

5/75

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE D'ALGER

Handwritten signature

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MINES ET METALLURGIE

Projet de Fin d'Etudes présenté par Youcef CHABI

Etude des Conditions du laminage à chaud des larges plats et leurs conséquences au relaminage à froid

Sujet proposé :
par SNS

المدرسة لوطنية للعلوم الهندسية
البيئية
ECOLE NATIONAL POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

Dirigé :
par M. ROCHETTE

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT MINE ET METALLURGIE

Projet de Fin d'Etudes présenté par Youcef CHABI

Etude des Conditions du laminage
à chaud des larges plats et leurs
conséquences au relaminage à froid

Sujet proposé:

par S.N.S

Dirigé:

par M.ROCHETTE

II-) MES P A R E N T S

II-) LA MEMOIRE DE MA GRAND MERE

II-) MES FRERES ET A MES SOEURS

II-) MES A M I S

II-) TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS

II^oE) DEDIE CE TRAVAIL.

Youcef (HABI



Que tous les professeurs qui ont contribué à ma formation
veuillent bien trouver dans ce modeste travail, l'expres-
sion de ma profonde gratitude.

Aussi qu'il me soit permis, en cette circonstance, de re-
mercier tous mes professeurs du Département "Mines et Mé-
tallurgie", pour l'enseignement et pour les conseils qu'ils
n'ont cessé de me prodiguer et pour leur bonne sympathie.

Que mes remerciements vont également à Monsieur **ROCHETTE**,
pour notre bonne entente dans le travail.

Enfin je remercie toutes les personnes de mon entourage
pour les travaux de Dactylographie, de tirage, qui ont
permis la parution de cet ouvrage.

 O M M A I R E1ere PARTIE

	<u>PAGES</u>
<u>1. INTRODUCTION</u>	1
1.1. FILIERE DES PRODUITS PLATS	1
1.2. COURS DE LA PRODUCTION A EL-HADJAR	2
1.3. PLACE DU PROJET DANS LA PRODUCTION A EL-HADJAR	2
<u>2. PRESENTATION METALLURGIE</u>	4
2.1. DEFINITION DE LA METALLOGRAPHIE	4
2.2. BUT PROPREMENT DIT DU PROJET	4
<u>3. INSTALLATIONS</u>	5
3.1. DESCRIPTION DES BRAMES	5
3.1.1. STRUCTURE BRUT DE COULEE (Schéma)	5
3.1.2. CONTROLE ET TRAITEMENT DES BRAMES	6
3.1.3. CARACTERISTIQUES DIMENSIONNELLES DES BRAMES	6
3.1.4. COMPOSITIONS CHIMIQUES DES TYPES D'ACIER ETUDIES	7
3.2. <u>LAMINOIR A CHAUD</u>	7
3.2.1. FOUR POUSSANT	8
3.2.1.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	8
3.2.1.2. COMBUSTIBLE	8
3.2.1.3. ACCESSOIRES DU FOUR	8
3.2.2. <u>CAGE EDGER ET QUARTO REVERSIBLE</u>	10
3.2.3. TRAIN FINISSEUR	11
3.2.4. EQUIPEMENT D'ARROSAGE DES BANDES	12
3.2.5. METHODES DE CONTROLES AU LAMINOIR A CHAUD	13
3.2.5.1. JAUGES DE CONTRAINTES	13
3.2.5.2. REGLES DE CENTRAGE AVANT ET APRES QUARTO	13
3.2.5.3. DISPOSITIF DE REGULATION AUTOMATIQUE D'EPAISSEUR	13

3.2.5.4. JAUGES D'ÉPAISSEUR ET DE LARGEUR	13
3.2.5.5. PYROMETRES OPTIQUES	13
3.2.5.6. CONTROLE VISUEL DES DEFAUTS	14
3.3. <u>LAMINOIR A FROID</u>	15
3.3.1. DECAPAGE	16
3.3.2. DEGROSSISSEUR REVERSIBLE	16
3.3.3. DEGRAISSAGE	17
3.3.4. FOUR A CLOCHE	17
3.3.5. LE SKIN-PASS	18
4. <u>TECHNIQUES MISES EN OEUVRE</u>	20
4.1. MICROSCOPIE METALLOGRAPHIQUE	20
4.1.1. MODE DE PRELEVEMENT	20
4.1.2. PREPARATION DES ECHANTILLONS	20
4.1.3. MICROSCOPE-METALLOGRAPHIQUE	21
4.2. ESSAIS MECANIQUES.	22

