

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DAKAR
ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
CENTRE DE THIES



gm, 0090

PROJET DE FIN D'ETUDES

**En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception en
Génie électromécanique**

THEME :

**Optimisation du système de production de
billettes de la SOSETRA**

Auteur : Youssou NDIAYE

Directeurs externes:

Babacar Niang, Msc Métallurgie

Mohamed Lamine Mbaye, ing

Directeur interne:

Docteur Fadel Niang

30 juin 2001

DEDICACES

Louange à dieu et à son illustre prophète paix et salut sur lui.

Je dédie ce rapport de projet de fin d'études à mon illustre grand-père feu El Hadji Malick Ndiaye. Que la terre lui soit légère et qu'il regrette son séjour terrestre face à sa félicité céleste .

Ce travail est également dédié à :

- Ma mère**
- Mon père**
- Toute ma famille**
- Tous les élèves de l'ESP.**
- Ma future femme et à toi.**

REMERCIEMENTS

Mes plus vifs remerciements sont destinés d'abord à mes directeurs de projet en l'occurrence Monsieur Babacar Niang, chef du département Fusion-coulée et Monsieur Mouhamed Lamine Mbaye chef du département Energie-Maintenance de la SOSETRA pour l'aide qu'il m'ont apporté dans le cadre de la réalisation de ce projet de fin d'études.

J'aimerais également exprimer ma reconnaissance à M. Fadel Niang, mon Directeur interne pour le dévouement et la disponibilité qu'il a accordé à ce travail

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous ceux qui m'ont apporté une aide morale ou active à un quelconque moment de mes études, il s'agit entre autres de :

- El Hadji Bamba Ndiaye
- Asse Ndaiye
- Cheikh Tidiane Ndiaye
- Mes camarades

SOMMAIRE

Ce travail présenté dans le cadre du projet de fin d'études porte sur l'optimisation du système de production de billettes de la SOSETRA.

Il vise à offrir une meilleure efficacité technique du système de production

Le premier chapitre est consacré à une présentation de l'entreprise.

Le second chapitre fait l'état des lieux du système de production et présente également les unités de production.

Le troisième chapitre propose un système de traitement optimal de la ferraille.

Le quatrième chapitre est consacré sur la consommation électrique du four. Il propose un chargement et une conduite optimaux de la fusion.

Le cinquième chapitre étudie la coulée et offre les méthodes et les moyens d'obtenir une meilleure efficacité.

Le chapitre six définit et choisit un pyromètre pour la mesure de la température dans le répartiteur de coulée.

Enfin des conclusions sont tirées et suivies d'un certain nombre de recommandations.

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Titres	pages
4.1	Consommation électrique du four (moi de mars)	76
4.2	Relevés de puissances	80
4.3	Consommation électrique du four durant une fusion	81

LISTES DES FIGURES

3.1 Répartition de l'espace pour le stockage des différentes familles de ferraille	74
4.1 Consommation spécifique en fonction de la durée de fusion(du 01 au 15 mars)	83
4.2 Consommation spécifique en fonction de la durée de fusion(du 15 au 30 mars)	84
4.3 Courbe de puissance	85
4.4 Courbe du facteur de puissance	87

TABLE DES MATIERES

Matières	pages
DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRES	iii
LISTE DES TABLEUX	iv
LISTE DES FIGURES	v
TABLE DES MATIERES	vi
<hr/>	
INTRODUCTION	
<hr/>	
Chapitre 1 : PRESENTATION DE LA SOSETRA	3
Le Département Fusion-Coulée.....	3
Le procédé de fabrication.....	3
<hr/>	
Chapitre 2 : ETAT DES LIEUX	5
2.1 Traitement de la ferraille.....	5
2.1.1 La réception.....	5
2.1.2 Les spécifications sur la ferraille.....	6
2.1.3 Les types de ferraille.....	7
2.1.4 Les équipements.....	8
2.2 La fusion.....	8
2.2.1 Le four.....	8
2.2.1.1 Présentation.....	8
2.2.1.2 Le chargement du four.....	11
2.2.1.3 le garnissage.....	13
2.2.1.4 Déchargement et transfert.....	14
2.2.1.4.1 La poche de transfert.....	14
2.2.1.4.2 Préchauffage.....	15
2.2.1.4.3 Le tiroir de coulée.....	15

5.1.3 L'oscillateur.....	45
5.1.4 Les gicleurs.....	45
5.1.5 Les redresseurs.....	46
5.1.6 La fausse billette.....	46
5.2 Les paramètres de production.....	47
5.2.1 Augmentation de la vitesse de coulée.....	47
5.2.1.a Calcul de la vitesse de coulée en fonction de hauteur du bain dans le répartiteur.....	47
5.2.1.b Suivi du niveau du métal dans le répartiteur de coulée.....	50
5.3 Les pertes de métal.....	51
5.3.1 Refroidissement du métal.....	51
5.4 Mesure de la longueur de la billette.....	55

Chapitre 6 : MESURE DE LA TEMPERATURE DU METAL DANS LE

TUNDISH (répartiteur de coulée).....	56
6.1 Mesure par contact.....	57
6.2 Mesure par observation du rayonnement d'émission : choix d'un pyromètre.....	58
6.2.1 Principes physiques.....	58
6.2.1.1 Lois du rayonnement thermique du corps noir.....	55
6.2.1.2 Rayonnement thermique de l'acier.....	62
6.2.1.3 Absorption du rayonnement thermique.....	62
6.2.2 Application de la mesure des températures : principes et méthodes.....	64
6.3 Choix d'un pyromètre.....	64
6.3.1 Pyromètre à radiation totale.....	64
6.3.2 Pyromètre à bande étroite (monochromatique).....	65
6.3.1 Pyromètre à disparition de filament.....	66
6.3.1 Pyromètre bichromatique.....	68

CONCLUSION	70
RECOMMANDATIONS	72
BIBLIOGRAPHIE	73
ANNEXES	74

INTRODUCTION

La société sénégalaise de transformation sise à Mbao est une aciérie qui produit du fer à béton dont la fabrication repose sur le recyclage des produits ferreux dont nous disposons à l'intérieur du pays.

La chaîne de fabrication de billettes sur laquelle nous avons mené cette étude peut se résumer sur trois principaux points : Le traitement de la ferraille, la fusion et la coulée.

En effet après avoir trié, découpé et compacté la ferraille, elle est introduite dans un four à induction de type à creuset pour sa transformation en phase liquide. Le métal fondu résultant est coulé par la machine à coulée continue en des billettes convenablement découpées.

Comme toute entreprise de fabrication, la société essaie par tous les moyens nécessaires et optimaux de réduire les coûts de production de la fusion et de la coulée et d'augmenter sa capacité de production.

Ce projet que nous avons entrepris depuis décembre s'inscrit dans ce dynamisme. Puisque que la ligne de production constitue une chaîne, il serait insuffisant d'accuser un seul maillon. Ce présent rapport propose dans chaque partie de la chaîne de production à savoir : la ferraille, la fusion et la coulée, des solutions afin que les performances de production soient meilleures.

Pour mieux cerner et appréhender les problèmes auxquels l'entreprise est confrontée, nous avons tenu une collaboration permanente avec le responsable

de la production ainsi que ceux qui œuvraient sur le site (chefs de quart, chefs d'équipe, ouvriers)

CHAPITRE 1: PRESENTATION DE LA SOSETRA

La SOSETRA est une aciérie née il y'a 6 ans des anciennes tréfileries de Dakar. Aujourd'hui elle occupe une place importante dans l'industrie sénégalaise. Elle est la première aciérie qui détient tout le procédé de fabrication en Afrique de l'Ouest. Elle est composée de cinq départements : Département Energie-Maintenance, Stock et Logistiques, Laminoirs, Qualité et Fusion-coulée.

1.1 Le Département Fusion-Coulée

C'est dans ce département que nous avons effectué notre projet de fin d'études. Il a comme principaux objectifs de définir et de proposer la politique de production de billettes depuis la ferraille. D'autre part, il assure un approvisionnement qualitatif et quantitatif (sans rupture de stock). Il essaie également par tous les moyens nécessaires et optimaux de réduire les coûts de production de la fusion et de la coulée reflétés sur les comptes d'exploitations. Le département garantit l'utilisation permanente de technologie de pointe pour l'amélioration de la productivité

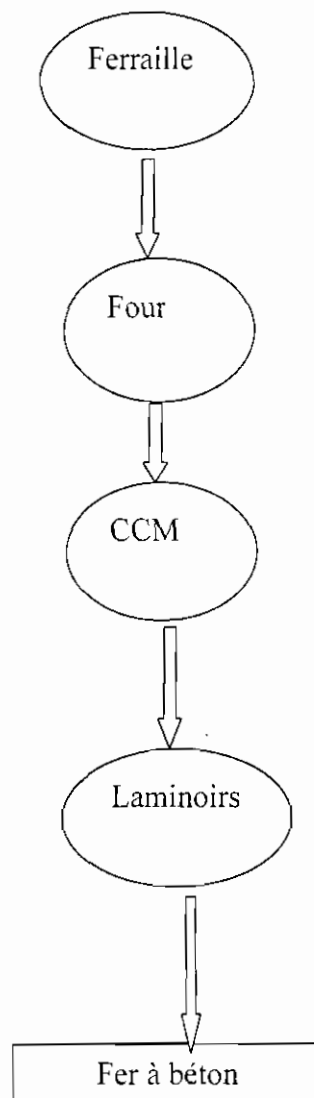
1.2 Procédé de fabrication

Le procédé de fabrication de la SOSETRA peut se résumer par le schéma ci-dessus.

En effet la ferraille introduite dans le four à induction, induit des courants Foucaults qui la chauffent par effet joule. Le métal liquide résultant est

acheminé vers la machine à coulée par la poche. Cette machine coule le métal sous forme de billettes de longueurs 6m et de section 100x100.

Les billettes passent à travers les laminoirs après un réchauffage à 1000°C et donne sous forme de bobine ou de barres du fer à béton avec une large gamme de sections.



Chapitre 2 : Etat des lieux

Cette étape préliminaire de notre étude est un diagnostic des différents secteurs de la production. Elle consiste d'une part, en une description des méthodes de production du processus et d'autre part à mesurer correctement, les temps, les vitesses et les moyens de production.

La collaboration directe avec le responsable de la production et ceux qui œuvraient sur le site a été la démarche utilisée pour recueillir toutes les informations dont nous avons besoin. Nous avons organisé la présentation de cette partie autour de tous les secteurs qui touchent la production en occurrence la matière première, la fusion et la coulée.

2.1. Traitement de la ferraille

Dans cette partie nous nous consacrons principalement sur la ferraille qui est l'élément prépondérant dans la production d'acier ordinaire.

2.1.1 La Réception

La SOSETRA utilise la ferraille du Sénégal comme matière première. Elle traite avec des sociétés de la place comme ASG (Afrique métaux), RECUVER, BERNEX tous des exportateurs de ferraille ainsi que quelques fournisseurs informels.

Le produit réceptionné, est pesé sur le pont bascule et contrôlé avant son transfert. Un agent du service de la qualité se charge de cette tâche et veille à ce que le produit soit conforme aux normes et aux critères établis. Les critères de contrôle sont spécifiés par le département fusion-coulée qui, sous forme de note

énumère les caractéristiques de la ferraille que l'usine doit utiliser dans le processus

2.1.2 Les spécifications sur la ferraille

La ferraille doit respecter un certain nombre de critères avant son utilisation :

- Ne pas contenir de graisse
- Ne pas contenir de matière organique dont les produits de combustion peuvent être toxiques pour le personnel d'exploitation.
- Ne pas contenir de produit pouvant réagir avec le garnissage (boue, sable, béton, ciment et autres produits calcaires)
- La ferraille doit avoir des dimensions permettant un chargement rapide et sans risque de détérioration du four
- La largeur des morceaux ne doit pas excéder $0,33 \times$ diamètre du four (creuset) c'est à dire une dimension maximale 35 à 40 cm.
- Pour les barres et tubes la longueur ne doit pas excéder 1,2 m (rail, poutrelle etc....)
- La ferraille légère doit être aussi dense que possible (compactage des tôles et autres éléments à faible épaisseur quand $e \geq 40$ cm)
- La ferraille ne doit présenter aucun risque d'explosion, il faudra percer tous les corps fermés (ballons, amortisseur cylindre, vérin), démonter les vérins hydrauliques.
- La ferraille ne doit pas être trop rouillée.

Une fois la ferraille contrôlée, elle est transférée soit directement dans le hangar comme matière utilisable sans traitement supplémentaire, soit dans le parc si c'est les tôles de véhicules ou dans la seconde zone de dépôt pour la ferraille mixte nécessitant tri et découpage.

2.1.3 Les types de ferraille

La ferraille utilisée est composée essentiellement de :

- Pièces mécaniques
 - en fonte
 - en acier à haute teneur en carbone $c \cong 0,65\%$
 - en acier à moyenne teneur en carbone $\%c = 0,25$ à $0,1\%$
- Engins lourds découpés (engins de terrassement, engins agricoles)
 - chenilles
 - godets
 - corps d'engins
 - chassie
- Pièces Laminées
 - Tôles
 - Tubes
 - Cornières, profilés
 - Fer rond, carré etc.
 - Pièces embouties
- Retour de production : produit provenant des laminoirs.

2.1.4 Les équipements

Pour le traitement de la ferraille, la SOSETRA dispose de 3 poclains (engins de manutention), 2 camions bennes et une presse cisaille.

Les poclains ont pour principal rôle de changer les camions en ferrailles traitées.

La presse cisaille compacte les tôles et la ferraille légère en des formes cubiques (40 cm^3) pour réduire l'encombrement, faciliter son changement et augmenter sa densité de charge. Une fois la matière triée, elle est transférée au hangar où elle sera mise dans des bacs pour le chargement du four.

Le traitement effectué manuellement sur la ferraille consiste uniquement à enlever les produits explosifs comme ballons ou les corps fermés et les produits en plastique ou contenant de la graisse. Mais aussi les produits de dimensions non conformes avec celles du four sont découpés en éléments plus petits avec un chalumeau (oxygène + acétylène).

2.2 La fusion

C'est le processus par lequel on porte la charge (ferraille) introduite à une température supérieure à sa température de fusion en exécutant une série d'opérations mécaniques, chimique et physiques. On utilise dans le processus un four à induction de type à creuset.

2.2.1 Le four

2.2.1.1 Présentation

Le four de fusion est un équipement de chauffage qui met en œuvre le principe de l'inducteur dans un transformateur sans noyau ; le primaire est constitué par

un bobinage inducteur dans lequel on introduit la pièce à chauffer constituant le secondaire. Le champ magnétique créé par le courant primaire génère des courants induits alternatifs dans la pièce, ceux-ci la chauffent pour effet joule. Le courant secondaire est la résultante de l'ensemble des courants Foucault induits dans la masse à chauffer.

Le four est alimenté en monophasé sous une tension comprise entre 0 et 3000V. La sous station électrique (90 / 11KV) alimente celui-ci par l'intermédiaire d'un transformateur (11/0,85KV). Ce dernier débite sur un générateur de fréquences en deux lignes triphasées, l'une en étoile et l'autre en triangle. Le générateur de fréquence alimente l'inducteur en monophasé mais permet également la conversion à la fréquence la mieux adaptée variant entre 300 à 500Hz.

a) Raccordement électrique

Il est composé d'un transformateur qui réduit la tension du réseau 11 KV à 850V avec une puissance nominale de 6250 KVA, d'un générateur de fréquence, de batteries de compensation et d'un inducteur siège de la fusion du métal

Le transformateur

Sa puissance nominale est de 6850 KVA.. Il est alimenté par une ligne 11KV en delta pour ensuite fournir 2 lignes triphasées l'une en triangle et l'autre en étoile sous une tension de 850V en passant par un Générateur de fréquences.

Le générateur de fréquence

IL convertit la fréquence d'entrée (50hz) pour une gamme d'utilisation variant entre 300 et 600 Hz.

Il comprend un double point redresseur, une bobine de lissage, un point onduleur a quatre bras, une bobine inductive visant à amoindrir les pics d'intensité.

Les condensateurs

Les flux de fuite sont importants au niveau de l'inducteur avec pour conséquence une grande consommation en puissance réactive, il est donc nécessaire de relever le facteur de puissance en installant aux bornes de l'inducteur une batterie de condensateur dont l'importance dépend de la nature de l'équipement. En effet chaque four dispose de 15 condensateurs montés aux bornes de l'inducteur. Chacun d'eux à une puissance de 5450 Kvar sous une tension de 3000 V et une fréquence de 700 Hz.

L'inducteur (creuset)

Il est constitué d'un ensemble de spires formant ainsi le creuset siège de la fusion. Il est alimenté à partir du générateur de fréquence par un circuit monophasé réparti en quatre phases ; chaque phase forme un ensemble de spires isolées entre elles. La bobine est bridée radicalement par 15 entrefers qui sont constitués de tôles feuilletées et permettent une bonne canalisation du flux magnétique.

Dans les fours de fusion, la bonne tenue du garnissage réfractaire exige que ce dernier soit assez épais et qu'un intervalle non négligeable existe entre la bobine primaire et la charge de matière traitée qui forme le secondaire.

A cet effet les parois de la couche primaire et secondaire sont regarnies périodiquement.

2.2.1.2 Le chargement du four

Le chargement du four se fait progressivement à l'aide des bacs. L'usine en dispose 5 et ils sont remplis manuellement par l'équipe de triage sur le hangar. Une fois remplie, les bacs sont acheminés vers le four par le pont. Ils sont de forme cylindrique avec une capacité variant de 600 à 1000kg. Leur fond est muni de deux battants dont la fermeture est maintenue par une corde. L'utilisation de la corde est due au fait que celle ci fond dès que le bac est posé sur le creuset. Les battants s'ouvrent et libèrent ainsi la charge dans le four.

