation, débit du fuel, dépression au niveau de la buse et l'ouverture des carneaux de l'air secondaire

✱ **Paramètres influencés par ceux dessus :**

Débit d'air secondaire, débit d'air parasite débit d'air primaire, Température au niveau de la chambre et la température de la fumée au niveau de la cheminé

Dans le but de déterminer les valeurs optimaux des paramètres de marche d'un four sécheur, nous avons réalisé des différents essais à partir de la salle de contrôle.

2. Débit de fuel

Nous avons fait varier le débit du fuel, en maintenant les autres paramètres, le tableau ci-dessous rassemble les paramètres influencés.

Tableau 4 : variation des paramètres en fonction de débit du fuel

Débit de fuel (l/H)	2775	2638	2575	2457
Température buse (°C)	995	974	958	932
Température chambre (°C)	76.1	75.7	74.9	74.2
Humidité de sortie (%)	2.8	3	3.7	4.33

*** Courbes des variations des paramètres**

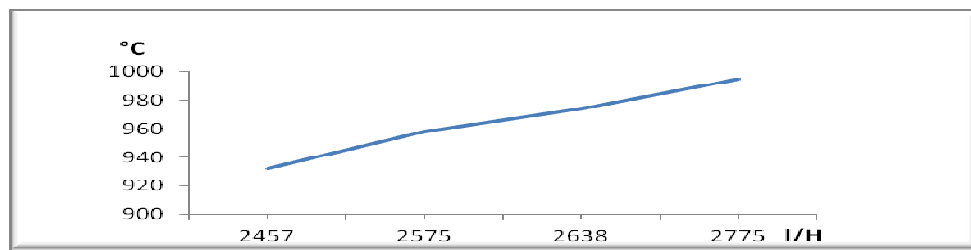


Figure 1 : variation de température de buse en fonction du débit de fuel

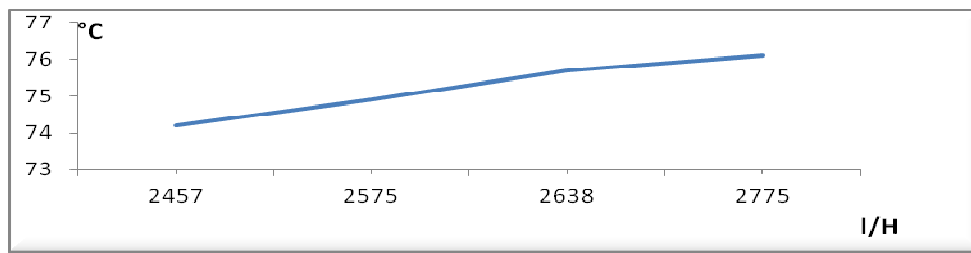


Figure 2 : variation de température chambre en fonction du débit de fuel

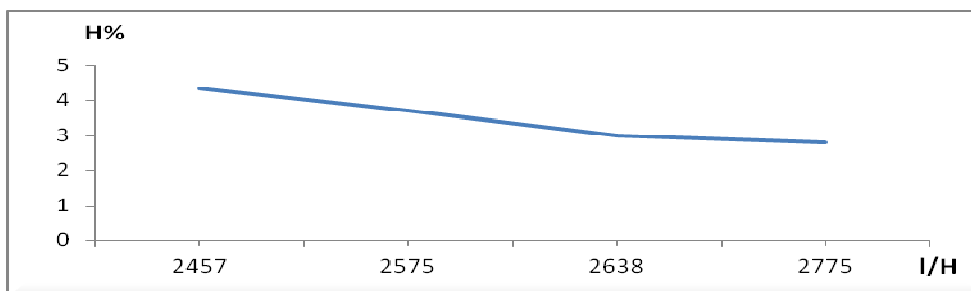


Figure 3 : variation de l'humidité de sortie du produit en fonction du débit de fuel

3. Impact du débit de produit

Dans un 2^{ème} temps nous avons maintenu le débit fuel constant et nous avons modifié le débit du phosphate.

