

وزارة التربية الوطنية
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : METALLURGIE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ETUDE TECHNOLOGIQUE DU PROCESSUS DE FUSION
POUR MATTE CUIVREUSE DANS UN FOUR A CUVE
POUR UNE PRODUCTION ANNUELLE DE 12.500 TONNES
DE CUIVRE CATHODIQUE.

Proposé par :

Mr PHAM KIMDINH

Etudié par :

Mr DJAIZ Badreddine

Dirigé par :

Mr PHAM KIMDINH

PROMOTION : JUIN 1993

D E D I C A C E S

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je dédie ce modeste travail,

à mes grands parents,

à mes parents,

à mes frères et soeur;

à tous mes amis en particulier Si Ali,

et à toute ma promo 1972-1973 en particulier
Youcef et Mahfoud.

DJAIZ BADREDDINE.

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement Mr PHAM KIM DINH mon promoteur, ainsi que tous les professeurs de l'E.N.P.A qui ont contribué à ma formation.

J'aimerais pour autant exprimer toute ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser mon projet de fin d'études en particulier Nour-Eddine, mon père, Si Ali, Khaled, Abdelkrim et ABDOU.

DJAIZ BADREDDINE.

PRESENTATION DU PROJET:

Le sujet proposé par le Maître de conférences Mr PHAN KIM DINH traité l'étude de la technologie de fusion pour matte cuivreuse dans un four à cuve, alimentant un atelier d'affinage électrolytique du cuivre, avec le données suivantes:

- Capacité de production annuelle égale à 12500 Tonnes de Cu.

Composition chimique du concentré de Cu traité est %:

Cu = 13,85, Fe = 33,15, S = 31,50 SiO₂ = 14,40

MgO = 0,85, CaO = 0,75, Al₂O₃ = 1,35

- Composition minérale du concentré:

Le Cu se trouve dans la chalcopryrite (CuFeS₂).

Fe et S se trouvent dans la chalcopryrite, la pyrite

(FeS₂) et la pyrotine (Fe₇S₈)

- Composition des fondants %:

Le quartz: SiO₂ = 93, CaO = 0,5, Al₂O₃ = 1,50, Fe₂O₃ = 2,86.

La roche calcaire: SiO₂ = 1,5, CaO = 54, Al₂O₃ = 0,5
Fe₂O₃ = 0,70.

- Composition du coke, %:

C = 84, H₂ = 0,5, S = 1, O₂ = 1, H₂O = 0,5, cendre = 12;
avec une composition de la cendre égale à, %:

SiO₂ = 50, CaO = 10, Al₂O₃ = 20, FeO = 15.

PRESENTATION DU PROJET:

Le sujet proposé par le Maître de conférences Mr PHAN KIM DINH traité l'étude de la technologie de fusion pour matte cuivreuse dans un four à cuve, alimentant un atelier d'affinage électrolytique du cuivre, avec les données suivantes:

- Capacité de production annuelle égale à 12500 Tonnes de Cu.

Composition chimique du concentré de Cu traité est %:

Cu = 13,85, Fe = 33,15, S = 31,50 SiO₂ = 14,40

MgO = 0,85, CaO = 0,75, Al₂O₃ = 1,35

- Composition minérale du concentré:

Le Cu se trouve dans la chalcopirite (CuFeS₂).

Fe et S se trouvent dans la chalcopirite, la pyrite

(FeS₂) et la pyrotine (Fe₇S₈)

- Composition des fondants %:

Le quartz: SiO₂ = 93, CaO = 0,5, Al₂O₃ = 1,50, Fe₂O₃ = 2,86.

La roche calcaire: SiO₂ = 1,5, CaO = 54, Al₂O₃ = 0,5

Fe₂O₃ = 0,70.

- Composition du coke, %:

C = 84, H₂ = 0,5, S = 1, O₂ = 1, H₂O = 0,5, cendre = 12;
avec une composition de la cendre égale à, %:

SiO₂ = 50, CaO = 10, Al₂O₃ = 20, FeO = 15.

PLAN DE TRAVAIL

- LISTE DES TABLEAUX

- LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION

PARTIE THEORIQUE

I- PROPRIETES ET UTILISATION DU CUIVRE
ET DE SES ALLIAGES

- *1- Propriétés du cuivre et de ses alliages
- *2- Utilisation du cuivre et de ses alliages

II- GRANDES VOIES DE LA METALLURGIE
EXTRACTIVE DU CUIVRE

- *1- Pyrométallurgie du cuivre
- *2- Hydrométallurgie du cuivre
- *3- Principes physico-chimiques de la
pyrométallurgie du cuivre

III- FUSION POUR MATTE CUIVREUSE DANS UN FOUR A CUVE

- *1- Description du four à cuve
- *2- Matte cuivreuse
- *3- Laitier des fours de fusion pour
matte cuivreuse
- *4- Procédés d'élaboration des minerais
de cuivre au four à cuve
- *5- Rôle du four à cuve dans la métallurgie
extractive du cuivre

Partie calcul:

I- CALCUL TECHNOLOGIQUE DU GRILLAGE

DU CONCENTRE DE CUIVRE

- *1- Composition chimique du concentré
- *2- Composition et quantité de la matte cuivreuse
(pour 100 Kg de concentré)
- *3- Quantité nécessaire des fondants et des produits
agglomérés à recycler (pour 100 Kg de concentré)
- *4- Composition chimique des produits grillés

II- CALCUL TECHNOLOGIQUE DE LA FUSION

POUR MATTE CUIVREUSE

- *1- Quantités de la matte cuivreuse et de la
scorie du couvertisseur
- *2- Composition chimique du coke
- *3- Quantité d'air à insuffler
- *4- Bilan matière du four à cuve
- *5- Bilan thermique du four à cuve et quantité
nécessaire du coke
- *6- Composition volumique des gaz de gueulard

III- CALCUL DE L'APPAREIL DU FOUR A CUVE

- *1- Rendement total d'extraction du cuivre
- *2- L'aire du fond du four
- *3- Le nombre des caissons
- *4- Détermination de la consommation d'air
- *5- Détermination des diamètres des conduites d'air

- *6- Détermination des diamètres des tuyères
- *7- Détermination du diamètre de la conduite d'eau
- *8- Détermination du diamètre de la conduite
de la fumée
- *9- Calcul de l'appareil du décantateur

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES TABLEAUX

3.1- Teneur en Cu de la matte en fonction de sa teneur en O_2	25
3.2- Densité de la matte en fonction de sa teneur en ZnS	26
3.3- Densité de la matte en fonction de sa teneur en Cu	28
3.4- Pouvoir calorifique de la matte en fonction de la Température	28
4.1- Composition du concentré sulfuré et quantités des composants (pour 100 Kg de concentré)	44
4.2- Quantité et composition de la matte cuivreuse (pour 100 Kg de concentré)	45
4.3- Composition pratique de la scorie du couvertisseur	46
4.4- Bilan matière du four à cuve sans les fondants (pour 100 Kg de concentré)	48
4.5- Bilan matière de la scorie du four à cuve (pour 100 Kg de concentré)	50
4.6- Composition de la charge fraîche à agglomérer	54
4.7- Composition chimique des produits agglomérés	59
5.1- Composition et quantité de la scorie du couvertisseur (pour 100 Kg d'aggloméré)	62
5.2- Composition et quantité de la matte du couvertisseur (pour 100 Kg d'aggloméré)	63

5.3- Bilan matière du four à cuve de la fusion pour matte cuivreuse sans l'air et la poussière pour (pour 100 Kg d'agglomère)	65
5.4- Bilan matière du four à cuve (pour 100 Kg d'agglomère) en fonction de la quantité du coke(x)	67
5.5- Bilan thermique du four à cuve (pour 100 Kg d'agglomère)	73
5.6- Bilan matière du four à cuve (pour 100 Kg d'agglomère)	74
5.7- Composition volumique de la fumée du four à cuve	75
7.1- Bilan matière journalier de l'atelier	89
7.2- Indices industrielles économiques et techniques des fours à cuve de la fusion pour matte cuivreuse	90

Liste des figures

2.1- schéma général de la pyroméallurgie des minerais sulfurés du cuivre	7
3.1- Schéma du four à cuve de la fusion pour matte cuivreuse (Four water-jacket)	16
3.2- Caisson du four	18
3.3- Schéma du décantateur (avant -creuset)	20
3.4- Diagramme ternaire Fer-cuivre-soufre	22
3.5- Diagrammes binaires Cu_2S-ZnS et $FeS-ZnS$	26
3.6- Diagramme ternaire de la scorie du four à cuve de la fusion pour matte cuivreuse (scories ferroso-calciques)	31
6.1- Four Water-Jacket	76
6.2- Schéma d'installation des caissons	78
6.3- Section du décantateur	83

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Bien que les fours à cuve soient devenus peu répandus ces dernières années, ils restent néanmoins utiles dans le cas où l'on veut investir à un minimum de coût ou dans le cas d'une faible capacité de production (annuelle).

Les fours à cuve restent encore rentables pour le traitement de quelques minerais particuliers du cuivre (sulfurés et mixtes riches en soufre) et aussi pour le traitement des déchets cuivreux (deuxième coulée).

Dans tous les procédés de la métallurgie extractive des métaux non ferreux, les calculs technologiques selon le schéma de la production, basés aussi bien sur les méthodes de calculs métallurgiques, que sur les résultats expérimentaux obtenus dans la pratique industrielle, ont un rôle très important. Les résultats auxquelles on aboutit, déterminent les données nécessaires non seulement pour une conception des appareils sur lesquels on a fait cette étude, mais aussi pour une direction pratique du processus métallurgique pour lequel on a fait ces calculs. Toutes les choses mentionnées ci-dessus sont abordées dans notre projet qui s'intitule "étude technologique du processus de fusion pour matte cuivreuse dans un four à cuve pour une production annuelle de 12500 tonnes de cuivre cathodique".

Ce projet traite les points suivants:

- Les connaissances nécessaires du processus de fusion pour matte cuivreuse dans un four à cuve.

- Les calculs technologiques du grillage agglomérant du concentré de cuivre.

- Les calculs technologiques de la fusion pour matte cuivreuse dans le four à cuve.

- Les calculs concernant la construction de l'appareil du four à cuve.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE — I —

— Propriétés et utilisations
du Cuivre et de ses alliages

I.1- PROPRIETES DU CU ET DE SES ALLIAGES:

1- Propriétés du Cu:

a- Propriétés physiques:

Le Cu est un métal rouge plus ou moins foncé. Son nombre atomique 29 le classe dans le sous groupe IB du tableau périodique avec l'or et l'argent. Le Cu cristallise dans une structure CFC.

La densité du Cu est de $8,91\text{g/cm}^3$, il fond à 1083°C et sa température d'ébullition est de 2590°C .

Le Cu vient après l'argent en conduction électrique et thermique ($0,94\text{ cal/cm.S. }^\circ\text{C}$). Sa résistance électrique est de $1.673\text{ }/\text{Cm}$.

Il est diamagnétique, sa réflectivité diminue avec la diminution de la longueur d'onde et son émissivité totale augmente avec la température.

b- Propriétés mécaniques:

Le Cu est très malléable, et une large étendue de valeurs de résistance mécanique et de ductilité peut être obtenue.

Sa résistance mécanique et sa dureté augmentent surtout par le travail à froid qui réduit sa ductilité.

Son fort allongement montre son aptitude à la déformation.

c- Propriétés chimiques:

Le cuivre a une bonne tenue à la corrosion atmosphérique.

Exposé à l'action des agents atmosphériques, le cuivre se recouvre d'une couche à base d'hydrocarbonate de Cu (Vert de gris).

L'oxydation du Cu commence à une $T^{\circ} > 200^{\circ}\text{C}$. Les bases, excepté l'ammoniac, n'attaquent pas le Cu. L'eau pure est sans action, mais des mesures sont à prendre en compte dans certaines conditions.

Le Cu ne réagit pas avec les acides sulfuriques et organiques dilués en l'absence d'oxygène de l'air. Il est rapidement attaqué par l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique.

2- Propriétés des alliages du cuivre:

a- Propriétés des laitons:

Ce sont des alliages de cuivre à élément d'alliage principal le Zinc.

Les laitons ont une grande facilité de mise en forme, d'assemblage et d'usinage.

Ils ont une bonne conductivité électrique et thermique.

Les laitons jusqu'à 36% de Zinc peuvent facilement être laminés à chaud et à froid.

Des laitons spéciaux de 45% Zn et 10% de Ni possèdent de hautes caractéristiques mécaniques améliorées par un traitement thermique (laminés et recuits).

Le Zinc augmente également la fusibilité et la facilité de moulage des laitons.

Les laitons à 1% d'étain résistent bien à l'action de l'eau de mer.

Des laitons spéciaux de moulage (30% de Zn. Sn=1% et Pb = 3%) se distinguent par une meilleure tenue à la corrosion.

Le chauffage des laitons entraîne une altération superficielle par suite de l'oxydation et de la volatilisation du Zinc.

b- Propriétés des bronzes à étain:

Ce sont des alliages de Cu à base d'étain. Les bronzes ont une bonne malléabilité une bonne ductibilité pour de faibles teneurs en étain, alors que les alliages riches en étain sont très fragiles et sonores (cloches).

Ils possèdent également de hautes caractéristiques mécaniques et un faible coefficient de frottement.

L'addition du plomb aux bronzes à l'étain diminue les propriétés mécaniques mais augmente la densité des moulages et améliore les propriétés antifriction.

Les principaux bronzes à l'étain sont au zinc de 1 à 10%, et ont une facilité de fusion avec un prix de revient abaissé mais des propriétés mécaniques amoindries.

1-2- UTILISATION DU CU ET DE SES ALLIAGES:

La large diversité des propriétés du Cu et de ses alliages assurent leurs applications dans la plupart des industries existantes.

1- L'industrie électrique:

La haute conductivité électrique du Cu assure son usage dans le domaine électrique pour plus de 50% du tonnage global.

On utilise du Cu pour la fabrication de câbles de fils, et de pièces diverses d'appareils électriques (moteurs, interrupteurs, contacteurs).

2- Bâtiments et constructions:

On utilise le Cu pour la fabrication des cylindres d'eau chaude, des tuyaux de gaz et d'eau.

Les immeubles commerciaux utilisent aussi le Cu pour la réfrigération, les installations des appareils d'air conditionné, et des chaudières.

Le Cu est aussi utilisé pour les recouvrement des toitures à cause de sa bonne tenue envers la corrosion atmosphérique.

CHAPITRE II

GRANDES VOIES DE LA

METALLURGIE

EXTRACTIVE DU CUIVRE

Les deux grandes voies de la métallurgie extractive du cuivre sont:

- La pyrométallurgie (voie sèche).

- L'hydrométallurgie (voie humide).

Les trois formes sous lesquelles existent les minerais de cuivre sont elles qui dictent le procédé à suivre en vue de leur traitement.

La teneur du minerai de cuivre est faible, comme c'est le cas des minerais des métaux non ferreux. Il contient en général entre 0,5 et 2% de cuivre, un minerai est considéré comme riche, s'il contient plus de 2% de Cu. Souvent le cuivre se trouve associé à d'autres métaux nobles comme le Pt, Ag, Au. On peut classer les minerais en trois (03) principaux types:

1) Les minerais sulfurés:

Ils représentent, la plus importante proportion des minerais traités; leur minéralisation est constituée généralement de chalcopirite $CuFeS_2$ (34,5% Cu) et de bornite

Cu_5FeS_4 (63,3% Cu). La chalcosine Cu_2S , et la covelline

CuS , existent en quantités plus faibles.

2) Les minerais oxydés et mixtes:

Ces minerais sont souvent très pauvres, mais qui se trouvent en abondance; Leur minéralisation est principalement de la malachite $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ (57,4% Cu), d'Azurite $2CuCO_3$

$\cdot Cu(OH)_2$ (55,3% Cu) et de cuprite Cu_2O (88,8% Cu).

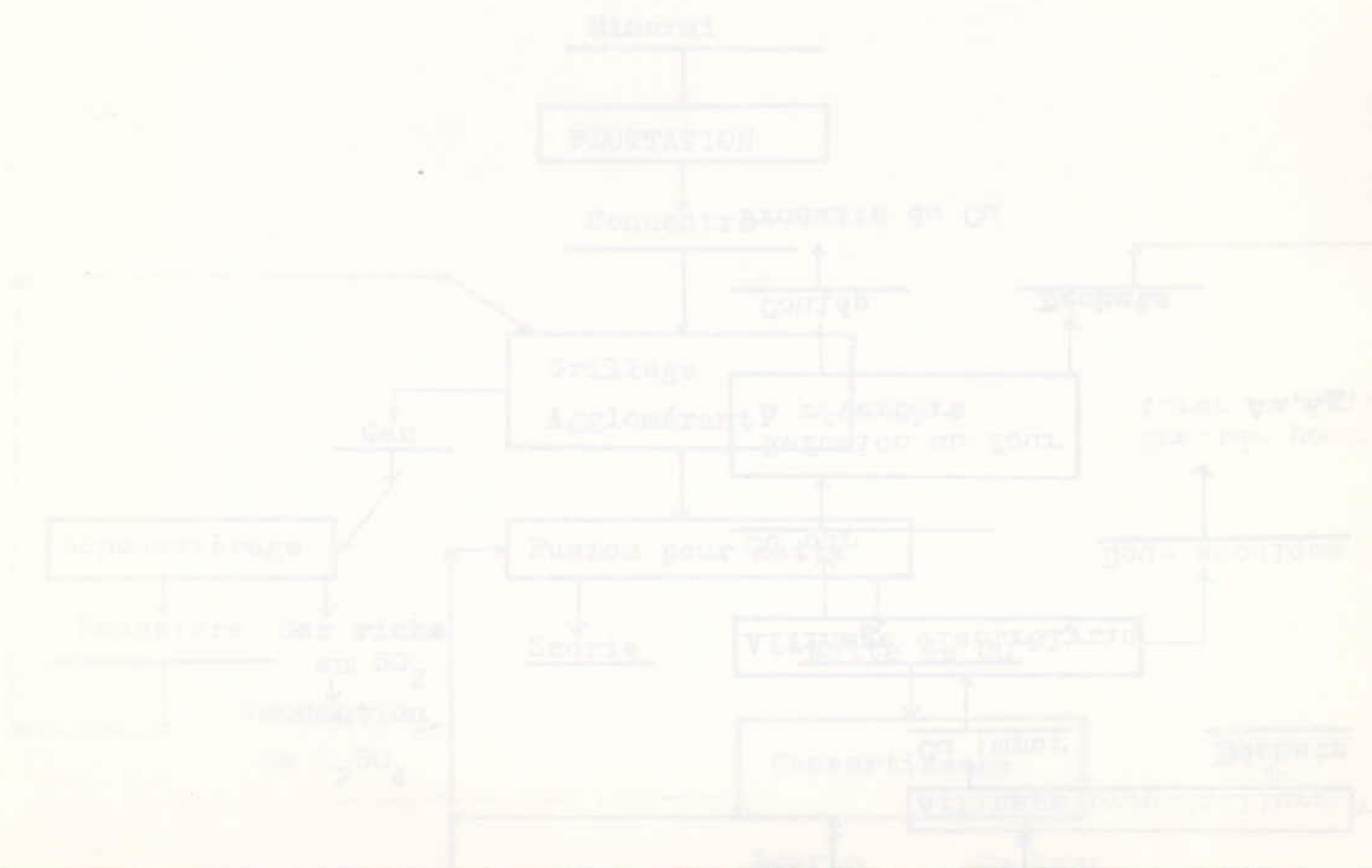
3) Le Cu natif: La teneur moyenne du minerai est de l'ordre de 1%. Par simple fusion, on peut extraire un métal remarquablement pur.