Cependant un aimant est également utilisé, mais pour le transport des pièces lourdes notamment les paquets compactés.

Le type de four utilisé est un four à induction moyenne fréquence avec une capacité de 12T. Les opérations durent en moyenne 3 heures.

La conduite de la fusion nécessite des méthodes et des soins qui doivent faire l'objet d'un perfectionnement constant. Le but de la fusion est d'obtenir du métal liquide avec la composition chimique et la température souhaitées en conservant le garnissage le plus longtemps possible, à moindre coût de main d'œuvre, d'intrants et d'énergie

La charge que constituent les différents matériaux introduits dans le four de fusion comprend :

- le métal proprement dit (ferraille d'origine diverse)
- les déchets récupérés aux différents stades de transformation et de l'utilisation du métal ; ils forment un laitier flottant et sont périodiquement écumés du bain au cours même de la fusion.
- Les éléments d'addition : ils sont directement introduit dans le bain sous forme de ferroalliage.

Le silicomanganèse et éventuellement l'aluminium sont les principaux éléments utilisés.

Le chargement est souvent fonction de la composition chimique du produit en cour de fusion. En effet les tôles de véhicules compactées et la ferraille légère sont utilisées quand la teneur en carbone est élevée et de même on fait recours à la fonte pour l'élever. Des prélèvements de métal liquide dans le four sont soumis à des analyses (contrôle des teneurs en carbone et des éléments d'addition).

Si des anomalies par rapport à la plage permises sont constatées, les actions de correction nécessaires sont effectuées immédiatement.

La température de fusion de l'acier est en moyenne 1550 mais pour compenser les pertes dues au transfert on porte le bain à 1700°C environ.

La prise de température est faite en moyen des thermocouples muni d'un afficheur numérique.

Intervalle de tolérance imposé le Département Qualité.

C*	Si	Mn	P	S
0,3 – 0,55	Max 0,25	0,75' – 0,95	Ma x 0,005	Ma x 0,5

2.2.1.4 Le garnissage

Les inducteurs du four sont protégés par une couche assez épaisse de garnissage réfractaire. Cette matière appelée ramming-masse (prise réfractaire) utilisée dans ce four est de nature acide car étant composé de Si à 98%, de Mn et de C en faible quantité. Au cours des fusions le garnissage est assujetti à une érosion progressive dont les causes seront énumérées ultérieurement. A cet effet le lining et le patching qui constituent des opérations de regarnissage sont effectués périodiquement suivant l'état de cette couche réfractaire. Le lining représente toute la couche du garnissage jusqu'aux inducteurs. Une couche en amiante est cependant interposée pour renforcer la protection.

120 sacs environ de ramming-masse sont utilisés pour chaque opération de lining. Un paquet de bleu et 0,7 kg d'acide borique sont mélangés avec chaque sac de ramming-masse

Le patching est la couche externe du garnissage directement en contact avec le métal. Cette couche à une durée de vie plus courte car ne pouvant supporter qu'une douzaine de cycles. Le regarnissage de patching nécessite 35 à 40 sacs de ramming-masse.

Une fois que le garnissage du lining ou du patching est fait, un mode opératoire prescrit par le fabricant permet de le sécher et de le rendre résistant. Ceci consiste en fait à des modes d'arrêts et de marche étalés dans le temps et qui durent en moyenne 6 à 9 heures pour le lining et 3 à 4 heures pour le patching.

2.2.1.5 Déchargement et transfert

Le produit fondu est directement déversé dans les poches et acheminés vers le CCM(machine à coulée continue). Et ce, grâce à la mobilité du four qui peut basculer jusqu'à 92° au moyen des vérins hydrauliques qui la soutiennent.

Le métal fondu est transporté sur une distance de 70m environ sur des poches. Ces dernières sont conduites au CCM par une pont 30T. L'usine en dispose trois et chaque poche a une capacité de chargement supérieure à celle du four.

2.2.1.5.1 La poche de Transfert (Ladle)

C'est la poche de coulée qui permet également le transfert du métal du four au CCM. Son garnissage en réfractaire isole le métal des parois de la poche. Le réfractaire est composé essentiellement de briques SA, EA et SB.

Les briques SA et SB qui sont sur la couche externe peuvent endurer 70 coulées environ tandis que la 2^{ème} couche (couche de sécurité) formé des briques EA peut subir jusqu'à 500 coulées.

2.2.1.5.2 Préchauffage

La poche est préalablement chauffée jusqu'à 1000° avant sa mise en service. Ceci, pour éviter les chocs thermiques et réduire les chutes de température du métal.

Un brûleur à fuel-oil est utilisé pour porter la poche à la température adéquate. Elle est chauffée pendant 30mn si elle suit le courant de la production.

Après un lining le chauffage se fait pendant 6 heures et 3 à 4 heures après un patching.

2.2.1.5.3 Orifice de la poche ou tiroir de coulée

La poche libère le métal fondu par un orifice à section réglable grâce à un système hydraulique.

Les ladles nozzle (busette de coulée), les slades plates (plaque) et les collecters nozzle (tubulures de coulée) sont les éléments de l'orifice d'ouverture qui sont renouvelés périodiquement suivant le nombre de chargement de la poche et la qualité du produit réfractaire à partir duquel ils sont réalisés.

	FIXE NOZZLE	SLADES PLADES	COLLECTER NOZZLE
NB Chargement	6	3	3

CHAPITRE 3 : ETUDE SUR LA MATIERE PREMIERE

La ferraille constitue un maillon très important dans la chaîne de production. Une étude d'optimisation du processus n'aurait été pertinente si les contraintes liées à la ferraille ne sont pas énumérées avec toute la précision requise. Ainsi une attention particulière sera portée sur cette matière qui, de par sa nature et ses spécificités participe activement à l'élaboration des temps de fusion, à la détermination de la qualité du produit ainsi qu'à la bonne tenue du réfractaire. Cependant les problèmes majeurs que nous avons pu rencontrer dans cette partie que constitue le traitement de la ferraille sont les suivants :

- Absence d'un approvisionnement stable du hangar
- Manque d'espace suffisamment aménagé pour la ferraille à cause d'une occupation anarchique des lieux par les déchets
- Une utilisation excessive de corde par les bacs de chargement.
- Les paquets sont souvent mal compactés ce qui rend difficile le chargement.
- Les bacs utilisés pour le chargement du four sont victimes d'une déformation trop avancée.
- Une utilisation fréquente de ferraille trop rouillée due à des retards de livraison

Pour mettre un terme à ces différents problèmes liés au traitement de la ferraille nous nous proposons d'une part de faire une étude sur la spécification de la matière en énumérant la composition des éléments

prépondérants, d'autre part nous procéderons à une classification en famille basée principalement sur la teneur en carbone. Enfin nous proposerons une exploitation optimale en dégagant l'ensemble des paramètres, des méthodes de traitement pour une meilleure utilisation de la ressource.

3.1. Spécification de la ferraille

Il s'agit ici de déterminer la composition des éléments prépondérants dans la ferraille.

Pour arriver à cette fin nous avons prélevé quelques échantillons qui ont été analysés au niveau du laboratoire chimique de l'entreprise. Tandis que pour d'autres nous avons obtenu leur composition en se basant sur la technologie de construction notamment pour les aciers d'usage général.

Les fontes

Nous avons considéré un ensemble de pièces dont les compositions sont voisines : Blocs moteurs, paliers, corps de machines, pièces moulées, vilebrequin PM (petit modèle) etc.

%C	%Si	%Mn	%S	%P
3 à 4	1.8 à 3	0.1 à 0.8	< 0.03	< 0.1

Vilebrequin

%C	%Si	%Mn	%S	%P
0.47	0.04	0.79	0.030	0.013

Bielle PM

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.52	0.09	0.72	0.031	0.043

Engrenage GR

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.67	0.18	0.81	0.005	0.27

Corps d'engins

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.27	0.08	0.92	0.037	0.92

Tôles minces

%C	%Mn	%S
0.08	0.45	0.036

Tube (faible diamètre)

%C	%Mn	%S
0.08	0.49	0.089

Pièces embouties et corps de vanne

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo
< 0.17	< 0.25	< 1	< 0.015	< 0.01	< 0.02	< 0.25

Axe de piston, pieds de bielle, arbre à came, levier, manette.

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.06 à 0.95	0.15 0.35	0.3 à 0.6	< 0.035	0.04

Pièces en mécanique générale ; vérin, colonne de presse, arbre

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo
0.35 à 0.4	0.15 à 0.35	0.5 à 0.8	< 0.03	0.02 à 0.04	< 0.4	< 0.4

Ressort, butées, came, organe de machine

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo
0.52 à 0.6	0.15 à 0.35	0.5 à 0.8	< 0.03	0.02 à 0.04	< 0.4	< 0.4

Chaîne, axe de piston, axe de pieds de bielle, engrenages, arbre de transmission, arbre à came.

%C	%Si	%Mn	%P	%S
0.57 à 0.65	0.15 à 0.35	0.6 à 0.9	< 0.035	< 0.035

3.2. Classification

Nous classons la ferraille en quatre grandes familles qui sont :

A. Les fontes

B. Les pièces mécaniques à haute teneur en carbone

C. La ferraille mixe

D. Les paquets

A. Les fontes

Cette famille concerne l'ensemble des éléments dont la teneur en carbone dépasse 2%. Parmi les éléments en fonte figurant dans la ferraille nous pouvons citer:

Blocs moteurs, paliers, pièces moulées, certaines roues dentées etc.

La fonte est utilisée en très faible quantité car sa teneur en carbone est très élevée ainsi que sa teneur en éléments d'alliage notamment le Manganèse et le Silicium.

%C	%Si	%Mn	%S	%P
2 à 4	1.8 à 3	0.1 à 0.8	< 0.03	< 0.1

B. Les pièces mécaniques à haute teneur en carbone

Cette famille est composée d'éléments de machine dont la teneur en carbone est comprise entre 0.40 et 0.60 %C. Les éléments suivants peuvent être classés dans cette catégorie :

Engrenages, vilebrequins, roulements, petites pièces de quincaillerie, raccords de plomberie, carters, vannes, ressorts, butées, cames, organe de machine, chaîne, axe de piston, axe de pieds de bielle, arbre de transmission, arbre à came, etc.

C. La ferraille mixte

Toute ferraille dont la teneur en carbone est comprise entre 0.30 et 0.40 %. Les éléments concernés sont :

Cornière, profilés, tôle de faible épaisseur, ferraille d'origine domestique en acier de construction, vilebrequin, chute de billette, rails, traverses de rail, tubes de fort diamètre etc.

D. Les paquets

Toute ferraille compactée à la presse cisaille. Elle généralement composée de tôle de véhicule et de ferraille légère. Sa teneur en carbone est faible et ne dépasse pas 0.2%.

3.3. Calcul de la charge

La base d'un bilan correcte des matières premières entrant dans la production de l'acier est un choix judicieux des matières, de leur composition chimique, un

pesage correcte des composants et une disposition rationnelle de ses composants dans le four.

La charge du four doit être calculée sur la base des exigences des instructions technologiques, des normes de consommation de matières pour la marque désirée. L'usage de ferraille de toute sorte d'alliage ou l'utilisation de ferraille de composition chimique inconnue conduit au non respect des normes et à des problèmes liés à la coulée.

En effet, le four a une capacité de production de 12 tonnes par fusion. L'objectif visé est d'avoir un produit avec une teneur en carbone comprise entre 0.3 et 0.55%.

Les éléments des classes A, B, et C ont respectivement des teneurs en carbone comprises entre 2 % et 4 % ; 0.4% et 0.6% ; 0.30 % et 0.4% et la classe D a une teneur d'environ 0.25 %. Cependant nous allons considérer une teneur moyenne en carbone pour chaque famille. Ainsi nous avons :

FAMILLES	% carbones	Teneur moy. de la famille
FONTE	2 à 4	2.6
PIECES MECANIQUES	0.4 à 0.6	0.45
FERRAILLE MIXTE	0.30 à 0.40	0.35
PAQUETS	0.25	0.25

Soient X_1 , X_2 , X_3 et X_4 les quantités en tonnes requises respectivement en A, B, C et D pour produire 12 tonnes de métal liquide avec une composition

chimique basées sur les exigences des normes de production. C'est à dire un produit de teneur en carbone 0.3, 0.35, 0.40, 0.45, 0.5 ou 0.55 %.

Exemple de calcul

Soit à produire 12 tonnes d'acier de construction avec une teneur en carbone de 0.4 %.

- Les pertes au feu sont en moyenne à 2%.
- 500 kg de la ferraille passent à travers le laitier ; soit 4% de charge.

Soit une perte totale de 6%.

Donc la charge nécessite 12.71 tonnes de ferraille

%C(A)	2.6
%C(B)	0.45
%C(C)	0.35
%C(D)	0.25

Le problème se traduit par l'équation suivante :

$$2.6X_1 + 0.45X_2 + 0.35 X_2 + 0.25X_4 \leq 0.004 \times 12000$$

$$\Rightarrow 2.6X_1 + 0.45X_2 + 0.35 X_2 + 0.25X_4 \leq 48$$

et $\sum X = 12.72 \text{ t}$

Solution1

Familles	Quantités(kg)	Quantité en carbone(kg)
----------	---------------	--------------------------

X1	275	7.15
X2	550	2.475
X3	8000	28
X4	4000	10
somme	12850	47.625

Solution2

Familles	Quantités(kg)	Quantité en carbone(kg)
X1	350	9.1
X2	9550	4.275
X3	6000	21
X4	5500	13.75
somme	12800	48.125

Solution3

Familles	Quantités(kg)	Quantité en carbone(kg)
X1	350	9.1

X2	1000	4.5
X3	5500	19.25
X4	6000	15
somme	12850	48.85

Notre choix s'est porté sur la solution 2. Ceci est motivé par le fait que cette solution utilise toutes les familles à proportion relativement équilibrée évitant ainsi les goulots de matières.

Nous pouvons dire alors que la charge requiert 350kg de fonte , 950kg de pièces mécaniques, 6000 kg de ferraille mixte et 5500 kg de paquets compactés à la presse cisaille. Exprimé en pourcentage ; la fonte représente 2.7%, les pièces mécaniques 7.42%, la ferraille mixte 47 % et les paquets 43%

3.4. Planification des unités de production

3.4.1. Programme de production

Les besoins en produit fini de la SOSETRA sont estimés à 2600 tonnes par mois.

Les pertes standards sur la chaîne sont :

- 15 % aux laminoirs
- 1% au CCM
- 12% en déchets et laitier sur la ferraille

Section	Pertes	Besoins en Product° par t/moi
---------	--------	-------------------------------

Laminoirs	15%	2990
CCM	1%	3020
Four	6%	3200
Ferraille	12%	3584

Ainsi pour atteindre l'objectif fixé par l'entreprise, le département fusion-coulée doit être approvisionné par 3584t de ferrailles par mois

Or les besoins en fonte, en pièces mécaniques, en ferraille mixe et en paquets compactés représentent respectivement 2.7%, 7.42%, 47% et 43% de la production.

Ainsi nous avons les quantités suivantes :

- Fontes : $3584 \times 0.0223 = 74.82 \text{ t}$
- Pièces mécaniques : $3584 \times 0.07 = 238 \text{ t}$
- Ferraille mixe : $3584 \times 0.48 = 1632 \text{ t}$
- Paquets compactés : $3584 \times 0.44 = 1496 \text{ t}$

Pour effectuer le transfert de 3584t les équipements doivent être rythmés d'une cadence de travail de **128 t par jour pendant 28 jours**. Soit une cadence horaire de 16 t , évaluée sur 8 heures de travail par jour.

3.4.2. Répartition des tâches

L'usine dispose de trois grues (1 Poclain GM, 1 Lieber et 1 Poclain PM) ,
deux camions et une presse cisaille.

▣ *LES GRUES*

LIEBER : - chargement presse cisaille
- chargement camion (paquets)

POCLAIN GM : - déchargement des camions
- gerbage de la ferraille

POCLAIN PM avec électro-aimant : - nettoyage
- tri
- chargement des bacs sur le hangar

POCLAIN PM avec la pince : chargement du camion sur le parc

▣ *LES CAMIONS*

Ils sont chargés du transfert de la ferraille du parc au hangar. Ils doivent assurer une cadence de transfert de 128 t par jour toute catégorie de ferraille confondue. Soit 64 tonnes par camion.

Les camions travaillent huit heures par jour et chaque voyage dure en moyenne 50 minutes.

Le camion GM a une capacité moyenne de 12 t par chargement alors que le petit camion ne peut contenir que 8 tonnes.

Ils parcourent en moyenne 2 km pour effectuer un cycle complet (chargement-déchargement).

Par conséquent on a :

Camion GM

Nombre de voyages : $\frac{64}{12} = 6$ voyages

Distance parcourue : $6 \times 2 = 12$ km

Camion PM

Nombre de voyages : $\frac{64}{8} = 8$ voyages

Distance parcourue : $8 \times 2 = 16$ km

Les camions parcourent alors une distance de 28 km par jour, soit 784 km par mois.

▣ *LA PRESSE CISAILLE*

Au niveau de cette machine, la quantité destinée à être compactée est de 1542 t.

Si elle travaille 28 jours dans le mois, la production journalière est alors environ **60 tonnes.**

3.5.Le stock de ferraille dans le hangar

Une quantité suffisante en stocke sur le hangar est nécessaire pour se prémunir contre toute interruption de la production causée par des retards dans la livraison.

