

Huile Moteur Usée : Une Source D'énergie Calorifique A Haute Valeur Ajoutée Pour La Fusion De L'acier. Etude, Modélisation Et Conception D'un Four Rotatif Pour Application Dans La Micro-Sidérurgie

[Used Motor Oil: A High Value Added Heat Energy Source For Steel Melting. Study, Modeling And Design Of A Rotary Furnace For Application In Micro-Siderurgy]

Honoré RAVELOMANANTSOA¹, Jean Luc RASOANAIVO², Achille Olivier RAVONINJATOVO³,
Huchard Paul Bertin RANDRIANIRAINY⁴; Edouard Ravalison ANDRIANARISON⁵

^{1,2,3,4}Centre National de Recherche Industrielle et Technologique
Antananarivo, Madagascar

⁵Ecole Supérieur Polytechnique, Université d'Antananarivo Madagascar

¹Email : erhravel@gmail.com

²Email : jeanlucnj@gmail.com

³Email : achillegc@yahoo.fr

⁴Email : huchardpaul@yahoo.fr

⁵Email : edoravali@gmail.com



Résumé – Durant ces dernières années, le recyclage est devenu une tendance incontournable dans le domaine industriel. Contraints par la situation actuelle de l'environnement et poussés par l'épuisement des ressources, les industriels se trouvent dans l'obligation d'exploiter au préalable les éléments qui sont à leur disposition afin de produire de nouvelles valeurs pour le développement. Dans ce contexte, la réutilisation des huiles moteurs usées demeurent un domaine encore inexploré et prometteur pour des travaux de recherche.

En effet, ces huiles moteurs usées peuvent être réutilisées comme une source considérable d'énergie calorifique pouvant aboutir à la fusion de l'acier par le biais d'un four rotatif, un équipement chargé de les brûler. Un modèle approprié de cet équipement y sera développé. L'étude économique permettant de mettre en place un micro-sidérurgie demande un investissement initial de 222.800.000 Ar avec non seulement un ratio de valeur ajoutée et de rentabilité financière respectivement très élevé de 0,71 et de 0,35 mais aussi un taux de marge sur coût variable est élevé de 0,32.

Mots clés – huile moteur usée, réutilisation, four rotatif, modélisation, énergie calorifique, fusion acier, micro-sidérurgie, investissement

Abstract – In recent years, recycling has become an unavoidable trend in the industrial field. Constrained by the current environmental situation and driven by the depletion of resources, industrialists are obliged to exploit the elements available to them as soon as possible in order to produce new values for development. In this context, the reuse of used motor oil remains an unexplored and promising field for research work, since used motor oil can be reused as a considerable source of heat energy that can be used to melt steel in a rotary

kiln, a piece of equipment that burns it. An appropriate model of this equipment will be developed. The economic study allowing to set up a micro-steel plant requires an initial investment of 222.800.000 Ar with not only a ratio of added value and financial profitability respectively very high of 0,71 and 0,35 but also a margin rate on variable cost is high of 0,32.

Keywords – used motor oil, reuse, rotary furnace, modeling, heat energy, steel melting, micro-steel industry

I. INTRODUCTION

Dans les pays en voie de développement comme Madagascar, le développement socio-économique serait impossible sans énergie. Le charbon de bois et le pétrole restent encore les premières sources d'énergie utilisées par la majorité de la population. D'après une étude récente faite en février et mars 2015 par l'INSTAT, il a été constaté que 98 % des ménages utilisent ces ressources en tant qu'énergie ménagère. Or, les énergies fossiles non renouvelables sont rares et chères c'est la raison du défaut de source d'énergie et évidemment les différents problèmes socio-économiques et environnementaux y engendrés.

De plus, Madagascar ni dispose pas d'industrie dans le domaine de la micro-sidérurgie permettant de booster son économie et certainement son développement industriel. La mise en place de cette micro-sidérurgie représente un enjeu économique important puisque cela permettrait à la fois d'exploiter une ressource largement disponible et d'offrir un nouvel élan pour le secteur industriel.