2ème PARTIE

<u>INTRODUCTION</u>	23
1. <u>INFLUENCE DES ELEMENTS D'ALLIAGES SUR L'ACIER</u>	23
1.1. LE CARBONE	24
1.2. LE PHOSPHORE	24
1.3. LE SOUFRE	24
1.4. LE MANGANESE	25
1.5. LE SILICIUM	25
1.6. L'ALUMINIUM	26
2. <u>ASPECT METALLURGIQUE DU LAMINAGE A CHAUD</u>	27
2.1. EFFET DU RECHAUFFAGE	27
2.1.1. ATMOSPHERE DU FOUR DE RECHAUFFAGE	27
2.1.1.1. L'HYDROGENE	27

2.1.1.2. L'OXYGENE	28
2.1.2. TEMPERATURE DU RECHAUFFAGE	29
2.1.2.1. FUSION DU CONTOUR DES GRAINS	29
2.1.2.2. EFFET DE LA TEMPERATURE D'AUSTENITISATION	30
2.1.3. DUREE DE RECHAUFFAGE	31
2.2. <u>EFFET DU LAMINAGE A CHAUD</u>	33
2.2.1. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA STRUCTURE	33
2.2.1.1. TEMPERATURE SUPERIEURE A A 3	33
2.2.1.2. TEMPERATURE INFERIEURE A A 3	34
2.2.2. INFLUENCE DE LA REDUCTION SUR LA STRUCTURE	34
2.3. <u>REFROIDISSEMENT DES BANDES</u>	35
2.4. PARAMETRES DE LAMINAGE A CHAUD	36
3. <u>EXPLOITATION DES RESULTATS LAC</u>	36
3.1. INTERPRETATION DES ESSAIS MECANIQUES	36
3.1.1. METHODE	36
3.1.2. RESULTATS	37
3.1.3. CONCLUSION	39
3.2. INTERPRETATIONS DES MICROGRAPHIES	40
4. <u>EXPLOITATION DES RESULTATS LAF</u>	46
4.1. INTERPRETATION MICROGRAPHIQUE	46
4.2. INTERPRETATION DES ESSAIS MECANIQUES	47
4.3. LE SKIN-PASS	48
4.4. RESULTATS APRES SKIN-PASS.	50
4.5. CONCLUSION : INTERET DU SKIN-PASS.	50
CONCLUSION GENERALE.	51.

1er PARTIE

1. INTRODUCTION

1.1. Filière des produits plats.

A partir de 1965, la prise en charge des nécessités de l'intégration du secteur de la métallurgie aux autres secteurs de l'industrie, et du secteur de l'industrie aux autres secteurs de l'économie commence à devenir réelle.

Dès lors la création d'une base sidérurgique, moyen le plus efficace de créer une cohérence entre tous ces secteurs de la vie économique et sociale, est nécessaire. Aussi l'objectif est de doter le pays de tous les produits industriels de base qui lui sont indispensables.

Les arguments en faveur de la filière des produits plats sont nombreux et compensent largement l'inconvénient majeur du coût des investissements.

En effet, la sidérurgie algérienne, conçue comme l'outil qui doit révolutionner l'économie doit se manifester dans le maximum de secteurs: le fer à béton n'est présent que dans les entreprises de génie-civil; mais les tôles laminées à chaud ou à froid, nues ou revêtues de zinc ou d'étain, plates ou déformées pour donner des tubes, des profilés simples ou complexes, sont partout présentes. Elles sont présentes dans le champ d'hydrocarbures, elles amènent l'eau aux périmètres d'irrigation et aux concentrations urbaines, elles sont dans les machines qu'utilisent les paysans et les travailleurs industriels, elles sont présentes dans tous les foyers, dans les bouteilles de butane, dans les appareils ménagers, dans les emballages des aliments, dans les murs des maisons eux mêmes. Une telle utilité semble justifier le choix pour un premier objectif du complexe sidérurgie d'El-Hadjar.