Ce stock est fortement dépendant de l'espace disponible au niveau du hangar.

C'est la raison pour laquelle nous considérons un stock permettant une production journalière. C'est à dire une quantité de 128 t de ferraille.

3.5.1 Répartition de l'espace pour le stock des différentes familles.

(cf. schéma)

3.6.Chargement- tri- manutention

Nous avons affaire à un four à induction de capacité 12T. Le cycle de fusion donné par le fournisseur est 2 heures de temps.

Pour atteindre ce rythme, le four doit être alimenté à raison de 100kg/min. Pour chaque cycle de fusion, le chargement comprend :

- 350kg de fonte
- 950kg de pièces mécaniques à haute teneur en carbone
- 6000kg de ferraille mixée
- 5500 kg de ferraille compactée

Le chargement doit se faire au moyen des bacs et de l'aimant grâce aux 2 ponts.

La capacité des bacs dépend de la nature de la ferraille.

Les bacs sont cylindriques de diamètre 1100 et de hauteur 1600mm.

3.7. Capacité des bacs

⇒ Ferraille compactée (acier ordinaire C)

Les dimensions du bac permettent un chargement de 10 paquets de ferraille compactée de 40 cm^3 . Chaque paquet pèse environ 50kg.

La capacité du bac en ferraille compactée est alors : **$10 \times 50 = 500 \text{ kg}$**

Pour satisfaire la charge de 5500kg, il faudrait alors **11 bacs**

⇒ Ferraille mixe

Le chargement pèse environ 6000kg.

Un bac chargé en ferraille mixte pèse environ 700 kg.

Il faudrait alors 9 bacs pour satisfaire cette charge

⇒ Ferraille en fonte (A)

Un bac en fonte d'une quantité de 300 kg est utilisé à chaque début de fusion.

Satisfaisant ainsi la quantité nécessaire en fonte.

CHAPITRE4 : OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DU FOUR

La consommation électrique nominale du four est de 650kWh/t alors que nous en avons encore à 733kWh/t environ, soit 83 kWh de puissances perdues par tonne de métal. Pour résoudre ce problème nous nous proposons d'aborder les points suivants

- Quels sont les paramètres qui influent sur le chauffage ?
- Comment doit on charger le four ?
- Comment faire fonctionner le four ?

4.1 Principes généraux du chauffage par induction

Tout corps conducteur de l'électricité s'échauffe par effet joule quand il est parcouru par un courant électrique. Cet échauffement s'obtient en plaçant ce conducteur dans un champ magnétique variable : chauffage par induction

On applique sur une bobine, une tension variable et le courant alternatif résultant de fréquence f , crée à l'intérieur de celui-ci un champ magnétique variable.

Un corps conducteur est introduit dans la bobine et le flux magnétique qui traverse ce corps induit d'après la loi Lenz une force électromagnétique donnant naissance à des courants Foucault.

La force électromagnétique induite est donnée par la relation :

$$E = - \frac{d\phi}{dt}$$

$d\phi$ étant la variation du flux d'induction magnétique traversant la pièce pendant le temps dt .

La puissance transformée en chaleur dans le corps à chauffer est alors $P = RI^2$

R dépend non seulement de la résistivité, mais aussi de sa perméabilité magnétique relative et de la fréquence du courant parcourant l'inducteur.

Il faut remarquer que le chauffage par induction magnétique met en jeu trois phénomènes physiques successifs :

- Transfert d'énergie de la bobine au corps à chauffer par voie électromagnétique
- Transformation en chaleur dans l'induit de l'énergie électrique par effet joule
- Transmission de la chaleur par conduction thermique dans la masse.

4.2. Caractéristiques du chauffage par induction

Les caractéristiques du chauffage par induction dépendent de très nombreux facteurs en particulier :

- du flux magnétique traversant le corps à chauffé ; donc de
 - la nature du matériau (perméabilité magnétique relative et de son état)
 - la force magnétomotrice de l'inducteur
 - des fuites magnétiques (dimensions respectives de l'inducteur et de la pièce à chauffée, couplage, caractéristique du circuit magnétique)
 - la fréquence du courant
- des caractéristiques électriques de l'inducteur et de l'induit
 - résistivité

- géométrie de l'inducteur et de l'induit
- densité de courant etc.

les paramètres ont une grande importance car la profondeur de pénétration des courants induits dans le corps à chauffer, la quantité de chaleur dégagée, sa répartition dans l'induit et le rendement de ce mode de chauffage en dépendent étroitement

4.2.1 Pénétration des courants induits

Plus la fréquence du courant dans l'induit augmente plus le courant alternatif parcourant la pièce à chauffer a tendance à se concentrer à sa surface.

L'intensité I parcourant la pièce est :

$$I = i_0 \cdot d_0 \quad d_0 : \text{profondeur de pénétration}$$

$$P(d_0) = 0.865P \quad \text{Puissances dégagées dans la couche d'épaisseur } d_0.$$

Le chauffage se produit alors presque dans la totalité dans cette couche d'épaisseur d_0 .

$$d_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{f\mu_r}}$$

ρ : résistivité de l'induit en ohm.mètre

f : fréquence du courant parcourant l'induit

μ_r : perméabilité magnétique relative de l'induit

Donc la profondeur de pénétration dépend de la résistivité du corps de sa perméabilité et de la fréquence.

4.2.2. Influence de la résistance

La profondeur de pénétration est proportionnelle à la racine carrée de la résistivité. Or pour les aciers celle-ci dépend de la température et de la teneur en carbone (voir courbe ci-dessous).

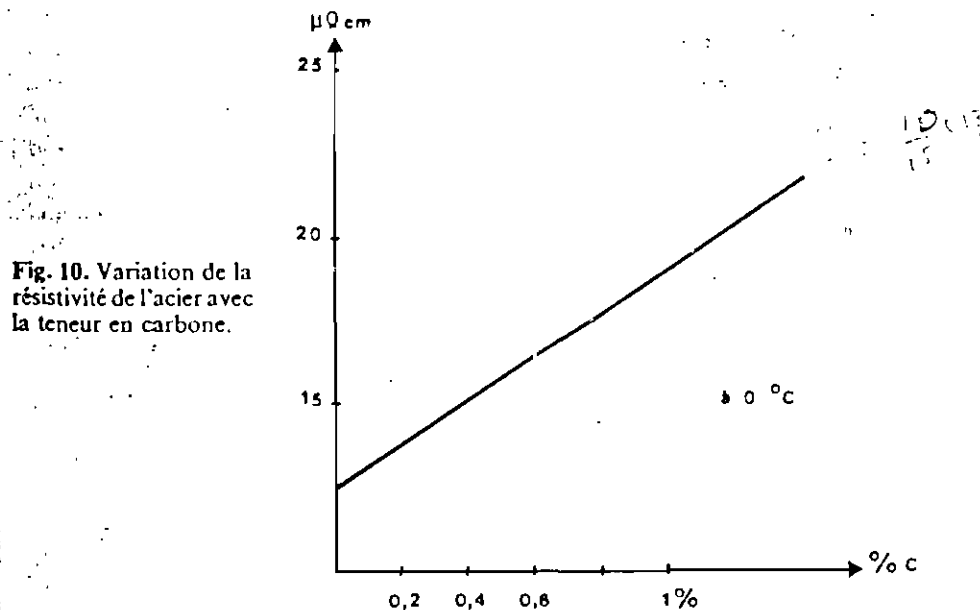


Fig. 10. Variation de la résistivité de l'acier avec la teneur en carbone.

Dans la pratique, on retient souvent une résistivité moyenne, ce qui facilite les calculs.

La charge que nous utilisons a une teneur en carbone moyenne de 0.4 % environ. Cette valeur projetée sur la courbe donne une résistance de 8.661 $\Omega \cdot \text{m}$.

4.2.3. Influence de la perméabilité magnétique relative

La racine carrée de la perméabilité magnétique relative est inversement proportionnelle à la profondeur de pénétration. La perméabilité varie dans de larges limites car elle dépend de la température, de la composition de l'alliage, des impuretés et de l'état physique (écrouissage, traitement thermique, mais aussi du champ magnétique auquel est soumis le matériau)

4.2.3. Influence de la fréquence

La profondeur de pénétration est inversement proportionnelle à la racine carrée de la fréquence. C'est une grandeur caractéristique de la puissance transmise à l'intérieur du corps à chauffer.

4.2.4. Transmission de la puissance

Le corps placé dans l'inducteur s'échauffe par effet joule sous l'effet des courants induits. L'expression de la puissance dissipée pour une pièce cylindrique est donc :

$$P=2\pi^2 \frac{d}{h} \sqrt{10\rho\mu_r f}$$

Cette expression montre que pour augmenter sa valeur il faut :

- augmenter le champ magnétique
- augmenter la fréquence

Cependant nous sommes limités pour le dernier point. La puissance ne varie qu'avec la racine carrée de la fréquence, de plus l'impédance croît avec la fréquence, ce qui conduit à limiter la puissance transmise

4.3. Optimisation de la consommation électrique du four

On définit les caractéristiques du four par le tableau suivant :

P(kW)	Capacité(t)	Tension d'entrée(V)	Tension aux inducteurs (V)	Fréquence (Hz)
0 – 5000	12	850	0-3000	300-500

La consommation moyenne du four évaluée au mois de mars, fournie par le tab 4.1 est de 733 kWh/tonne avec une vitesse de fusion de 4.063t /h et un $\cos\phi$ de 0.84. La puissance consommée par le four représente 80% environ de la puissance de l'usine.

En effet l'optimisation de la consommation électrique passe nécessairement par la réduction des temps de fusion, un bon couplage entre l'inducteur et l'induit et une bonne utilisation de la puissance débitée.

Pour arriver à cette fin nous allons résoudre les deux points suivants :

- Comment doit-on charger le four ?
- Comment faire fonctionner le four ?

4.3.1 Chargement du four

La capacité du four est de 12 tonnes. L'objectif fixé est de fondre cette charge sur une durée de 2 heures en utilisant une quantité d'énergie ne dépassant pas 650 kWh/t et en conservant le garnissage le plus longtemps possible.

Les données statistiques montrent que la durée moyenne de fusion est de 3.07 heures et que la consommation spécifique en énergie s'élève à 733 kWh /t soit un excès de 80 kWh/t.

La charge que constitue la ferraille est composée de

- ✓ Fonte
- ✓ Pièces mécaniques
- ✓ Ferraille mixte
- ✓ Paquets compactés

On caractérise la fusion par trois phases : le démarrage, la fusion proprement dite et la phase de surchauffe

4.3.1.1 Organisation pour un chargement optimal

☒ Première phase : Phase de démarrage

Le démarrage est l'étape qui consiste à fondre la première charge métallique. Or la présence d'un bain de métal dans le creuset est un aspect favorable quant à l'amorçage de la fusion. Pour faciliter les conditions d'amorçage nous pouvons jouer sur deux paramètres :

- Introduction d'une charge facile à fondre
- Utilisation d'un bain liquide au fond du creuset pour l'amorçage de la prochaine fusion.

☞ Charge de démarrage

Pour démarrer le four à charge froide, il faut que celle-ci regroupe un certain nombre de critères parmi lesquels on peut citer :

- ❖ Il faut que les courants induits puissent se développer dans les éléments composant la charge

- ❖ Il faut que les éléments aient une température de fusion relativement faible
- ❖ La charge doit être propre (limiter la présence d'oxyde, de crasse ou de graisse) pour assurer un contact franc entre les éléments composant la charge.
- ❖ Favoriser alors les éléments de petites dimensions pour augmenter la surface de pénétration car les courants induits se développent en surface. Dimension et épaisseur des composants ne doivent pas excéder 200x23 mm²
- ❖ Il faut qu'il ait le moins de vide possible entre les éléments composant la charge

En effet la fonte et les pièces mécaniques (pignons, roues dentées, bielles, vilebrequin PM, disques etc.) sont des éléments à haute teneur en carbone donc à résistivité élevée, leur température de fusion est moins élevée que celle des autres éléments de la ferraille. Par conséquent ils sont les éléments les plus appropriés comme charge de démarrage. Cependant la charge doit être bien choisie en ne favorisant que les éléments suscités et disponible à tant pour éviter les retards dus au démarrage.

Pour une production de 12 tonnes d'acier avec 0.4% de carbone, utiliser :

- ◆ 300kg de fontes
- ◆ 950 kg de pièces mécaniques (cf. chap3)

Il faut noter également qu'il existe une autre technique qui consiste à introduire la charge dans un bain résiduel de la précédente coulée. Il permet une production plus homogène, évite les chocs thermiques et mécaniques sur le revêtement

réfractaire du creuset et utilise l'inertie du four ce qui diminue les temps de fusion. Mais cette technique n'est pas adaptée pour ce type de four et présente également des risques quant au contrôle du fond du creuset après chaque fusion.

↪ **Deuxième phase**

Il n'existe pas de transition entre la première et la deuxième phase. Après les premiers bacs de ferraille de démarrage, le chargement suit son cours en respectant les points suivants :

- La charge doit être exempte de ferraille dont les dimensions dépassent 30cm. Car souvent lorsque des éléments de grosses dimensions sont introduites dans la charge, ils s'interposent et créent un blocage sur le four.
- Mettre la quantité en paquets nécessaire juste après la charge de démarrage ainsi que toute ferraille légère. Nous signalons sur ce point que les paquets utilisés ont des dimensions non conformes avec celles du four. Et par conséquent nécessite une réduction jusqu'à 20 ou 30cm.
- Bien contrôler la charge introduite pour mieux respecter les taux spécifiés afin de réduire les pertes de temps liées à la correction qui nécessite une introduction de charge légère en fin de fusion.
- Mettre la ferraille lourde en fin de fusion au profit de ferraille légère. Car cette dernière avec sa faible masse volumique n'offre pas une immersion facile dans le bain surtout lorsqu'il y'a présence de laitier au dessus de celui-ci.

L'analyse du facteur de puissance ($\cos\phi$) au cours de la fusion montre que la zone la plus défavorisée se situe entre le début de cette phase et la troisième phase (surchauffe) ; phase où le four est quasiment plein.

Ceci montre que le couplage de la charge (inducteur, induit) revêt un caractère important et nécessite une mobilisation sur le plan humain et matériel afin que ces problèmes soient résorbés.

Un bon traitement de la ferraille avec une cadence de chargement adéquate participera vivement à la réduction des temps de fusion et des pénalités encourues sur le facteur de puissance.

4.3.1.2 Proposition d'une conduite de fusion optimale

Le four dispose d'une gamme de puissance variant de 0 à 5000 kW. Cette puissance réglable grâce au potentiomètre doit être utilisée d'une manière efficiente et corrélative à la charge pour apporter l'énergie nécessaire à la fusion sans pic de température tout en minimisant les pertes.

En effet à l'image de la charge, le fonctionnement du four peut être défini suivant trois phases :

1^{ère} phase : Phase de démarrage.

Fonctionner avec une puissance de 3000 kW. Cette phase dure en moyenne 30mn.

2^{ème} Phase : jusqu'à 4tonnes, utiliser une puissance de 3000 kW

jusqu'à 6 tonnes, utiliser une puissance de 3500 kW

jusqu'au remplissage, utiliser une puissance variant entre 4000 et 4500

3^{ème} Phase :

Lorsque le four est rempli, maintenir le potentiomètre à 4800/5000 kW pour avoir un surchauffe suffisant pouvant :

- permettre l'évacuation des gaz
- permettre le déroulement des réactions chimiques d'alliage et d'affinage
- couvrir les pertes de chaleur lors du transfert vers la machine à coulée continue.

Le temps est fourni par la première mesure de température. Car à cette puissance la température évolue de 10 à 12° C par minute.

CHAPITRE 5 : ETUDE DE LA COULEE

Dans ce chapitre, nous avons dégagé dans un premier tant l'ensemble des opérations de maintenance et de préparation sur chacune des composantes du procédé avec une brève présentation des équipements. En second lieu nous nous sommes penchés sur la réduction des pertes de métal ainsi que sur l'augmentation et le suivi de la vitesse de coulée.

En effet la coulée est continue. C'est une technique utilisée en sidérurgie pour obtenir des produits longs et qui permet la réalisation de profilés de section pleine ou creuse très variée par coulée d'alliage de fonderie.

Elle est également courbe et les produits sont en billette de section 100x100. Les billettes sont extraites à vitesse peu variable (2 à 3m/mn), le front de solidification évolue sur une hauteur assez importante dans la filière. Outre le refroidissement primaire de la filière, un refroidissement secondaire de la billette augmente la vitesse de refroidissement. Il permet de régler la structure en homogénéisant les composants formés (ségrégation limitée) et en augmentant la finesse des composants (accroissement des caractéristiques mécaniques). Un tronçonnage en cours de production permet d'avoir des longueurs désirées jusqu'à 6m.

Cette technique de la coulée est mise en œuvre par la machine à coulée continue (CCM) dont les équipements sont présentés ci-dessous.

5.1. Le CCM (**continus casting machine**)

La machine à coulée continue effectue l'opération de moulage du métal fondu en des billettes de section 100x100 et de longueur 6000 convenablement découpée. Les principaux organes de cette machine sont :

Le répartiteur de coulée (tundish), **le moule**, **l'oscillateur**, **la fausse billette** (dummy bar), **les redresseurs** (withdrawal straightening), **le pousseur** etc.

5.1.1 Le répartiteur de coulée

Il est placé sur un tréteau et reçoit le métal de la poche qu'il transfère au moule. Avant de passer à ce dernier, le répartiteur est préalablement rempli jusqu'au trois quarts de son volume et ce pour avoir une bonne pression.