Economiquement, ce travail de recherche tend respectivement à :

- primo, valoriser les huiles moteurs usées pour une réutilisation en vue d'obtention d'une source d'énergie calorifique exploitable pour d'autres domaines industriels comme la micro-sidérurgie ;
- secundo, réduire les dépenses de l'Etat dans l'achat de combustible fossile pour le recyclage des huiles usées ;
- Tertio, améliorer le secteur industriel par la mise en place de nouvelles technologies à l'instar de la micro-sidérurgie
- Quarto, créer de l'emploi et de nouvelles opportunités liées aux activités économiques tournant autour de l'utilisation de l'acier.

Dans ce cadre, les recherches s'orientent plus précisément dans la modélisation et la conception d'un four rotatif qui sera l'équipement chargé de brûler les huiles usées, objet de ce travail de recherche intitulé : « Etude, modélisation et conception d'un four rotatif pour application dans la micro-sidérurgie ». Des questions se posent entre autres :

- Par l'intermédiaire de quel moyen peut-on brûler l'huile moteur usée à Madagascar ?
- Quelle technologie appropriée peut-on adopter pour disposer de nouvelle source d'énergie calorifique pour la fusion de l'acier à haute température ?

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Matériels

Puisque la recherche s'oriente plus précisément sur la modélisation et la conception d'un four rotatif qui sera l'équipement chargé de brûler les huiles usées. Le matériel est composé respectivement d'un four rotatif à axe horizontal et d'un brûleur à combustible liquide huile usagée à pulvérisation pour fluide auxiliaire à mélange externe.

2.1.1. Four rotatif à axe horizontal

C'est le matériel le plus important qui est composé d'un cylindre d'acier et revêtu à l'intérieur de pisés réfractaires : pisés siliceux résistants à une température de 1700°C.

Le point de vue le plus important est celui du mode de fusion et le mode de chauffage.

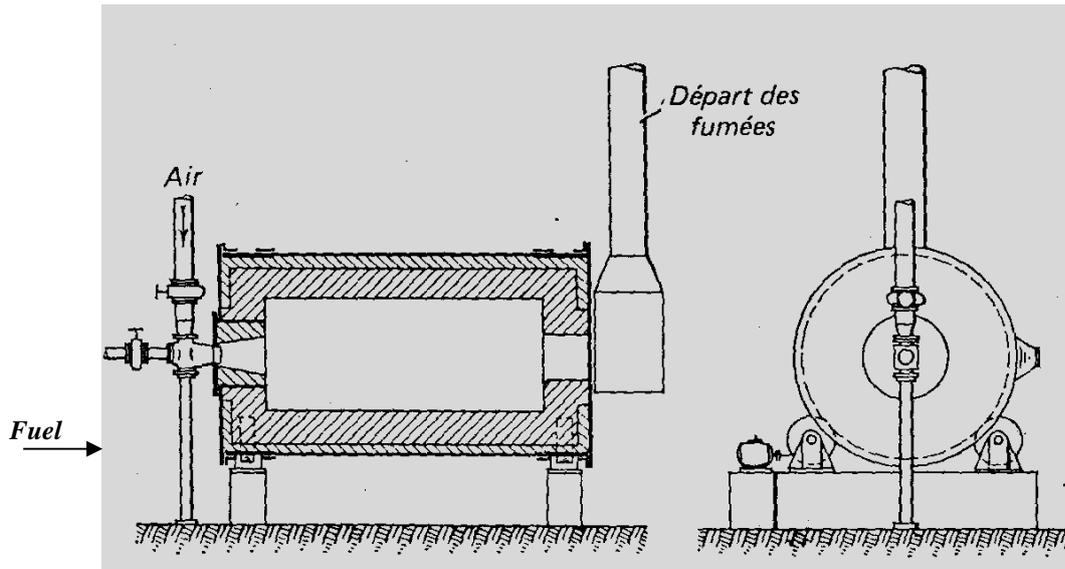


Figure 3.01 : Four de fusion tournant à axe horizontal

Pour les fours de fusion, il est généralement horizontal comme le montre la figure 3.01.

Le four rotatif à axe horizontal est constitué d'un cylindre d'acier et revêtu à l'intérieur de pisés réfractaires ou de briques réfractaires.