II-1- PYROMETALLURGIE DU CUIVRE (VOIE SECHE):

La pyrometallurgie traite généralement les minerais sulfurés.

Elle produit environ 90% du cuivre existant sur le marché mondial. soit le schéma général de la pyrometallurgie présenté ci-dessous:

Fig.1.-Schéma général de la Pyrometallurgie



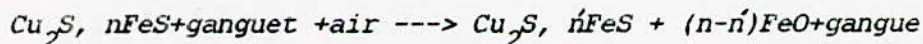
1-1- L'enrichissement par flottation :

La flottation est la technique la plus utilisée pour le traitement des minerais sulfurés du cuivre, en vue de leur enrichissement. Les minerais de cuivre qui sont généralement pauvres, sont concentrés par flottage afin d'éliminer une partie de la gangue et d'augmenter la teneur en cuivre du concentré.

1-2- Le grillage agglomérant:

Le grillage en général, consiste à éliminer une partie du soufre afin d'obtenir une matte plus riche.

Il sert aussi à éliminer quelques impuretés comme l'As, Sb et le Bi. Le grillage agglomérant s'effectue sur table Dwight-Lloyd, et vise à agglomérer les particules du concentré en de morceaux de diamètres convenables, en vue de leur traitement ultérieur au four à cuve. La réaction globale du grillage est:



A cause de l'insuffisance de l'air et de l'affinité du fer pour l'oxygène, qui est plus grande que celle du cuivre, seul le fer qui s'oxyde du moins théoriquement. Pour les minerais riches en soufre, le SO_2 des gaz est récupéré pour la fabrication de H_2SO_4

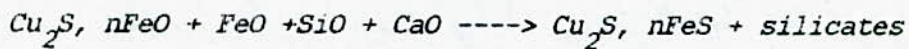
1.3- Fusion pour matte:

C'est l'étape fondamentale de la pyroméallurgie du cuivre. Elle consiste en un chauffage de la charge enfournée dans un four à cuve, à une température entre 1100-1200 °c.

La gangue forme une scorie stérile qui se sépare du cuivre qui est sous forme de matte, par différence de densité.

La matte possède une densité de l'ordre de 5g/cm alors que la densité de la scorie est de 3g/cm.

La réaction globale de la fusion pour matte est:



complexes de Fe et de Ca.

1.4- Convertissage de la matte:

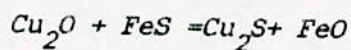
Le convertissage de la matte se fait en deux phases:

1ère phase:

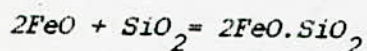
Elle a pour but d'éliminer le fer et l'obtention de la matte blanche (Cu S). Elle consiste en un soufflage d'air à travers les tuyères du convertisseur pour oxyder les sulfures:



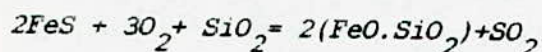
Ces deux réactions sont très exothermiques puisque le Cu a une plus grande affinité envers le soufre que le Fer, alors, la réaction suivante se produit:



L'oxyde de Fer s'élimine dans la scorie en réagissant avec SiO_2



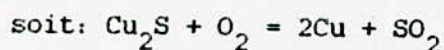
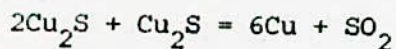
La réaction globale de cette phase est:



b) 2ème phase :

Son but est d'obtenir le cuivre brut en continuant l'oxydation. Puisque toute la quantité de FeS a été oxydée, la matte ne contient que Cu S (matte blanche).

Les réactions de cette deuxième phase sont:

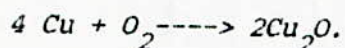


Ces réactions se déroulent à une température qui varie de 1000-1300°C et à une pression $\text{PSO}_2 = 7,8$ atm. Cette 2ème phase dure environ de 4 à 7 heures. On obtient du cuivre brut avec une teneur en Cu qui varie de 97,5 - 99.

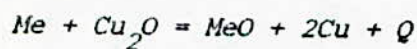
La scorie du convertisseur est refondue au four à cuve afin de récupérer le Cu et les fondants (FeO, SiO_2).

1.5- Affinage pyrométallurgique:

Cet affinage par voie sèche se pratique au four à réverbère. Il consiste en une oxydation du cuivre brut introduit en lingots dans le four:



Le Cu_2O réagit avec les impuretés en les oxydant selon la réaction suivante:



La scorie formée contient jusqu'à 55% de Cu_2O : Cette scorie est éliminée pour être repassée ultérieurement au four à cuve. Puis on procède à la réduction de Cu_2O en plongeant des traces de bois vert dans le bain de Cu. Les gaz dégagés (H_2 , et hydrocarbures) réduisent partiellement le Cu_2O puis on procède à un perchage très court. Ce procédé d'affinage dure environ 10 à 20 h et conduit à un métal titrant de 99,5 à 99% de cuivre. Le métal obtenu est coulé en plaques d'anodes solubles de 13 à 50 mm d'épaisseur et d'environ un m^2 de surface.

Ces plaques sont fabriquées en raison de l'affinage électrolytique ultérieur.

1.6- Affinage électrolytique:

Les anodes solubles en cuivre impur sont plongées dans des bacs d'électrolyse. Les bains sont des solutions aqueuses de $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$. Les cathodes sont en cuivre pur jusqu'à 99,99% Cu.

Les impuretés selon leur potentiel de dissolution, soit qu'ils passent dans la solution, ou qu'ils restent dans la boue anodique (Au, Ag.....). Ainsi on obtient du cuivre pur titrant jusqu'à 99.99 % .

1.7- Refusion au four à réverbéré:

Cette dernière opération vise à faire refondre le cuivre obtenu par la voie électrolytique en vue de le faire coulé sous forme de barres ou de lingots selon son utilisation ultérieure.

II.2- HYDROMETALLURGIE DU CUIVRE: (VOIE HUMIDE)

L'hydrometallurgie du cuivre repose sur deux processus :

- Dissolution par lessivage lixiviation avec un solvant adéquat. La gangue reste insoluble.

- Précipitation du cuivre de la solution.

Cette technique est réservée généralement aux minerais oxydés, mixtes ou ayant subi un grillage sulfatant, et aussi pour le minerai du Cu natif.

La production du cuivre par voie humide représente environ 10% de la production totale.

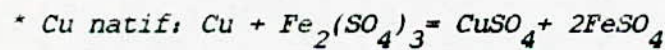
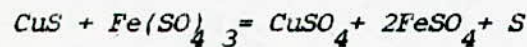
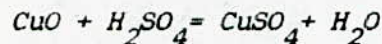
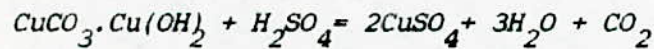
2.1- Opérations préparatoires:

Ces opérations se résument en un traitement physique du minéral (concassage ou broyage), et aussi en un traitement chimique qui est un grillage sulfatant nécessaire pour rendre le concentré soluble dans la solution.

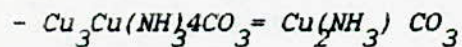
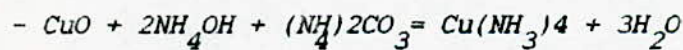
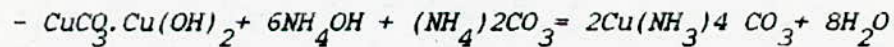
2.2- Dissolution du cuivre: (Lixiviation).

La dissolution du cuivre se fait par des solutions aqueuses à base d'acide sulfurique:

* Carbonates et oxydes:



ou à base d'ammoniac:



2.3- Précipitation du cuivre:

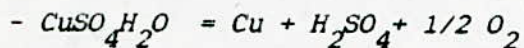
2.3.1-Electro-extraction:

Les sulfates de cuivre sont souvent traités par électro-extraction.

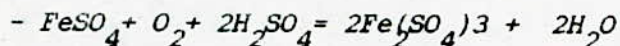
On utilise des anodes inattaquées en Pb-Sb (93% Pb + 6%Sb)

+ 1% Ag). une solution de $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ et des cathodes en cuivre pur.

La réaction globale est:



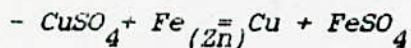
L'oxygène formé réagit avec FeSO_4 et H_2SO_4



Le cuivre obtenu est très pur, la solution appauvrie en cuivre est recyclée par lixiviation.

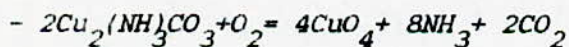
2.3.2 Précipitation du cuivre par cémentation:

Un autre procédé de précipitation est appliqué aux solutions:



Cette opération s'appelle cémentation par le fer (Zinc) métallique.

- Reste en dernier la distillation en vue de séparer le Cu de la solution ammoniacale:



NH_3 et CO_2 sont récupérés pour former $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ (qui est utilisé pour la mise en solution).

- CuO est réduit par le carbone pour obtenir le Cu pur.

II.3- PRINCIPES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA PYROMÉTALLURGIE
DU CUIVRE:

Le schéma général de la pyrométallurgie du cuivre est régit par des principes lesquels dictent ses différentes opérations. Ces principes sont les suivants:

- L'affinité du cuivre pour le soufre est plus grande que celle du Fer.

- L'affinité du Fer envers l'oxygène est plus grande que celle du cuivre.

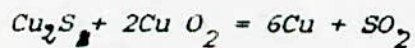
- FeO a la possibilité de combiner avec SiO pour former Fe SiO (Fayalite) qui est un principal composant du laitier, et qui possède une faible température de fusion.

- Cu_2S et FeS peuvent former un alliage homogène.

- La matte et la scorie qui ont des densités différentes, ne peuvent se dissoudre l'une dans l'autre.

- La matte cuivreuse a la possibilité de dissoudre les métaux nobles.

- Cu_2S et Cu_2O peuvent réagir l'un avec l'autre:



CHAPITRE III

- FUSION POUR MATTE CUIVREUSE

DANS UN FOUR A CUVE

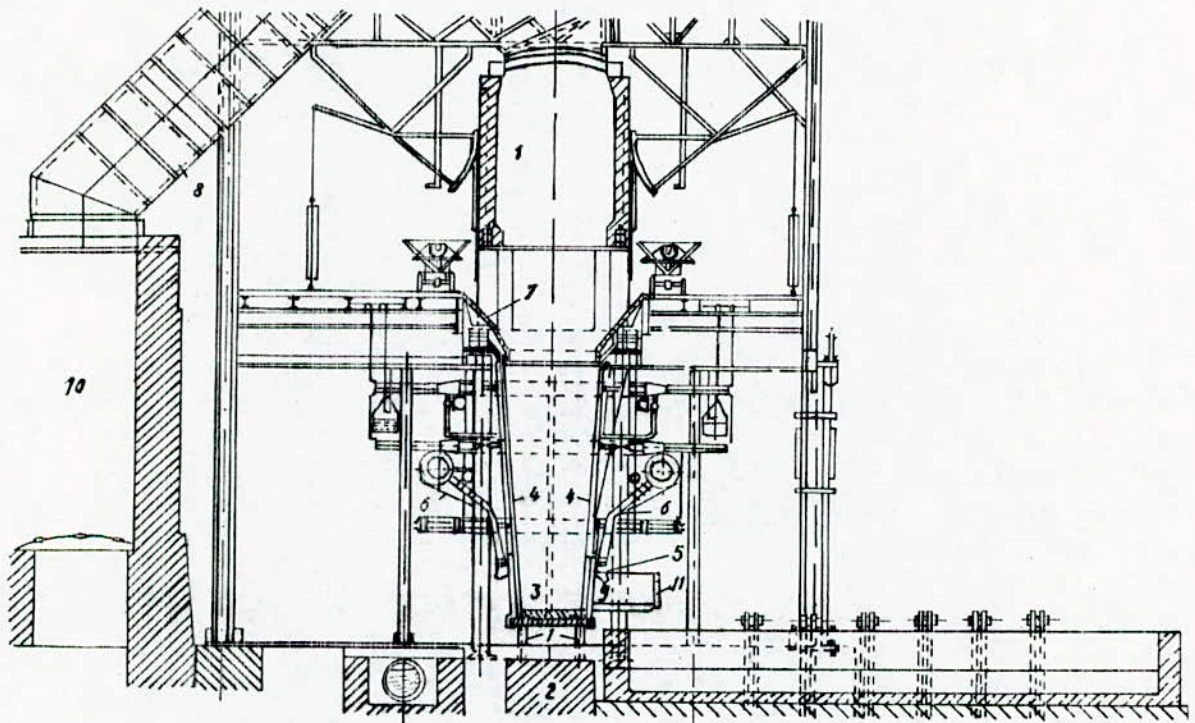


Fig.2.-Four Water-Jacket.

- 1-Gueulard ;2-Fondation ;3-Sole du four ;4-Caissons ;
- 5-Tuyères ;6-Porte-vent ;7-Protections des parois ;
- 8-Conduites des fumées ;9-Trou de coulée ;
- 10-Chambres des poussières .

III-1- DESCRIPTION DU FOUR A CUVE:

Le four à cuve (Water - Jacket) est un appareil qui convient au traitement des minerais en morceaux ou agglomérés. On y fusionne les concentrats grillés en vue de l'obtention de la matte cuivreuse. L'appareil (Fig2) est un four à cuve qui travaille à contre-courant, on introduit en haut le concentré aggloméré, le combustible et les fondants, et l'air enrichi est introduit (à 400°C ou froid) en bas à travers des tuyères. La matte cuivreuse et la scorie sont séparées par décantation dans un décantateur à l'extérieur du four. Le four à cuve possède une section rectangulaire qui va en s'évasant vers le haut.

La charge enfournée est de 200 ou 300 tonne à 1500 tonnes par jour, dont le coke représente 05 à 15%. Les sulfures sont oxydés au niveau des tuyères, en laissant échapper le SO_2

La température dans la région des tuyères peut atteindre 1400°C, celle-ci suffit largement pour une bonne combustion du coke. Les gaz chauds ascendants réagissent avec les sulfures de Fer en les transformant en oxydes de Fer. La matte cuivreuse et la scorie se forment au fur et à mesure que la charge descend. La production journalière de la matte cuivreuse au four à cuve dépasse les 100 tonnes par mètre carré du four. Une partie du besoin en chaleur de la fusion dans le four à cuve, provient des réactions exothermiques de l'oxydation des sulfures existants.

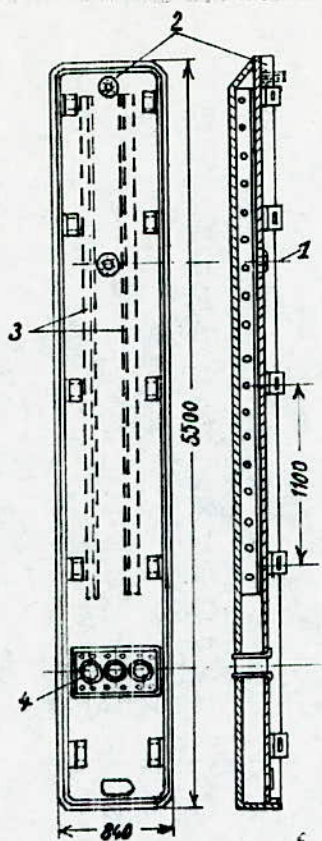


Fig.3.-Caisson du four.

- 1-Entrée d'eau ;2-Sortie d'eau ;
- 3-Barres de section L ;4-Tuyère.

a) Dimensionnement du four:

- La largeur au niveau des tuyères: 1-1,5m
- La largeur à la surface de la charge: 4-6m
- La hauteur du creuset : 0,9 -1m
- La longueur du four (dépend de la capacité production)
:2,5-26,5 m
- La hauteur du four est d'environ 5m

- Le fond du four est formé de plaques en fonte refroidies par l'eau. Au dessus du fond, existe une couche en briques de magnésie d'épaisseur 0,23m. La cuve du four se compose de caissons d'eaux (Fig.3). Le gueulard est maçonné de brique réfractaires (Chamotte) sur un cadre en acier de section en L qui s'appuie sur 4 poteaux, pour que le poids du gueulard n'agit pas sur les caissons de la cuve.

- Les tuyères se trouvent à environ 1000-1200mm du fond du four. Les diamètres des tuyères varient de 80 à 150 mm

Le rapport entre la somme des section des tuyères et la section du fond du four varie de 4 à 7%. Chaque caisson comporte 3 tuyères, avec une distance entre les centres de 2 tuyères juxtaposées, égale à 230 mm.

- Le caisson comprenant les trous de sortie des produits liquides est disposé soit latéralement (pour un four petit ou moyen), soit longitudinalement (pour un grand four à cuve). Il est fait en cuivre et est refroidi à l'eau. ses dimensions sont les suivantes:

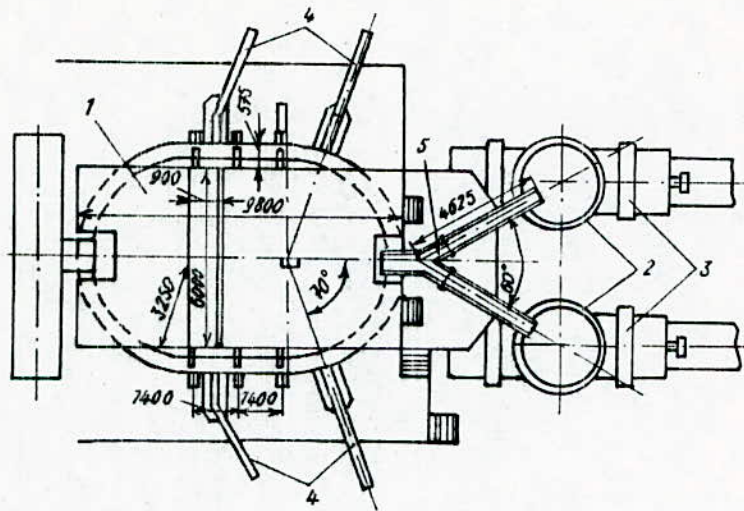


Fig.4-Decantateur(avant-creuset) .

1-Avant-creuset ;2-Poche de laitier ;

3-Chariot du laitier ;4-Canal de la matte ;

5-Canal de la scorie.

- Hauteur : 900 - 100 mm
- Largeur : 800 - 850 mm
- Epaisseur: 230 mm

b) Description du décantateur ou de l'avant creuset:

L'avant creuset (Fig 4) permet la séparation par décantation, la matte cuivreuse de la scorie.

Il tient lieu d'enceinte de stockage pour la matte dont les coulées vers le convertissage sont intermittentes. C'est un grand réservoir, ouvert, de forme circulaire ou oblongue (profondeur 1m, largeur de 1,5 à 3m, la longueur dépend du volume du décantateur). Le volume du décantateur dépend de la capacité de production. En général 1m² du four à cuve au niveau des tuyères demande 4 à 6 m³ du décantateur.

Les briques réfractaires, du décantateur sont acides pour un laitier acide, et sont basiques (magnésie) pour un laitier basique. Il ya 2 ou 3 trous de coulées pour la matte qui sont alternativement en service, et qui se situent au niveau de la sole. A la partie supérieure de l'avant creuset existe un seuil de déversement de la scorie, qui s'écoule par gravité dans un chenal en fonte en forme d'un Y vers les chariots-coupoles en attente au niveau inférieur (-3m). Une couche de 5 à 10 cm de scorie, solidifiée au départ, tient lieu de voûte réverbéré à cet avant creuset.