Préparation

- ✓ Changement des plaques réfractaires (garnex) après chaque coulée.
- ✓ Changement de la busette
- ✓ La zone séparant les parois du répartiteur et celle des plaques doit être remplie de sable suffisamment chauffé et d'une granulométrie parfaite permettant l'évacuation des gaz.
- ✓ Chauffage du répartiteur en utilisant le couvercle de la poche

5.1.2 Le moule

Il est l'organe moteur de la coulée. Il permet entre autres de donner une forme parallélépipédique à la billette et assure son refroidissement afin que le liquide

puisse se solidifier. Les supports du moule sont fixés sur les bras de l'oscillateur et ils oscillent avec celui-ci suivant une fréquence donnée pour faciliter le passage du métal. Le refroidissement se fait par eau et celle-ci circule à travers les parois de la filière du moule qui contient le métal.

Le moule est lubrifié à l'huile pour empêcher l'adhésion du métal sur les parois du cristalliseur. L'alimentation se fait par gravité à partir d'un réservoir placé sur la structure supportant la poche de coulée et qui se situe approximativement à 2m au-dessus du moule. Le réservoir est traversé par des résistances qui effectuent le chauffage de l'huile.

Maintenance

- ✓ Inspecter la filière en vérifiant les brûlures et les anomalies, essuyer la
avec un chiffon propre après chaque coulée
- ✓ Vérifier la lubrification du système après chaque coulée
- ✓ Vérifier les fuites d'eau du haut en bas de l'étanchéité après chaque
coulée
- ✓ Vérifier quotidiennement le débit d'huile lubrifiant le moule
- ✓ Vérifier la température de l'huile lubrifiant.
- ✓ Vérifier le niveau d'huile dans le réservoir
- ✓ Vérifier les tuyaux de la lubrification et les connections et repérer les
fuites

5.1.3 L'oscillateur

Cette unité est composée d'un moto réducteur, de bras qui soutiennent le moule et d'amortisseurs pneumatiques. Les bras sont liés à l'arbre du moteur par une bielle dont la tête repose sur un excentrique. Il fournit un mouvement oscillatoire au moule et facilite le passage du métal à l'intérieur du moule. Sa fréquence est de 100 à 150 cycles par minute.

Maintenance

- ✓ Vérifier chaque semaine le mécanisme d'oscillation pour détecter défauts et anomalies
- ✓ Vérifier l'état des conduites de refroidissement.
- ✓ Vérifier le niveau d'huile des réducteurs et alimenter si nécessaire

5.1.4 Les gicleurs

De l'eau sur pression est envoyée sur la billette depuis sa sortie sur une distance assez importante.

Ce refroidissement s'effectue sur deux zones :

Zone1 : elle est composée de quatre gicleurs et placée juste en dessous du moule.

Zone2 : elle est constituée de deux sous zones qui agissent sur toutes les faces de la billette. Un minimum de pression est nécessaire pour démarrer la coulée.

Inspection quotidienne

- ✓ Vérifier les fuites d'eau à travers les conduites

- ✓ Vérifier les buses des gicleurs s'ils ne sont pas obturés et que leur jet est normal.

5.1.5 Les redresseurs

Ces machines au nombre de deux, placées en aval de la machine à coulée continue, entraînent chacune deux galets à distance réglable qui dressent et tirent la billette. Elles sont équipées de moteurs synchrones et de freins électriques à tambour à courant continu. Grâce à un variateur de fréquence, l'opérateur règle la vitesse des moteurs qui détermine celle de la coulée

Maintenance

- ✓ Vérification visuelle de l'état des galets
- ✓ Lubrifier les galets après chaque coulée
- ✓ Vérifier le niveau d'huile des réducteurs et remplir si nécessaire
- ✓ Vérifier les fuites sur les conduites de refroidissement
- ✓ Vérifier l'état de toutes les parties mobiles

5.1.6 La fausse billette

C'est une barre d'acier flexible par ses articulations sur laquelle se fixe le métal né de la coulée. Sa tête est boulonnée ce qui permet au métal de se fixer pour que la coulée puisse être amorcée.

Maintenance

- ✓ Mettre sur la tête de la fausse de l'amiante découpé, de la coquille métallique, deux cales, deux rondelles et un boulon.
- ✓ Vérifier la tête de la fausse billette et enlever les dépôts de métal ou de laitier
- ✓ Examiner les articulations et détecter les anomalies

5.2 Les paramètres de production

L'objectif principal de cette partie est d'augmenter l'efficacité de la production.

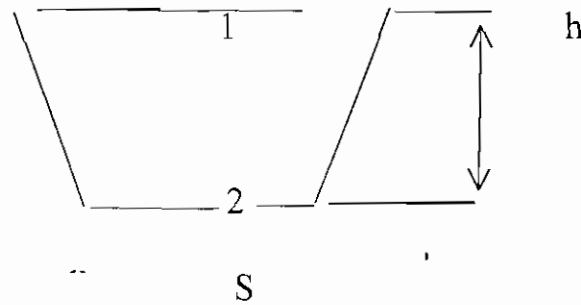
Pour arriver à cette fin, nous comptons agir sur les points suivants :

- Augmentation de la vitesse de coulée tout en maintenant un refroidissement adéquat
- Réduction des pertes de métal

5.2.1 Augmentation de la vitesse de coulée

La vitesse de coulée dépend de la section de la busette et du niveau du métal dans le répartiteur de coulée. Les busettes utilisées sont de diamètre 13, 13.5, 14 mm. Par conséquent nous pouvons déterminer le niveau de métal requis dans le répartiteur de coulée pour obtenir une vitesse donnée.

5.2.1.a Calcul de la vitesse de coulée en fonction de la hauteur du bain dans le répartiteur.



Considérons que le répartiteur contient du métal jusqu'au niveau h . Appliquons l'équation de Bernoulli aux points 1 et 2 (orifice du répartiteur).

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + 0$$

or $P_1 = P_2 =$ pression atmosphérique

$V_1 \cong 0$; la vitesse en 1 est sensiblement nulle.

$$\Rightarrow V_2 = \sqrt{2gh}$$

Si S est la section de l'orifice : $D(\text{débit}) = SV_2 = S\sqrt{2gh}$

Soit S_b la section de la bielle ; $S_b = 100 \times 100 = 10000 \text{ mm}^2$ et V_c la vitesse de la coulée. La conservation de la matière nous donne :

$$S_b \times V_c = D = S\sqrt{2gh}$$

$$V_c = 60 \frac{\pi D}{4000} \sqrt{2gh} \quad \text{en m/minute on a } V_c$$

Pour $D = 13 \text{ mm}$

$$V_c = \frac{60\pi \cdot 13^2}{40000} \sqrt{2 \times 9800 \cdot h}$$

$$\Rightarrow V_c = 111.49\sqrt{h}$$

H(mm)	300	400	500	600	700	800
Vc(m/min)	1.93	2.23	2.493	2.73	2.95	3.15

Pour D = 13.5

H(mm)	300	400	500	600	700	800
Vc(m/min)	2.08	2.4	2.668	2.945	3.18	3.4

Pour D = 14

H(mm)	300	400	500	600	700	800
Vc(m/min)	2.239	2.586	2.891	3.167	3.421	3.657

Puisque nous utilisons des busettes de diamètre 13.5 mm, il nous faut au minimum une hauteur de 600 mm pour atteindre une vitesse de coulée de 3m/min.

Dans le processus actuel nous ne disposons aucun moyen pour suivre le niveau du métal dans le répartiteur si ce ne sont que des observations visuelles qui sont effectuées avec beaucoup de peine. C'est pour cette raison que nous désirons mettre en place un système capable de nous fournir le niveau du métal dans le répartiteur au cours de la coulée.

5.2.1.b Suivi du niveau du métal dans le répartiteur

Le niveau du métal dans le répartiteur de coulée est une donnée importante qui caractérise la vitesse de coulée.

Nous déterminons celui-ci en installant au-dessus du répartiteur un capteur de proximité qui fournit au cours de l'opération la distance entre la surface du bain et le répartiteur. Ce type de capteur est caractérisé par l'absence de liaison mécanique entre le dispositif de mesure et la cible ; c'est par l'intermédiaire d'une interaction fonction de leur position relative qui s'établit entre eux.

Spécifications techniques du capteur :

- ✓ Capteur ultrasonique industriel, très forte puissance d'émission très faible encombrement.
- ✓ Portée de détection 1500 à 3000 mm
- ✓ Détecte une cible liquide à haute température
- ✓ Pouvant fonctionner dans un environnement chaud 100°C

Proposition de capteur :

Radiospares (société française) propose des capteurs à ultrason pour diverse utilisation.

Le détecteur à ultrason sorti PNP série 947 répond le mieux à nos spécifications.

Référence : taille M30 plage de mesure : 300- 3000m

947-T4V-2D-001-130E

Adresse : Radiospares rue Norman King

BP 457

60031 Beauvais CEDEX

Tel (commande) : 0803034034

5.3 Les pertes de métal

Les pertes de métal sont essentiellement dues à deux grands facteurs.

1. Refroidissement du bain métallique caractérisé par des résidus en quantités importantes de métal au niveau de la poche ou du répartiteur de coulée
2. Retours de métal causés par des pannes mécaniques ou électriques, des coupures d'électricité, casses au cours de la coulée, etc.

5.3.1. Refroidissement du métal

Le bain se solidifie lorsqu'il perd une grande quantité de chaleur abaissant sa température jusqu'à un état difficile à couler ou même à la solidification. Il est donc important de maintenir la température du liquide dans les limites adéquates en minimisant les pertes de chaleur durant toute la période allant du transfert jusqu'à la fin de la coulée.

Pour ce, le liquide doit être livré à partir du four à une température capable, malgré les dissipations, de tenir le métal au-dessus du liquidus.

En effet, les principales sources de pertes de chaleur partant du four jusqu'à l'entrée du métal dans le moule sont les suivants :

- Pertes dues au transport du métal du four au CCM ;

- Pertes à travers les parois de la poche ou par rayonnement à travers la surface du liquide ;
- Pertes dues au barbotage
- Pertes dues à l'écoulement du liquide de la poche au répartiteur
- Pertes à travers les parois du répartiteur et à travers la surface du liquide de ce dernier.

Ainsi, pour empêcher le refroidissement du bain, nous devons examiner chacun de ces points et voir comment ces pertes peuvent être minimisées le mieux possible.

⊗ Les pertes liées au transit dépendent uniquement du temps, donc une minimisation de la durée du transport en est le principal issu.

⊗ Durant la coulée, une quantité de chaleur importante est perdue à travers la radiation et les parois de la poche. Les pertes à travers les parois dépendent essentiellement de l'état de la poche.

En effet, l'épaisseur du réfractaire décroît linéairement avec le nombre de coulées. C'est la raison pour laquelle il est important d'effectuer le regarnissage tous les 70 coulées environ en changeant les briques SA et SB. Cependant la deuxième couche composée de brique EA peut aller jusqu'à 500 coulées.

Egalement la poche nécessite un chauffage avant tout chargement. Elle doit être chauffée pendant 15 à 30 mn si elle suit le courant de la production, 3 à 4 heures après un garnissage partiel (enlèvement de première couche) et 6 heures pour un garnissage complet.

⊗ La radiation est due à l'exposition du métal à l'air libre. Ces pertes sont réduites par un recouvrement de la surface du liquide par de la gousse de riz aussitôt après le chargement de la poche. La poche doit également être fermée durant toute la coulée.

⊗ Au niveau du répartiteur, la plus grande partie des pertes est due au rayonnement à cause de la surface importante du liquide exposée à l'air.

Ainsi le répartiteur doit être bien fermé et la surface du métal recouverte de gousse de riz mais grillée cette fois ci avant son utilisation. Le chauffage du répartiteur est également nécessaire ainsi que le sable mis entre les parois de celui-ci et les plaques en garnex.

5.3.2. Les retours de métal

Les retours de métal sont essentiellement dus à des pannes mécaniques ou électriques, à des coupures électriques ou souvent à des casses en cours de coulée.

En effet les pannes ne peuvent être évitées qu'avec un suivi rigoureux des équipements. Le maintien en bon état des installations est indispensable lorsqu'on vise une qualité régulière des produits et un meilleur niveau des capacités de production. La maintenance doit être intégrée dans le système de production, elle doit être planifiée car si l'entretien se fait périodiquement elle évite généralement les dérangements accidentels et coûteux et générateur d'arrêts prolongés.

Cependant les casses peuvent être d'origines diverses : elles peuvent être dues à :

- ↗ des erreurs de manipulation. Exemple lorsque le métal se colle sur les parois du cristalliseur (mould tube)
- ↗ des défauts d'alignement entre le moule et les guides
- ↗ des températures de coulée élevées

Les casses apparaissent souvent en début de coulée et provoquent par conséquent des retours de matière en quantité importante. Il faut toute fois souligner que les casses augmentent d'une manière exponentielle avec la température de surchauffe. Les défauts sur le CCM et les erreurs de manipulation peuvent être insignifiant lorsque la température de coulée est relativement faible (liquidus + 10 °C) et n'encourent alors aucun risque. En effet si le refroidissement suit l'évolution de la température on parviendra au grand maximum à éviter les casses ou émergence de métal. C'est la raison pour

laquelle la température du métal au cours de la coulée représente une donnée importante pour le suivi des paramètres de coulée tels que le refroidissement (pression, température d'entrée et de sortie, etc) et la vitesse de coulée. C'est pour cette raison que nous avons jugé nécessaire de mettre en place un système de mesure de la température du bain métallique au cours du processus de coulée (voir chap6)

5.4 Mesure de longueur de la billette

La production du département fusion coulée est quantifiée suivant le nombre de billettes découpées. Ces dernières sont manuellement tronçonnées grâce à un repérage que le coupeur a mis en place pour évaluer les 6m de la billette. Afin de fournir d'une manière précise la quantité de métal produite, nous comptons mettre en place un appareil capable de nous fournir la longueur totale de la billette.

Il s'agit de mettre en place un compteur mètreur muni d'une roue, conçu pour être utilisé à petite vitesse. L'appareil doit être muni d'une remise à zéro rapide par manette. Il doit également posséder un afficheur numérique direct de 4 chiffres au minimum.

La roue de l'appareil qui constitue le galet en contact avec la billette doit être capable de supporter des températures élevées (1000°C) et muni d'un système de refroidissement à eau.

CHAP 6 : MESURE DE LA TEMPERATURE DU METAL DANS LE TUNDISH (répartiteur de coulée)

L'objectif fondamental de la mesure est d'apporter une aide au contrôle des opérations en cours et au-delà permettre une amélioration de l'efficacité de la production.

L'intérêt essentiel se situe donc dans l'interprétation des indications fournies par l'instrument.

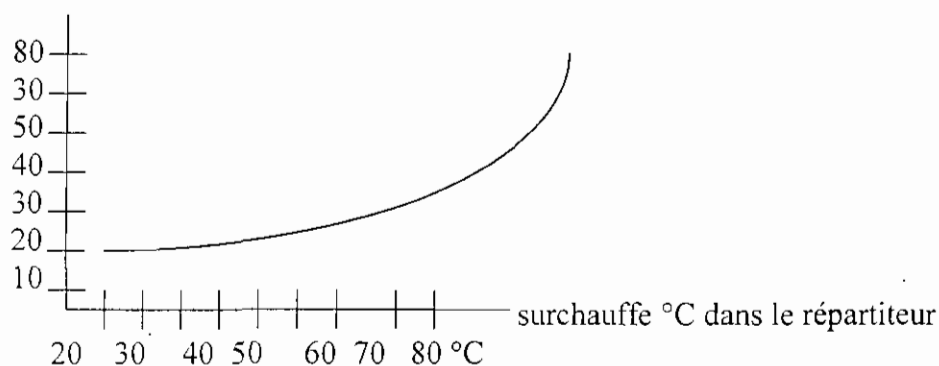
En effet la température de coulée est une donnée très importante pour le suivi de l'évolution du processus. Une meilleure connaissance de celle ci permettrait de palier au refroidissement et des « break out » (casse ou émergence du métal) du métal en cours d'opération. Le refroidissement de ce dernier apparaît souvent d'une manière spontanée et surprenante et pouvant entraîner des pertes importantes de matière. Ceci est dû soit à une perte importante de chaleur sous forme de rayonnement au cours de la coulée ou à un produit livré à partir du four avec une faible température.

D'autre part le dépassement de la limite de température nominale de coulée augmente les risques d'émergence du métal.

Celle-ci est caractérisée pour un non-solidification du produit au sortir du moule.

D'après Concast Technologies, les risques de casse augmentent d'une manière exponentielle en fonction de la température (surchauffe).

% coulées avec casses



Ainsi nous avons jugé nécessaire de mettre en place un équipement qui permet de suivre en permanence la température au cours de la coulée.

6.1 Mesure par contact

Il consiste à déterminer la température du bain métallique en appliquant directement l'élément thermométrique sur celle-ci. La température pouvant aller jusqu'à 1650°C, la protection du couple devient alors un problème majeur et conduit à un changement du couple après chaque mesure. Ainsi nous avons choisi de mettre en place un système de mesure sans contact.

6.2 Mesure par observation du rayonnement d'émission : Choix d'un pyromètre optique

Le pyromètre optique est une méthode de mesure de la température basée sur la relation entre la température d'un corps et le rayonnement optique que le corps émet.