Il est supporté par quatre galets qui lui confèrent une libre rotation autour de son axe.

Les dimensions intérieures du four doivent être suffisantes pour assurer l'indispensable circulation des fumées. Il va de soi que le diamètre « D » et la longueur du four « L » doivent avoir un rapport compatible avec les nécessités constructives.

La longueur « L » du four est considérée comme la longueur nécessaire du développement du jet libre du brûleur. Le diamètre de l'extrémité du jet libre d'un brûleur est défini par : $D = 0,4L$.

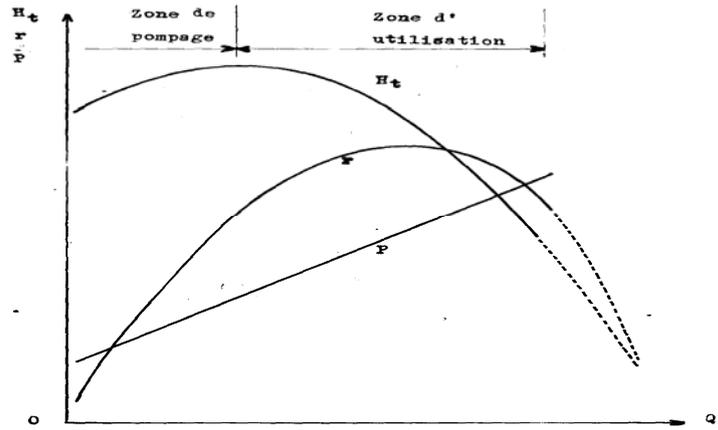
2.1.2. Le brûleur

C'est un brûleur à combustible liquide huile usagée à pulvérisation pour fluide auxiliaire à mélange externe. Les matériels auxiliaires sont composés de :

- Un ventilateur centrifuge
- Une pompe volumétrique rotative pour l'huile usée ;
- Un compresseur volumétrique à piston pour l'air ;

2.1.2.1. Le Ventilateur centrifuge

Type de ventilateur : Nous avons choisi une roue à pales très couchées en arrière. Le courbe débit pression est très tombante : le maximum de pression est situé très à gauche. Cette machine qui débite peu, est utilisable même pour des débits très faibles ; une variation de la résistance du circuit n'entraîne pas une variation importante du débit



v_{av} ou Q_a : Débit d'air fourni par le ventilateur

H_t : Pression totale de l'air

n_v ou r : Rendement du ventilateur

w_v ou P : Puissance fournie par le moteur électrique

La courbe débit- puissance est assez plate et présente un maximum ; si le moteur d'entraînement est prévu pour ce maximum, il ne sera jamais surchargé.

Une diminution du débit par fermeture d'une vanne de réglage n'apporte pas de gain de puissance appréciable.

2.1.2.2. Pompe volumétrique rotative

En général, sur le marché, la puissance minimale des pompes volumétriques rotatives à engrenages extérieurs est de 250 watts ou 0,25 kw. Or, la puissance du moteur d'entraînement de la pompe

Or, des différentes grandeurs réglées par le poste de préparation du combustible sont mesurées par des appareils agissant en information ou pour la régulation de ces grandeurs. On rencontre donc : compteurs, manomètres, thermomètres, manostats, thermostats, etc..

Les grandeurs liées (débit et pression) sont réglées par des soupapes automatiques placées sur les circuits de combustible, d'autres soupapes ont un rôle limité à l'isolement pour assurer la sécurité par fermeture rapide des circuits lorsque des conditions d'exploitation anormales des brûleurs ou du poste de préparation du combustible sont décelées.