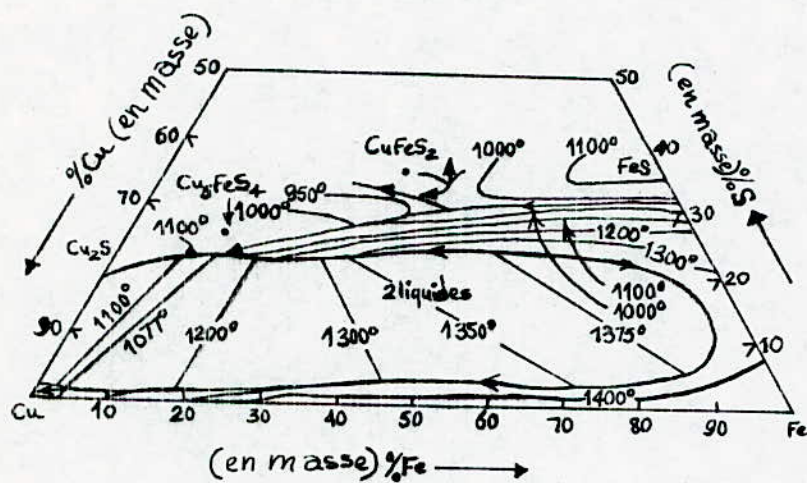


Fig.5.-Diagramme ternaire Fe-Cu-S .

III.2- MATTE CUIVREUSE:

La matte est un alliage compliqué de sulfures. La matte cuivreuse se compose essentiellement de FeS et de Cu_2S

1- Composition théorique de la matte cuivreuse:

Théoriquement, la matte cuivreuse se compose des éléments suivants: Cu, Fe et S. Dans la pratique, la composition de la matte est plus compliquée, mais reste les trois éléments cités avant qui représentent 80-90% de la quantité de la matte et donc pour bien comprendre et expliquer les comportements de la matte pratique (industrielle), on peut tracer le diagramme ternaire Cu, Fe, S.

Le diagramme Fig.5- Montre que:

- En fusionnant à haute température, les sulfures FeS et Cu_2S sont stables. Les sulfures compliqués n'existent pas aux températures élevées c'est pourquoi l'excès de soufre pour former FeS- Cu_2S se précipite. Autrement dit, la teneur en S dans l'alliage FeS- Cu_2S se trouve dans la limite de 20,2% à 36,5%. Entre Cu, Fe, FeS et Cu_2S existe 4 alliages binaires Cu, Fe, FeS, Cu_2S - FeS et Cu- Cu_2S , seul Cu- Cu_2S reste séparé

en 2 couches liquides: supérieur contenant

Cu_2S et inférieure contenant le Cu.

- Le phénomène de séparation entre Cu et Cu_2S se développe et fonctionne pratiquement dans la zone s à l'intérieur du parallélépipède Cu - Fe - FeS- Cu_2S .

Ainsi quand le rapport entre Cu, S, Fe tombe dans la zone s, on obtient un mélange de 2 couches liquides séparées.

Supérieure contenant essentiellement Cu_2S et FeS, inférieure contenant Cu et Fe.

L'alliage homogène de Cu_2S - FeS doit correspondre au rapport des 2 éléments qui tombe à l'extérieur de la zone s.

- Dans la pratique de fusion pour matte cuivreuse, les concentrés sulfurés de Cu contiennent souvent un excès de soufre, c'est pourquoi la couche inférieure n'existe pas.

- La composition théorique de la matte cuivreuse varie de Cu S pur à

FeS pur, c'est à dire la teneur en Cu varie de 79,8% à 0% et la teneur en S varie de 20,2% à 36,5%.

La composition de la matte industrielle varie de 20 à 40% de Cu et de 24 à 26% de S. C'est pourquoi dans le calcul technologique on peut prendre la teneur en S dans la matte égale à 25%.

2- Composition pratique (industrielle) de la matte cuivreuse:

En plus des 3 éléments : Cu, Fe, S, La matte industrielle contient des impuretés qui influent considérablement sur le comportement de la matte cuivreuse et qui sont:

a) l'oxygène:

l'oxygène se trouve dans la matte cuivreuse sous forme de Fe O (magnétite). La teneur de la matte en oxygène dépend de la composition de celle-ci en Fe O.

Comme Fe O se dissout seulement dans FeS alors plus la matte est pauvre plus la teneur en Fe O est élevée, C'est à dire la teneur en oxygène augmente aussi:

TABLEAU 1: TENEUR DU CU DANS LA MATTE EN FONCTION DE SA TENEUR EN O
2

Teneur en Cu	10	20	30	40	50
Teneur (%) en O ₂	6,54	5,38	4,21	3,02	1,90

b) Le zinc:

Le zinc se trouve dans la matte cuivreuse sous forme de ZnS la teneur en ZnS dans la matte peut atteindre 6 à 8%.

La température de fusion de ZnS augmente la température de fusion de la matte. Cela est montré sur les diagrammes binaires Cu S - ZnS et FeS - ZnS Fig.6.

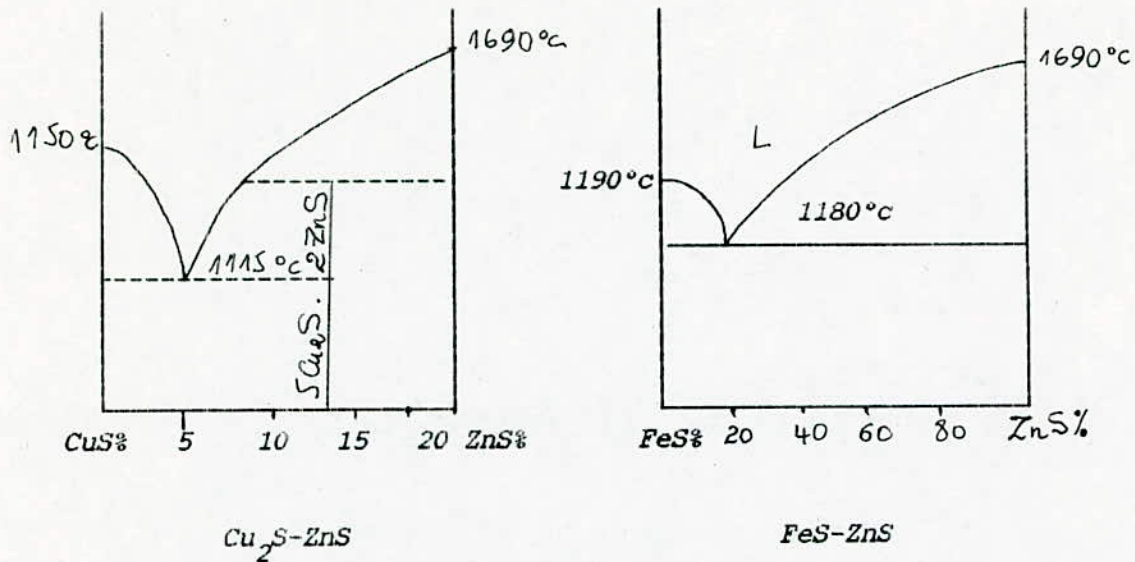


Fig6 Diagrammes binaires Cu_2S-ZnS et $FeS-ZnS$

Zn est donc une impureté nuisible dans la matte cuivreuse. ZnS peut précipiter et former une membrane entre la matte et la scorie. Cette membrane est très visqueuse et donc empêche la séparation entre la matte et la scorie.

ZnS diminue la densité de la matte cuivreuse comme ce qui est montré dans le tableau 2 ci dessous: % massique:

TABEAU 2: DENSITE DE LA MATTE EN FONCTION DE SA TENEUR EN ZNS

ZnS	Cu S 2	FeS	densité de la matte (g/cm^3)
4,81	45,58	49,62	4,29
6,47	45,57	47,96	4,20
7,74	45,57	46,69	3,83
10,13	45,57	44,30	3,73

ZnS augmente la viscosité de la matte. Quand la teneur de ZnS dans la matte atteint 12%, la viscosité de la matte augmente d'environ 4 à 8 fois.

C- Le Plomb:

Le plomb se trouve dans la matte sous forme de PbS dont la teneur est souvent inférieure à 3%.

Pb augmente la densité et diminue le point de fusion de la matte cuivreuse.

d- Le Nickel :

Le Nickel existe souvent dans la matte cuivreuse, en particulier lors du traitement des concentrés sulfurés mixtes Cu-Ni.

La teneur de la matte en Ni peut dépasser celle du cuivre.

Le Nickel se trouve dans la matte cuivreuse sous forme de Ni S. Ce dernier n'a aucune influence sur le comportement de la matte cuivreuse dans le four.

e- Autres impuretés:

Les métaux dits nobles comme Au, Ag, Pt, se dissolvent bien dans la matte cuivreuse. Une tonne de Cu_2S peut dissoudre 90 Kg de Au, et une tonne de FeS peut aussi dissoudre 60 Kg de Au.

3- Propriétés de la *matte cuivreuse*:

- Le point de fusion de la *matte cuivreuse* varie de 950 à 1050 °c suivants a composition.

- Sa densité dépend essentiellement de sa teneur en Cu:

TABLEAU 3: DENSITE DE LA MATTE EN FONCTION DE SA TENEUR EN CU.

% Cu	13,6	43,0	60,2
Densité (g/cm ³) (à l'état solide)	4,80	5,80	5,40

A L'état liquide la densité moyenne de la *matte cuivreuse* d'environ 5g/cm³

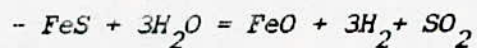
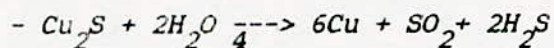
- Le pouvoir calorifique de la *matte* est grand et dépend de la température

TABLEAU 4: POUVOIR CALORIFIQUE DE LA MATTE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE.

Température(°c)	1000	1100	1200
Pouvoir calorifique Kcal/Kg °c	237	279	3100

- La *matte cuivreuse* liquide dissout bien le fer.

- Elle réagit avec H₂O en provoquant une explosion très dangereuse, car le pouvoir calorifique de la *matte* est grande et en recontrant H₂ O, se forment les gaz H₂ et H₂S qui sont à l'origine de l'explosion :



4 La teneur en Cu de la matte cuivreuse :

Comme nous l'avons vu, la fusion pour matte cuivreuse vise, à enrichir le concentré sulfuré en cuivre. Ainsi il semble que l'on veuille obtenir une plus grande teneur de la matte en Cu.

Mais en réalité on cherche toujours une teneur optimale en Cu dans la matte. Car le fait d'obtenir une matte très riche en Cu, on peut rencontrer les inconvénients techniques et économiques suivants:

- La durée du grillage doit être élevée. Par conséquent, la capacité de production de l'appareil de grillage diminue, la quantité de poussière augmente et les dépenses du grillage augmentent aussi.

- La perte du cuivre dans la scorie augmente.

- La perte des métaux nobles augmente du fait que la quantité de la matte cuivreuse diminue.

- La durée de la fusion pour matte, et la consommation de combustible augmentent, par conséquent le prix de revient augmente.

- Le convertissage de la matte riche en Cu devient difficile du fait que l'effet thermique de la réaction exothermique est insuffisant pour maintenir le processus autogène. Dans ce cas on doit consommer beaucoup de combustible.

A cause des raisons mentionnées Ci-dessus, la teneur en cuivre dans les mattes industrielles varie souvent de 20 à 40%.

III.3 - LAITIERS DES FOURS DE FUSION POUR MATTE CUIVREUSE:

Les laitiers en général ont un rôle important dans l'extraction des métaux non ferreux et du cuivre en particulier, à cause du tonnage important du laitier du four à cuve pour la fusion de la matte cuivreuse. Ce dernier représenté 80 - 100% de la masse de la matte.

La qualité du laitier détermine les caractéristiques du processus de fusion pour matte cuivreuse:

- Le point de fusion et le pouvoir calorifique du laitier déterminent la consommation de combustible.

- Le point de fusion du laitier détermine la température de travail du four.

- Les propriétés du laitier sont des facteurs déterminants de la capacité de production d'un four. Un laitier acide possède un point de fusion et une viscosité plus hauts que ceux d'un laitier basique.

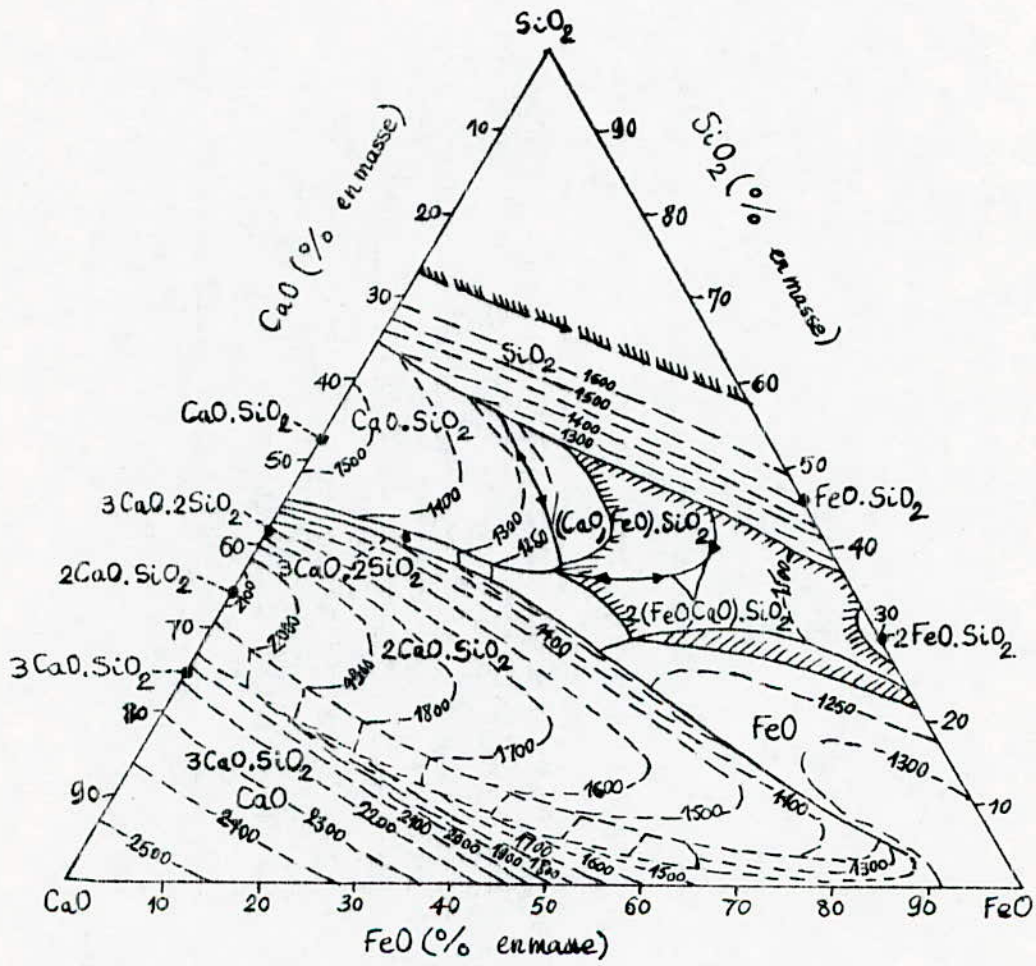


Fig.7.-Diagramme ternaire des scories ferroso-calciques.

Par conséquent, un laitier acide donne une capacité de production plus élevée.

- Les propriétés et la qualité du laitier déterminent le rendement d'extraction du métal, parceque la perte essentielle du métal est dans son laitier.

1) Composition du laitier:

Le laitier du four à cuve pour la fusion d'une matte cuivreuse se compose des oxydes suivants: SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO , MgO , BaO , Na_2O , ZnO .

Les oxydes essentiels qui composent les laitiers industriels Fig.7 sont:

Le SiO avec 30 à 45%

Le FeO avec 20 à 55%

et le CaO avec 7 à 15%.

2) L'influence de quelques oxydes sur les propriétés du laitier:

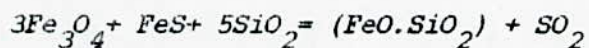
L'influence de SiO_2 : L'oxyde SiO_2 et un oxyde acide, qui détermine l'acidité du laitier. SiO_2 diminue la densité du laitier et augmente sa viscosité.

La température de fusion du laitier diminue avec $\text{SiO}_2 > 50\%$ et augmente avec $\text{SiO}_2 \leq 50\%$. SiO_2 diminue la dissolution du sulfure de cuivre dans le laitier. Dans la pratique de la fusion pour matte cuivreuse dans un four à cuve on utilise des laitiers acides.

Influence de FeO: L'oxyde FeO augmente la densité du laitier et diminue sa viscosité.

FeO augmente la dissolution des sulfures de cuivre dans le laitier, et donc augmente la perte de cuivre dans le laitier.

Lorsque la teneur en FeO dans le laitier est élevée, la formation de Fe_3O_4 est inévitable. La magnétite (Fe_3O_4) augmente aussi la dissolution des sulfures de cuivre dans le laitier, et réagit avec FeS et $SiO_2(1)$ en dégageant un gaz SO_2 qui s'échappe à travers le bain liquide en perturbant l'opération de séparation entre la matte cuivreuse et le laitier.



Influence de CaO: L'oxyde CaO diminue la densité du laitier, sa viscosité et la dissolution du Cu_2S dans le laitier. Le CaO augmente la fluidité du laitier. C'est à cause de toutes ces propriétés, que le CaO est utilisé comme fondant dans la fusion de la matte cuivreuse.

Influence de MgO: l'oxyde MgO augmente le point de fusion du laitier. Il peut même détruire les ions silicates les plus compliqués à cause de sa forte basicité. MgO rend le laitier moins visqueux. Pour une teneur du laitier en MgO supérieure à 15%, MgO se précipite en rendant le laitier plus visqueux.

Influence de Al_2O_3 : L'oxyde Al_2O_3 provient des concentrés, fondants et des cendres du coke. Al_2O_3 diminue la dissolution de Cu S dans le laitier, d'où la diminution de la quantité de la matte cuivreuse dans le laitier, aussi. Al_2O_3 augmente le point de fusion et la viscosité du laitier. Al_2O_3 influe sur les propriétés de l'interface matte-laitier.

3) La perte du cuivre dans la scorie (laitier):

On distingue trois principaux types de pertes:

3-1 Pertes mécaniques:

Les pertes mécaniques sont les plus importantes des deux autres types de pertes. Le cuivre passe à la scorie sous forme de matte cuivreuse. Le passage qui se fait mécaniquement de la matte vers la scorie est causé par de la mauvaise séparation entre la matte et la scorie.

Cette mauvaise séparation est due à :

a - La réaction d'oxydation du Fe_3O_4 qui dégage du SO_2 (1).

le SO_2 perturbe la séparation entre la matte et la scorie.

b - Une viscosité élevée de la scorie.

c - Une faible différence de densité entre la matte et la scorie.

d - La durée de séparation qui est insuffisante.

La teneur de la scorie en cuivre peu atteindre 0,2-0,6%.

Elle augmente avec la quantité de la matte qui passe à la scorie.

3.2 Pertes physiques:

Les pertes physiques sont des pertes dues au passage du cuivre à la scorie par la dissolution de Cu_2S . Ces pertes dépendent essentiellement de la composition de la scorie. Pour une scorie riche en FeO la dissolution du Cu_2S est plus élevée.

On peut minimiser les pertes physiques en jouant sur les facteurs suivants:

- L'élévation de l'acidité de la scorie.
- La diminution de FeO dans la scorie en augmentant la proportion de CaO (dans la pratique on ajoute de la roche calcaire dans le décantateur).