L'intérêt du pyromètre optique est de permettre la détermination d'une température sans contact avec l'objet, c'est donc une méthode appropriée quand les conditions expérimentales sont délicates comme le cas présent :

- température très élevée,
- Milieu à accessible difficile
- environnement agressif etc.

6.2.1. Principes physiques

Tout corps émet spontanément en permanence un rayonnement électromagnétique dont le spectre continu à une répartition énergétique fonction de la température : c'est le rayonnement thermique. Ce rayonnement a pour origine des transitions radiatives provoquées dans les atomes et les molécules par l'agitation thermique. Les lois de cette émission sont d'abord établies pour un corps idéal, le corps noir, caractérisé par une absorption totale de tout rayonnement incident ; le

rayonnement thermique d'un corps réel, selon son pouvoir absorbant, se rapproche plus ou moins de celui du corps noir.

6.2.1.1 Lois du rayonnement thermique du corps noir

On définit :

L'émittance En : Puissance totale rayonnée dans un hémisphère, par unité de surface de l'émetteur,

La loi de Planck donne L'émittance spectrale d'une source qui est un corps noir en fonction de la longueur d'onde λ et de la température absolue T de cette source

$$E_{\lambda,n}(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(\exp \frac{c_2}{\lambda T} - 1 \right)}$$

$$C_1 = 2 h c^2 = 1.191 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^2$$

$$C_2 = \frac{hc}{K} = 1.4388 \cdot 10^{-2} \text{ m.K}$$

$$H : \text{constante de Planck} = 6,6256 \cdot 10^{-34} \text{ W.s}^2$$

$$C : \text{vitesse de la lumière} = 2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$K : \text{constante de Boltzmann} = 1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ WSK}^{-1}$$

Dans cette application où le corps à mesurer est de l'acier avec une température comprise entre 1550 et 1700° C. Il rayonne avec une longueur d'onde maximale de

$$\lambda_{\max} = 1.6 \text{ } \mu\text{m.}$$

Pour $T = 1973 \text{ K}$ on a : $\lambda T = 3.1658 \cdot 10^{-3}$

Or $C_2 = 1.4388 \cdot 10^{-2} \text{ m.K} \Rightarrow \exp(C_2/\lambda T) \gg 1$

Dans ce cas l'approximation de Planck peut s'écrire :

$$E_{\lambda,n} = \frac{C_1}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{C_2}{\lambda T}\right)$$

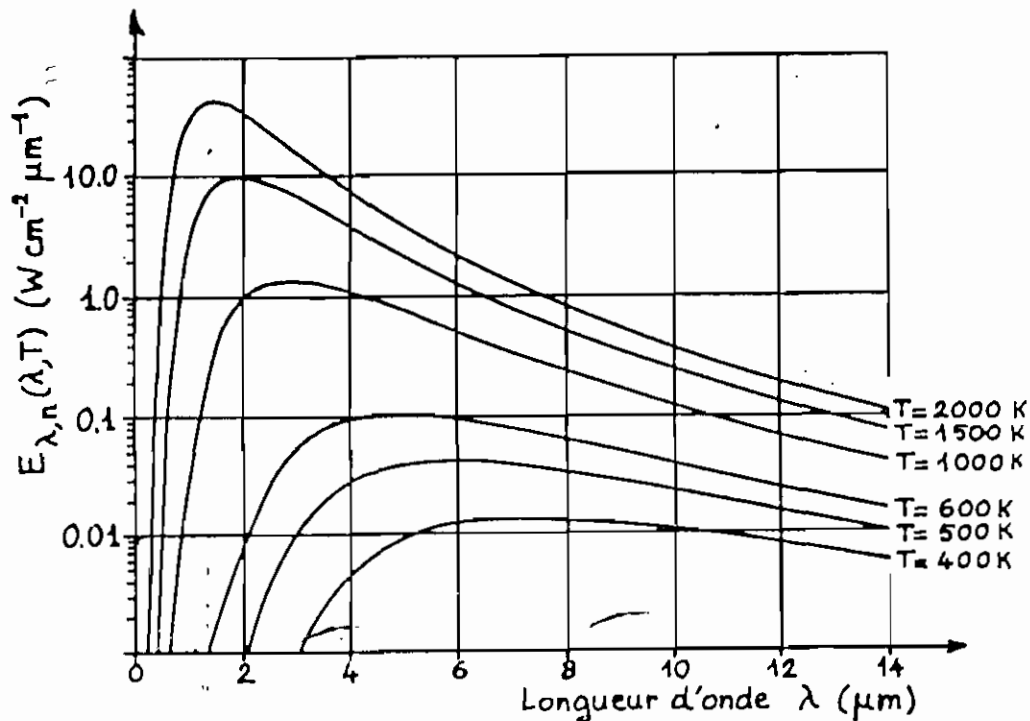


Fig. 6.42. Émittance spectrale du corps noir à diverses températures en fonction de la longueur d'onde.

La loi de Wien, déduite par dérivation de la loi de Planck, fournit la longueur d'onde, λ_{\max} au maximum de l'émittance spectrale d'une source à la température absolue T :

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

Pour $T = 1700^\circ\text{C}$, $\lambda_{\max} = 1.4688 \mu\text{m}$

Pour $T = 1550^\circ\text{C}$, $\lambda_{\max} = 1.58969 \mu\text{m}$

$$E_{\lambda, n}(\lambda_{\max}, T) = 1,228 \cdot 10^{-15} T^5 \text{ en w/cm}^2/\mu\text{m}$$

$$E_{\lambda, n}(\lambda_{\max}, T=1973^\circ) = 1,228 \cdot 10^{-15} \times 1973^5 = 36.71417 \text{ w/cm}^2/\mu\text{m}$$

La loi de stéfan-boltzmann obtenue par intégration de la loi de Planck relie l'émittance E_n totale à la température absolue T de la source :

$$E_n(T) = \sigma T^4$$

Où σ constante de Stefan-boltzmann et a pour expression : $\frac{2\pi^5 k^4}{15C^2 h^3}$

$$\text{Soit : } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w m}^{-2} \text{ k}^{-4}$$

T (K)	1823	1873	1923	1973
$E_n (10^{-4} \text{ w/cm}^2/\mu\text{m})$	1.033641	1.06199	1.0903	1.11869

On établit que 90% de l'énergie totale émise est comprise entre $\frac{\lambda_{\max}}{2}$ et $5 \lambda_{\max}$

Ces différentes lois mettent en évidence (tableau 69)

- l'augmentation rapide de l'émittance avec la température, le déplacement de l'énergie du spectre émis vers les longueurs d'onde courtes à la température de la source croissante

6.2.1.2. Rayonnement thermique de l'acier

Le corps rayonnant est de l'acier coulé à une température comprise entre 1550 et 1700°C et une longueur d'onde variant entre 0.1 et 1.5µm.

Son émissivité est égale à 0.8

L'émittance spectrale d'une cible réel, E_λ , est liée à l'émittance spectrale du corps noir $E_{\lambda,n}$ par la relation.

$$E_\lambda = e(\lambda, T) E_{\lambda,n}$$

Où $e(\lambda, T)$ est l'émissivité à la longueur d'onde λ et à la température T du matériau constituant la cible. $e(\lambda, T) = 0.8$

L'émissivité d'un corps est égale à son coefficient d'absorption (loi de Kichenoff) : sa valeur, égale à 1 pour le corps noir est inférieure à 1 pour un corps réel et dépend, en particulier, de sa nature et de son état de surface.

L'incertitude sur les valeur exactes de $e(\lambda, T)$ est l'une des principales sources d'erreur potentielles en pyromètre optique.

6.2.1.3. Absorption du rayonnement thermique

Dans son trajet entre la cible et le détecteur, le rayonnement subit une atténuation liée à la nature et à l'épaisseur des milieux traversés.

Les étendues spectrales à l'intérieur desquelles l'absorption est minimale sont distinguées comme "fenêtre" et elles sont les plages privilégiées pour la mesure.

Fenêtre de l'infrarouge proche : 0,75 à 2,7 µm

Fenêtre de l'infrarouge moyen : 3 à 5 μ

Fenêtre de l'infrarouge lointain : 7 à 14 μm

les dispositifs optiques associés à un pyromètre optique (parois transparentes, réflecteurs, dioptries) sont aussi à l'origine d'une certaine absorption du rayonnement qui est réduite par le choix de matériaux appropriés (fluorure de calcium, saphir, silice fondue)

6.2.2. Application de la mesure des températures : Principes des méthodes

La cible dont on veut mesurer la température T , émet dans un hémisphère, par unité de sa surface et dans une plage spectrale de largeur $d\lambda$ autour d'une longueur d'onde λ , un flux élémentaire $d\lambda$

$$d\lambda = E_{\lambda}(T) d\lambda = e(\lambda, T) E_{\lambda, n}(T) d\lambda$$

Un détecteur reçoit le flux élémentaire $d\lambda_d$ qui est une fonction $k(\lambda)$ du flux émis par l'ensemble de la cible.

$$d\lambda_d = K(\lambda) e(\lambda, T) E_{\lambda, n}(T) d\lambda$$

où $K(\lambda)$ est fonction du système optique associé au détecteur, de la géométrie de l'ensemble cible détecteur (distances, dimension) et de l'absorption des milieux de propagation.

Le détecteur de sensibilité $S_d(\lambda)$, convertit le flux reçu en un signal électrique S_{el} (courant ou tension) soit pour le flux élémentaire

$$dS_{el} = S_d(\lambda) k(\lambda) e(\lambda, T) E_{\lambda, n}(T) d\lambda$$

Cette expression établit la relation entre la température T de la cible et le signal électrique élémentaire délivré par le détecteur :

$$d_{\text{sel}} = Sd(\lambda) k(\lambda) e(\lambda, T) \frac{C_1 d\lambda}{\lambda^5 \left(\exp \frac{C_2}{\lambda T} - 1 \right)}$$

Cette relation met en évidence les difficultés de ce type de mesure qui, en principe, exige de connaître en particulier

- l'émissivité $e(\lambda, T)$ de la cible.
- L'atténuation apportée par les milieux traversés.

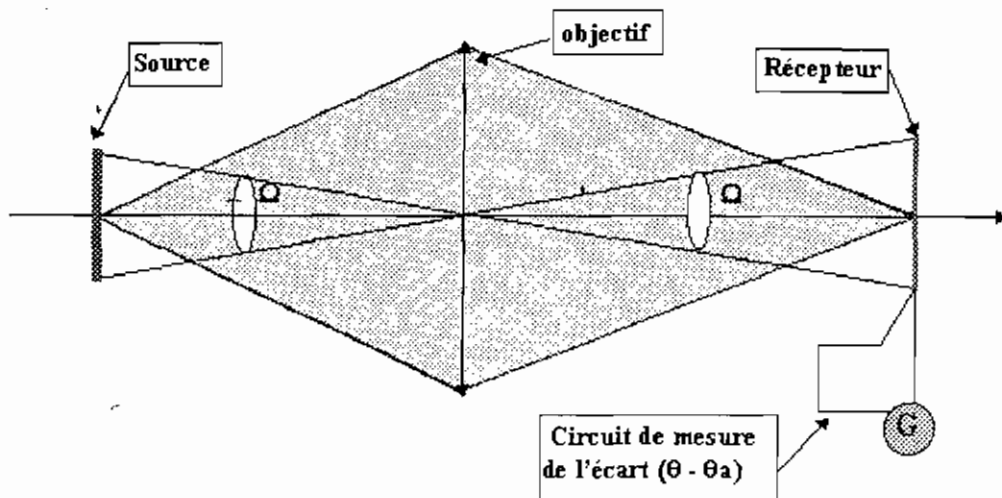
Il y a lieu de s'assurer que le rayonnement reçu est le seul rayonnement thermique de la cible et que ne s'y ajoute pas le rayonnement issu d'autres corps à températures différentes.

6.3 Choix d'un pyromètre

Le choix dépend de considérations économiques et de l'appareil disponible. Il dépend également de la valeur de la température mesurée qui est comprise entre 1550 et 1700°C.

6.3.1. Pyromètre à radiation totale

Les radiations de tout le spectre émis par le corps sont focalisées sur le détecteur à large bande de type thermique. Il utilise ainsi donc la totalité du spectre.



Inconvénients :

- Sensible à l'influence de la température ambiante
- ils ne peuvent être étalonnés que devant un corps noir
- les corrections d'émissivité sont pratiquement impossibles

6.3.2 Pyromètre à bande étroite (ou monochromatique)

Une fraction limitée du spectre de rayonnement thermique de la cible, centrée autour d'une longueur d'onde λ_0 et de la largeur $d\lambda$, est sélectionnée au moyen d'un filtre optique et est reçue par un capteur photoélectrique de sensibilité spectrale adaptée à cette longueur d'onde λ_0

Le signal électrique sel délivré par le détecteur à pour expression :

$$S_{el} = \int_{\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}}^{\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}} S_d(\lambda) k(\lambda) e(\lambda, T) E_{\lambda, n}(T) d\lambda$$

Compte tenu de l'étroitesse du spectre reçu, on admet que dans la bande $\Delta\lambda$ on a pratiquement

$\lambda \cong \lambda_0$ soit :

$$s_{el}(\lambda) = S_d(\lambda_0); x(\lambda) = k(\lambda_0), e(\lambda, T) = e(\lambda_0, T)$$

d'où

$$S_{el} = S_d(\lambda_0), k(\lambda_0) e(\lambda_0, T)$$

Dans le cas fréquent où $\lambda_0 T \ll c_2$, $\exp\left(\frac{c_2}{\lambda_0 T}\right) \gg 1$ on obtient finalement

$$s_{el} = S_d(\lambda_0) k(\lambda_0) e(\lambda_0, T) c_1 \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda_0 T}\right) \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^5}$$

Lorsque le pyromètre a été étalonné au moyen d'un corps noir, le signal électrique S_{el} correspond à une température T_n ; l'émissivité de la cible étant $e = 0.8$, sa température T correspondant au signal S_{el} est :

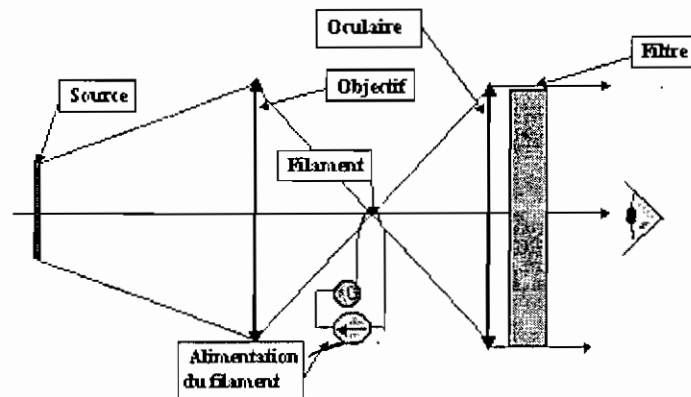
$$T = \frac{1}{\frac{1}{T_n} + \frac{\lambda_0}{C_2} \text{Log}e}$$

La plus part des pyromètres monochromatiques fonctionnent dans l'infrarouge (gammes de température relativement basse par rapport à notre application). Ils sont utilisés pour leur précision élevée et leur facilité d'emploi.

6.3.3 Pyromètre à disparition de filament

Il s'agit d'un pyromètre monochromatique ($\lambda_0 = 0.65 \mu\text{m}$)

Le pyromètre dit "à disparition de filament" compare directement l'émittance monochromatique $E_{\lambda, T}$ d'une image de la source étudiée à celle d'un corps de référence (filament) préalablement étalonné. Un étalonnage préalable a consisté à associer l'émittance du filament à celle **de l'image** d'une source corps noir de température connue.



Autrement dit, on recherche, par comparaison avec le filament, l'égalité de l'émittance $E_{\lambda, T}$ de la source étudiée à celle à celle E_{λ, T_1} d'un corps noir de température connue T_1 .

Conditions d'emploi :

- La correction d'émissivité : contrairement au pyromètre monochromatique décrit ci dessus, on travaille à $0,65 \mu\text{m}$, longueur d'onde pour laquelle l'émissivité n'est pas nécessairement voisine de 1, ce qui entraîne une correction non négligeable..
- La correction d'émissions parasites : celle-ci est négligeable car la largeur de bande est très faible.
- Les gammes de mesures : de 700 à 5000°C ; précision : de $0,2$ à 1% à l'échelle industrielle.
- **Usage.** Le PDF est utilisé dans les mesures de précision ($\Delta T = 0,2$ à $0,5^\circ\text{C}$ vers 1000°C) ou lorsque la source est de très petite dimension (un filament par exemple).

avantages : influence négligeable des sources parasites IR

inconvénient : présence d'un opérateur.

6.3.4. Pyromètre bichromatique

Ce pyromètre peut être considéré comme un double pyromètre monochromatique exploitant deux plages voisines du rayonnement thermique centré sur des longueurs d'ondes λ_1 et λ_2 et de même largeur $\Delta\lambda$

Dans ce procédé, le montage pyrométrique est installé à poste fixe. Les pyromètres mesurant une énergie à tirage fixe conviennent les mieux.

Les pyromètres à rayonnement total et à bande étroite ne sont pas recommandés pour des mesures absolues et sont fortement dépendant de la température ambiante. Leur sécurité est également médiocre.

Par contre, les **pyromètres bichromatiques** sont très utilisés dans la métallurgie car étant insensible des corrections dues aux fumées, température ambiante etc.

Nous retenons que les **pyromètres à disparition de filament et bichromatique** peuvent être utilisés.

Condition d'utilisation et exploitation des résultats :

Si on utilise un pyromètre dans de mauvaises conditions les résultats risquent d'être inutilisables. D'autre part, il est souvent nécessaire de bien définir les conditions d'utilisation pour exploiter les résultats des mesures.