Les tendances avenir sont nombreuses et nous citerons :

Réalisation d'une tuberie sans soudure qui procède d'une technique autorisant une production de tubes à grande cadence. Ces tubes satisferont les besoins de l'exploration du sous-sol pour la recherche d'eau.

Projet de laminage des profilés nécessaires aussi bien pour la construction métallique qu'à la menuiserie ou à l'industrie automobile.

Projet d'une aciérie électrique pour l'élaboration des aciers alliés, destinés à la construction mécanique.

1.2. Cours de la production à El-Hadjar.

Le minerai, reçu à la granulométrie $0 + 80$ mm, est concassé à la granulométrie $0 + 10$ mm; homogénéisé et stocké dans les tremies d'alimentation de l'agglomération. Les agglomérés, criblés à 6 mm sont envoyés dans les tremies d'alimentation du haut fourneau. Ce dernier pouvant produire 1200 tonnes de fonte par jour en moyenne.

La fonte est ensuite transportée par wagon-poches jusqu'à l'aciérie où elle subit un affinage. L'aciérie utilise le procédé d'affinage par soufflage d'oxygène pur, procédé LD. Cet affinage se réalise dans des convertisseurs basiques d'une capacité de 50 à 70 tonnes, il consiste à brûler les impuretés de la fonte, et à intégrer, dans le liquide en fusion des métaux d'alliage. Une fois l'opération d'affinage terminée, l'acier est coulé en continu et mis sous forme de brames de longueurs désirées.

1.3. Place de ce projet dans la production à El-Hadjar.

Dans le but d'une amélioration rationnelle de la qualité des produits élaborés au complexe sidérurgique d'El-Hadjar, la division métallurgique S.N.S est parfois amenée à faire une étude comparative sur des productions importées sous forme de demi produits : Cas des aciers effervescents et des aciers bloqués, lesquels sont soumis aux mêmes opérations que les aciers calmés au sein même de l'unité.

Si nous comparons entre eux les divers types d'aciers dont nous disposons, on peut schématiser les avantages et les inconvénients de chacun d'eux. Cela permet de dégager du point de vue métallurgique, l'intérêt de cette étude.

Types de Solidifications	Acier Effervescent	Acier Bloqué	Acier Calmé
<u>Réglages</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Addition de minerai ou de desoxydant 	<ul style="list-style-type: none"> - Mécanique : (coiffage de métal par charpeau de fonte) - Chimique : (addition importante d'aluminium en tête) 	<ul style="list-style-type: none"> - Addition de ferro-silicium ou d'aluminium
<u>Avantages</u>	<ul style="list-style-type: none"> - La retassure n'est pas marquée - Peau saine - Ressoudage des soufflures lors du laminage 	<ul style="list-style-type: none"> - Ségrégation beaucoup moins marquée au coeur du lingot - Zônes de soufflures moins épaisses 	Etat de surface meilleur <ul style="list-style-type: none"> - Qualité interne meilleure - Homogénéité de composition et de propriétés mécaniques - Structure fine et non fibreuse
<u>Inconvénients</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Hétérogénéité de composition et de propriétés mécaniques - Piqûres de peau - La ségrégation du carbone et du manganèse est assez importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Creux en tête important - Chutage important - Parois de ce creux se ressoudent mal 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible aux flacons - Piqûres de peau qui risquent de former des lignes sur le produit laminé.

2. PRESENTATION METALLURGIQUE

2.1. Définition de la métallographie.

La métallographie se propose l'étude de la structure microscopique des métaux et alliages, en liaison avec leurs propriétés macroscopiques dans toute l'échelle des températures. Aussi c'est l'ensemble des résultats expérimentaux réalisés sur le métal ou l'alliage qui permettent de prévoir des performances du métal.

Ces résultats se présentent sous forme de relations entre les différents paramètres qui influent sur le comportement du métal.