Tableau 5 : variations des paramètres en fonction de débit du produit :

Débit produit (T/H)	Température Buse (°C)	Température chambre (°C)	Dépression (mbar)	Humidité de sortie (H%)
280	970	84	-4.8	2.6
300	982	77.6	-4.5	2.75
326	999	74.8	-4.4	3.2
330	1004	72	-4.4	3.3
340	1010	71.5	-4.15	3.3
350	1014	71.2	-4.00	3.4
380	1030	71	-3.7	3.7

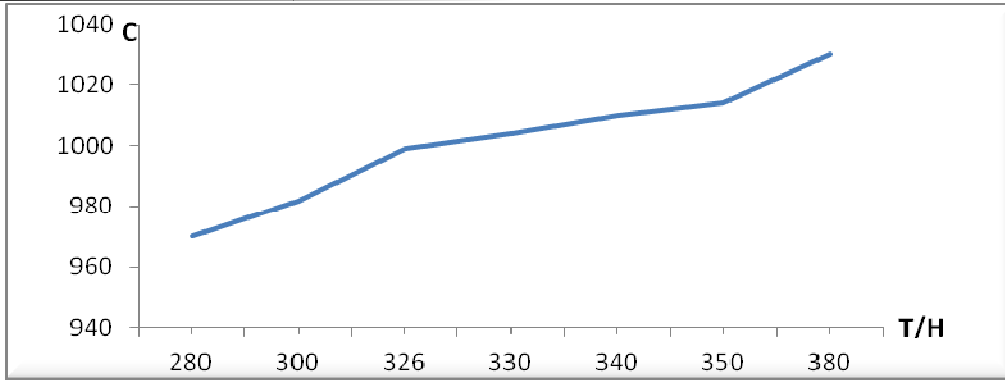


Figure 4: variation de la température buse en fonction de débit produit

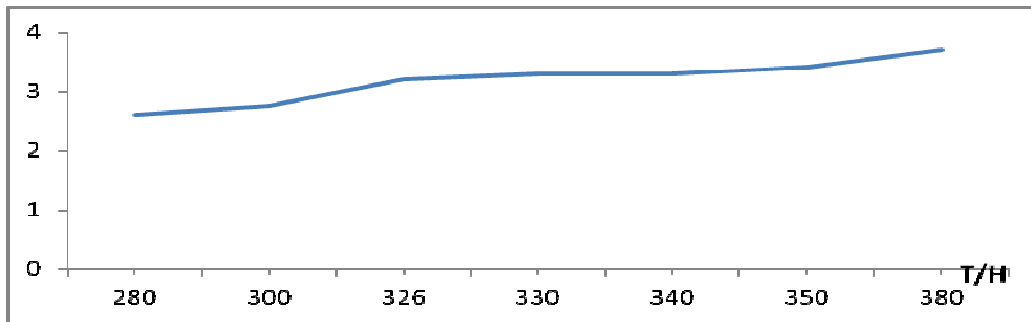


Figure 5: variation de l'humidité de sortie en fonction de débit de produit

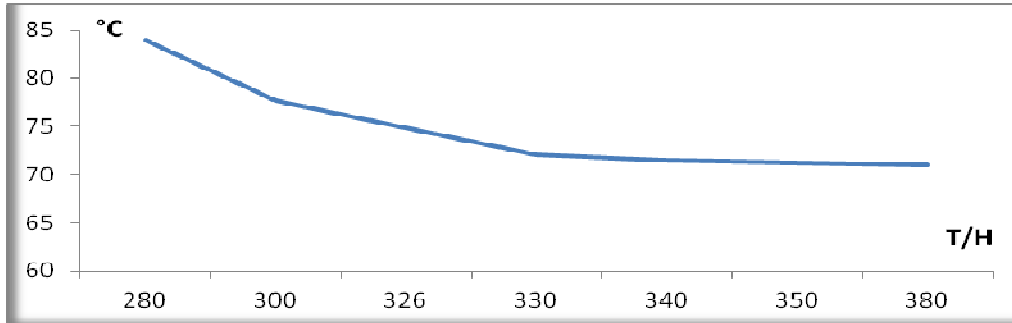


Figure 6 : variation de la température chambre en fonction du débit de produit

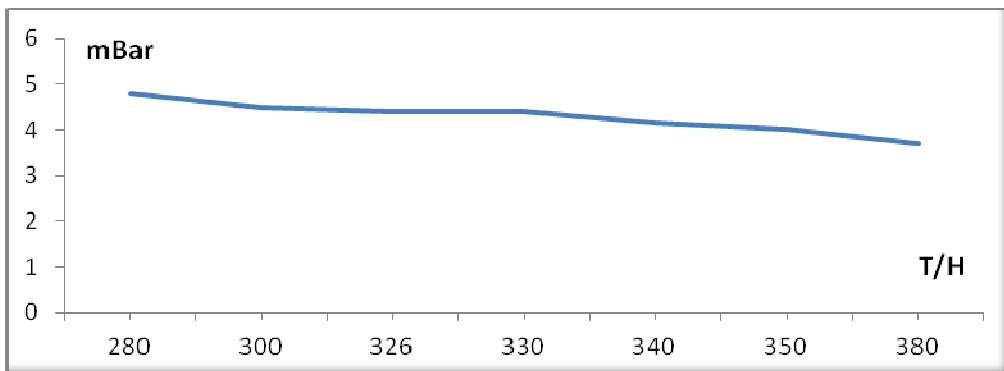


Figure7 : courbe de variation de la dépression en fonction de débit de produit

4. Impact de la dépression