3.3 Pertes chimiques:

Pour le cas des pertes chimiques, le cuivre passe à la scorie sous forme de composé $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Puisque la teneur en soufre de la charge est souvent suffisante, la probabilité que Cu_2O passe en Cu_2S est assez élevée. Ces pertes chimiques restent donc minimes. Ces mêmes pertes deviennent importantes lors du traitement d'un minerai pauvre en soufre avec une scorie riche en silice.

III.4 PROCÉDES D'ÉLABORATION DES MINÉRAIS DE CUIVRE AU FOUR À CUVE:

Les principales sources de chaleurs du four à cuve sont la chaleur de combustion du coke la chaleur due à la réaction exothermique de l'oxydation des sulfures et la chaleur de la scorification.

Les produits (matte cuivreuse et scorie) s'écoulent continuellement du four au décantateur où ils sont séparés, par différence de densité. Les gaz formés aux cours de la fusion s'échappent par le gueulard (Le haut du four). Le four à cuve demande la charge sous forme de morceaux agglomérés au cours du grillage et ayant une granulométrie variant de 25 à 100mm. Le rendement thermique du four à cuve est élevé (70%), à cause du bon contact gaz charge. La température des gaz à la sortie varie de 200 à 500 °c Au creuset, la température des produits (matte + scorie) varie de 1250 à 1300 °c. La température maximale atteinte dans le four, dépend de la température de fusion de la scorie, et de la chaleur sensible des produits (matte et scorie).

Les réactions se produisent essentiellement entre les phases solides et gazeuses. Donc, on peut, en déduire que la composition des gaz de gueulard détermine le processus de transformation et la nature des produits.

- Les différents procédés d'élaboration sont

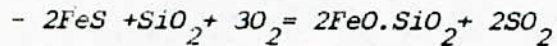
A- Procédé pyritique

- Ce procédé s'applique aux minerais de cuivre contenant environ 37% de S ou bien 70% de FeS_2 (pyrite) dans ce cas la chaleur dégagée par l'oxydation de la pyrite est suffisante pour réaliser la fusion pour matte cuivreuse. on doit utiliser juste un peu de coke (1-3%) pour stabiliser le processus.

Les caractéristiques de ce procédé sont:

- Toute la quantité nécessaire de chaleur provient de l'oxydation de FeS et de la scorification qui se produisent au niveau des tuyères.

- La réaction de scorification est



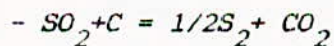
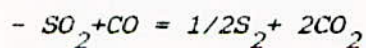
- La désulfuration est grande.

- La scorie contient beaucoup de FeO (50-55%), par conséquent elle est plus dense. La teneur en Cu de la matte est faible (12-20%).

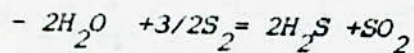
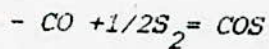
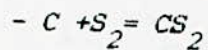
- Le milieu oxydant existe seulement à la zone des tuyères.

B/ Procédé pyritique amélioré:

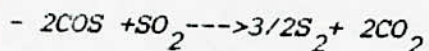
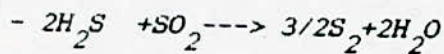
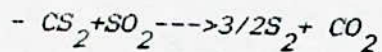
C'est le procédé pyritique avec un processus supplémentaire d'obtention du soufre. Dans la partie supérieure de la cuve le soufre est gardé en son état moléculaire de S à l'aide d'un milieu réducteur. Il se forme à partir des réactions de dissociation thermique des sulfures compliqués du cuivre et du fer. Dans la partie inférieure de la cuve, le SO dégagé de l'oxydation des sulfures de fer est réduit à l'aide de C et de CO selon les réactions suivantes:



En même temps une partie de S réagit avec C, CO et H₂O pour former des gaz de CS₂, COS et H₂S



Les gaz qui sortent du four, sont introduits dans un réacteur muni de catalyseur (Al(OH)₃ ou Al₂O₃)



Pour réaliser le processus d'obtention du soufre, le four à cuve doit avoir une hauteur suffisamment grande pour qu'il y est une zone de réduction de SO₂, et aussi le gueulard du four doit être fermé pour pouvoir récupérer les gaz formés (CS₂, CO et H₂S)

c/ Procédé semi-pyritique:

C'est le procédé de fusion, principalement utilisé pour le traitement des concentrés sulfurés de cuivre.

Les caractéristiques de ce procédé sont:

- La cuve du four est un milieu oxydant
- La chaleur de fusion provient de la combustion du coke, de l'oxydation des sulfures de Fer et de la formation du laitier. La quantité de coke représenté 6 à 12% de la charge du four.

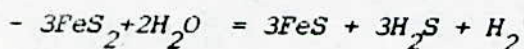
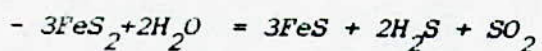
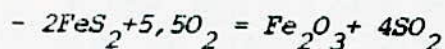
Comme la teneur en SiO_2 , Al_2O_3 et CaO est élevée, la densité du laitier est plus faible que celle dans le procédé pyritique par conséquent la teneur en Cu du laitier est plus faible aussi.

- FeS est oxydé à l'état liquide et solide, et l'oxydation du Fe se produit plus énergiquement par rapport à celle dans le procédé pyritique.

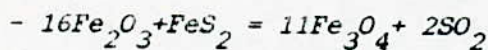
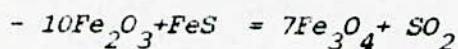
Les processus physico-chimiques qui se produisent dans ce procédé sont les suivants:

1/A La zone supérieur:

A cause de l'excès d'air, les sulfures dans cette zone sont oxydés à l'état solide selon les réaction suivantes:

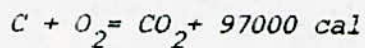


Le produit principal de l'oxydation dans cette zone est le Fe_3O_4 car quand il y a FeS et FeS_2 le Fe_3O_4 est réduit:

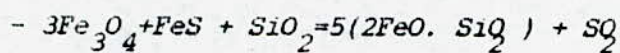


2/ A la zone des tuyères:

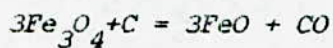
La réaction d'oxydation du coke se produit fortement :



Dans cette zone le Fe O est réduit et scorifier selon la réaction:



C'est la réaction qui caractérise le plus le procédé semi-pyritique. Le Fe O est réduit par le carbone du coke:



II.5 Rôle du four à cuve dans la métallurgie extractive du cuivre:

Les fours à cuve sont utilisés dans les cas suivants:

- Fusion des concentrés sulfurés mixtes Cu-Pb ou Cu- Zn pour obtenir deux métaux Cu et pb (Zn).

- Fusion d'une charge mixte des concentrés sulfurés et oxydés.

- Fusion des concentrés sulfurés riches en pyrite (FeS , pour l'obtention non seulement du cuivre mais aussi du soufre.

- Fusion des déchets cuivreux, pour la récupération des métaux utiles comme le Zn, Sn, Fe et aussi les métaux noble.

Dans ce cas le four est utilisé comme un appareil de réduction:

- Réduction du cuivre, de l'étain et de leurs oxydes.

- Réduction des oxydes de Pb et de Zn.

- Scorification des impuretés, en particulier le fer.

Quelques particularités du traitement des déchets:

- La charge se compose du laiton, des agglomérés, des poussières et des laitiers dans lesquels les métaux se trouvent à l'état oxydé.

Le coke représente 10-15% de la charge. La quantité de l'air est déterminée de façon à assurer un milieu faiblement réducteur dans le four.

- Le laitier est basique, avec 24-26% SiO_2 , 40-42% FeO , 8-10% CaO . Il contient beaucoup de zinc (8-18% ZnO).

- La température du gueulard est élevée car les gaz de Zn sont oxydés en dégageant beaucoup de chaleur.

Presque toute la quantité de cuivre est récupérée à l'état brut. Il y a environ 0,8-1,5% de Cu qui passe dans la scorie et 0,2 -0,4 % qui passent dans la poussière du four. 60-66% de Pb passe dans le Cu brut, le reste du plomb passe dans le laitier et dans la poussière, 54-60% de Sn passe dans le laitier, 40% de Sn passe dans le Cu brut et 2-4% de Sn passe dans le gaz et la poussière, 35-40% de Zn passe dans le Cu brut et 50% de Zn dans le laitier du four.

PARTIE CALICE

CHAPITRE — I —

- Calcul technologique du
grillage du concréte de Cuivre

1-COMPOSITION CHIMIQUE DU CONCENTRE:

Les calculs qui suivront correspondront à 100 Kg de la charge du concentré.

a-La composition chimique du concentré est:

% Cu	= 13,85,	% CaO	= 0,75
% Fe	= 33,15,	% MgO	= 0,85
% S	= 31,50,	% Al ₂ O ₃	= 1,35
% SiO ₂	= 14,40,	% reste	= 4,15

b-La composition minéralogique du concentré est:

Ce concentré Sulfuré est composé de la Chalcopryrite (CuFeS₂), de la pyrite (FeS₂) et de la pyrotine (Fe₇S₈) en plus de la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃), la magnésie (MgO) et de la chaux (CaO).

c - On suppose que toute la quantité du Cuivre se trouve dans la chalcopryrite (CuFeS₂). Le fer et le Soufre se trouvent dans la chalcopryrite (CuFeS₂), la pyrite (FeS₂) et la pyrotine (Fe₇S₈).

- Quantité du CuFeS₂:

Pour 100 Kg de concentré on a 13,85 Kg de Cu.
teneur en Cu du Concentré

$$\text{Donc } m_{\text{CuFeS}_2} = \frac{\text{teneur en Cu du Concentré}}{\text{teneur de CuFeS}_2 \text{ en Cu}}$$

$$= \frac{13,85}{63,5 / (63,5 + 56 + 32 \times 2)}$$

$$m_{\text{CuFeS}_2} = 40,02 \text{ Kg}$$

- Quantités de Fe et de S dans CuFeS₂:

$$\text{Fe: } x = m_{\text{CuFeS}_2} \times \text{teneur de CuFeS}_2 \text{ en Fe}$$

$$= 40,02 \times 56$$

$$\frac{63,5 + 56 + 32 \times 2}{\text{-----}}$$

$$\text{Fe : } x = 12,21 \text{ Kg}$$

$$\text{S : } y = m_{\text{CuFeS}_2} \times \text{teneur de CuFeS}_2 \text{ en S.}$$

$$= 40,02 \times 2 \times 32$$

$$\frac{63,5 + 56 + 32 \times 2}{\text{-----}}$$

$$\text{S : } y = 13,96 \text{ Kg.}$$

- Quantités de Fe et de S dans FeS2 et Fe7S8:

$$\begin{aligned} \text{Fe: } \% \text{Fe-x} &= 33,15-12,21(\% \text{Fe-teneur du concentré en Fe}) \\ &= 20,94 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{S: } \% \text{S-y} &= 31,50-13,96; (\% \text{S-teneur du concentré en S}). \\ &= 17,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Soient x1 et x2 respectivement les quantités de Fe se trouvant dans FeS2 et Fe7S8, et soient aussi y1 et y2 respectivement les quantités de S se trouvant dans FeS2 et Fe7S8.

Donc on obtient les équations suivantes:

$$\begin{aligned} x1 + x2 &= 20,94 \quad (1) \\ y1 + y2 &= 17,54 \quad (2) \end{aligned}$$

avec:-

$$\begin{aligned} x1 &= m\text{FeS2} \quad \times \text{teneur en Fe de FeS2} \quad (3) \\ x2 &= m\text{Fe7S8} \quad \times \text{teneur en Fe de Fe7S8} \quad (4) \\ y1 &= m\text{FeS2} \quad \times \text{teneur en S de FeS2} \quad (5) \\ y2 &= m\text{Fe7S8} \quad \times \text{teneur en S de Fe7S8} \quad (6) \end{aligned}$$

où:

mFeS2-quantité de FeS2 pour 100Kg de concentré.
mFe7S8-quantité de Fe7S8 pour 100 Kg de concentré.

Pour les six (6) inconnus suivants x1, y1, x2, y2, mFeS2, mFe7S8 correspondent les six (6) équations trouvées. Alors on peut facilement résoudre ces dernières.

de (3) et (5) on a:-

$$\frac{x1 \text{ teneur en Fe de FeS2}}{y1 \text{ teneur en S de FeS2}}$$

$$\frac{x1}{y1} = \frac{56}{56+2 \times 32} \times \frac{56+2 \times 32}{2 \times 32} = \frac{56}{2 \times 32}$$

$$x1 = \frac{56}{64} y1$$

de (4) et (6) on a :-

$$\frac{x2 \text{ teneur en Fe de Fe7S8}}{y2 \text{ teneur de Fe7S8 en S}}$$

de même que (7) on tire $x_2 = \frac{7 \times 56}{8 \times 32} y_2$ (8)

En injectant (7) dans (2) on a :

$$17,52 = \frac{2 \times 32}{56} x_1 + y_2 \quad (9)$$

Aussi en injectant (8) dans (2) on a :

$$20,94 = x_1 + \frac{7 \times 56}{8 \times 32} y_2 \quad (10)$$

de (9) on tire: $y_2 = 17,52 - \frac{64}{56} x_1$ (11)

que l'on remplace dans (10):

$$20,94 = x_1 + \frac{7 \times 56}{8 \times 32} \left(17,52 - \frac{64}{56} x_1 \right)$$

d'où on tire: $x_1 = 7,89 \text{ Kg}$,

donc, de (1) $x_2 = 13,05 \text{ Kg}$,

de (8) $y_2 = 8,52 \text{ Kg}$.

et de (2) $y_1 = 9,02 \text{ Kg}$.

Tous les résultats trouvés seront représentés au tableau 1.

Tableau 1:
Composition du concentré Sulfuré et quantités des Composants (pour 100 Kg de concentré):

Eléments Composants	Cu	Fe	S	SiO ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Autres	Total
CuFeS ₂	13,85	12,21	13,96	-	-	-	-	-	40,02
FeS ₂	-	7,89	9,02	-	-	-	-	-	16,91
Fe ₇ S ₈	-	13,05	8,52	-	-	-	-	-	21,57
SiO ₂	-	-	-	14,40	-	-	-	-	14,40
MgO	-	-	-	-	0,85	-	-	-	0,85
CaO	-	-	-	-	-	0,75	-	-	0,75
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	1,35	-	1,35
Autres	-	-	-	-	-	-	-	4,15	4,15
Total	13,85	33,15	31,50	14,40	0,85	0,75	1,35	4,15	100,00

2. Composition et quantité de la matte Cuivreuse (Pour 100 Kg de concentré):

A partir de la teneur de la matte en Cuivre, on peut déterminer la composition de la matte cuivreuse selon des données pratiques [14] (Composition de la matte cuivreuse en fonction de sa teneur en Cuivre).

a - La teneur en Cuivre de la matte cuivreuse industrielle varie de 20 à 40 %. On peut choisir la teneur en Cuivre de la matte $Cu=30\%$ (à cause de la teneur en cuivre du concentré qui est relativement faible 13,85%).

b - On donne les rendements d'extraction du Cuivre du grillage et aussi du four à cuve, et qui sont respectivement:

$$\begin{aligned} r_g &= 99,5 - 99,7 \% [1] \\ \text{et } r_f &= 94 - 96 \% [1] \end{aligned}$$

c - Alors la quantité du Cuivre qui passe dans la matte est de:

$$\begin{aligned} Cu \text{ matte} &= 13,85 \times r_g \times r_f \\ &= 13,85 \times 0,996 \times 0,95 = 13,10 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

donc la quantité de la matte sera:

$$m = 13,10 / 0,30 = 43,67 \text{ Kg.}$$

Tableau 2:

Quantité et composition de la matte Cuivreuse
(Pour 100 Kg de concentré).

Éléments Grandeurs	Cu	Fe	S	O ₂	Total
Composition	30,00	41,00	24,80	4,20	100,00
Masse (Kg)	13,10	17,90	10,83	1,84	43,67

3-Quantité nécessaire des fondants et des produits agglomérés à recycler (pour 100 Kg de concentré):

Dans la pratique de la fusion pour matte dans un four à cuve, on introduit des fondants (quartz et roche clacaire) dans la charge à agglomérer. Cela permet d'augmenter la production du four à Cuve.

En plus du concentré et des fondants, la charge à agglomérer se compose des produits agglomérés fins qui vont être réutilisés. Ces produits fins non seulement il est nécessaire de les recyclés à cause de leur granulométrie très fine mais aussi à cause de leur faible teneur en Soufre.

a) Composition et quantité de la scorie du convertisseur (pour 100 Kg de concentré):

Dans la métallurgie du Cuivre par voie sèche (pyrometallurgie) on fait repasser toute la scorie du convertisseur au four à Cuve, afin de récupérer le Cu et aussi pour bien exploiter les fondants (l'oxyde de Fer et la Scilice).

Pour pouvoir calculer la quantité de la scorie du convertisseur on suppose que toute la quantité de Fer existante dans la matte passe à la scorie du convertisseur. Aussi des données statistiques des usines, nous donne la composition de cette scorie que l'on représente dans le tableau 3. [14].

Tableau 3:

Composition pratique de la scorie du convertisseur:

Eléments	SiO ₂	FeO	Fe ₃ O ₄	Cu	S	MgO	Al ₂ O ₃	CaO
Pourcentage massique (%)	22-28	40-50	12-15	1,5-3	1-2	0,3-0,5	1-5	1-5

- Pour choisir, on prend la composition suivante de la scorie du convertisseur:

SiO₂ = 28%, S = 2%, CaO = 5%
 FeO = 43%, Cu = 2%, Al₂O₃ = 3,6%
 Fe₃O₄ = 15%, MgO = 0,4%, autres = 1%.

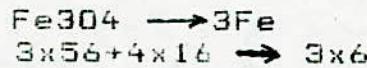
- Pour déterminer la quantité de la scorie du convertisseur correspondant à 100 Kg de concentré, on doit avoir la teneur en Fe de cette dernière.

La scorie du convertisseur contient du FeO et du Fe₃O₄ donc, on doit trouver la teneur de Fe dans FeO et aussi dans Fe₃O₄.

% Fe dans FeO:
 FeO → Fe
 56+16 → 56

$$43\% \rightarrow x\% = \frac{43\% \times 56}{56+16} = 33,44\%$$

% Fe dans Fe3O4:



$$15\% \rightarrow y\% = \frac{15\% \times 3 \times 56}{3 \times 56 + 4 \times 16} = 10,86\%$$

%Fe dans la scorie du convertisseur sera:

$$\text{Fe}\% = x\% + y\%$$

$$\text{Fe}\% = 10,86 + 33,44$$

$$\text{Fe}\% = 44,30\%$$

Donc la quantité de la scorie du convertisseur sera:

$$X = \text{Fe} / \text{Fe}\% = 17,90 / 44,30 = 40,41 \text{ Kg.}$$

D'après sa composition, on peut déterminer la quantité des composants de la scorie du convertisseur:

SiO ₂	=	0,28	X	40,41	=	11,31 Kg		
Fe	=	0,443	X	40,41	=	17,90 Kg		
S	=	0,024	X	40,41	=	0,81 Kg		
MgO	=	0,004	X	40,41	=	0,16 Kg		
CaO	=	0,05	X	40,41	=	2,02 Kg		
Cu	=	0,02	X	40,41	=	0,81 Kg		
Al ₂ O ₃	=	0,036	X	40,41	=	1,45 Kg		
O ₂	=	(0,43+0,15)	X	40,41	-	17,90	=	5,54Kg
Autres	=	0,01	X	40,41	=	0,4Kg		

Aussi on suppose que 90% du Cuivre existant dans la scorie du convertisseur passe à la matte. Donc la quantité de la matte devient:

M=m+m1; m=43,67Kg et m1= quantité de la matte provenant de la scorie du convertisseur.

$$m' = \frac{X\% \text{Cu} \times 0,9 \quad 40,41 \times 0,02 \times 0,9}{\% \text{Tcu} \quad 0,30} \quad \% \text{Cu} = *$$

* teneur de Cu dans la scorie du convertisseur.