Exemple : Choix de la nuance de type d'acier (composition chimique)
Essai de traction: rupture fragile
Essai micrographique : précipité de carbure aux joints de grains, inclusions.

2.2. But proprement dit du projet.

Les caractéristiques mécaniques des aciers de construction ordinaire dépendent fortement de l'état de précipitation que leur histoire thermomécanique a suscité. Pendant longtemps, on a essayé (par des études) à améliorer les propriétés des tôles pour lesquelles le traitement thermique final de normalisation ou de recristallisation permet, par le retour à un certain équilibre, de supprimer les influences des conditions de laminage et de réduire les effets des variations de composition chimique rencontrées lors de la production industrielle d'une nuance d'acier. Ces deux facteurs retrouvent par contre toute leur importance dans le cas des produits plats ou plus généralement dans le cas des produits livrés à l'état laminé. Pour le choix des conditions du laminage, la définition conduisant aux meilleures propriétés finales nécessite une étude des phénomènes métallurgiques apparaissant au cours du travail à chaud:

Dissolution et précipitation des éléments.

Recristallisation de l'austenite déformée.

Ceci nous amène à l'étude des conséquences du laminage à chaud sur l'aptitude au relaminage à froid, des aciers à bas carbone.

3. INSTALLATIONS

3.1. Description des brames.

Pour être laminé l'acier doit être coulé à des dimensions géométriques acceptables pour le laminoir; coulée continue, pas de degrossissage mais aussi pas de corroyage suffisant.

3.1.1. Structure brute de coulée.

D'une hétérogénéité assez marquée, la structure brute de coulée est plus ou moins accentuée d'un acier à un autre.

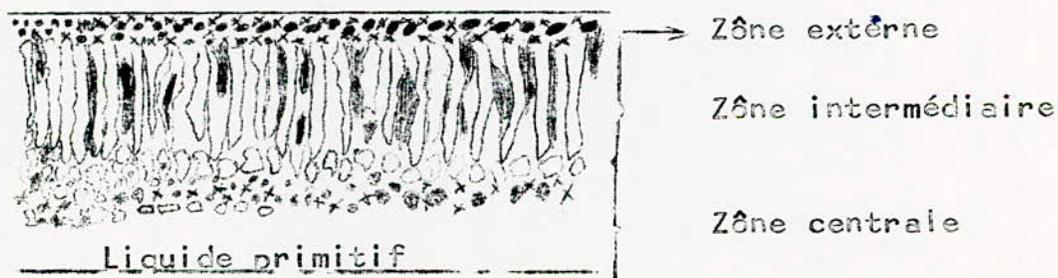
Souvent elle est fonction du mode d'élaboration, du mode de coulée et des conditions auxquelles l'acier est assujéti lors du refroidissement.

Zône externe, au contact de la paroi froide de la lingotière, où l'on trouve une cristallisation équiaxe à grains très fins. Cette structure, qui en surface, forme une peau très fine du faite de sa faible extension.

Zône intermédiaire dite colonnaire ou basaltique à cause d'une cristallisation allongée dont l'axe de croissance la plus grande est parallèle au gradient thermique crée par la lingotière lors du refroidissement.

Zône centrale plus homogène à germination équiaxe.

A ces différentes zones d'homogénéité partielle, viennent se mêler certaines ségrégations d'impuretés et d'éléments d'alliages contenus initialement dans le métal liquide.



3.1.2. Contrôle et traitement des brames.

Les brames arrivent de l'aciérie sur des chariots de transfert. Elles sont refroidies, inspectées, écriquées (c'est-à-dire nettoyer au chalumeau) et stockées.

Le contrôle et l'écriquage permettent de supprimer en surface certains défauts de genres assez différents:

Déchirures (criques, longitudinales et transversales)

Fissures

Pellicules

Inclusions partielles de scorie.

Les brames ayant des défauts dont l'écriquage amène aux écarts non admissibles pour la profondeur de (5 mm), doivent être mises au rebut. Certains défauts, comme les soufflures par exemple, n'apparaissent qu'après laminage et éventuellement à la ligne de cisailage et de refondage.

3.1.3. Caractéristiques dimensionnelles des brames.

Qualité d'acier:

Acier à bas carbone ou faiblement alliés (additions de Va, Nb).