Tableau N°7 : variation des paramètres en fonction de la dépression

Dépression (mBar)	-4,5 (100%)	-4,3 (95%)	-4,00 (80%)	-3,00 (70%)	-1,6 (60%)
Température buse (°C)	976	996	997	1014	1040
Température chambre (°C)	71.5	71.7	72.3	73.6	74.5
Humidité de sortie (H%)	3.5	3	2.8	2.5	Arrêt min de dépression

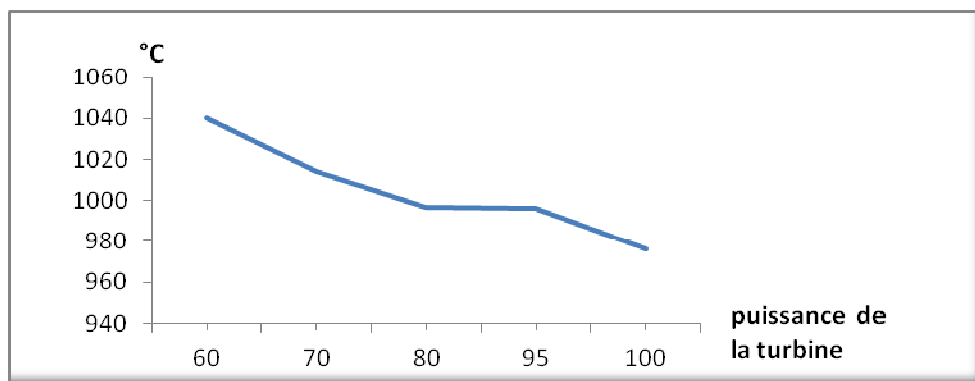


Figure 7 : variation de la température buse en fonction de la dépression

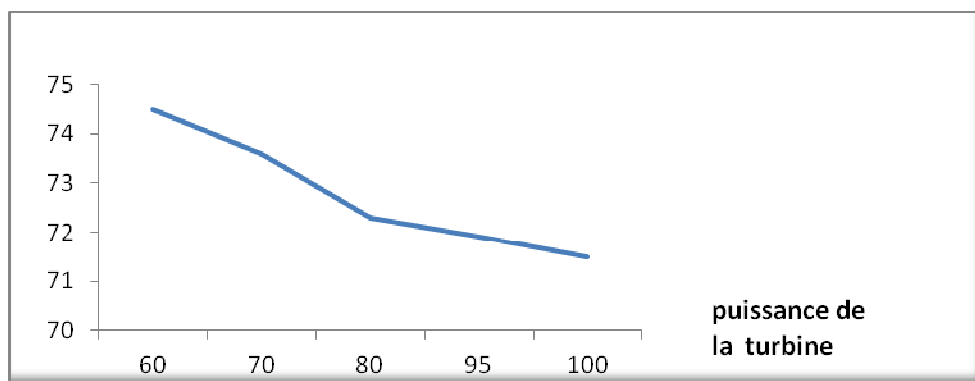


Figure8 : variation de la température chambre en fonction de la dépression

5. Interprétations des résultats

- ✳ On remarque que le débit de fuel agit directement sur la température de la chambre et celle de buse. Lorsque le débit fuel augmente tant que celui du produit reste constant ; donc un apport supplémentaire de chaleur traduit par l'élévation de la température, ce qui assure un séchage parfait :taux d'humidité bas.