D'après la composition de la matte du tableau 2, les quantités des composants de la matte deviendront:

$$\text{Cu} = 0,300 \times 46,09 = 13,83 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Fe} &= 0,410 \times 46,09 = 18,90 \text{ Kg} \\ \text{S} &= 0,248 \times 46,09 = 11,43 \text{ Kg} \\ \text{O}_2 &= 0,042 \times 46,09 = 1,94 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

Tableau 4:

Bilan matière du four à cuivre sans les fondants, Kg
(Pour 100 Kg de concentré).

Produits Eléments	ENTREES , Kg		TOTAL, Kg	SORTIES , Kg		
	conc- entré	sc. du convert.		Matte	sc. du four	gaz
Cu	13,85	0,81	14,66	13,83	0,83	-
Fe	33,15	17,90	51,05	18,90	32,15	-
S	31,50	0,81	32,31	11,43	1,12*	19,76
O ₂	-	5,54	5,54	1,94	3,60	-
SiO ₂	14,40	11,31	25,71	-	25,71	-
CaO	0,75	2,02	2,77	-	2,77	-
MgO	0,85	0,16	1,01	-	1,01	-
Al ₂ O ₃	1,35	1,45	2,80	-	2,80	-
Autres	4,15	0,40	4,55	-	4,55	-
TOTAL	100,00	40,40	140,40	46,10	74,54	19,76

* Selon des données pratiques la teneur en Soufre de la scorie du four varie de à 2 %, on prendra %S = 1,5.

Du tableau 4, on determine la composition en fondants de la scorie du four à Cuivre:

$$\text{Fe \%} = \frac{32,15}{74,54} \times 100 = 43,13$$

$$\text{FeO\%} = \frac{56 + 16}{56} \times 43,13 = 55,45$$

Donc la scorie du four sera composée de:-

$$\begin{aligned} \text{FeO} &= 55,45\% \\ \text{SiO}_2 &= (25,71 \times 100) / 74,54 = 34,49\% \\ \text{CaO} &= (2,77 \times 100) / 74,54 = 3,72\% \end{aligned}$$

Dans la pratique, une scorie industrielle d'un four à cuve qui possède une température de fusion et une viscosité convenables, a une composition qui varie comme suit; % massique:- [5]

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= 30 \text{ à } 42\% \\ \text{FeO} &= 22 \text{ à } 53\% \\ \text{CaO} &= 8 \text{ à } 15\% \\ \text{S} &= 1 \text{ à } 2\% \end{aligned}$$

En comparant les deux types de scorie du four à cuve, celle obtenue sans l'utilisation de fondants et celle industrielle, on peut alors déterminer les quantités de fondants qu'on doit ajouter pour obtenir une scorie convenable à la pratique industrielle.

b/Quantité de Fondants (pour 100 Kg de concentré):

Donc on choisit une composition convenable de la scorie du four à cuve:

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= 35\% \\ \text{FeO} &= 45\% \\ \text{CaO} &= 15\% \end{aligned}$$

Du Tableau 4, on a les quantités de FeO, SiO₂ et CaO dans la scorie du four sans utilisation de fondants:

$$\begin{aligned} \text{FeO} &= 55,45 \times 74 \times 54 = 41,33 \text{ Kg.} \\ \text{SiO}_2 &= 25,71 \text{ Kg.} \\ \text{CaO} &= 2,77 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

- On designe par x et y les quantités, de quartz et de roche calcaire respectivement, nécessaires à introduire dans la charge à agglomérer pour obtenir la composition choisie de la scorie du four à cuve.

- Quantités des fondants provenant du Quartz, la composition du Quartz est:

SiO₂=93%, Fe₂O₃=2,86%, CaO=0,5%, Al₂O₃=1,5%

Fe₂O₃ se dissoci pendant la scorification en donnant:



donc la teneur du quartz en FeO sera:

$$\% \text{Fe} = 2,86 \times 2 \times (56+16) / (2 \times 56 + 3 \times 16)$$

$$\% \text{FeO} = 2,574$$

Alors les quantités des fondants seront:

$$\text{FeO} = 0,02574 \cdot x \text{ Kg}$$

$$\text{SiO}_2 = 0,93 \cdot x \text{ Kg}$$

$$\text{CaO} = 0,005 \cdot x \text{ Kg.}$$

De la même façon, on calcule les quantités de fondants provenant de la roche calcaire.

La composition de la roche calcaire est:

CaO= 54%, SiO₂=1,5%, Fe₂O₃=0,7%, Al₂O₃=0,5%.

$$\text{CO}_2 = 42,43\%.$$

Aussi en scorifiant, Fe₂O₃ donne:



$$\% \text{FeO} = 0,7 \times 2 \times (56+16) / (56 \times 2 + 16 \times 3).$$

Ainsi on obtient les quantités de fondants:

$$\text{FeO} = 0,63 \cdot y \text{ Kg}$$

$$\text{SiO}_2 = 0,015 \cdot y \text{ Kg}$$

$$\text{CaO} = 0,54 \cdot y \text{ Kg.}$$

Tableau 5:

Bilan matière de la scorie du four à cuve (pour 100 Kg de concentré).

Composition de la charge.	Masse (Kg)	SiO ₂		FeO		CaO	
		%	Kg	%	Kg	%	Kg
concentré et Scorie du convertisseur	140,40	34,49	25,71	55,45	41,33	3,72	2,77
Quartz	x	93	0,93x	2,574	0,02574x	0,5	0,005x
Roche calcaire	y	1,5	0,015y	0,63	0,0063y	54	0,54y

En se référant au tableau 5 et à la composition de la scorie du four à cuve qu'on a choisie, on peut établir les équations suivantes:

$$\begin{aligned} \text{FeO} &= 42,33 + 0,02574x + 0,0063y = 0,45xm \\ \text{SiO}_2 &= 25,71 + 0,93x + 0,015y = 0,35xm \\ \text{CaO} &= 2,77 + 0,005x + 0,54y = 0,15m \end{aligned}$$

avec: m = quantité de la scorie du four correspondant à 100 Kg de concentré.

En divisant (1)/(2) et (1)/(3) on obtient:

$$\frac{\text{FeO}}{\text{SiO}_2} = \frac{41,33 + 0,02574x + 0,0063y}{25,71 + 0,93x + 0,015y} = \frac{0,45}{0,35} \quad (4)$$

$$\frac{\text{FeO}}{\text{CaO}} = \frac{41,33 + 0,0257x + 0,0063y}{2,77 + 0,005x + 0,54y} = \frac{0,45}{0,15} \quad (5)$$

La résolution du système à 2 équations (4) et (5) donne:

$$\begin{aligned} x &= 6,84 \text{ Kg} \\ y &= 20,51 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Donc on peut dire que pour 100 Kg de concentré, on ajoute 6,84 Kg de quartz et 20,51 Kg de roche calcaire.

C- Détermination de la quantité nécessaire des produits agglomérés recyclés:

Quantité de Soufre dans les produits agglomérés:

$$Ns = \frac{\text{Quantité de matte X\% dans la matte}}{1 - rs.}$$

rs: rendement de désulfuration du four à Cuve.

Le choix de rs est basé sur la teneur de la matte en Cuivre et aussi de la teneur en soufre du produit aggloméré.

Puisque la teneur en Cuivre de la matte est relativement basse on choisit un rs=30% bas aussi

$$M_s = \frac{46,10 \times 0,248}{1-0,30} = 16,33 \text{ Kg}$$

Quantité du concentré avec les fondants (pour 100 kg de concentré) est:

$$C = 100 + 6,84 + 20,51 = 127,35 \text{ Kg.}$$

On suppose qu'au cours de l'agglomération la charge diminue de 15 % à cause de la dissociation des sulfures CuFeS₂, FeS₂, Fe₇S₈ et du carbonate de calcium, etc...

Donc la quantité du produit aggloméré sera:

$$A = C \times 0,85 = 127,35 \times 0,85 = 108,25 \text{ Kg.}$$

La teneur en soufre du produit aggloméré sera:

$$S_a \% = \frac{M_s}{A} \times 100 = \frac{16,33}{108,25} \times 100 = 15,09\%$$

Dans la pratique, la teneur en soufre des produits à agglomérer (Sch%) varie de 18 à 25% [8]. Elle détermine la possibilité du processus autogène d'agglomération. On prendra donc Sch% = 21,5%.

Soit la quantité de la charge agglomérée à recycler. On peut déterminer x en faisant le bilan du Soufre (pour 100 Kg de la charge à agglomérer).

$$100 \cdot \frac{Sch\%}{100} = x \cdot \frac{S_a\%}{100} + (100-x) \cdot \frac{\%S}{C} \text{ dans le concentré}$$

avec: C = 127,35 Kg

$$100 \cdot 0,215 = 0,1509 \cdot x + (100-x) \cdot \frac{31,5}{127,35}$$

La solution de cette équation nous donne:

$$x = 33,56 \text{ Kg}$$

d - Rendement de dessulfuration de l'appareil d'agglomération:

- Quantité de la charge fraîche introduite dans

l'appareil d'agglomération:

$$Cf = 100 - x$$

$$Cf = 100 - 33,56 = 66,44 \text{ Kg.}$$

- Quantité des produits agglomérés formés de la charge fraîche:

$$Af = Cf \times 0,85 = 66,44 \times 0,85 = 56,47 \text{ Kg.}$$

- Quantité des produits agglomérés formés (pour 100 Kg de concentré):

$$Afx = Af + x = 56,47 + 33,56 = 90,03 \text{ Kg}$$

- Quantité de S dans les produits agglomérés:

$$Qs = Afx \times \frac{S_a\%}{100} = 90,03 \times 0,1509 = 13,59 \text{ Kg}$$

Donc le rendement de désulfuration de l'appareil d'agglomération sera:

$$rsa = \frac{100 \times 0,215 - 13,59}{100 \times 0,215} \times 100 = 36,79\%$$

$$rsa = 36,79\%.$$

- Composition de la charge à agglomérer:

Pour 100 Kg de la charge à agglomérer, on détermine la quantité du concentré, des fondants et des produits agglomérés à recycler.

+ Quantité du concentré dans la charge:

$$Qc = Cf \times \frac{100}{C} = 66,44 \times \frac{100}{127,35}$$

$$Qc = 52,17 \text{ Kg}$$

avec:-

Cf: quantité de la charge fraîche

C : quantité du concentré et des fondants (pour 100 Kg de concentré).

+ Quantité du Quartz dans la charge:

$$Qq = qq \times Cf / C = 6,84 \times \frac{66,44}{127,35}$$

$Qq = 3,57 \text{ Kg}$ avec $qq =$ quantité du Quartz pour 100 Kg de concentré; $qq = 6,84 \text{ Kg.}$

- Quantité de la roche calcaire dans la charge:

$$C_f = 20,51 \times 66,44$$

$$q_{cal} = Q_{cal} \times C = \frac{20,51 \times 66,44}{100} = 10,70 \text{ Kg}$$

$$C = 127,35$$

Q_{cal} = Quantité de la roche calcaire correspondant à 100 Kg de concentré; $Q_{cal} = 20,51 \text{ Kg}$.

* Ces calculs sont représentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 6:

Composition de la charge fraîche à agglomérer.

Composants Composi- tion	CuFeS ₂	FeS ₂	Fe ₇ S ₈	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Divers	Total
Concentré %	40,02	16,91	21,57	14,40	0,75	0,85	1,35	--	4,15	100,0
Kg	20,88	8,82	11,25	7,51	0,39	0,44	0,70	--	2,17	52,1
Quartz %	--	--	--	93,00	0,50	--	1,50	2,86	2,14	100,0
Kg	--	--	--	3,32	0,02	--	0,05	0,10	0,08	3,57
Roche calcaire %	--	--	--	1,50	54,00	--	0,50	0,70	43,30*	100,0
Kg	--	--	--	0,16	5,78	--	0,05	0,07	4,63	10,7
Total, Kg	20,88	8,82	11,25	10,99	6,19	0,44	0,80	0,17	6,88	66,44

* on y introduit la quantité de CO₂ contenu dans la roche calcaire. Le tableau 6 est établi en se basant sur les calculs du tableau 1, des compositions données des fondants, de la quantité et composition du concentré, des quantités (C_c, Q_q, Q_{cal}).

Ce tableau sert à déterminer ultérieurement la composition des produits agglomérés.

4 - Composition Chimique des produits grillés:

Au cours du grillage, les sulfures du Cuivre et du Fer se dissocient. En même temps, une partie des

- Quantité de S éliminée et passant aux gaz:
 $M_{S \times 11,25} \quad 32 \times 11,25$
 $m_{3S} = \frac{M_{S \times 11,25}}{M_{Fe758}} = \frac{32 \times 11,25}{648} = 0,56 \text{ Kg}$

Ainsi la quantité de S éliminée par la dissociation thermique:

$$SD = m_{1S} + m_{2S} + m_{3S} = 1,82 + 2,35 + 0,56 = 4,73 \text{ Kg,}$$

et la quantité de FeS formée par la dissociation thermique:

$$Q_{FeS} = m_{1FeS} + m_{2FeS} + m_{3FeS} = 10,01 + 6,47 + 10,69 = 27,17 \text{ Kg}$$

d) Rendement de désulfuration de la charge fraîche (concentré+fondants):

Au paragraphes 3c, 3d précédents on a déterminé la teneur en soufre dans les produits agglomérés ($S_a\% = 15,09$) et la quantité des produits agglomérés formés de la charge fraîche ($A_f = 56,47 \text{ Kg}$).

Donc, la quantité du soufre contenue dans les produits agglomérés formés de la charge fraîche sera:

$$Q_{saf} = A_f \cdot S_a\% / 100 = 56,47 \cdot 0,1509 = 8,52 \text{ Kg}$$

* La teneur en S dans la charge fraîche est déterminée par la relation suivante:

$$S_f\% = \frac{\%S \text{ dans le concentré}}{C} \times 100$$

Où: % S dans le concentré est égal à 31,5 % (donnée).

C - Quantité du concentré + les fondants.
C = 127,35 Kg (voir paragraphe 3C.)

$$\text{Donc on a: } S_f\% = \frac{31,50}{127,35} \times 100 = 24,73\%$$

* La quantité de Soufre contenue dans la charge fraîche sera:

$$Q_{sF} = C_f \cdot S_f\% / 100 = 66,44 \cdot 0,2473 = 16,43 \text{ Kg}$$

avec: Cf: - quantité de la charge fraîche (voir parag. 3e).

* Le rendement de désulfuration de la charge fraîche sera:

$$r_{sf} = \frac{Q_{sF} - Q_{saF}}{Q_{sF}} \cdot 100$$

$$= \frac{16,43 - 8,52}{16,43} \cdot 100 = 48,14\%$$

* La quantité de Soufre éliminée au cours de l'agglomération sera donc:

$$Q_{SE} = Q_{sF} - Q_{saF}$$

$$= 16,43 - 8,52 = 7,91 \text{ Kg.}$$

Cette quantité de soufre provient de 2 parties:

- La dissociation thermique (SD=4,73Kg)
- L'oxydation de FeS (So)

Ainsi on peut déterminer la quantité de soufre éliminée par l'oxydation du FeS qui est:

$$S_o = Q_{SE} - SD;$$

$$= 7,91 - 4,73 = 3,18 \text{ Kg.}$$

En sachant la quantité du Soufre éliminée par l'oxydation du Sulfure de Fer (FeS), on peut déterminer la quantité du FeS oxydé:

$$FeSO = \frac{S_o}{MS} \cdot M_{FeS} + \frac{3,18 \cdot 88}{32} = 8,75 \text{ Kg}$$

Donc, la quantité de FeS restée dans les produits agglomérés sera:

$$FeSA = Q_{FeS} - FeSO$$

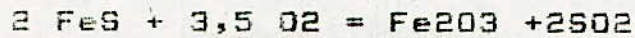
$$= 27,17 - 8,75 = 18,42 \text{ Kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} Fe = 11,72 \text{ Kg} \\ S = 6,70 \text{ Kg} \end{array} \right\}$$

e) Oxydation de FeS:

La pratique de l'agglomération des concentrés de Cuivre montre qu'au cours du grillage, environ la moitié de la quantité de FeS est oxydée en donnant de l'hématite (Fe₂O₃) et l'autre moitié s'oxyde en donnant de la magnétite (Fe₃O₄) donc on a: [1]

- La quantité de FeS oxydée jusqu'à Fe₂O₃ est FeSO/2, avec la réaction d'oxydation suivante:



Quantité de Fe_2O_3 formée est restée dans les produits agglomérés sera:

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{\text{MFe}_2\text{O}_3 \times \text{FeSO}/2}{2\text{MFeS}}$$
$$= \frac{160 \times 8,75/2}{2 \times 88} = 3,97 \text{ Kg} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Fe} = 2,78 \text{ Kg} \\ \text{O}_2 = 1,19 \text{ Kg} \end{array} \right.$$

- La quantité de FeS oxydée jusqu'à Fe_3O_4 est aussi $\text{FeSO}/2$ avec la réaction d'oxydation suivante:



Quantité de Fe_3O_4 formée et restée dans les produits agglomérés sera:

$$\text{Fe}_3\text{O}_4 = \frac{\text{MFe}_3\text{O}_4 \times \text{FeSO}/2}{3\text{MFeS}}$$
$$= \frac{232 \times 8,75/2}{3 \times 88} = 3,84 \text{ Kg} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Fe} = 2,78 \text{ Kg} \\ \text{O}_2 = 1,06 \text{ Kg} \end{array} \right.$$

Les résultats du paragraphe 4 sont présentés dans le tableau 7 avec la composition chimique des produits agglomérés.

Tableau 7:

Composition chimique des produits agglomérés:

Eléments Composants	Cu	Fe	S	O ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Divers	total	%
Cu ₂ S	7,23	-	1,82	-	-	-	-	-	-	-	9,05	16,10
FeS	-	11,72	6,70	-	-	-	-	-	-	-	18,42	32,77
Fe ₂ O ₃	-	2,78	-	1,19	0,17*	-	-	-	-	-	4,14	7,37
Fe ₃ O ₄	-	2,78	-	1,06	-	-	-	-	-	-	3,84	6,83
CaO	-	-	-	-	-	6,19	-	-	-	-	6,19	11,01
SiO ₂	-	-	-	-	-	-	10,99	-	-	-	10,99	19,55
MgO	-	-	-	-	-	-	-	0,44	-	-	0,44	0,78
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	0,80	-	0,80	1,42
Divers	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,34**	2,34	4,17
Total, Kg	7,23	17,28	8,52	2,25	0,17	6,17	10,99	0,44	0,80	2,34	56,21	
%	12,86	30,74	15,16	4,00	0,31	11,01	19,55	0,78	1,42	4,17		100,00

* C'est la quantité de Fe₂O₃ contenue dans les fondants (Tableau 6).

** Ce résultat est égale à la différence entre la masse des divers contenue dans la charge fraîche et la masse du CO₂ contenue dans la roche calcaire.

CHAPITRE

— I —

— Calcul technologique de la
fusion pour matée Cuivreuse

On calculera pour 100 Kg des produits agglomérés. On doit déterminer la quantité de la matte, du laitier du convertisseur, de l'air insufflé et du coke. A la fin on établira le bilan matière du four à cuve.

1-Quantité de la matte cuivreuse et du laitier du convertisseur:

Du tableau 7, on a la teneur en Cu de l'aggloméré qui est de 13,37%.