Acier calmé et effervescent.

Dimensions	Brames	
	Pour Tôles	Pour Bandes
Epaisseur (mm)	150 - 200	150 - 200
Largeur (mm)	1050 - 1200 1350	600 - 750 - 900 1050 - 1200 - 1350
Longueur (mm)	1750 à 2600	3500 à 4300 4500 à 5500

3.1.4. Composition chimique des types d'aciers étudiés.

Types \ Eléments	Eléments					
	C	Mn	Si	P	S	Al
Acier calmé	0,08	0,41	0,09	0,0145	0,012	0,025
Acier effervescent	0,10	0,36	-	-	-	-
Acier bloqué	0,11	0,45	0,01	0,01	0,012	0,0085

Ce tableau consigne des compositions chimiques moyennes faites sur brames. Notons que l'acier bloqué et l'acier effervescent ont fait l'objet d'une importation.

3.2. Laminoir à chaud.

Le laminoir à chaud a pour rôle de transformer les brames en produits plats de métal corroyé à des épaisseurs, à des largeurs conformes aux besoins de l'industrie. Le passage d'une brame à une tôle exige un travail à une température permettant de rendre le métal malléable.

Cette température varie suivant le type et la nuance de l'acier. Elle se situe aux environs de 1200° à 900° C.

La production du laminoir à chaud est la suivante:

Dimensions \ Produits	Produits	
	Tôles	Bandes
Epaisseur (mm)	5 à 20	1,8 à 15
Largeur (mm)	jusqu'à 2000	600 à 1350
Longueur (mm)	jusqu'à 24000	jusqu'à ∞

FOUR POUSSANT

laveuse à brames

CAGE verticale

QUARTO

planeuse

LCR



cisaille

decalamineuse

CAGES

FINISSEUSES

cage future

parc à froid

écricrage

parc à chaud



transfert brames



BOBINEUSES

SYNOPTIQUE LAC

ACIERIE

Le train de laminage comprend les installations suivantes décrites dans l'ordre correspondant au sens de laminage.

3.2.1. Four poussant.

Le four poussant a pour but de réchauffer les brames jusqu'à une température telle que l'acier soit plastique donc laminable.

3.2.1.1. Principe de fonctionnement.

Il est du type à enfournement et défournement frontal à cinq (5) zones avec une capacité de production variant entre 86 et 130 tonnes par heure suivant les dimensions des brames.

L'enfournement d'une brame froide provoque donc le défournement d'une brame chaude sur la table à rouleaux de défournement. En marche normale, le four fonctionne pratiquement en automatique. Les limites d'utilisation sont dues principalement aux dimensions internes de l'enceinte du four.

3.2.1.2. Combustible.

Les brûleurs fonctionnent actuellement au fuel préchauffé, pulvérisé au moyen de vapeur surchauffée.

Le préchauffage permet d'augmenter la température dans l'enceinte de stockage du fuel de même que la fluidité de ce dernier.

L'air de combustion est préchauffé à une température de 420° C.

3.2.1.3. Accessoires du four.

pupitre d'enfournement

pupitre de commande du four

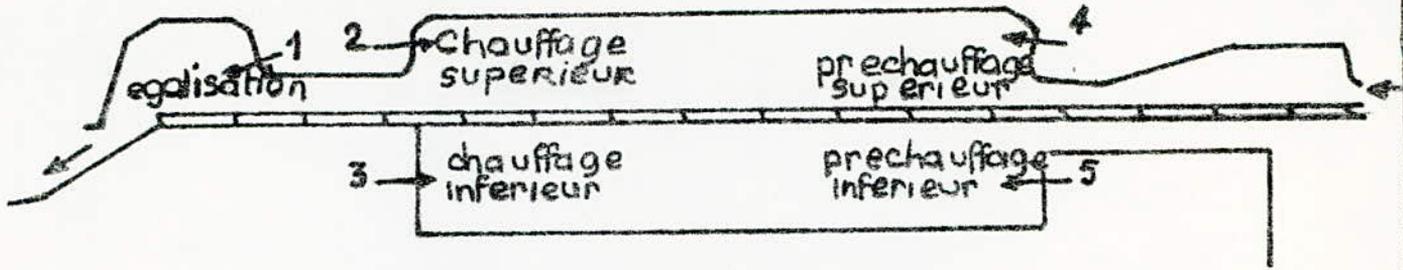
deux pousseurs

deux récupérateurs de chaleurs réchauffant l'air de combustion.