2.1.2.3. Compresseur volumétrique alternatif à piston

Puisque la consommation du brûleur est de 65 kg/h et le débit d'air auxiliaire de pulvérisation est de 0,73 Nm³/kg de combustible ce qui correspond à :

$$V_{ac} = 0,73 \times G_m = 0,73 \times 65 = 47,45 \text{ Nm}^3/\text{kg} \text{ ou } 48\text{Nm}^3/\text{h}$$

La puissance théorique dépend :

- Du débit V_{ac} débit d'air du compresseur, c'est-à-dire en fait de la vitesse du piston ou du nombre de coups par minute
- De la pression déterminée P_p entre aspiration et refoulement

Pour un débit d'air $V_{ac} = 48 \text{ Nm}^3/\text{h}$, une pression de pulvérisation $P_p = 6\text{bars}$

Le rendement $n_c = 0,9$ la puissance W_c est

$$W_c = \frac{V_{ac} \cdot P_p}{36n_c} = \frac{48 \times 6}{36 \times 0,9} = 8,9\text{kw} \text{ ou } 9\text{kw}$$

Nous prenons :

$W_c = 9 \text{ kW ou } 12 \text{ cv}$
--

2.1.2.4. Garnissage réfractaire

Nous avons intérêt à utiliser du pisé réfractaire de silice obtenu par emploi direct, sans cuisson de matières premières. Par rapport au garnissage de brique de silice, celui en pisé a l'avantage d'être exempt de joints, dans lesquels le métal fondu risquerait de s'infiltrer.

L'emploi du garnissage réfractaire en pisé de silice présente les avantages suivants :

- grande réfractarité montre du cône Seger 32-33 le point de la fusion de la silice se situe théoriquement entre 1460 et 1750°C selon les échantillons et les conditions d'expérience,
- la qualité principale est d'avoir une grande rigidité à haute température, la température de ramollissement sous charge étant voisine du point de fusion, d'où leur emploi pour la construction des voûtes ou four rotatif,
- l'emploi des pisés de silice a l'avantage de se dilater et non de prendre de retrait comme beaucoup d'autres produits, ce qui bloque la maçonnerie et oblige même à prévoir des joints de dilatation,
- bonne résistance aux scories acides,
- meilleure conductibilité de chaleur à chaud qu'à froid.

Il existe maintenant toute une gamme de produits de silice de caractéristiques différentes répondant aux divers emplois dont les principaux sont :

- o Métallurgie : voûtes de four Martin et de fours électriques, revêtement de convertisseurs acides, et fours rotatifs pour la fusion des métaux
- o Verrerie : voûtes et pieds droits de fours
- o Divers : fours céramiques, notamment fours –tunnel pour la cuisson de réfractaire à haute température.

2.2. Matières

Les matières premières aptes à la fabrication de pisés de silice doivent répondre aux desiderata suivants :

- être réfractaires, c'est-à-dire avoir une température de fusion supérieure à la montre 32 ;
- se transformer facilement et surtout régulièrement donc ne pas être trop pures et contenir dans leur structure de petites quantités d'éléments étrangers ou de silice amorphe qui amorceront la transformation ;
- avoir une teneur en silice de 96% minimum et une teneur en alumine aussi faible que possible ;
- la teneur en fer sera aux environs de 1%, les autres éléments étant la chaux, du titane et des alcalis ;
- à l'échauffement, la roche doit rester compacte, ne pas éclater ni devenir friable ou pulvérulente, les fragments devant constituer le squelette de la brique ;
- ne pas avoir un gonflement exagéré du fait de la cuisson.

Ces matières premières, quoique assez rares, sont très diverses et d'origine géologique très différente entre autres : le quartz, le sable, le grès, le quartzite, le silex.

2.3. Méthodologies

Nous avons choisi la méthode de fusion discontinue à chauffage direct : le transfert de chaleur de sa source vers le métal est direct si la flamme agit directement sur le métal. La flamme ou les fumées chaudes cèdent par contact ou par convection de

chaleur aux murs du four et aux métaux. La fusion est discontinuée dès que les charges sont fondues, on cesse de chauffer et on verse le métal liquide dans des moules ou dans des poches de coulée.

La raison de ce choix est la possibilité de fixer la capacité de production adaptée aux besoins d'une petite entreprise.