Mais parfois un débit de fuel supérieur à l'optimal nous donne un produit sur séché, donc une sur qualité, cherché par le client mais insatisfaisante pour le producteur qui perd financièrement.

- * Un ajout supplémentaire de produit élargit l'obstacle crée, donc les gaz issus de la combustion sont transportés lentement au niveau de la buse ce qui donne une élévation de la température dans la buse puisqu'il y a stagnation de la chaleur au niveau de la buse. Or la température chambre chute cela est du à la diminution de la dépression à cause de la faible ventilation donc les gaz de combustion perdent leurs calories au long de la virole et arrivent moins chaude à la chambre.

Cela est traduit par un séchage incomplet car la vitesse des gaz est primordial, elle permet d'avoir à chaque instant un gaz sec et chaud.

- * On note selon le tableau et les courbe de la dépression que la température buse augmente inversement proportionnellement avec la dépression qui reflète la vitesse d'avancement des gaz à l'intérieur de l'installation jusqu'à une valeur de -1.6 mbar ou la température buse atteint 1040 °C, à ce niveau on a intervenu en augmentant le débit du produit pour des raisons de sécurité (éviter la dégradation des briques réfractaires).

En plus, la dépression influence sur l'humidité résiduelle du produit car une augmentation de la dépression (vitesse d'acheminement des gaz) conduit à la réduction de temps de séjours des gaz chauds, ce qui défavorise l'échange de l'eau du phosphate vers ces gaz, et par conséquent l'humidité sera élevée à la sortie du four.

V. Bilan thermique et énergétique

1. But :

Le bilan thermique est l'une des caractéristiques fondamentales qui permet d'évaluer l'efficacité et l'économie d'une installation thermique. Il s'avère donc nécessaire de connaître les différentes quantités de chaleur entrant dans l'installation en question et celles qui sortent ; afin de déterminer le rendement thermique de la chaîne de traitement et d'agir en conséquence.

2. Bilan de matière de l'installation

a. Les entrées :

* Débit massique du fuel : Q_{fm}

$$Q_{fm} = Q_{fv} \times \rho_f$$

* Débit massique de l'air comprimé de pulvérisation : Q_{PL}

$$Q_{PL} = 0,06 \times Q_{fm}$$

* Débit massique de l'air primaire humide : Q_p

$$Q_p = 3600 \times Q_1 \times \rho_1$$

* Débit d'eau contenue dans l'air primaire : Q_{EP}

$$Q_{EP} = W_P \times Q_P / (1 + W_P)$$

* Débit massique d'air primaire sec : Q_{PS}

$$Q_{PS} = Q_P - Q_{EP}$$

* Débit massique de l'air secondaire humide : Q_{DC}

$$Q_{DC} = 3600 \times Q_{2c} \times \rho_2$$

* Débit d'eau contenue dans l'air
secondaire au niveau des carneaux : Q_{EC}

$$Q_{EC} = W_c \times Q_{DC} / (1 + W_c)$$

* Débit massique d'air secondaire
sec au niveau carneaux : Q_{CS}

$$Q_{CS} = Q_{DC} - Q_{EC}$$

* débit d'air entrant par
le gueulard: Q_{Dg}

$$Q_{Dg} = 3600 \times Q_{2g} \times \rho_{2g}$$

* Débit d'eau contenue dans
l'air secondaire au gueulard : Q_{Eg}

$$Q_{Eg} = W_g \times Q_{Dg} / (1 + W_g)$$

* Débit massique d'air secondaire
sec entant par le gueulard : Q_{gs}

$$Q_{gs} = Q_{Dg} - Q_{Eg}$$

* Débit massique de l'air
parasitaire: Q_{Pr}

$$Q_{Pr} = (\%E_C - \%E_B) \times Q_{AC}$$

* Débit d'eau contenue dans
l'air parasitaire : Q_{Epr}

$$Q_{Epr} = W_{pr} \times Q_{Pr} / (1 + W_{pr})$$

* Débit d'air parasitaire
sec : Q_{prs}

$$Q_{prs} = Q_{Pr} - Q_{Epr}$$

* Débit massique du produit
d'alimentation : Q_{φa}

$$Q_{\phi a} = 3600 \times V_{ex} \times H_c \times L_g \times d_{\phi}$$

b. Les sorties

* Quantité d'eau évaporée : Q_{EV}

$$Q_{EV} = \frac{Q \varphi a (H_a - h_s)}{(1 - h_s)}$$

* Les fumées :