On a aussi le rendement d'extraction du Cu à la matte [1] qui est de $R_f = 0,95$. Donc on peut déterminer la quantité de Cu qui passe à la matte:-

$$m_{Cu} = 12,86 \times 0,95 = 12,22 \text{ Kg}$$

Ainsi la quantité de la matte cuivreuse sera:-

$$m'_{m} = \frac{m_{Cu}}{\%T_{Cu}} = \frac{12,22}{0,30} = 40,73 \text{ Kg}; T_{Cu} = 30\%$$

(parag.2b, chapit. I, partie Calcul).

Selon le tableau 2, la teneur en Fe dans la matte est de 41%, donc la quantité de Fe dans la matte sera:

$$m_{Fe} = 40,73 \times 0,41 = 16,70 \text{ Kg.}$$

Cette quantité de Fer passe la scorie du convertisseur. En même temps on connaît la teneur en Fer de la scorie du convertisseur qui est de $Fe\% = 44,27\%$ (Chap. précédent, parag.3a)

Donc la quantité de la scorie du convertisseur sera:

$$m_{lc} = \frac{m_{Fe}}{Fe\%} = \frac{16,70}{0,4427} = 37,72 \text{ Kg}$$

A partir de la quantité de la scorie du convertisseur et de la composition de cette dernière choisie (Chap. précédent, parag.3a), on établit le tableau 8 suivant:-

Tableau 8: Composition et quantité de la scorie du convertisseur (pour 100 Kg d'aggloméré)..

Composants Grandeurs	Cu	Fe	S	O ₂	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Divers	Total
Pourcentage, %	2,00	44,27	2,00	13,73	5,00	28,00	0,40	3,60	1,00	100,00
Masse, Kg	0,75	16,70	0,75	5,18	1,89	10,56	0,15	1,36	0,38	37,72

(*) Pourcentage de L'O₂ est déterminé à partir des teneurs de FeO et de Fe₃O₄ dans le laitier du convertisseur.

Comme il y a 90% de la quantité du cuivre du laitier du convertisseur qui passe à la matte cuivreuse (Chap. précédent parag. 3a) la quantité de matte cuivreuse formée à partir de la récupération du cuivre de la scorie du convertisseur sera:-

$$m''m = \frac{m_{\text{Cu dans la scorie du convertisseur}} \times 90}{T_{\text{Cu}}}$$

$$= \frac{0,75 \times 90}{30}$$

$$= 2,25 \text{ Kg}$$

Ainsi la quantité totale de la matte cuivreuse obtenue sera:

$$\begin{aligned} m_{\text{m}} &= m'm + m''m \\ &= 40,73 + 2,25 = 42,98 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Tableau 7:

Composition et quantité de la matte cuivreuse (pour 100 Kg d'aggloméré).

<i>Elements</i> <i>Grandeurs</i>	Cu	Fe	S	O ₂	Total
Composition, %	30,00	41,00	24,80	4,20	100,00
Masse, Kg	12,89	17,62	10,66	1,81	42,98

2/ Composition chimique du Coke:-

D'abord on détermine la composition chimique du Coke d'après les données qui sont (composition du coke et de la cendre). Composition du coke (donnée) en %:-

$$\begin{aligned} \text{C} &= 84, & \text{H}_2\text{O} &= 0,5 \\ \text{H}_2 &= 0,5, & \text{divers} &= 1 \\ \text{S} &= 1, & \text{Cendre} &= 12 \\ \text{O}_2 &= 1, \end{aligned}$$

Composition donnée de la cendre, %:-

SiO₂=50, CaO=10, Al₂O₃=20, Fe₂O₃=15, divers=5.

Donc la composition chimique finale du coke sera, %:

C=84, Divers=1x12x0,05=1,60
H₂=0,5, SiO₂=12x0,5=6,00
S=1, CaO=12x0,1=1,20
O₂=1, Al₂O₃=12x0,2+1,80
H₂O=0,5

- La quantité du coke dans ce cas là est déterminée à partir du bilan thermique du four à cuve.

- On désigne par x(Kg) la quantité nécessaire du coke correspondant à 100 Kg d'aggloméré.

Alors, à partir des tableaux 7, 8 et 9, aussi à partir de la composition chimique du coke on établit le tableau du bilan matière du four à cuve de la fusion pour matte sans tenir compte ni de la quantité d'air insufflée ni de la quantité de poussière dans les gaz du gueulard.

Pour cela on suppose que toute la quantité de soufre contenue dans le coke passe à la scorie du four à cuve et que la teneur en soufre dans le laitier soit de 1,5% (Tableau 10).

3-Quantité d'air à insuffler.

La détermination de la quantité d'air dépend de la détermination de la quantité d'oxygène nécessaire pour l'oxydation du carbone, du soufre et de l'hydrogène, aussi pour la dissolution dans la matte sous forme de (Fe₃O₄) et pour l'oxydation du fer contenu dans le laitier, que l'on suppose sous forme de fayalite (2FeO. SiO₂)

a/ Quantité d'O₂ nécessaire à l'oxydation du carbone:

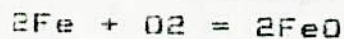


$$\left. \begin{array}{l} 12 \quad 32 \\ 0,84x \quad y' \end{array} \right\} y' = \frac{32 \times 0,84x}{12} = 2,24x, \text{Kg}$$

b/ Quantité d'O₂ nécessaire à l'oxydation du soufre:



d/ Quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation du Fer:-



$$112 \quad \begin{array}{l} \xrightarrow{32} \\ \xrightarrow{32} \end{array} y'''' = \frac{32 \times (29,82 + 0,013 \times)}{112}$$

$$29,82 + 0,013 \times y'''' = (8,52 + 0,0037 \times), \text{Kg.}$$

2/ Quantité d'oxygène dans la matte cuivreuse:

$$m\text{O}_2 = 1,81 \text{Kg}$$

Donc, la quantité d'oxygène nécessaire théorique sera:

$$\begin{aligned} m^{\circ}\text{O}_2 &= y' + y'' + y'''' + m\text{O}_2 \\ &= 2,24 \times + 3,89 + 0,04 \times + (8,52 + 0,0037) + 1,81 \\ m^{\circ}\text{O}_2 &= (14,22 + 2,2837 \times), \text{Kg.} \end{aligned}$$

Mais dans la charge il y a une quantité disponible d'oxygène, qui est de $(9,18 + 0,015 \times)$ (voir tableau 10), donc, la quantité d'oxygène théorique nécessaire provenant de l'air sera:

$$\begin{aligned} m^{\circ}\text{O}_2 &= m^{\circ}\text{O}_2 - (9,18 + 0,015 \times) \text{Kg.} \\ &= 14,22 + 2,2837 \times - (9,18 + 0,015 \times) \\ &= (5,04 + 2,2687 \times), \text{Kg} \end{aligned}$$

Dans la pratique industrielle, on utilise généralement un coefficient d'excès d'air égal à 2 [6], donc la quantité d'air (pratique) nécessaire au four à cuve sera:

$$m_{\text{air}} = \frac{m^{\circ}\text{O}_2}{0,23} = \frac{(5,04 + 2,2687 \times)}{0,23} \times 2 = (43,83 + 19,73 \times) \text{Kg.}$$

Comme la densité de l'air est de 1,29 Kg/Nm³ [6-8], le volume d'air sera:

$$V_{\text{air}} = \frac{43,83 + 19,73 \times}{1,293} = (33,90 + 15,26 \times) \text{Nm}^3.$$

La quantité d'Azote sera:

$$\begin{aligned} m\text{N}_2 &= (43,83 + 19,73 \times) - 2 \times (5,04 + 2,2687 \times) \\ &= (33,75 + 15,1926 \times), \text{Kg} \end{aligned}$$

A 25 °C, la quantité de l'humidité (H₂O) est de 26g/Nm³ [8] donc la quantité de H₂O dans l'air sera:

$$m\text{H}_2\text{O} = \frac{V_{\text{air}} \times 26}{1000} = \frac{(33,90 + 15,26 \times) \times 26}{1000} = (0,88 + 0,3968 \times) \text{Kg.}$$

4- Bilan matière du four à cuve:

D'après le tableau 10 et les résultats de calcul de l'air, on va établir le tableau 11, en supposant que la perte solide dans la poussière soit de 2% par rapport à la masse correspondante de l'aggloméré. [1,8]

Tableau 11:

Bilan matière du four à Cuve en fonction de la quantité du Coke (x) (Pour 100 Kg d'aggloméré).

	ENTRÉE, Kg			TOTAL, Kg	SORTIES, Kg			
	AGGLO-MÉRÉ	SCORIE DU CONVER	COKE		AIR	MATTE	LAITIER	GAZ
Cu	12,86	0,75	--	13,69	12,89	0,46	--	0,26
Fe	30,74	16,70	0,013x	47,44+0,013x	17,62	29,21+0,013x	--	0,61
S	15,16	0,75	0,010x	15,91+0,010x	10,66	1,36+0,010x	3,89	--
O2	4,00	5,18	0,015x	19,26+4,5524x	1,81	7,37+0,015x	10,08+4,5374x	--
CaO	11,01	1,89	0,012x	12,90+0,012x	--	12,68+0,012x	--	0,22
SiO2	19,55	10,56	0,060x	30,11+0,060x	--	29,72+0,060x	--	0,39
MgO	0,78	0,15	--	0,93	--	0,91	--	0,02
Al2O3	1,42	1,36	0,024x	2,78+0,024x	--	2,75+0,024x	--	0,03
Fe2O3	0,31	--	--	0,31	--	0,30	--	0,01
C	--	--	0,84x	0,84x	--	--	0,84	--
H2	--	--	0,005x	0,005x	--	--	0,005x	--
H2O	--	--	0,005x	0,88+0,3968x	--	--	0,88+0,4018x	--
N2	--	--	--	33,75+15,1926x	--	--	33,75+15,1926x	--
DIVERS	4,17	0,38	0,016x	4,55+0,016x	--	4,47+0,016x	--	0,08
TOTAL	100,00	37,72	x	182,43+21,1268x	42,98	89,23+0,15x	48,60+20,9768x	1,62

5/ Bilan thermique du four à cuve et quantité nécessaire du coke:

a/ Chaleurs positives - On calculera pour 100 Kg d'aggloméré.

Chaleur sensible de l'air:

On suppose que la température de l'air insufflé soit de 25°C.

La chaleur calorifique de l'air à 25°C est de $Cp1 = 0,25 \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C}$ [14].

La quantité de l'air humide:

$$M1 = 43,83 + 20,1268x \text{ (voir tableau 11)}$$

Donc la chaleur sensible de l'air sera:

$$\begin{aligned} Q1 &= M1 \cdot Cp1 \cdot DT \\ &= 0,235x (43,83 + 20,1268x) \cdot 25 \\ Q1 &= 257,50 + 118,24x, \text{ Kcal} \end{aligned}$$

- Chaleur sensible de la charge:

On suppose que la température de la charge soit de 20°C, donc la chaleur calorifique de la charge est de $Cp2 = 0,20 \text{ Kcal/kg. } ^\circ\text{C}$. [14].

Quantité de la charge
 $M2 = 100 + 37,72 = 137,72 \text{ Kg}$ (voir tableau 11)

La chaleur sensible de la charge, donc sera:

$$\begin{aligned} Q2 &= M2 \cdot Cp2 \cdot Dt \\ &= 0,20 \cdot 137,72 \cdot 20 \\ Q2 &= 550,88 \text{ Kcal.} \end{aligned}$$

Chaleur sensible du Coke:

A la température 20°C, la chaleur calorifique du coke $Cp3 = 0,139 \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C}$ [14].

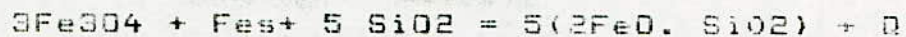
La quantité du coke est de x (voir tableau 11).

Donc la chaleur sensible du coke sera:

$$\begin{aligned} Q3 &= M3 \cdot Cp3 \cdot DT \\ &= 0,139 \cdot x \cdot 20 \\ Q3 &= 2,78x, \text{ Kcal} \end{aligned}$$

- Chaleur de formation du laitier:

La réaction de scorification dans le four à cuve dans notre cas est:



Selon cette réaction, la quantité de chaleur dégagée correspondante à 1 Kg de laitier formé sera 15 Kcal / Kg.

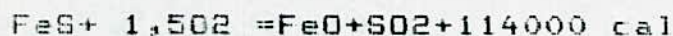
La quantité de laitier formée correspondante à 100 Kg de la charge d'agglomération est de $(88,23 + 0,15x)\text{Kg} = m_4$. (voir tableau 11).

Donc la quantité de chaleur dégagée par la scorification sera:

$$\begin{aligned} Q_4 &= 135 \cdot m_4 \\ &= 135 \cdot (89,23 + 0,15x) \\ &= (12046,05 + 20,25x), \text{Kcal} \end{aligned}$$

-Chaleur dégagée par l'oxydation du sulfure de fer:

Réaction de l'oxydation de FeS:



d'après le tableau 11, il y a 3,89 Kg de S dans la fumée sous forme de SO₂.

Donc la quantité de SO₂ formée par l'oxydation de FeS sera de 7,78 Kg

Donc la quantité de chaleur dégagée par l'oxydation du sulfure de fer sera:

$$Q_5 = 114000 \times 7,78 \times 1000 = 13858,13 \text{ Kcal}$$

-Chaleur de combustion du coke

Le pouvoir calorifique du coke est déterminé par la formule empirique suivante:

$$Q_i = 81 C^* + 264 H^* - 26 \cdot (O^* - S^*) - 6W^*, \text{Kcal/Kg} [14]$$

où: C^{*}, H^{*}, O^{*}, S^{*}, W^{*} sont les teneurs de coke en carbon, Hydrogène, Oxygène, Soufre, Humidité respectivement:

$$\begin{aligned} C &= 84\% \\ H &= 0,5\% \\ O &= S = 1\% \\ W &= 0,5\% \end{aligned}$$

$$\text{Donc } Q_i = 81,84 + 246 \cdot 0,5 - 26(1-1) - 6 \cdot 0,5$$

$$= 6924, \text{Kcal}$$

Ainsi la chaleur de combustion du coke sera:

$$Q_6 = Q_1 \times x$$
$$Q_6 = 6924x, \text{Kcal}$$

- La somme des chaleurs positives sera:

$$Q_{pT} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$
$$Q_{pT} = 257,50 + 118,24x + 550,88 + 2,78x + 12046,05$$
$$+ 20,25x + 13858,13 + 6924x$$

$$Q_{pT} = 26712,56 + 7065,27 \times \text{Kcal}$$

b/ Chaleurs négatives:

- Chaleur contenue dans la matte cuivreuse:

Selon des données pratiques, le pouvoir calorifique de la matte cuivreuse à 1200-1300°C est de 250 Kcal/Kg. [14]

La quantité de la matte d'après le tableau II est de:

$$m_1 = 42,98 \text{ Kg}$$

Donc la chaleur contenue dans la matte cuivreuse sera:

$$Q^*1 = m_1 \cdot 250$$

$$Q^*1 = 10745, \text{Kcal}$$

- Chaleur contenue dans le laitier:

Comme le pouvoir calorifique du laitier à 1200-1300°C est de 325 Kcal/Kg [14] et la quantité de laitier formée correspondant à 100 Kg de la charge agglomérée est de $m_2 = 89,83 + 0,15x$. (voir tableau II). La chaleur contenue dans le laitier sera donc:

$$Q^*2 = 325 \cdot m_2$$
$$Q^*2 = 325 \cdot (89,83 + 0,15x)$$
$$Q^*2 = (28999,75 + 48,75x), \text{Kcal}$$

- Chaleur perdue par l'eau à refroidir:

La différence de température d'entrée et de sortie de l'eau à refroidir est environ 20°C.

Le pouvoir calorifique de l'eau est environ 1 Kcal/l.°C. [14]

La quantité d'eau utilisée à refroidir dans la pratique est d'environ 0,7m³ pour 100 Kg de charge agglomérée.

Donc la chaleur perdue pour refroidir les parois du four sera:

$$Q'3 = 700 \cdot 20,1 = 14000 \text{ Kcal}$$

- Chaleur contenue dans les gaz du gueulard:

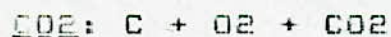
On suppose que la température des gaz sortants du four est de 500 °C.

Chaleurs calorifiques des constituants du gaz sortant du four:

On suppose que les gaz sortent du four à cuve à 500 C

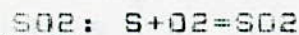
$$\begin{aligned}
&+C_p(\text{CO}_2) = 0,205 + 0,000046t, \text{Kcal/Kg. } ^\circ\text{C.} \\
&\text{donc, à } 500^\circ\text{C, } C_p(\text{CO}_2) = 0,228 \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C.} \\
&+C_p(\text{N}_2) = 0,241 + 0,000018t, \text{Kcal/Kg. } ^\circ\text{C} \\
&\text{donc à } 500, C_p(\text{N}_2) = 0,250 \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C} \\
&+C_p(\text{O}_2) = 0,211 + 0,0000156t \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C} \\
&\text{donc à } 500^\circ\text{C, } C_p(\text{O}_2) = 0,220 \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C} \\
&+C_p(\text{SO}_2) = 0,139 + 0,000031t, \text{Kcal/Kg. } ^\circ\text{C} \\
&\text{donc à } 500^\circ\text{C: } C_p(\text{SO}_2) = 0,155 \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C} \\
&+C_p(\text{H}_2\text{O}) = 0,463 + 0,000062t, \text{Kcal/Kg. } ^\circ\text{C} \\
&\text{donc à } 500^\circ\text{C: } C_p(\text{H}_2\text{O}) = 0,493 \text{ Kcal/Kg. } ^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

- Quantités de constituants de la fumée:



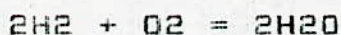
$$\left. \begin{array}{l} 12 \\ 0,84x \end{array} \right\} \begin{array}{l} 44 \\ m\text{CO}_2 \end{array} \left. \begin{array}{l} 0,84x \cdot 44 \\ 12 \end{array} \right\} m\text{CO}_2 = \frac{0,84x \cdot 44}{12} = 3,08x, \text{Kg}$$

avec 0,84x quantité de CO₂ dans le Coke (voir le tableau 11)



$$\left. \begin{array}{l} 32 \\ 3,89 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 64 \\ m\text{SO}_2 \end{array} \left. \begin{array}{l} 0,89x \cdot 64 \\ 32 \end{array} \right\} m\text{SO}_2 = \frac{0,89x \cdot 64}{32} = 7,78x \text{ Kg}$$

H₂O: quantité d'eau formée par l'oxydation de 1 H₂:



$$\left. \begin{array}{l} 4 \\ 0,005x \end{array} \right\} \begin{array}{l} 36 \\ m'\text{H}_2\text{O} \end{array} \left. \begin{array}{l} 0,005x \cdot 36 \\ 4 \end{array} \right\} m'\text{H}_2\text{O} = \frac{0,005x \cdot 36}{4} = 0,045x, \text{Kg.}$$

-Quantité de l'eau dans l'air:
 $m^{\text{H}_2\text{O}}=0,88+0,3968x$ (voir tableau 11)

-Quantité de l'eau dans le coke:
 $m^{\text{H}_2\text{O}}=0,005x$, Kg (voir tableau 11)

-Quantité totale d'eau dans la fumée du four sera:
 $m^{\text{H}_2\text{O}}=m^{\text{H}_2\text{O}}+m^{\text{H}_2\text{O}}+m^{\text{H}_2\text{O}}$
 $m^{\text{H}_2\text{O}}=0,045x+0,88+0,3968x+0,005x$
 $m^{\text{H}_2\text{O}}=(0,88+0,4468x)$ Kg