Le choix d'un pulvérisateur à fluide auxiliaire à mélange externe est fixé pour les raisons suivantes :

- La possibilité d'utilisation des huiles usées ou fuel ;
- La consommation d'énergie est modérée puisque :
 - o La mise en pression des huiles usagées nécessite une pression modérée ;
 - o et le fluide auxiliaire de pulvérisation nécessite aussi une pression faible
- le réglage du débit est très étendu ;
- le choix de l'angle de pulvérisation est large ;
- l'exploitation et entretien sont aisés
- la préparation du combustible est simple

Moyennant ce brûleur à combustible liquide huile usée à pulvérisation par fluide auxiliaire à mélange externe, on peut atteindre la température de fusion de l'acier de 1700°C.

III. RESULTATS

Les différents essais d'expérimentation ont permis de disposer les résultats probants suivants :

- l'obtention de la haute température 1700°C pour la fusion de l'acier. Puisque le four se caractérise principalement par leur foyer ou la chambre de combustion. Le brûleur à combustion liquide huile usée ainsi que le foyer doit être bien adapté l'un et l'autre. Le foyer a des parois froides si le volume du foyer est trop grand par rapport à la dimension de la flamme. Cette dernière perdra trop de chaleur et la combustion sera incomplète.

A l'inverse, si une flamme trop grande vient heurter les parois, l'évolution des particules en cours de combustion sera stoppée et des dépôts cokéfiés se développeront aux points d'impact.

On peut donc déduire ici que la puissance de pulvérisation du brûleur à combustible liquide huiles usées à pulvérisation par fluide auxiliaire à mélange externe est performante pour avoir la haute température 1700°C à ce four rotatif.

-la bonne tenue du pisé siliceux pour la haute température 1700°C. Notons que le garnissage réfractaire du four rotatif est à base de pisé siliceux.

IV. DISCUSSIONS

La plupart des fours sidérurgiques pour la production d'acier a une grande capacité de l'ordre de 5 t à 50 tonnes. Citons le four Martin, le convertisseur Thomas, le convertisseur L D (Linz Donawitz), OLP (Oxygène Lauci-Poussiers), KALDO. Ceci nécessite donc un investissement initial très élevé.

Ce travail de recherches consiste à mettre au point un système de fusion : four rotatif à combustible liquide huiles usées. Ce système permet respectivement de :

- Valoriser les huiles moteurs usées ;
- Traiter des charges métalliques en quantité limitée susceptible de satisfaire les besoins des petites unités de sidérurgie ;

De plus, cette réalisation nécessite un faible investissement initial mais présente par contre une valeur ajoutée et un ratio de rentabilité financière élevée.

V. CONCLUSION

Trois grands avantages ont été enregistrés à travers ce travail de recherches notamment : sur le plan thermique, sur l'emploi du combustible liquide et enfin sur le plan économique.

- Avantages du four rotatif : les particularités thermiques des fours rotatifs découlent du phénomène suivant : la paroi du four tourne sur la charge et est donc une partie du temps en contact avec les fumées, une partie du temps en contact avec la charge, le flux de chaleur vers la charge est donc augmenté et la température de la paroi est abaissée, ce qui peut améliorer la tenue si le frottement, l'érosion et les réactions chimiques de la charge n'exercent pas une influence défavorable. A cet avantage thermique s'ajoute la simplicité de conception et si la production est suffisante, il y aura certainement un impact sur l'économie c'est pourquoi l'on peut s'étonner de l'étendue du domaine d'application ou de ces fours : « Fours de fusion de l'acier »
- Avantages de l'emploi du combustible liquide : huiles usées :
 - o Prix faible de la calorie : le prix de l'énergie consommée est faible, ceci est dû au prix de l'huile usée qui est cinq fois moindre par rapport au prix du fuel ;
 - o Coût de l'installation faible ;
 - o Coût d'exploitation faible, ceci est dû à la souplesse de production de l'installation ;
 - o Encombrement faible : emmagasinage aisé du combustible liquide huile usée ;
 - o Frais d'entretien faible. Tous les matériels nécessitent un entretien périodique facile et non coûteux ;
 - o Facilité de réglage du débit calorifique et des paramètres de combustion en tenant compte éventuellement d'une régulation automatique, d'où l'absence de pollution atmosphérique (particules solides) ;
 - o De plus, les huiles usées ne contiennent pas de soufre. Il n'y a donc pas de pollution atmosphérique gazeuse : production d'anhydride sulfureux ;
 - o Pas d'effets nuisibles du combustible huile usée sur l'environnement ;
 - o Pas d'influence néfaste du combustible sur la charge ;
- Avantages économiques : pour une réalisation d'un four rotatif de capacité 500 kg d'aciers, l'étude économique permettant de mettre en place un micro sidérurgie demande un investissement initial de 222.800.000 Ar avec non seulement un ratio de valeur ajouté et de rentabilité financière respectivement très élevé de 0,71 et de 0,35 mais aussi un taux de marge sur coût variable est élevé de 0,32.