➤ Débit du gaz carbonique CO₂:

$$Q_{C\ CO_2} = (M_{CO_2} / M_c) \times Q_{fm} \times \% C$$

➤ Débit du dioxyde de soufre QC SO₂:

$$Q_{C\ SO_2} = (M_{SO_2} / M_s) \times Q_{fm} \times \%$$

➤ Débit d'azote QC N₂:

$$Q_{C\ N_2} = 0.77 \times (Q_{pl} + Q_p + Q_D + Q_{Pr})$$

➤ Débit d'oxygène QC O₂:

$$Q_{C\ O_2} = 0,23 \times (Q_{pl} + Q_p + Q_D + Q_{Pr} - Q_{AC})$$

➤ Débit de vapeur d'eau QC H₂O :

$$Q_{C\ H_2O} = (M_{H_2O} / M_{H_2} \times Q_{fm} \times \% H_2) + (\% H_2O \times Q_{fm}) + Q_{eau\ dans\ (Q_{pl} + Q_p + Q_D + Q_{Pr})} + Q_{EV}$$

* Débit du produit sec et marchand : Q_{SM}

$$Q_{SM} = 3600 \times V_c \times M_{pesée}$$

* Quantité d'eau résiduelle

dans le produit sec et marchand : Q_{ESM}

$$Q_{ESM} = Q_{SM} \times h_{SM}$$

* Débit du produit sec

et marchand sec : Q_{SM sec}

$$Q_{SM\ sec} = Q_{SM} - Q_{ESM}$$

* Débit du stérile

(refus du crible 6x6 mm): Q_{St}

$$Q_{St} = 3600 \times V_c \times M$$

* Quantité d'eau résiduelle

dans le stérile : Q_{Est}

$$Q_{Est} = Q_{St} \times h_{St}$$

$$Q_{Stsec} = Q_{St} - Q_{Est}$$

* Débit du stérile sec : $Q_{St\ sec}$

3. Bilan enthalpique de l'installation

a. Les entrées :

* Quantité de chaleur

apportée par le phosphate sec: Φ_p

$$\Phi_p = Q_{\phi_{as}} \times C_{pp} \times \theta_p$$

* Quantité de chaleur

apportée par l'humidité du produit : Φ_e

$$\Phi_e = Q_E \phi_a \times C_{pe} \times \theta_p$$

* Quantité de chaleur

apportée par les airs : Φ_{airs}

$$\Phi_{Airs} = \Phi_{pl} + \Phi_p + \Phi_D + \Phi_{pr}$$

* Quantité de chaleur apportée par les aires

➤ de pulvérisation : Φ_{pl}

$$\Phi_{pl} = Q_{psec} \times Ha_{pl}$$

➤ primaire : Φ_P

$$\Phi_P = Q_{psec} \times Ha_P$$

➤ de dilution : Φ_D

$$\Phi_D = Q_{Dsec} \times Ha_D$$

➤ parasitaire :

$$\Phi_{pr} = Q_{prsec} \times Ha_{pr}$$

* Quantité de chaleur

fournie par le fuel : Φ_f

$$\Phi_f = Q_{fm} (PCI + C_{PF} \times \theta_f)$$

b. Les sorties :

* Quantité de chaleur emportée

par le phosphate sec et marchand : Φ_{SM}

$$\Phi_{SM} = [(Q_{\phi_{SM}sec} \times C_{p\phi}) + (Q_{ESM} \times C_{pe})]$$

* Quantité de chaleur emportée

par le Stérile : Φ_{St}

$$\Phi_{St} = [(Q_{St\ sec} \times C_{p\ st}) + (Q_{E\ st} \times C_{pe\ liq})] \theta_{st}$$