Étalonnage :

L'étalonnage du pyromètre est plus ou moins aisé. Il doit être étalonner dans un domaine de température compris entre 1500 et 1700° C. L'étalonnage doit se faire périodiquement, soit par un pyromètre juste et fidèle soit à l'aide d'un point fixe

On distingue deux méthodes d'étalonnage :

- La première consiste à viser avec l'appareil à étalonné une source dont la température est connue autrement que par une mesure optique
- La deuxième consiste à comparer les indications de l'appareil à étalonner avec celles d'un pyromètre déjà étalonné en visant avec les deux appareil une même source dont la température n'a pas besoin d'être connue ; mais qui doit être constante pendant la comparaison.

CONCLUSION

Les informations tirées de cette étude montrent comment la ferraille participe à l'élaboration des temps de fusion ainsi qu'à l'évaluation du coût global de la facture d'électricité.

Au vu des résultats, nous avons montré d'une part que la ferraille doit être classée en quatre grande familles : les fontes, les pièces mécaniques, la ferraille mixte, la ferraille compactée.

Ainsi pour produire 12 tonnes de métal avec 0.4% de carbone il faut : 350 kg de fonte, 950 kg de pièces mécaniques, 5500 kg de ferraille mixte et 600 kg de ferraille compactée.

De même pour produire 12 tonnes de métal avec 0.5 % de carbone, il faut 900 kg de fonte, 900 kg de pièces mécaniques, 5000 kg de ferraille mixte et 6000 kg de paquets compactés.

Pour minimiser les temps de fusion, la charge de démarrage doit être bien choisie en ne sélectionnant que les pièces mécaniques et les éléments en fonte.

Nous avons montré également que la surconsommation électrique est essentiellement due à des fusions longues et à un mauvais facteur de puissance bref à un mauvais chargement.

Par rapport à la coulée nous constatons que l'amélioration de l'efficacité de la production passe par la réduction des pertes de métal et l'augmentation de la vitesse de coulée.

Ainsi l'utilisation d'un pyromètre optique à disparition de filament ou biochromatique s'avère nécessaire quant au contrôle de la température durant l'opération de la coulée.

Il faut toute fois noter que même si l'entreprise à sa stratégie les hommes ont leurs aspirations. Ce sont eux qui font le succès durable d'un système et de l'entreprise en général. La régulation de ce système assez complexe ne peut se faire sans la participation de tout le personnel de l'entreprise. Il est important d'intéresser les travailleurs aux résultats de l'entreprise, il est important de lui donner la possibilité de par la formation et l'entraînement à sa tâche, de jouer convenablement son rôle dans l'entreprise.

RECOMMANDATIONS

- Contrôler soigneusement la ferraille à l'entrée de l'usine tel que spécifié par chef de département pour réduire le taux de déchet.
- Prévoir des voies de circulation dans le parc, pour faciliter le transfert de la ferraille vers la presse cisaille
- Classer la ferraille en quatre grandes familles : fontes, pièces mécaniques, ferraille mixte, paquets compactés et les disposer dans la configuration de la figure fig3.1
- Réduire la taille des paquets compactés jusqu'à 20 à 30 cm³
- Mettre en place un système d'évacuation des déchets afin que les lieux puissent être libérés au profit du stockage de la ferraille
- Manipuler le potentiomètre tel qu'indiqué dans le chapitre 4
- Nous suggérons qu'une étude soit faite sur le système de refroidissement de la billette afin que les paramètres de refroidissement soient mieux maîtrisés.
- Nous préconisons également une étude sur un éventuel remplacement des 'garnex board' utilisés sur les répartiteurs de coulée.

BIBLIOGRAPHIE

GEIER, Michel
« Métallurgie de fonderie, Application Tome 2 »

ASCH, Georges et Collaborateurs
« Les capteurs industrielles » 4^e édition, Dunod Paris 1991

Manuel de COCAST TECHNOLOGIE

Technique de l'ingénieur
« Mesure et contrôle »

ORFEUIL, Maurice
« Four et équipements thermiques électriques industrielle »

Le chauffage par induction électromagnétique de 431 à 562

Dr. MOURATDA, Abdel; Pr. MENGUI, Gilbert
« Transmission de chaleur »

ANNEXES

**Composition de la charge pour la production de 12 tonnes de métal avec
une teneur en carbone de 0.5 %**

Familles	X1	X2	X3	X4
Quantité en kg	900	900	5000	6000

X1 : Fontes

X2 : Pièces mécaniques

X3 : Ferraille mixte

X4 : Paquets compactés

TAB 4.1 CONSOMMATION ELECTRIQUE DU FOUR

Date	Durée(h)	NRJ(kwh) consommée	product(t)	Consom spécifique(kwh)	Consom nominale	Différence
01/03/01	3,089	9730,42	13,456	723,13	650	73,13
	3,33	9756	13,756	709,25	650	59,25
	4	10045,68	13,884	723,54	650	73,54
	4,17-	9713	11,856	819,25	650	169,25
	2,27	8597,12	10,526	686,34	650	36,34
	3,08	9280,07	11,856	782,73	650	132,73
02/03/01	2,83	9204,44	12,92	712,42	650	62,42
	3,28	9030,86	13,224	682,91	650	32,91
	2,72	9282,32	13,224	701,93	650	51,93
	2,87	9317,9	12,198	763,89	650	113,89
	2,92	9533,1	13,3	716,77	650	66,77
	5,5	9301,56	13,38	695,18	650	45,18
04/03/01	2,75	8785,78	12,76	688,54	650	38,54
	2,33	8802,48	12,479	705,38	650	55,38
	3,42	9795,06	12,646	774,56	650	124,56
	2,88	9779,64	13,269	737,03	650	87,03
	2,92	9603,1	12,169	723,72	650	73,72
	2,95	9806,56	13,512	725,77	650	75,77
	3,5	10033,72	13,816	726,24	650	76,24
05/03/01	4,16	9886,07	12,16	813	650	163
	3,42	9767,74	12,365	789,95	650	139,95
	4,12	9478,15	12,631	750,39	650	100,39
07/03/01	3,33	9816,4	12,593	779,51	650	129,51
	4,08	9424,34	12,836	734,21	650	84,21
	2	8277,84	11,932	693,75	650	43,75
	3,3	9182,94	12,95	708,78	650	58,78
08/03/01	3,08	8780,42	12,198	719,82	650	69,82
	3,08	7573,08	11,369	666,12	650	16,12
	5,42	8962,9	11,059	810,46	650	160,46
	4,67	9494,96	11,894	798,3	650	148,3
	2,33	8192,48	11,856	691	650	41
	2,5	8369,8	11,932	701,46	650	510,46
	3,22	8124,28	11,337	717	650	67
09/03/01	3	9111,76	12,517	727,95	650	77,95
	3,25	8237,74	11,446	719,7	650	69,7
	4,92	8930,94	11,293	790,84	650	140,84
	4,9	10569,21	12,008	880,18	650	230,18
	3	8421,76	11,932	705,91	650	55,81
	2,92	8743,1	12,55	696,66	650	46,66
	2,58	8688,46	12,912	672,9	650	22,9
10/03/01	4,33	9690,32	12,046	804,44	650	154,44
	2	8907,84	12,084	737,16	650	87,16
	3,17	9389,08	12,631	743,34	650	93,34
	2,33	8002,48	11,764	680,25	650	30,25
	2,83	8584,44	12,251	700,71	650	50,71
	2,75	8875,78	12,95	685,39	650	35,39
11/03/01	3,53	9357,18	13,043	717,41	650	67,41
	4,25	9261,66	13,026	711,01	650	61,01
	3,13	8795,62	12,327	713,52	650	63,52
	2,65	8815,34	12,912	682,73	650	32,73
	2,65	8815,38	13,041	675,97	650	25,97

	3	9801,76	14,06	697,138	650	47,14
12/03/01	3,41	9425,06	12,289	766,95	650	116,95
	2,55	8854,96	12,555	705,29	650	55,29
	3,2	8622,54	11,84	728,25	650	78,25
	3,16	8919,08	12,479	714,72	650	64,72
	2,38	8287,76	12,95	639,98	650	-10,018
13/03/01	2,78	9199,24	13,832	665,07	650	15,07
	3,08	9300,42	14,227	653,72	650	3,72
	3,92	9497,02	12,251	775,2	650	125,2
	2,92	8763,1	12,198	718,4	650	68,4
	2,42	7741,14	11,255	687,8	650	37,8
	2,5	9539,8	12,008	794,45	650	144,45
	2,92	8983,1	12,722	706,11	650	56,11
14/03/01	2,83	8814,09	12,631	697,81	650	47,81
	2,75	9285,78	12,912	717,68	650	67,068
	3,13	8965,61	12,269	730,75	650	80,75
	3,08	8870,42	12,555	706,52	650	56,52
	2,25	8983,82	13,512	664,88	650	14,88
15/03/01	3,92	9207,02	11,85	776	650	126,96
	2,42	8991,49	12,236	734,84	650	84,84
16/03/01	2,58	9028,46	12,646	713,94	650	63,94
	2,63	8773,66	12,479	703,07	650	53,07
	2,75	8975,78	12,798	701,34	650	51,34
	2,5	8749,8	13,079	669	650	19
	2,67	9117,12	12,646	720,95	650	70,95
	2,5	8639,8	12,008	719,5	650	69,5
	2,62	8501,92	12,251	693,978	650	43,978
	2,5	8539,8	13,345	639,925	650	10,075
	2,58	9118,46	13,346	683,235	650	33,235
17/03/01	2,58	8938,114	12,722	702,571	650	52,571
	5,63	10609,09	13,25	800,686	650	150,686
	3,41	9315,06	12,595	739,58	650	89,58
	2,87	9208,25	13,16	699,72	650	49,72
18/03/01	2,67	9137,47	13,269	688,63	650	38,63
	2,83	9324,09	13,345	698,7	650	48,7
	2,87	8978,25	10,07	891,58	650	241,58
	3,42	8115,41	13,588	597,25	650	52,75
	2,75	9335,78	13,87	673,09	650	23,09
	2,5	8519,8	12,874	661,78	650	11,78
	2,5	8889,8	13,436	661,64	650	11,64
	2,87	9187,9	12,403	740,78	650	90,78
	4,08	9994,34	12,327	810,77	650	160,77
19/03/01	2,42	9821,14	12,403	596,1	650	53,9
	2,15	7393,43	12,198	606,12	650	43,88
	2,3	7889,02	11,764	670,61	650	20,61
	2,35	9354,38	12,345	757,75	650	107,75
	3,1	9062,19	12,327	735,19	650	85,19
	2,33	8702,13	12,555	701,09	650	51,09
	2,58	8858,11	12,631	701,3	650	51,3
	2,3	8679,02	13,117	661,66	650	11,66
20/03/01	2,33	8752,13	12,988	673,863	650	23,863
	2,58	9118,46	13,436	678,654	650	28,654
	3,97	9362,22	13,474	694,846	650	44,836
	3,08	8790,42	12,722	690,969	650	40,962
21/03/01	3,25	18437,74	9,88	1866,168	650	1216,168
	2,5	4179,8	12,76	327,57	650	-322,42

	3,33	8836,4	12,646	698,75	650	48,75
	2,58	8928,46	12,71	688,08	650	48,08
	2,5	8689,8	12,76	681,02	650	31,02
	2,5	8899,8	13,117	678,49	650	28,49
22/03/01	2,58	8918,11	12,836	694,77	650	44,77
	3,12	9124,23	12,198	748,01	650	98,01
	2,67	8967,12	12,95	692,44	650	42,44
	3,58	8882,03	13,398	662,94	650	12,94
	3,2	9812,54	14,136	694,15	650	44,15
	3,92	9117,02	11,369	801,92	650	151,92
	2,92	8581,1	11,46	748,79	650	98,79
	2,42	8201,14	11,688	701,67	650	51,67
23/03/01	2,67	8367,12	11,764	711,25	650	61,25
	2,5	8789,8	12,593	697,99	650	47,99
	2,67	9007,12	12,517	719,59	650	69,59
	3,17	8859,08	3,86	2295,1	650	1645,1
	2	5407,84	12,251	441,142	650	-208,58
	1,15	10089,01	12,441	810,95	650	160,95
	3,58	8312,38	12,236	679,34	650	29,34
	2,58	8388,46	12,049	696,66	650	46,66
	3,67	8500,04	12,269	692,81	650	42,81
24/03/01	2,38	8687,68	12,262	708,5	650	58,5
	2,75	8515,78	12,555	678,28	650	28,28
	3,62	9605,84	12,289	781,66	650	131,66
	2,63	11363,66	12,008	946,36	650	296,34
	2,35	8694,21	12,251	709,67	650	59,67
	2,67	8927,12	11,922	748,79	650	98,79
	2,67	9057,12	11,118	814,64	650	164,64
	3,08	10140,42	13,664	742,13	650	92,13
25/03/01	2,88	9829,29	14	702,09	650	52,09
	4,5	9787,64	12,084	809,97	650	159,97
	3,42	8795,06	12,27	716,76	650	66,79
	2,42	8401,49	11,662	720,42	650	70,42
26/03/01	2,33	8802,13	13,664	644,18	650	-5,82
	1,92	9049,53	14,06	643,64	650	-6,37
	2,5	8479,8	12,023	705,3	650	55,3
	2,83	8834,44	12,53	705,06	650	55,06
	2,82	8852,71	12,609	702,09	650	52,09
	2,67	8337,12	12,029	693,09	650	43,09
	2,8	9150,98	13,497	678	650	28
	2,75	8735,78	12,723	686,61	650	36,61
27/03/01	3,25	9127,74	12,951	704,79	650	54,79
	2,92	9643,45	13,972	690,2	650	40,2
	4,17	14723	12,105	1216,27	650	566,27
	2,83	8794,44	12,067	728,8	650	78,8
28/03/01	2,67	8637,12	12,067	715,76	650	65,76
	2,67	8887,12	13,318	667,3	650	17,3
	2,8	9000,98	12,502	719,96	650	69,96
	2,83	8704,44	13,319	653,54	650	3,54
	2,92	7563,1	11,03	685,68	650	35,68
	3	8411,76	11,877	708,24	650	58,24
	8,17	10418,68	12,933	805,59	650	155,59
29/03/01	3,25	9025,48	12,533	720,14	650	70,14
	3,5	8793,72	12,319	713,83	650	63,83
	3,17	9309,08	13,418	693,776	650	43,77
	3,58	9902,8	14,126	701,03	650	51,03

	2,8	9060,97	13,684	664,15	650	12,15
	10	10669,2	11,877	898,3	650	248,3
30/03/01	3,63	8947,23	11,396	785,11	650	135,11
	2,72	8632,66	11,22	769,39	650	119,39
	2,78	8689,24	11,129	780,77	650	130,77
	3,58	8872,38	12,433	713,62	650	63,62
	2,5	8459,8	12,35	685	650	35
	2,83	8454,09	12,064	700,77	650	50,77
Moyenne	3,074555556	9069,208971	12,4910643	733,1501812	650	87,76260807

TAB 4.2 Relevés de puissances
le 30/04/2001

Heures	puissances de marche	puissances standards
30/4/01 10h 30	3000	1800
30/4/01 10h 32	3000	1800
30/4/01 10h 34	3000	1800
30/4/01 10h 36	3000	1800
30/4/01 10h 38	3000	1800
30/4/01 10h 40	3000	1800
30/4/01 10h 42	4000	1800
30/4/01 10h 44	4000	1800
30/4/01 10h 46	4000	1800
30/4/01 10h 48	4000	1800
30/4/01 10h 50	4000	1800
30/4/01 10h 52	3200	1800
30/4/01 10h 54	3200	1800
30/4/01 10h 56	3200	1800
30/4/01 10h 58	3200	1800
30/4/01 11h 00	3200	1800
30/4/01 11h 02	3200	1800
30/4/01 11h 04	4600	1800
30/4/01 11h 06	4600	1800
30/4/01 11h 08	4600	1800
30/4/01 11h 10	4600	1800
30/4/01 11h 12	4600	1800
30/4/01 11h 14	4000	1800
30/4/01 11h 16	4000	1800
30/4/01 11h 18	4000	3600
30/4/01 11h 20	3600	3600
30/4/01 11h 22	3600	3600
30/4/01 11h 24	3600	3600
30/4/01 11h 26	3600	3600
30/4/01 11h 28	3600	3600
30/4/01 11h 30	4600	3600
30/4/01 11h 32	4600	3600
30/4/01 11h 34	4600	3600
30/4/01 11h 36	4600	3600
30/4/01 11h 38	4400	3600
30/4/01 11h 40	4400	3600
30/4/01 11h 42	4400	3600
30/4/01 11h 44	4400	3600
30/4/01 11h 46	4400	3600
30/4/01 11h 48	4400	3600
30/4/01 11h 50	4600	3600
30/4/01 11h 52	4600	3600
30/4/01 11h 54	4600	3600
30/4/01 11h 56	4600	3600
30/4/01 11h 58	4600	3600
30/4/01 12h 00	4600	3600
30/4/01 12h 02	4600	3600
30/4/01 12h 04	4400	3600
30/4/01 12h 06	4400	3600
30/4/01 12h 08	4400	3600
30/4/01 12h 10	4400	3600
30/4/01 12h 12	4400	3600