O₂ libre: La quantité d'oxygène libre est déterminée par la différence entre la quantité totale de l'Oxygène dans la fumée (voir tableau 11) et les quantités d'Oxygène nécessaires à l'oxydation du Carbone, du soufre et de l'Hydrogène (qui sont Y', Y'', Y''' voir parag. 3a, b, c chapitre précédent)

donc la quantité d'oxygène libre dans la fumée sera:

$$m^{\text{O}_2}=(10,08+4,5374x)-y'-y''-y'''$$
$$m^{\text{O}_2}=10,08+4,5374x-2,24x-3,89-0,04x$$
$$m^{\text{O}_2}=(6,19+2,2574x)$$
 Kg

N₂: La quantité d'Azote dans la fumée est donnée par le tableau 11:

$$m^{\text{N}_2}=(33,75+15,1926x)$$
 Kg

Donc la quantité de chaleur contenue dans la fumée est déterminée comme suit:

$$q^{\text{CO}_2}=C_p(\text{CO}_2) \cdot m^{\text{CO}_2} \cdot t = 0,228 \cdot 3,08x \cdot 500 = 351,12x$$
, Kcal

$$q^{\text{SO}_2}=C_p(\text{SO}_2) \cdot m^{\text{SO}_2} \cdot t = 0,155 \cdot 7,73 \cdot 500 = 602,95$$
 Kcal

$$q^{\text{H}_2\text{O}}=C_p(\text{H}_2\text{O}) \cdot m^{\text{H}_2\text{O}} \cdot t = 0,493 \cdot (0,88+0,4468x) \cdot 500$$
$$=(216,92+110,14x)$$
 Kcal

$$q^{\text{O}_2}=C_p(\text{O}_2) \cdot m^{\text{O}_2} \cdot t = 0,220 \cdot (6,19+2,2574x) \cdot 500$$
$$=(680,9+248,31x)$$
 Kcal

$$q^{\text{N}_2}=C_p(\text{N}_2) \cdot m^{\text{N}_2} \cdot t = 0,250 \cdot (33,75+15,1926) \cdot 500$$
$$=(4218,75+1899,08x)$$
 Kcal

$$Q^{\text{f}}=q^{\text{CO}_2}+q^{\text{SO}_2}+q^{\text{H}_2\text{O}}+q^{\text{O}_2}+q^{\text{N}_2}$$

$$Q^{\text{f}}=351,12x+602,95+216,92+110,14x+680,9+248,31x+4218,75+1899,08x$$

$$Q^{\text{f}}=(5719,55+2609,65x)$$
, Kcal

Chaleur perdue à travers les parois du four:

Selon des données pratiques, on peut prendre la chaleur perdue à travers les parois du four égale à

10% de la somme des chaleurs positives, alors on aura:

$$Q'5 = 0,10 \cdot Q_{pT}$$

$$Q'5 = 0,10 \cdot (26712,56 + 7065,27x)$$

$$Q'5 = (2671,26 + 706,53x), \text{Kcal}$$

- La somme des chaleurs négatives sera:

$$Q_{nT} = Q'1 + Q'2 + Q'3 + Q'4 + Q'5$$

$$Q_{nT} = 10745 + 28999,75 + 48,75x + 14000 + 5719,55 + 2609,65x + 2671,26 + 706,53x$$

$$Q_{nT} = (62135,56 + 3364,94x), \text{Kcal}$$

C/Quantité nécessaire du Coke:

Quand le four atteint son régime stationnaire thermique, les chaleurs positives doivent être égales aux chaleurs négatives. Donc on aura l'égalité suivante:

$$Q_{pT} = Q_{nT}$$

$$\text{D'où on a: } 26712,56 + 7065,27x = 62135,56 + 3364,94x$$

Alors on obtient la quantité de coke nécessaire qui est:

$$x = 9,572904 \text{ Kg.}$$

En sachant la valeur de x, on peut déterminer les chaleurs positives et négatives du bilan thermique à savoir:

$$Q'1 = 257,50 + 118,24 \cdot 9,572904 = 1389,40 \text{ Kcal}$$

$$Q'3 = 2,78 \cdot 9,572904 = 26,61 \text{ Kcal}$$

$$Q'4 = 12046,05 + 2025 \cdot 9,572904 = 12239,90 \text{ Kcal}$$

$$Q'6 = 8924 \cdot 9,572904 = 66282,79 \text{ Kcal}$$

$$Q'2 = 28999,75 + 48,75 \cdot 9,572904 = 29466,43 \text{ Kcal}$$

$$Q'4 = 5719,55 + 2609,65 \cdot 9,572904 = 30701,48 \text{ Kcal}$$

$$Q'5 = 2671,26 + 706,53 \cdot 9,572904 = 9434,80 \text{ Kcal}$$

Les résultats de calcul du paragraphe 4 sont représentés dans le tableau 12 suivant:

Tableau 12:

Bilan thermique du four à cuve (pour 100Kg d'aggloméré)

	Chaleurs positives	Kcal	%		Chaleurs négatives	Kcal	%
1	Sensible de l'air	1389,40	1,47	1	Sensible de la motte	10745	11,39
2	Sensible de la charge	550,88	0,58	2	Sensible du laitier	29466,43	31,23
3	Sensible du coke	26,61	0,03	3	Refroidissement par l'eau	14000,00	14,84
4	Formation du laitier	12239,90	12,97	4	Sensible des Gaz	30701,48	32,54
5	Oxydation du Fe S	13858,13	14,69	5	Pertes thermiques	9434,80	10,00
6	Combustion du coke	66282,79	70,25				
	Total	94347,71	100,00		Total	94347,71	100,00

			0,01	-	30,68	-	30,29	-	0,39
MgO	0,78	0,15	-	-	0,93	-	0,91	-	0,02
Al ₂ O ₃	1,42	1,36	0,23	-	3,01	-	2,98	-	0,03
Fe ₂ O ₃	0,31	-	-	-	0,31	-	0,30	-	0,01
C	-	-	8,05	-	8,05	-	-	8,05	-
H ₂	-	-	0,05	-	0,05	-	-	0,05	-
H ₂ O	-	-	0,05	4,68	4,73	-	-	4,73	-
N ₂	-	-	-	179,14	179,14	-	-	179,14	-
ivers	4,17	0,38	0,15	-	4,70	-	4,62	-	0,08
Total	100,00	37,72	9,57	237,32	384,61	42,98	90,65	249,36	1,62

D'après les résultats du tableau 12, on peut faire les remarques suivantes:

- La combustion du coke est le plus important apport de chaleur. Viennent ensuite, la chaleur d'oxydation du sulfure de fer et la chaleur de la scorification qui sont aussi considérables.

- On peut augmenter la chaleur sensible de l'air en utilisant de l'air chauffé. Dans ce cas, on peut diminuer la consommation du coke.

- Les quantités de chaleur absorbées par les gaz sortants et le laitier sont les plus importantes des chaleurs négatives. On ne doit pas aussi négliger la perte de chaleur par refroidissement qui n'est pas faible.

- On peut utiliser la chaleur sensible des gaz sortants pour faire un préchauffage de la charge à enfourner.

En sachant la valeur de x (quantité de coke) on peut refaire le calcul du bilan matière du four à cuve (Tableau 11), les résultats seront ainsi représentés sur le tableau 13.

6- Composition volumique des gaz de quelard:

A partir du tableau 13 on peut déterminer la composition volumique des gaz du four.

Les densités des gaz à T=0 °C et P=10atm sont: 16,81

- dCO₂ = 1,9768 Kg/m³.
- dSO₂ = 2,9263 Kg/m³.
- dO₂ = 1,4289 Kg/m³.
- dN₂ = 1,2505 Kg/m³.
- dH₂O = 0,768 Kg/m³.

$$\begin{array}{r}
 C + O_2 = CO_2 \\
 + CO_2: \quad 12 \quad 44 \\
 \quad \quad 8,05 \quad x \quad] \times \frac{8,05 \times 44}{12} = 29,52 \text{ Kg}
 \end{array}$$

TABLÉAU 13 : Bilan matière du four à cuve (Pour 100 Kg d'aggloméré).

	ENTRÉES, Kg				TOTAL, Kg	SORTIES, Kg			
	Aggloméré	Sc. du conver.	Coke	Air		Matte	Sc. du four	Gaz	Poussière
Cu	12,86	0,75	-	-	13,61	12,89	0,46	-	0,26
Fe	30,74	16,70	0,12	-	47,56	17,62	29,33	-	0,61
S	15,16	0,75	0,10	-	16,01	10,66	1,45	3,89	-
O ₂	4,00	5,18	0,14	53,50	62,82	1,81	7,51	53,50	-
C+O	12,86	0,75	0,12	53,50	67,23	12,89	0,46	53,50	-

Donc le volume partiel du CO₂ sera:

$$V_{CO_2} = \frac{29,52}{d_{CO_2}} = \frac{29,52}{1,9768} = 14,93 \text{ m}^3$$

$$+ SO_2: \begin{array}{l} S + O_2 = SO_2 \\ \frac{32}{3,89} \quad \frac{64}{x} \end{array} \quad \begin{array}{l} 3,89 \cdot 64 \\ 32 \end{array} = 7,78 \text{ Kg}$$

Le volume partiel de SO₂ sera:

$$V_{SO_2} = \frac{7,78}{d_{SO_2}} = \frac{7,78}{2,9263} = 2,66 \text{ m}^3$$

+N₂: La masse de N₂ dans les gaz est de 179,14 Kg (voir tableau 13)

Donc le volume partiel de N₂ sera:

$$V_{N_2} = \frac{179,14}{d_{N_2}} = \frac{179,14}{1,2505} = 143,25 \text{ m}^3$$

+H₂O: La masse de H₂O dans les gaz est de 4,73 Kg

donc le volume partiel de H₂O sera:

$$V_{H_2O} = \frac{4,73}{d_{H_2O}} = \frac{4,73}{0,768} = 6,16 \text{ m}^3.$$

$$\begin{aligned} + O_2 \text{ Libre: } m_{O_2} &= M \text{ fumée} - (m_{CO_2} + m_{SO_2} + m_{N_2} + m_{H_2O}) \\ &= 249,36 - (29,52 + 8,05 + 179,14 + 4,73) \\ &= 27,92 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Donc le volume partiel de l'oxygène libre dans la fumée sera:

$$V_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{d_{O_2}} = \frac{27,92}{1,4289} = 19,54 \text{ m}^3.$$

La composition des gaz est représentée dans le tableau 14.

Tableau 14: Composition volumique de la fumée du four à Cuve.

Constituants Grandeurs	CO ₂	SO ₂	N ₂	H ₂ O	O ₂	Total
Volume, m ³	14,93	2,66	143,25	6,16	19,54	186,54
Pourcentage, %	8,00	1,43	76,79	3,30	10,48	100,00

CHAPITRE III

- Calcul de l'appareil de
four à Cerve

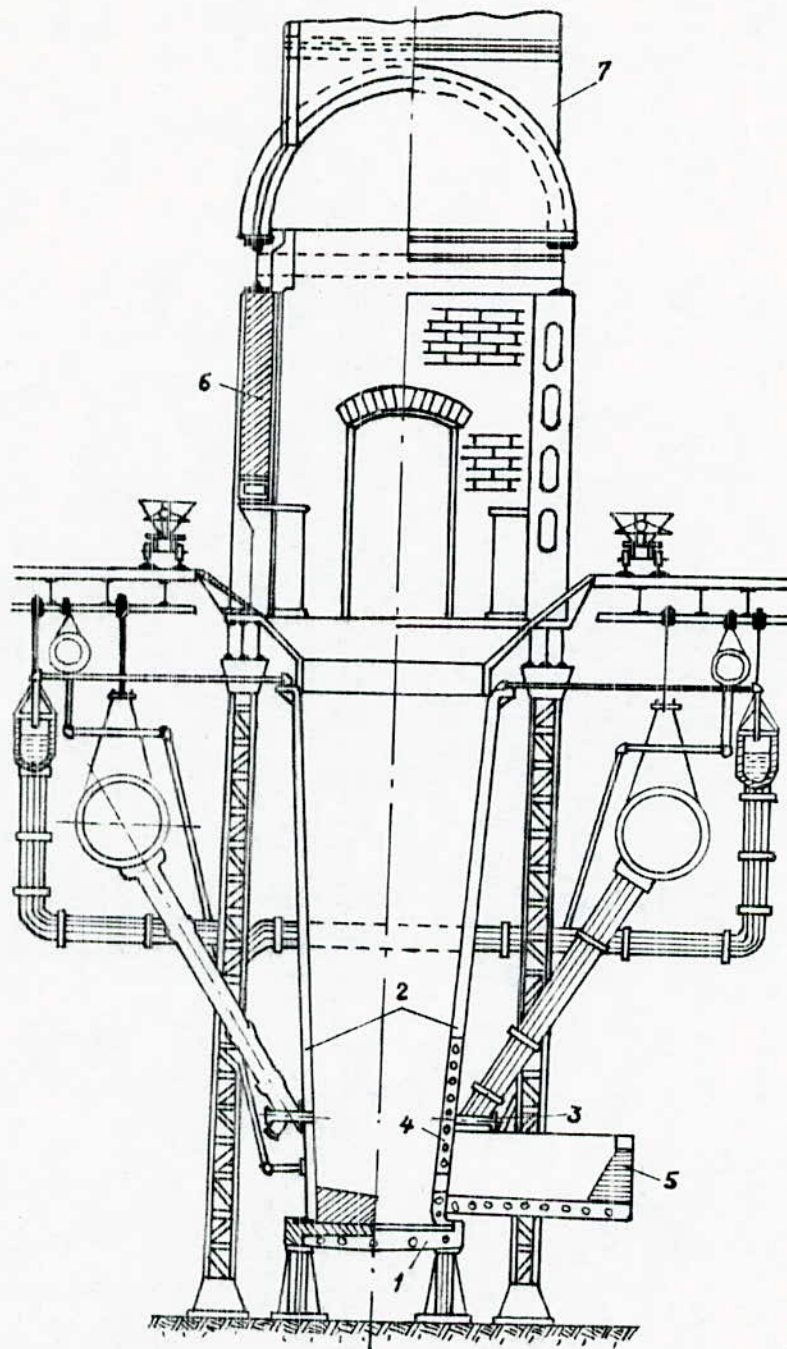


Fig.8.--Four Water-Jacket.

- 1-Sole du four ;2-Caissons ;3-Tuyères ;
- 4-Caisson avec trous ;5-Canal de coulée ;
- 6-Gueulard ;7-Conduite de la fumée.

1 - Rendement total d'extraction du cuivre pour obtenir la quantité du cuivre:

Pour déterminer la quantité du Cuivre pur électrolytique à partir de la charge agglomérée, on doit tenir compte de toutes les opérations intermédiaires suivantes:

- Le rendement d'extraction du cuivre dans le four à cuve rf = 95% [1]

- Le rendement d'extraction du cuivre dans le convertisseur rc varie de 94 à 97% en fonction de la teneur en cuivre de la matte. Cette dernière est de 80% dans notre cas nous choisirons donc Rc = 95% [1].

- Le rendement d'extraction du cuivre dans le four à reverbère d'affinage pyrométallurgique du cuivre brut Rap varie de 97 - 98% [1]. On prendra Rap = 98%.

- Le rendement d'extraction du cuivre dans le processus d'affinage électrolytique final Rae varie de 99,5 à 99,9% [1]. Nous choisirons Rae = 99,7%.

Donc le rendement d'extraction du cuivre de la charge agglomérée jusqu'au cuivre pur électrolytique sera:

$$\begin{aligned} R_t &= R_f \cdot R_{ap} \cdot R_{ae} \cdot R_c \\ &= 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,997 \\ R_t &= 0,8818 \end{aligned}$$

2- L'aire du fond du four:

Pour assurer une production annuelle de 12500 tonnes de cuivre pur électrolytique on doit avoir une quantité de cuivre contenue dans l'aggloméré égale à:

$$\begin{aligned} P_a &= 12500 \\ P' &= \frac{P_a}{R_t} = 14175 \text{ tonnes}; P_a = 12500 \text{ tonnes.} \\ R_t &= 0,8818 \end{aligned}$$

Ainsi la quantité de la charge agglomérée nécessaire (par an) sera:

$$\begin{aligned} P'' &= \frac{P'}{\%Cu} = \frac{14175}{0,1286} \\ \%Cu &= 12,86\% \text{ (voir tableau 7).} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P'' &= \frac{14175}{0,1286} = 110225,51 \text{ tonnes.} \\ &= 110225,51 \end{aligned}$$

- Le nombre de jours de travail par an est choisi de 300.

- La quantité de la charge agglomérée nécessaire par jour sera:

$$P = \frac{110225,51}{300 \cdot 300} = 367,42 \text{ tonnes/j.}$$

La production du four à cuve de la fusion pour cette cuivreuse varie de 80 à 150 T/m².Jour.[11]

On choisit une production spécifique du four: P₀ = 100T/m²,jour.

Donc l'aire du fond sera:

$$F = \frac{P}{P_0} = \frac{367,42}{100} = 3,674 \text{ m}^2$$

La largeur du four au niveau des tuyères varie de 1 à 1,5 m. On choisit l=1,2m.

Donc la longueur du four sera:

$$L = \frac{F}{l} = \frac{3,674}{1,2} = 3,062 \text{ m.}$$

F=1,2x3,062m²: c'est la section du four au niveau des tuyères.

3- Le nombre des caissons:

La largeur des caissons varie en pratique de 0,7 à 0,9 m [6].On choisit une largeur l₀= 0,75m.

Donc le nombre de caissons nécessaires pour chaque côté du four sera:

$$K = \frac{L}{l_0} = \frac{3,062}{0,75} = 4,08$$

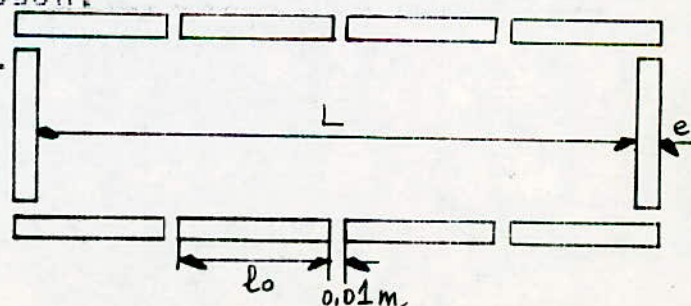
Donc K=4

Pour K=4 on recalculera la longueur et l'aire du four au niveau des tuyères.

Fig.9.-Schéma de l'installation des caissons:

e - épaisseur du caisson,

e est environ 0,15 m.



Selon le schéma de l'installation des caissons fig.9, la longueur du four est déterminée selon la formule suivante:

$$L = K.l_0 + 0,01.(K-1) - 2e$$

$$= 4,975 + 0,01.(4-1) - 2.0,15$$

$$L = 2,73m$$

Donc la section du four au niveau des tuyères deviendra:

$$F' = 2,73 \times 1,2 = 3,276 \text{ m}^2$$

et la production spécifique dans ce cas sera:

$$P = 367,42$$

$$P_0' = \frac{P}{F'} = \frac{367,42}{3,276} = 112,16 \text{ t/m}^2.24h.$$

4-Détermination de la consommation d'air :

Selon le tableau 13, pour 100 Kg de la charge agglomérée la consommation d'air est de 237,32 Kg. Donc la consommation d'air correspondante à 1m² de la section du Four au niveau des tuyères pendant 1 minute sera:

$$V_0 = \frac{237,32}{1,293} \times \frac{P \cdot 1000}{100 \cdot 24 \cdot 60} \times \frac{237,32}{1,293} \times \frac{367,42 \times 1000}{100 \times 24 \times 60 \times 3,276} = 142,95 \text{ Nm}^3/\text{m}^2.\text{mn}$$

La pression de l'air est déterminée empiriquement. Elle varie de 50 à 120 mmHg.