REFERENCES

- [1]. BAILLEUL (M) Circulation des fluides ; techniques et appareillages. Techniques de l'ingénieur. J 1450
- [2]. BARANGER (P) et BONASSIS (Le prix de revient. Les éditions d'organisation
Paris 1976
- [3]. BARAT (R) Cours de technologie d'atelier. Editions Eyrolles Paris 1949
- [4]. BESAIRES (H) Gites minéraux de Madagascar. Fascicule N° XXXIV, Antananarivo 1960
- [5]. CHAMBADAL (P) Pompes volumétriques. Techniques de l'ingénieur J 1450
- [6]. CHAUVEL Manuel d'évaluation économique des procédés Editions technique, Paris 1976
- [7]. C.T.I.F. Dictionnaire idéologique de fonderie. Editions techniques des industries de la fonderie, Paris 1976
- [8]. EBERHARD (K), THEO (P) et RUDOLF (Z) Principe et technique de cuisson et construction des fours céramiques. Service de la documentation de la Société Française des céramiques, Paris 1973

- [9]. ENCYCLOPEDIE INTERNATIONALE DES SCIENCES ET TECHNIQUES. Tom 6, LAROUSSE, Presse de la Cité, France 1976
- [10]. GOUSOVSKI (L), LIFICCHI (A-C) et IMCHAK (B-M) Brûleurs des fours de chauffage et de traitements thermiques Edition Moscou, Métallurgie 1981
- [11]. GRIMBERT (D) Production de la chaleur à partir de combustibles liquides B2 120
- [12]. GUILLERMIC (A) Utilisation des combustibles liquides, Techniques de l'ingénieur A2175
- [13]. GUYOT (J) Manuel du cubilot. Edition techniques des industries de la fonderie Paris 1980
- [14]. HAAS (D) Ventilateur, Techniques de l'ingénieur B525
- [15]. HEILIGENSTAEDT (W) Thermique appliquée aux fours industriels, Tome 1 et 2 Dunod, Paris 1971
- [16]. HOSTALIER (P) Les brûleurs industriels à gaz. Editions Eyrolles, Paris 1970.
- [17]. JOURDAIN (A) La technologie des produits céramiques réfractaires, Paris – Gauthier – Villars 1966
- [18]. JUDET DE LA COMBE (A) Manuel des turbo-machines- établissement NEU, Lille – France
- [19]. LARGETEAU (J) La fonderie, Tome 2- Presse universitaire de France, Paris 1972
- [20]. LETORT (Y) Utilisation des produits réfractaires en Métallurgie, Techniques de l'ingénieur M1764
- [21]. LETORT (Y) Produits réfractaires, techniques de l'ingénieur A2140
- [22]. MAUSS (F) Les combustibles liquides, Editions techniques, Paris 1963
- [23]. PARENTEAU (J) et CHARMONT (C) Calcul de prix de revient et comptabilité industrielle, Edition hommes, et techniques, Neuilly 1967
- [24]. PERUCHON (J) Comptabilité Générale – Foucher, Paris 1981
- [25]. PIGRAIS (R) Problèmes massiques et volumétriques des combustions, Techniques de l'ingénieur A500
- [26]. RHODES (D) Les fours. Dessain et Tobra 1975
- [27]. SACCADURA (J-F) Initiation aux transferts thermiques. Eyrolles Paris 1982
- [28]. SEDILLE (M) Ventilateurs et compresseurs centrifuges et axiaux, tome 1 : Eyrolles. Editions masson et Cie. Editeurs, Paris 1973.