10146,6667

30/4/01 12h 14	4400	3600
30/4/01 12h 16	4400	3600
30/4/01 12h 18	4800	3600
30/4/01 12h 20	4800	3600
30/4/01 12h 22	4800	3600
30/4/01 12h 24	4800	3600
30/4/01 12h 26	4800	3600
30/4/01 12h 28	4800	3600
30/4/01 12h 30	4800	3600
30/4/01 12h 32	4800	3600
30/4/01 12h 34	4800	3600
30/4/01 12h 36	4800	3600
30/4/01 12h 38	4800	3600
30/4/01 12h 40	4800	3600
30/4/01 12h 42	4800	3600
30/4/01 12h 44	4800	3600
30/4/01 12h 46	4800	3600
30/4/01 12h 48	4800	3600
30/4/01 12h 50	5000	5000
30/4/01 12h 52	5000	5000
30/4/01 12h 54	5000	5000
30/4/01 12h 56	5000	5000
30/4/01 12h 58	5000	5000
30/4/01 13h 00	0	

Energie consommée par la courbe standard = **7733,33 kWh**

NRJ spécifique = **644,44 kWh/t**

Energie consommée par la courbe de marche **10146,7kWh**

NRJ spécifique consommée : **811,74 kWh/t**

Consommation elect du four 2

Date: vendredi 4 Mai 2001

Heures	NRJ active	NRJ réactive	Puissance ac	Puiss réact	cosphi inst	NRJ act consommée (en Mwh)	NRJ react consommée(en Mvarh)
15h35	28353,62	20732,07	2569	1656	0,83		
15h45	28354,09	20732,39	3837	2432	0,82	0,47	0,32
15h55	28354,54	20732,77	2832	2717	0,73	0,45	0,38
16h10	28355,18	20733,45	3015	2943	0,7	0,64	0,68
16h20	28355,77	20733,97	3285	2810	0,75	0,59	0,52
16h30	28356,01	20734,3	1757	2804	0,53	0,24	0,33
16h45	28356,77	20734,96	3466	2867	0,76	0,76	0,66
16h55	28357,31	20735,47	3553	3302	0,76	0,54	0,51
17h05	28357,95	20736,11	3056	3015	0,7	0,64	0,64
17h15	28358,51	20736,61	3380	3022	0,75	0,56	0,5
17h25	28358,8	20736,87	3339	2970	0,75	0,29	0,26
17h35	28359,53	20737,63	3729	2983	0,77	0,73	0,76
17h55	28360,29	20738,25	3741	2976	0,78	0,76	0,62
18h05	28360,82	20738,68	3808	3031	0,78	0,53	0,43
18h15	28361,42	20739,16	3582	3083	0,76	0,6	0,48
18h25	28361,95	20739,56	4087	2946	0,81	0,53	0,4
18h35	28362,58	20740,02	4106	2993	0,81	0,63	0,46

TAB 4.3 consommation elect four 1

le 03/04/2001
de 13h30 à 16h20

Heures	Puissance act(en Kw)	Puissance réact(en Kvar)	NRJ act (en Mwh)	NRJ react (en Mvarh)	cosphi inst	NRJ act consommée (en Mwh)	NRJ react consommée (en Mvarh)	cosphi calculé	Puissance au four	cosphi inst calculé
13h30	3223	2714	28281,09	20681,84	0,74					
13h40	3394	1823	28281,33	20682,01	0,89	0,24	0,17	0,578017341	- 4400	0,64412113
13h50	3085	1932	28281,93	20682,39	0,83	0,6	0,38	0,535052081	4000	0,47318633
14h00	3440	1885	28282,47	20682,68	0,89	0,54	0,29	0,473126638	4200	0,53076424
14h10	3797	2668	28283,12	20683,05	0,78	0,65	0,37	0,494698386	3900	0,48054808
14h20	3345	2171	28283,66	20683,43	0,84	0,54	0,38	0,575493406	4000	0,57492212
14h30	3614	2353	28284,29	20683,83	0,83	0,63	0,4	0,536008137	4200	0,54441529
14h50	2292	2508	28285,06	20684,53	0,68	0,77	0,7	0,672672794	2600	0,54562394
15h00	267	1938	28285,24	20684,77	0,43	0,18	0,24	0,8	3000	0,73817956
15h10	2241	2566	28285,66	20685,15	0,65	0,42	0,38	0,670913324	2600	0,99064259
15h50	3211	2334	28287,13	20686,4	0,7	1,47	1,25	0,64779884	4000	0,75319459
16h00	3539	2435	28287,72	20686,79	0,67	0,59	0,39	0,551433014	4000	0,58796198
16h10	3623	2180	28287,99	20687,05	0,85	0,27	0,26	0,693641687	4000	0,56683505
16h20	4103	1816	28288,63	20687,62	0,91	0,64	0,57	0,66508776	0	0,51557352

Répartition de l'espace pour les différentes familles de la ferraille

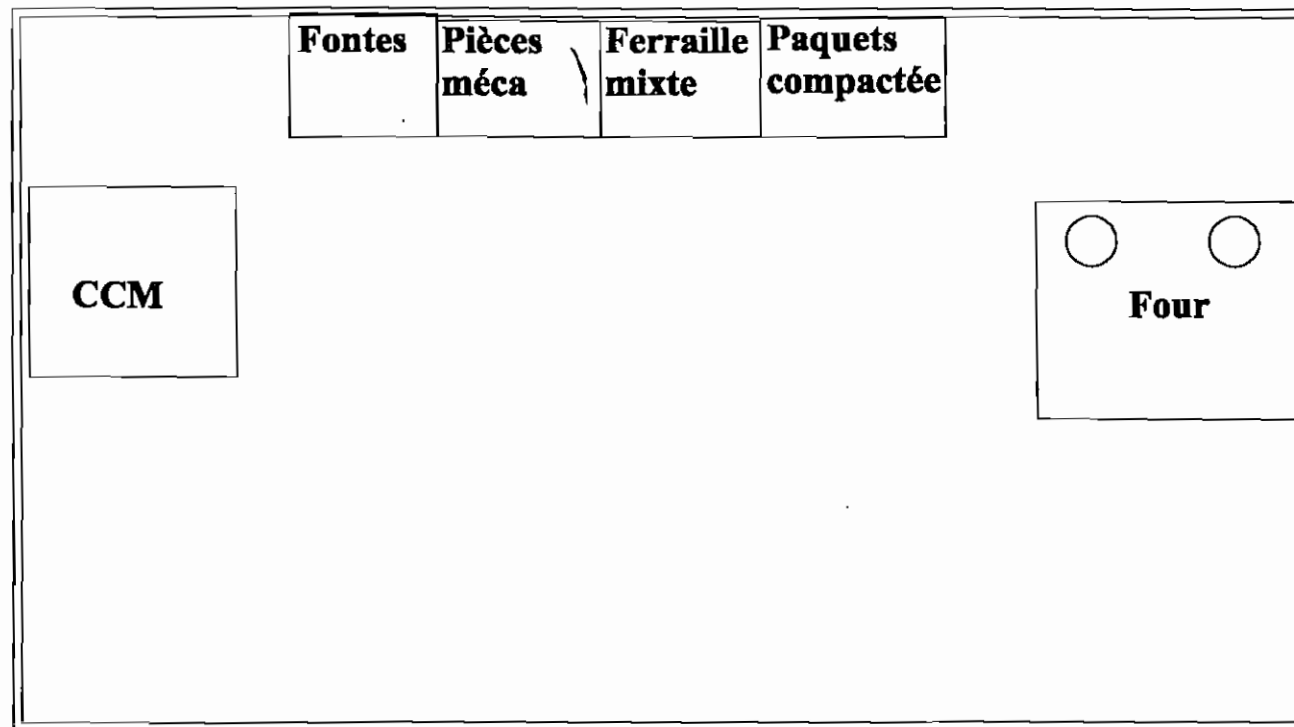


FIG.4.1 Consommation spécifique en fonction de la durée de fusion (du 01 au 15 Mars 2001)

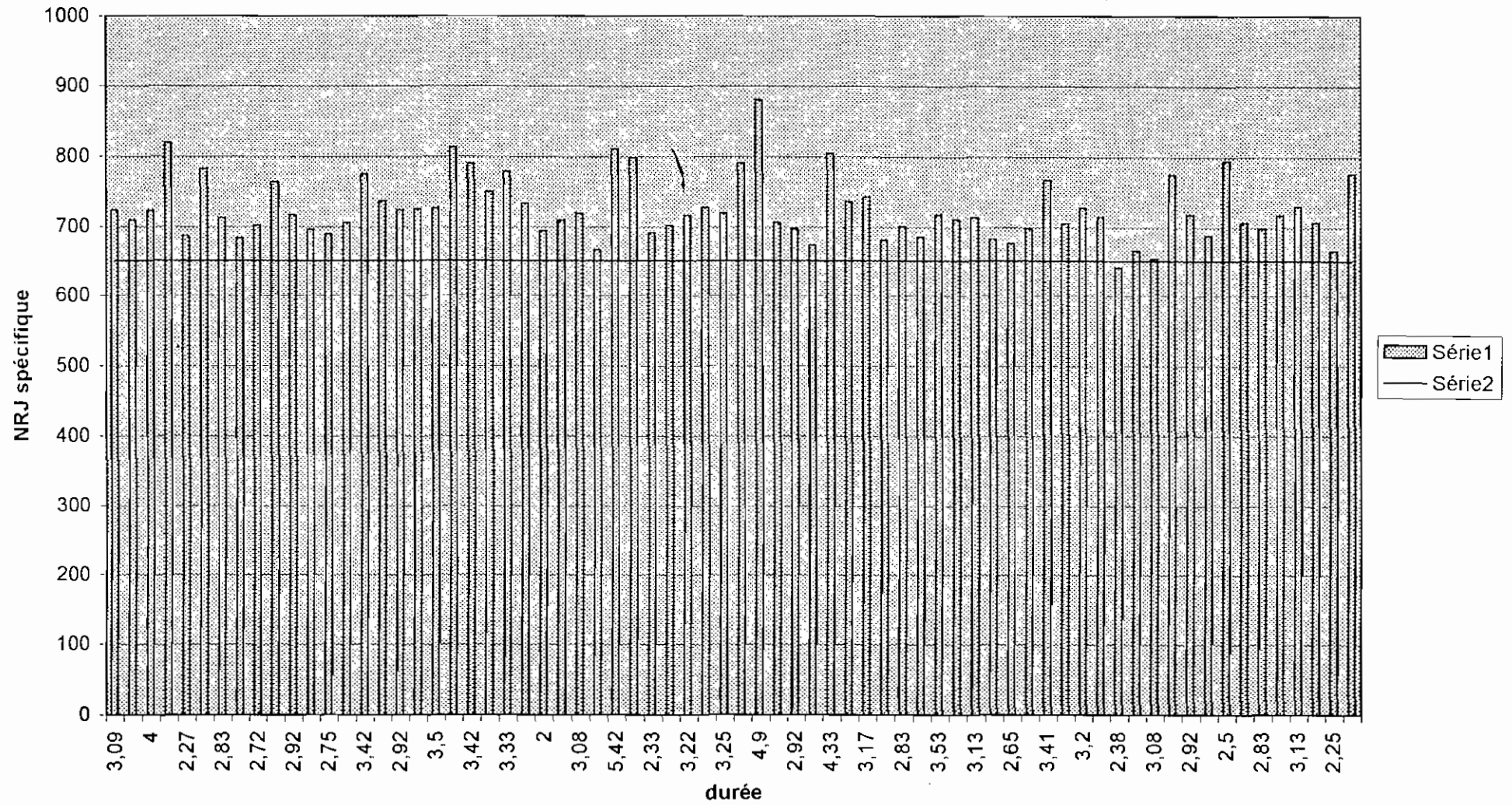
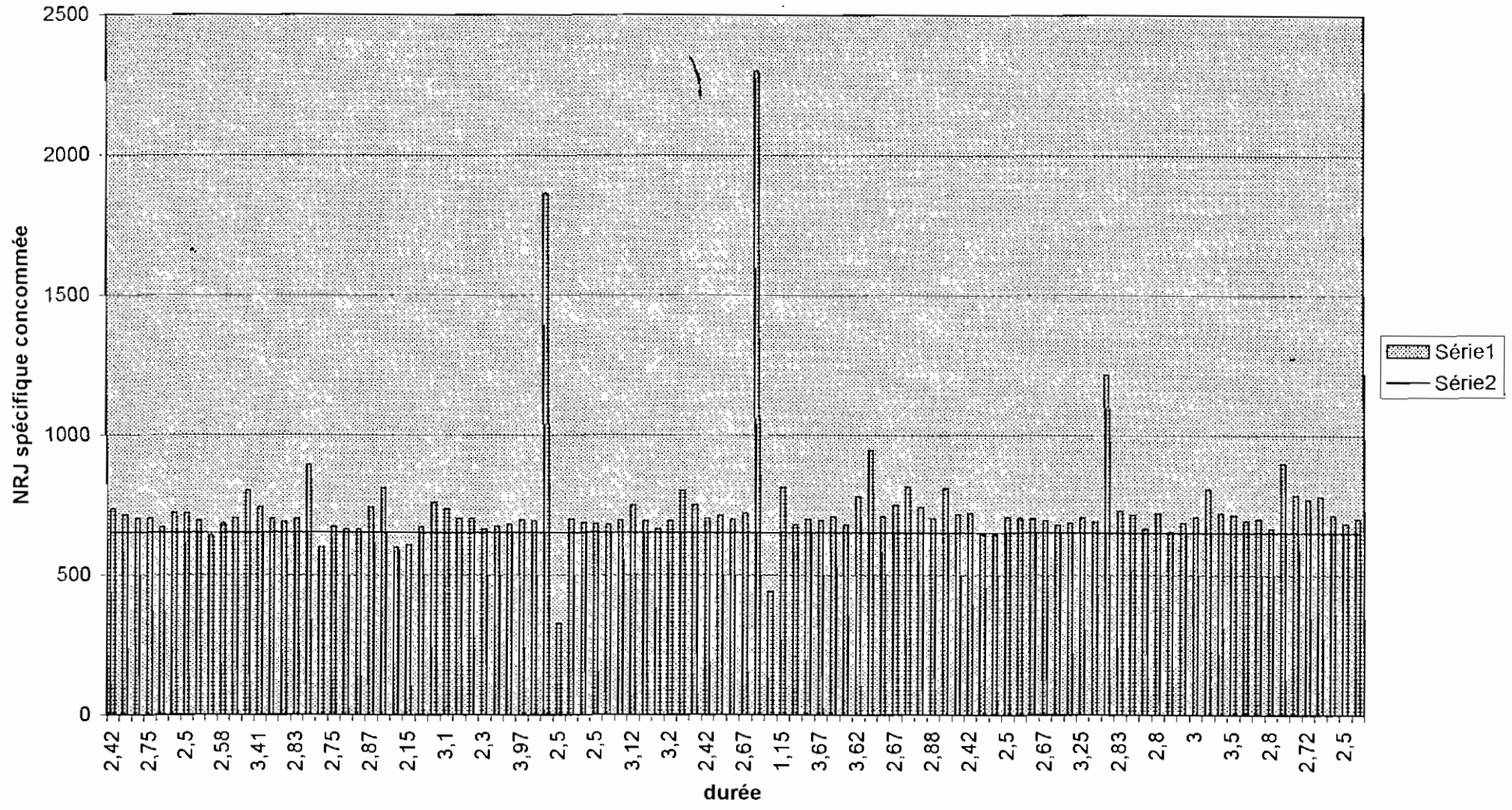
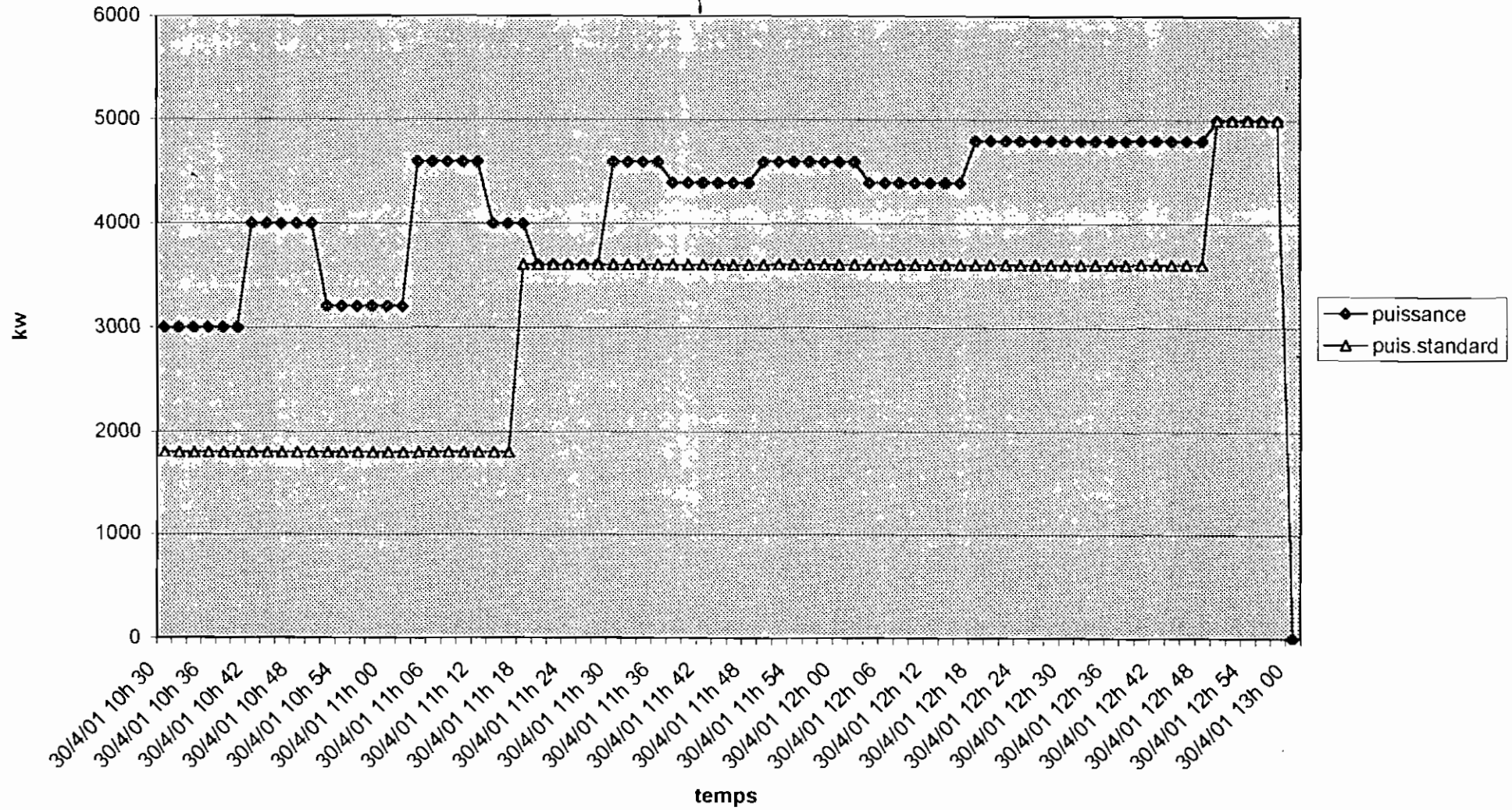