* Quantité de chaleur emportée

par l'eau évaporée : Φ_{EV}

$$\Phi_{EV} = Q_{EV} [L_v + (C_{pev} \times \theta_c)]$$

* Quantité de chaleur emportée

par l'eau sauf celle évaporée: Φ_{H2O}

$$\Phi_{H2O} = Q_{H2O} \times C_{pev} \times \theta_c$$

* quantité de chaleur emportée par les gaz dans la cheminée

- Dioxyde de carbone : Φ_{CO2} $\Phi_{CO2} = Q_{C\ CO2} \times C_{p\ CO2} \times \theta_c$
- Dioxyde de soufre : Φ_{SO2} $\Phi_{SO2} = Q_{C\ SO2} \times C_{p\ SO2} \times \theta_c$
- L'azote : Φ_{N2} $\Phi_{N2} = Q_{C\ N2} \times C_{p\ N2} \times \theta_c$
- L'oxygène : Φ_{O2} $\Phi_{O2} = Q_{C\ O2} \times C_{p\ O2} \times \theta_c$

4. Les données de l'essai :

- Qualité traitée BTHSiLSC
- Débit d'alimentation (brut)..... 268 t/h
- Humidité du produit d'alimentation 16.54 %
- Débit de fuel 3250 l/h
- Température du produit d'alimentation 20 °C
- Température ambiante 24 °C
- Humidité relative de l'air 28.7%
- Température au niveau de la buse 1050 °C
- Température du produit SM 75°C
- Température à la cheminée 80°C
- Température du fuel 120 °C
- Humidité du produit SM 3,1 %
- PCI de fuel 9600 Kcal/Kg
- L_v de l'eau 545 Kcal/Kg
- C_p du fuel 0.52Kcal/Kg °C

- Cp de l'eau 1 Kcal/Kg °C
- Cp de la vapeur d'eau0.44 Kcal/Kg °C
- Cp du phosphate..... 0.24 Kcal/Kg °C
- Cp de l'air 0.24 Kcal/Kg °C
- Cp de l'oxygène0.219 Kcal/Kg°C
- Cp du gaz carbonique0.20 Kcal/Kg°C
- Cp du dioxyde de soufre..... 0.14 Kcal/Kg°C
- Cp de l'azote0.25 Kcal/Kg°C
- La pression partielle de vapeur $P^{\circ}_v = 0.030420$ bar
- L'humidité relative de l'air $\epsilon = 0.28$
- L'humidité absolue $W = 0.622 \times (\epsilon.P_s) / (P_{atm} - \epsilon.P_s)$
 $W = (0.62 \times 0.28 \times 0.030420) / (1 - 0.030420)$
 $W = 0.00548$ Kg d'eau/Kg d'air sec
- Température de référence : 0°C .

5. Les résultats de l'essai :

Les tableaux suivants résument les résultats du bilan matière et thermique de l'installation de séchage du COZ:

a) Bilan matière :

ENTREE		SORTIE	
Éléments	Kg/h	Éléments	Kg/h
Fuel	2879.5	Phosphate sec et marchant	232082
Phosphate	268000	Eau évaporée	37171
Air comprimé	173	CO2	8869
Air primaire	75848	SO2	230
Air secondaire	48498	N2	136580
Air parasite	48366	O2	27900
		H2O (combustion + airs)	41250
		Poussières	653

NB: la qualité traitée est une qualité lavée donc le taux du stérile est faible par rapport au débit d'alimentation, c'est la raison pour laquelle on a négligé le débit du stérile.

b) Bilan thermique :

ENTREE			SORTIE		
Elément	Kcal/h	%	Elément	Kcal/h	%
Fuel	27 822 880	90.38	Phosphate sec et marchand	4 386 317	14.24
Phosphate	1 938 176	6.3	Eau évaporée	21 566 614	70.06
			CO2	141 904	0,46
Air comprimé	1660	0.005	SO2	2576	0,008
Air primaire	447 503	1.45	N2	2 731 600	8.87
Air secondaire	286 138	0.93	O2	488 808	1,58
Air parasite	285 324	0.92	H2O (combustion + airs)	143 580	0,46
			Poussières	11283	0.036
			Pertes	1 308 999	4.25
Total	30 781 681	100	Total	30 781 681	100