5- Détermination des diamètres des conduites d'air:

- Quantité d'air introduite au four pendant 1 seconde:

$$V_0' = \frac{V_0 \cdot F'}{60} = \frac{142,95 \cdot 3,276}{60} = 7,81 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

- La vitesse du vent dans la conduite principale W varie de 15 à 20 m/s [6]. on choisira W = 18 m/s.

- Donc la section de la conduite principale sera :

$$s_g = \frac{1,3.V^2 \cdot \rho}{W}$$

$$s_g = \frac{1,3.7,81}{18} = 0,564 \text{ m}^2$$

(avec 1,3 le coefficient d'excès d'air)

- Le diamètre de la conduite principale :

$$d_g = \sqrt{\frac{4 \cdot s_g}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,564}{\pi}} = 0,848 \text{ m}$$

- le vent de la conduite principale passe dans 2 petites conduites secondaires vers deux cotés du four pour alimenter les tuyères. Donc la section de chaque conduite secondaire sera

$$s_p = \frac{s_g}{2} = \frac{0,564}{2} = 0,282 \text{ m}^2.$$

et le diamètre de chaque conduite secondaire sera :

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot s_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,282}{\pi}} = 0,599 \text{ m}.$$

6 - Détermination des diamètres et du nombre des tuyères

Chaque caisson d'eau possède 3 tuyères, donc le nombre de Tuyères sera :

$$N_t = 2k \times 3 = 6k = 6 \times 4 = 24 \text{ Tuyères.}$$

Dans la pratique industrielle le rapport entre l'aire des tuyères (st) et la section du four varie de 4 à 7% [6] dans notre cas on prendra :

$$St/F' = 5\%$$

Donc l'aire des tuyères sera :

$$St = F' \cdot 0,05 = 3,276 \cdot 0,05$$

$$st = 0,1638 \text{ m}^2$$

et l'aire d'une tuyère sera:

$$s^{\circ} t = \frac{st}{24} = \frac{0,1638}{24} = 0,006825 \text{ m}^2$$

le diamètre de chaque tuyère sera:

$$dt = \sqrt{\frac{4 \cdot s^{\circ} t}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,006825}{\pi}} = 0,093 \text{ m} = 93 \text{ mm.}$$

Dans la pratique, le diamètre de chaque tuyère varie de 70 à 150 mm [6].

7- Détermination du diamètre de la conduite d'eau:

- Le volume nécessaire d'eau à refroidir est déterminé dans le chapitre II parag.4b partie Calcul, qui est de 0,7 m³/100Kg d'aggloméré.

Donc le débit nécessaire d'eau sera.

$$q = \frac{0,7}{100} \times \frac{P \times 1000}{24 \times 3600}$$
$$= \frac{0,7}{100} \times \frac{367,2 \times 1000}{24 \cdot 3600} = 0,02977 \text{ m}^3/\text{s}$$

- La vitesse de l'eau dans la conduite ne dépasse pas en pratique 2m/Δ [6], on prendra la vitesse de l'eau: W' = 1,5 m/s

Donc l'aire de la conduite sera:

$$se = \frac{q}{W'} = \frac{0,02977}{1,5} = 0,01985 \text{ m}^2$$

et le diamètre de la conduite sera:

$$de = \sqrt{\frac{4 \cdot se}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,01985}{\pi}} = 0,1590 \text{ m}$$

= 159 mm

B - Détermination du diamètre de la conduite de la fumée: Du tableau 14 le volume des gaz formés correspondant à 100Kg de la charge agglomérée est V_g = 186,54 Nm³. Donc le volume des gaz formés pendant 1 seconde sera:

$$V^{\circ}g = \frac{V^{\circ}g \times P \times 1000}{100 \times 24 \times 3600} = \frac{186,54 \times 367,42 \times 1000}{100 \times 24 \times 3600} = 7,93 \text{ Nm}^3/\text{s}.$$

La température de la fumée $T=500^{\circ}\text{C}$ (voir paragraphe 4b, chap.II partie Calcul).

Au gueulard, la fumée est diluée, par 100% d'air. Cela diminue la température moyenne de la fumée. Donc la température moyenne de la fumée est déterminée par la formule:

$$t^{\circ}m = \frac{500+25}{2} = 262,5^{\circ}\text{C}$$

A $t^{\circ}m=262,5^{\circ}\text{C}$, le volume des gaz par unité de temps sera:

$$V_{gt} = 2 \cdot V^{\circ}g \cdot \left(1 + \frac{t^{\circ}m}{273}\right) \text{ [Boyle-Mariotte]}$$

$$= 2 \cdot 7,93 \left(1 + \frac{262,5}{273}\right)$$

$$V_{gt} = 31,08 \text{ m}^3/\text{s}.$$

La vitesse de la fumée dans la conduite varie de 5 à 8 m/s [6]. On choisit la vitesse de la fumée $W_g=7\text{m/s}$.

Ainsi la section de la conduite sera:

$$S_g = \frac{V_{gt}}{W_g} = \frac{31,08}{7} = 4,44 \text{ m}^2$$

et le diamètre de la conduite de la fumée sera:

$$d_g = \sqrt{\frac{4 \times S_g}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 4,44}{3,14}} = 2,378 \text{ m} = 2378 \text{ mm}$$

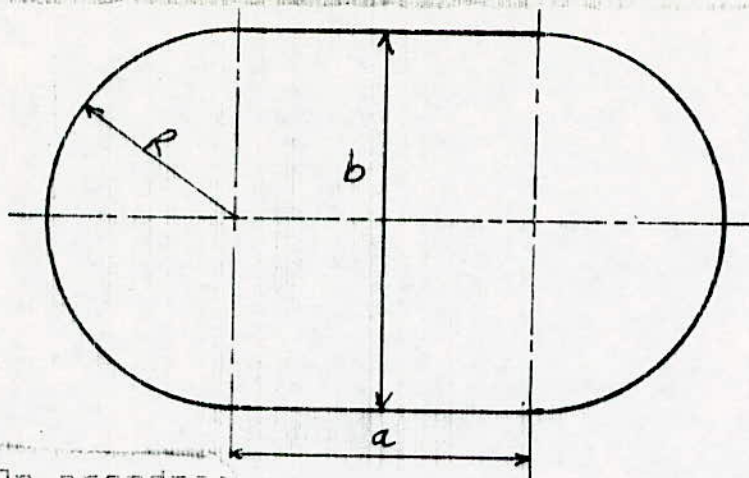
9- Calcul de l'appareil du décantateur:

a) Dimensions du decantateur:

La pratique montre que pour 1 m² de la section du four au niveau des tuyères il faut avoir 4 à 5,5 m³ de décantateur. Dans notre cas on choisit le volume unitaire du decantateur $V_0 = 5 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Donc le volume total du decantateur sera:

$$V = V_0 \times F' = 5 \times 3,276 = 16,38 \text{ m}^3.$$

Fig.10.- Section du décantateur



On prendra:

la profondeur du décantateur: $h=1\text{m}$
 la largeur du décantateur : $b=2\text{m}$
 le rayon $R=1\text{m}$.

Selon le schéma de la figure 10 on a la relation suivante:

$$\pi.R^2.h + a.b.h = V$$

$$\text{donc } a = \frac{V - \pi.R^2.h}{b.h} = \frac{16,38 - \pi.1^2.1}{1 \times 2} = 6,62 \text{ m}$$

et la largeur du décantateur sera:

$$L = a + 2R = 6,62 + 2 = 8,62\text{m}.$$

b) Bilan thermique du décantateur:

La détermination du bilan thermique du décantateur a pour but la détermination de la température du mélange (matte+Scorie) à la sortie du décantateur, et les pertes thermiques de ce dernier.

- La Puissance thermique du décantateur Q_0 , Kcal/m³.h c'est la quantité de chaleur contenue dans le mélange (matte+scorie) par unité de volume du décantateur (1m³) et par unité de temps (1 heure).

$$Q_0 = \frac{m_l.C_l}{V} + \frac{m_m.C_m}{V}$$

avec:

m_l, m_m - masses du laitier et de la matte respectivement qui passent au décantateur par heure; Kg/h.

C_l, C_m - chaleurs sensibles du laitier et de la matte respectivement Kcal/Kg.

V - volume du décantateur; m³

Du tableau 13 on a:

$$mm = \frac{2,98 \times P \times 1000}{100 \times 24} = \frac{2,98 \times 367,42 \times 1000}{100 \times 24}; \text{Kg/h}$$

$$= 6579,88 \text{ Kg/h}$$

$$ml = \frac{90,65 \times P \times 100}{100 \times 24}$$

$$= \frac{90,65 \times 367,42 \times 1000}{100 \times 24} = 13877,76 \text{ Kg/h.}$$

Selon des données pratiques:

$$C_e = 325 \text{ Kcal/kg. [1,8]}$$

$$C_m = 250 \text{ Kcal/Kg. [1,8]}$$

Donc on a:

$$Q_0 = \frac{ml \cdot C_l}{V} + \frac{mm \cdot C_m}{V}$$

$$= \frac{13877,76 \times 325}{16,38} + \frac{6579,88 \times 250}{16,38}$$

$$Q_0 = 375777,9 \text{ Kcal/m}^3 \cdot \text{h.}$$

- Température du mélange (matte+scorie) à la sortie du décantateur est déterminée à partir de la perte thermique causée par l'échange de chaleur entre le décantateur et le milieu ambiant. Cette perte est calculée par la formule suivante: $Q = Q_s + Q_f + Q_p$; Kcal/h.

avec:

Q: Perte thermique du décantateur, Kcal/h.

Q_s: Perte thermique par la Surface du décantateur, Kcal/h.

Q_f: Perte thermique par le fond du décantateur, Kcal/h.

Q_p: Perte thermique par les parois du décantateur, Kcal/h.

- Détermination de Qs:

$$Q_s = \frac{t_2 - t_1}{0,06 + S_1/\lambda_1} \times F_s \quad [14]$$

avec:

t₂ = 1200 °C: température du bain liquide.
 t₁ = 50 °C: la température ambiante.

0,06 = 1/α₁: c'est la résistance thermique globale par le rayonnement et la convection entre la surface du bain et le milieu extérieur.

S₁: épaisseur de la couche de la scorie solide à la surface du décantateur, S₁ = 0,3m.

λ₁: coefficient de conductivité thermique de la couche de la scorie solide, λ = 1,26 Kcal/m.h.°C.

F_s: la surface du décantateur, F_s = πR² + ab
 (voir schéma du décantateur. fig. 10).

$$\text{donc } F_s = 3,14 \cdot 1^2 + 6,62 \cdot 2 = 16,38 \text{ m}^2.$$

Alors la perte thermique par la surface du décantateur sera:

$$Q_s = \frac{1200 - 50}{0,06 + 0,3/1,26} \times 16,38 = 98623 \text{ Kcal/h}$$

- Détermination de Qf:

$$Q_f = \frac{t_2 - t_1}{0,06 + S_2/\lambda_2} \times F_f; \text{ Kcal/h}$$

avec:

S₂ = épaisseur du fond, qui est fabriqué par des briques de magnésie; S₂ = 0,46m.

λ₂ = Coefficient de conductivité thermique de la magnésie, λ₂ = 3,5 Kcal/m.h.°C.

F_f = l'aire du fond du décantateur,
 F_f = F_s = πR² + ab = 16,38 m².

Donc la perte thermique par le fond du décantateur sera:

$$Q_f = \frac{1200 - 50}{0,06 + 0,46/3,5} \times 16,38 = 98623 \text{ Kcal/h.}$$

- Détermination de Qp:

$$Q_p = \frac{t_2 - t_1}{0,06 + S_2 / \lambda_2}$$

Avec:

Fp - l'aire des parois du décantateur, qui sont aussi fabriquées avec des briques de magnésie,

$$F_p = 2a.h + 2\pi.h (R+0,46) = 2.6,62.1 + 2\pi.1 (1+0,46) = 22,41 \text{ m}^2.$$

t2, t1, S2, λ2 : sont les mêmes définis précédemment. Donc la perte thermique par les parois du décantateur sera:

$$Q_p = \frac{1200 - 50}{0,06 + 0,46/3,5} \times 22,41 = 134929 \text{ Kcal/h}$$

Alors, la perte thermique du decantateur sera:

$$Q = 63211 + 98623 + 134929 = 296763 \text{ Kcal.}$$

Selon la pratique, la température du décantateur diminue de 10 °C alors que la perte de chaleur du mélange liquide (matte+scorie) est de 3,3 à 3,7 Kcal/kg. On perdra la valeur 3,5 Kcal/Kg.

La perte de chaleur du bain liquide pendant 1 heure est déterminée pour une diminution de température de ce dernier égale à 10°, sera:

$$q = M.3,5 ; \text{ Kcal/h. } 10 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

avec: M-masse du mélange (matte+scorie) introduite dans le décantateur pendant 1 heure.

Du tableau 13, on peut déterminer M comme suit:

$$M = \frac{90,65 + 42,98}{100} \times \frac{P \times 1000}{24}$$

avec P-quantité d'aggloméré nécessaire par jour; en tonne:

$$M = \frac{90,65 + 42,98}{100} \times \frac{367,42 \times 1000}{24} = 20443,86 \text{ Kq/h}$$

$$q = M.3,5 = 20443,86 \times 3,5 = 71553,51 \text{ Kcal/h. } 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La variation (diminution) de la température du bain liquide du décantateur donc, sera:

$$t = \frac{Q}{q} \times 10 = \frac{296763}{23346,86} \times 10 = 41,47 \approx 41,5^\circ\text{C}$$

Ainsi la température du mélange (matte+scorie) à la sortie du décantateur sera égale à:

$$t = 1200 - 41,5 = 1158,5^\circ\text{C}.$$

Dans la pratique, la température du mélange (matte+scorie) à la sortie du décantateur varie de 1140 à 1160 °C.

CONCLUSION

CONCLUSION

La synthèse de notre projet est caractérisée par quelques indices économiques et techniques, qui sont les suivants:

1. Bilan de matière journalier de l'atelier:

A partir du tableau 13 et de la quantité de la charge agglomérée nécessaire par jour, on peut établir le bilan de matière journalier de l'atelier pour un four à Cuve de la fusion pour matte cuivreuse (Tableau 15).

Tableau 15: Bilan matière journalier de l'atelier.

ENTREES, tonnes				Total, tonnes	SORTIE, tonnes			
<i>Aggloméré</i>	<i>Scorie de Convertisseur</i>	<i>Coke</i>	<i>Air</i>		<i>Matte</i>	<i>Laitier</i>	<i>Gaz</i>	<i>Poussière</i>
367,42	138,59	35,16	871,96	1413,13	157,92	333,07	916,19	5,95

Ce tableau sert comme base importante pour diriger un atelier dans sa production journalière d'une matte Cuivreuse.

2 -Rendement d'extraction du Cuivre dans le four à Cuve.

$$\text{Cu} = \frac{\text{Cu(matte)}}{\text{Cu(total)}} \times 100 = \frac{12,89}{13,61} \times 100 = 94,71\%$$

3 -Teneur en Cuivre du laitier:

$$\text{(\%Cu)} = \frac{\text{Cu (laitier)}}{\text{masse du laitier}} \times 100 = \frac{0,46}{90,65} \times 100 = 0,51\%$$

4 -Taux de consommation du Coke:

$$\text{\%Coke} = \frac{\text{masse du Coke}}{\text{aggloméré+Scorie du convertisseur}} \times 100 = \frac{9,57}{100+37,72} \times 100 = 6,95\%$$

5 -Capacite de production du four à Cuve:

$$P = \frac{\text{masse de matte par jour}}{\text{Surface au niveau des tuyères}}$$

$$\frac{157,92}{3,276} = 48,21 \text{ t/m}^2.\text{jour}$$

6 -Rendement de désulfuration du four à Cuve:

$$s = \frac{\text{masse de S dans les gaz}}{\text{masse totale de S}} \times 100$$

$$\frac{3,89+1,6}{26,01} \times 100 = 33,42\%$$

7 -Rapport de la scorification du four à Cuve:

$$R1 = \frac{\text{masse du laitier}}{\text{aggloméré+laitier du Convertisseur}} \times 100 = \frac{90,56}{100+37,72} \times 100 = 65,76\%$$

8 -Taux de laitier:

$$Te = \frac{\text{masse du laitier}}{\text{masse de la matte}} \times 100 = \frac{90,56}{42,98} \times 100 = 210,70\%$$

- La plupart des indices obtenus sont dans les fourchettes des indices utilisés dans les usines qui sont représentés dans le tableau 16, suivant:

Tableau 16: Indices économiques et techniques des fours à Cuve de la fusion pour matte Cuivreuse, donnés par la pratique industrielle:

<i>Indices</i>	<i>Dimensions</i>	<i>Valeurs</i>
<i>Rendement d'extraction du cuivre</i>	%	94-96
<i>Teneur en Cuivre du laitier</i>	%	0,3-0,6
<i>Taux de consommation du Coke</i>	%	6-10
<i>Capacité de production du four</i>	tonnes de matte/m ² .24h	30-100
<i>Rendement de dessulfuration</i>	%	50-75
<i>Taux de Laitier</i>	%	150-250
<i>Rapport de la Scorification</i>	%	60-90

- Le taux de consommation du Coke est faible, du fait que le concentré aggloméré possède une bonne teneur en Soufre.

- Le rapport de Scorification atteint la limite inférieure de la fourchette de l'indice industriel, cela s'explique par le fait que la teneur en Fer est un peu élevée dans la matte, par conséquent la quantité de la Scorie formée augmente.

- Le rendement de désulfuration est très faible comparativement à l'indice industriel, du fait que dans notre cas on veut obtenir une matte pauvre en Cuivre.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] A.Tseidler, "Metallurgie du Cuivre et du Nickel", Moscou Mir; 1973.
- [2] Cardot René, "Mettalurgie du Cuivre", techniques de l'ingénieur, M2250.
- [3] C.HAUSSIN, G.Hily, "Metallurgie", Tome I et 2, 9^{ème} éd., Dunod, Paris, 1974.
- [4] Christian Thurneyssen, "Metallurgie du Nickel", techniques de l'ingénieur, M2320.
- [5] D.Avertissan, "Metallurgie extractive du Cuivre", Mir, Moscou, 1975.
- [6] D.A.Diomidovski, "Calculs des processus et des appareils métallurgiques", Moscou, Mir, 1982.
- [7] E.G.West, "Copper and its alloys", ELLIS HORWARD, New York, 1982.
- [8] F.M.LOSCOUTOV, "Calculs métallurgiques des métaux non ferreux lourds", Mir, Moscou, 1975.
- [9] J.D.GILCHRIST, "Extraction Metallurgy", 3^{ème} éd., Pergoman press, Oxford, 1989.
- [10] F.Thiriart, A.Guébels et P.Troch, "Metallurgie du Cuivre", Techniques de l'ingénieur, M2240.
- [11] Maurice Rey, "Introduction à la métallurgie extractive", techniques de l'ingénieur, M2230.
- [12] PHam Kim DINH, "Cours de métallurgie extractive des non ferreux", E.N.P, Alger, 1992-93.
- [13] Terkel Rosenqvist, "Principales Of Extrative metallurgy", 2^{ème} éd., M.C Graw-Hill, Auckland, 1983.
- [14] T.Quang Kung, "Conception des fours dans la métallurgie du Cuivre", Hanoi, 1973.