FIG.4.2 Cosommation spécifique en fonction de la durée de fusion(du 15 au 30)

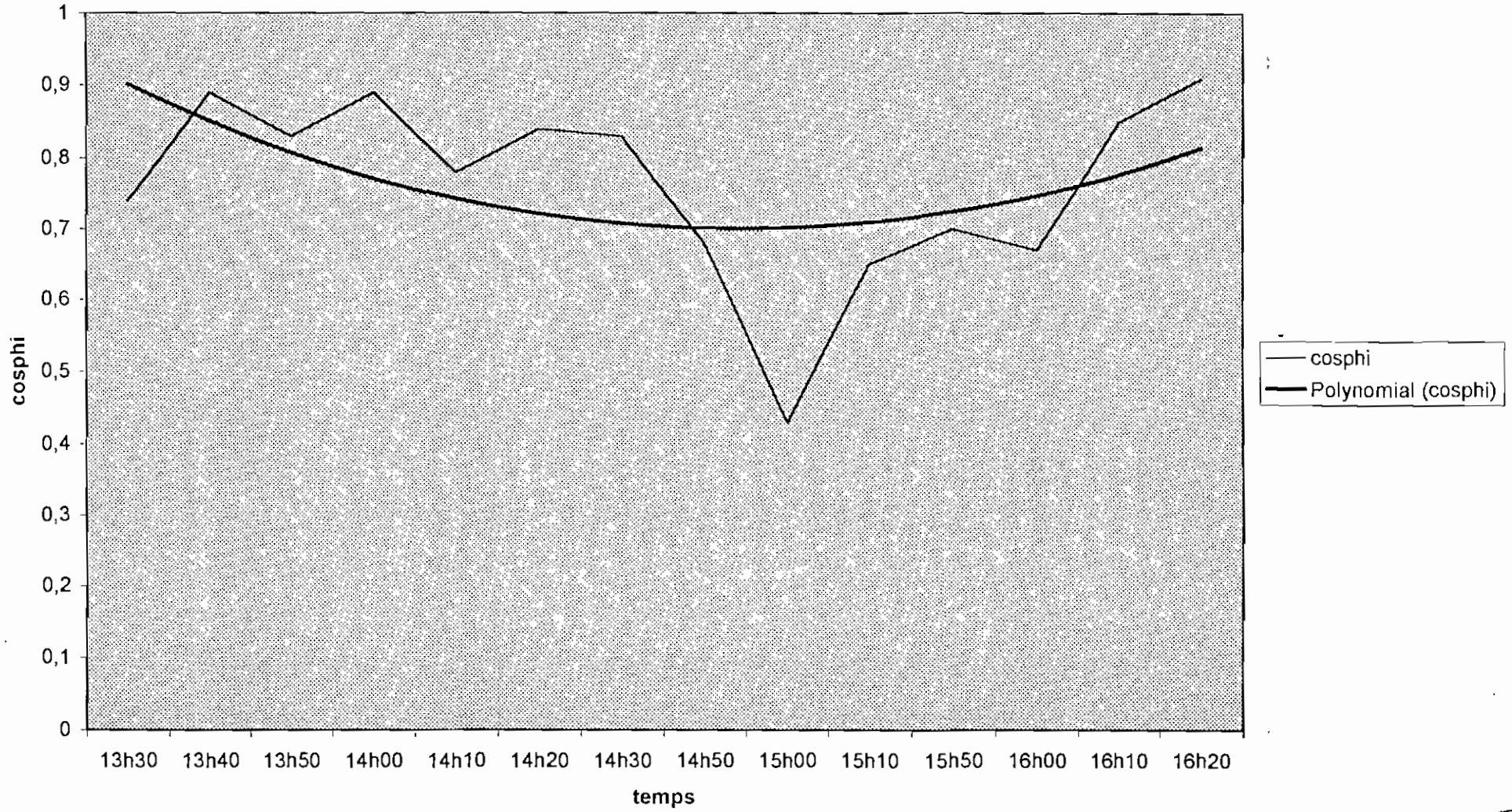


BP

fig.4.3 Courbe des puissances

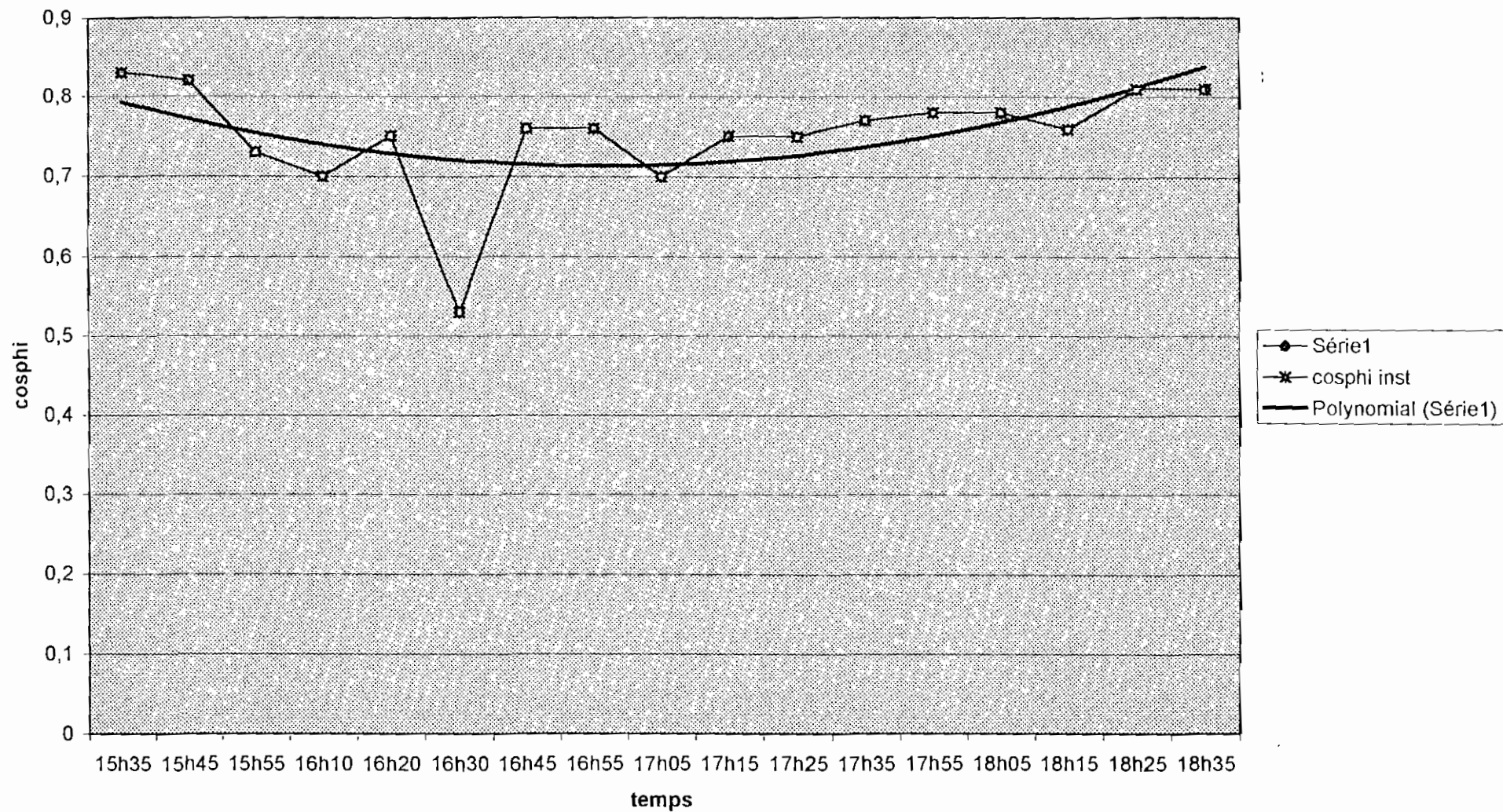


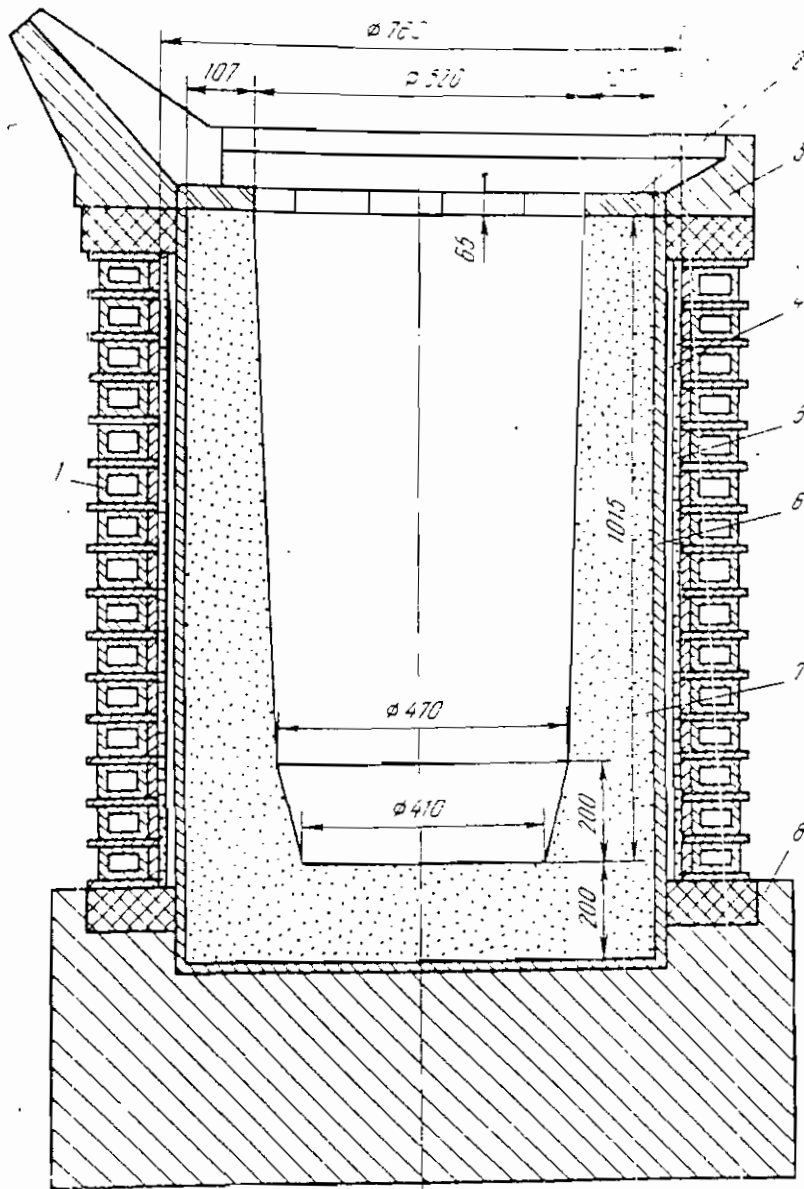
Courbe du facteur de puissance



88

courbe du cosphi





Suivi des opérations standards

1/ Poche de coulée

Préchauffage de la poche

a) Temps de chauffage d'une poche neuve

Minimum 3-heures

b) Temps de chauffage d'une poche en circulation

30-45 mn

c) Temps de maintien de la poche sur le plate forme de coulée

5 mn au max.

d) Durée de vie de la poche

1^{er} garnissage : 25 cycles

2^{ième} garnissage : 20 cycles

3^{ième} garnissage : 20 cycle

	Nozzle	Plaques	Collecter nozzle	Porus plaque
Nbre ce cycles	8	4	2	25

2/ Température

Température de coulée

1680 + ou - 85 °C

3/ EAU

Dureté 30ppm au maximum au four et au CCM

Vérifier que au Four : 10 ppm

CCM : 15 ppm

$7 < \text{PH} < 8$

4/ Purge à l'hydrogène

- Pression de purge 0.5kg/cm²
- Purger 2 à 3 mn après coulée
- Juste après avoir ouvert la poche au CCM, purger pendant une minute

5/ Cosse de riz

3 sacs dans la poche juste après fusion

3 sacs après ouverture de la poche

Mettre de la cosse de riz dans le répartiteur tous les 10 mn

6/ Marquage des billettes

	Catégorie rouge	Catégorie verte
C	0.15- 0.35	0.35- 0.55
Mn	0.75- 0.95	0.75- 0.95
Si	0.15- 0.25	0.15- 0.25

7/ Répartiteur

Vérifier toujours que le répartiteur est rempli jusqu'au $\frac{3}{4}$ au minimum.

8/ Nozzle du répartiteur

Diamètre : 13.0 – 13.5

9/ Vitesse de coulée

2.5 à 3 m/min

10/ Nettoyage du moule

Durant toutes les opérations de garnissages

11/ Eau du moule

Pression d'entrée : 4.2 Kg/cm²

Pression de sortie : 1.2 kg/cm²

12/ Variation de la température de l'eau

8 - 10 °C

13/ Fréquence d'oscillation

144 cycles/min

17/ Pression des redresseurs

haute : 40 kg/cm²

basse : 6 kg/cm²

18/ Pousseur

100 kg/cm²

19/ Fausse billette

- mesurer 6m de billette

- identifier les billettes rouges et les billettes vertes

CHECK LIST DE COULEE

Date : La
Coulée N° :
Heure :
Chef d'équipe :
Chef de quart :

Poste N°	DESIGNATION	OPERATEUR	OBSERVATION
1	Etat du garnissage des tundish	Maçon	repartiteur
2	Etat des plaques de Garnex	-	
3	Etat des buses de coulée (tundish nozzle) Diamètre	Maçon	
4	Sable de bourre	*Maçon	
5	Préchauffage des tundish	Op + aide	
6	Huile de colza : niveau	Op + aide	
7	Huile de colza : température	Op + aide	
8	Fil d'aluminium	Op + aide	
9	Poudre de bourrage (nozalex)	Op + aide	
10	Gousse de nz (ou radex)	Op + aide	
11	Nombre de bouchon Fonte (c.i) Cuivre Acier	Op + aide	
12	Lancing pipe 4 mm 12 mm	Op + aide	
13	Oxygène	Op + aide	
14	Azote	Op + aide	
15	Butane	Op + aide	
16	Etat de l'aeron chamber	Op + aide	
17	Bac à laitier	Op + aide	
18	Bac de secours	Op + aide	
SM/ER/HS			
19	Etat de marche de l'oscillateur	Sup + op	
20	DC drive	Sup + op	
21	Moteur du plongeur d'aluminium	Sup + op	
22		Sup + méc	
23	Quantité d'eau de refroidissements du meule	Sup + méc	
24	Etat du moule		
25	Nettoyage des gicleurs	Sup + méc	
26	Dureté de l'eau de refroidissements primaire	Sup + op pompe	
27	Niveau d'eau dans le réservoir	Sup + op pompe	
28	Niveau d'eau dans le réservoir d'urgence	Sup + op pompe	
29	Etat du compresseur	Sup + méc	
30	Purge du compresseur	Sup + méc	
31	Pression du power pack	Sup + méc	
32			
33	Train du dummy bar (train du mannequin)	Sup + SBO	
34	Poussoir (mouvement)	Sup + SBO	
35	Moteurs du circuit primaire	Sup + op pompe	
36	Moteurs du circuit secondaire	Sup + op pompe	
37	Compensateur (air below)	Sup + méc	
38	Unité de déminéralisation	Sup + op pompe	
39	Guide de mannequin (RDBG)	Sup + SBO	
40	Indicateurs sur les panneaux de contrôle (S.B)	Sup + SBO	
41	Indicateurs sur les panneaux de contrôle (plate-forme)	Sup + opérateur	
42	Pression de la redresseuse (straightener)	Sup + SBO	
43	Pression du poussoir	Sup + SBO	
44	Slide gate systems (tiroir de poche)	Sup + op poche	
45	Unité de contrôle hydraulique du tiroir de poche	Sup + op poche	
46	Flexible du circuit primaire de refroidissement	Sup + méc	
46	Etat du chaudière de coupe	Sup + charbonnier	

Le chef de quart