Rendement : $\eta = \Phi_{EV} / \Phi_{entrées} = 70\%$

6. Discussion des résultats de l'essai

Le rendement du bilan thermique de l'installation de séchage montre que la majorité de l'énergie apportée est exploitée pour l'évaporation de l'eau (70%), Or les 30% sont des pertes sous les formes suivantes :

- Pertes par les parois de la virole : au niveau de la virole nous proposons de faire un calorifugeage au moyen de la laine de verre ceci va nous permettre de diminuer le flux qui traverse les parois vers l'extérieur par conduction et convection, sachant que les pertes au niveau de la virole arrive à 80689 Kcal/H, donc un gain de presque 73000l de fuel /four par an.

- En ce qui concerne les pertes par parois au niveau du foyer, agir de la même façon que la virole est impossible puisqu'il existe déjà trois couches de brique donc une couche supplémentaire de calorifuge risque de provoquer la dégradation du brique et la déformation de la tôle par excès de température, donc il paraît fiable d'entourer le foyer avec une enveloppe en métal en laissant un espace vide entre eux pour permettre l'aspiration par le ventilateur d'un air chaud qui a récupéré l'énergie perdue par les parois. Alors économiser la chaleur de chauffage des gaz de combustion.
- Pertes par les fumées qui sont de l'ordre de 8% de la chaleur apportée au four, il est nécessaire d'envisager un procédé pour la récupération de cette chaleur qui peut être utilisée pour le préchauffage de l'air primaire avant son entrée dans la chambre de combustion.
- Pertes dues à l'introduction de l'air parasite. Dans ce cas on propose les remèdes suivants :
 - Au niveau de la jonction foyer-virole, l'étanchéité est mécanique, assurée par un ceintre métallique en deux parties, mais ce ceintre n'a pas de position stable pendant la marche, il recule et laisse entrer l'air ambiant. Pour pallier à ce problème, il est recommandé de refaire ces ceintres en les équipant par quatre ressorts de rappel pour éviter leur recule et reprendre leur position initiale
 - Au niveau de la jonction virole-chambre, l'étanchéité est assurée par des joints en bavettes de la bande décortiquée. Ces joints s'usent en moins d'une semaine. Des joints en toiles ont été essayés sur les fours 1 et 2, ils ont résisté 2 mois environ. Donc il est recommandé d'utiliser les joints en toiles.
 - Au niveau du crible l'air parasite s'introduit par le capotage et les rives ce qui donne naissance au point de rosée par conséquent le colmatage du crible et le bouchage du reniflard. Pour remédier à ce problème, il est recommandé de fixer les tôles du capotage sur le caisson les unes aux autres avec les joints.

Conclusion

En conclusion de ce travail je tiens à rappeler l'importance de stage comme une composante nécessaire concrétisant l'étude théorique reçue au sein de notre établissement, c'est une expérience enrichissante à plusieurs niveaux: mon insertion comme étudiante dans le champ industriel, la prise du contact avec des experts dans le domaine chimique m'offrant ainsi des possibilités d'épanouissement dans le monde de l'entreprise.

Ainsi, le sujet « optimisation de la consommation du fuel » qui nous a été confié au cours de notre stage était à la fois une occasion d'apprentissage puisqu' il touche au fond de notre formation et de tissage des relations avec d'autres services lors de la recherche de l'information.

Notre sujet était basé sur trois grandes lignes :

- La détermination des combinaisons de bruleur (émulseur-pastille) permettant une bonne pulvérisation de fuel.
- Le suivie des paramètres de marche d'un four sécheur, qui nous a permis de constater que :
 - la dépression est un facteur qui provoque la surconsommation du fuel, alors il faut équiper les vantes des ventilateurs de tirage par des moyens de commande pour le pilotage et le réglage de la dépression des fours.
 - Le débit du produit doit réaliser la saturation du four pour éviter le sur séchage du produit, donc une surconsommation du fuel d'une part, et d'autre part la dégradation des fours par élévation progressive de la température. Pour assurer un débit stable du produit un contrôle régulier du variateur de vitesse est nécessaire
- L'application du bilan thermique et de matière sur un four sécheur nous a permis de déterminer les sources de déperdition.



RAPPORT DE STAGE :LST-G.C 2010/2011