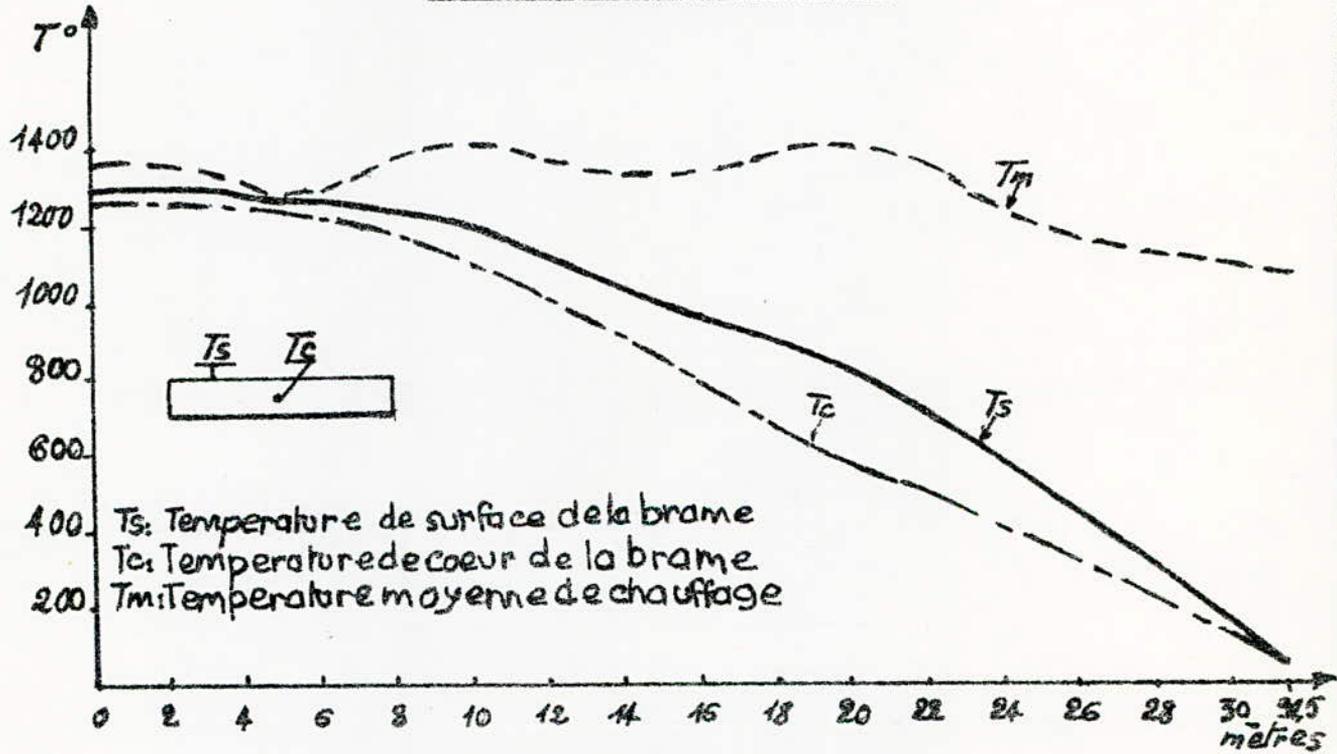
A la sortie du four, les brames subissent un décalaminage à eau qui a pour but d'éliminer la couche d'oxyde ou calamine primaire qui s'est formée durant le réchauffage. Rappelons qu'une partie de l'oxyde est éliminée dans le four même : La chute de température à

EGALISATION CHAUFFAGE PRECHAUFFAGE

ENFOURNEMENT



LES CINQ ZONES DU FOUR



COURBES DES TEMPERATURES

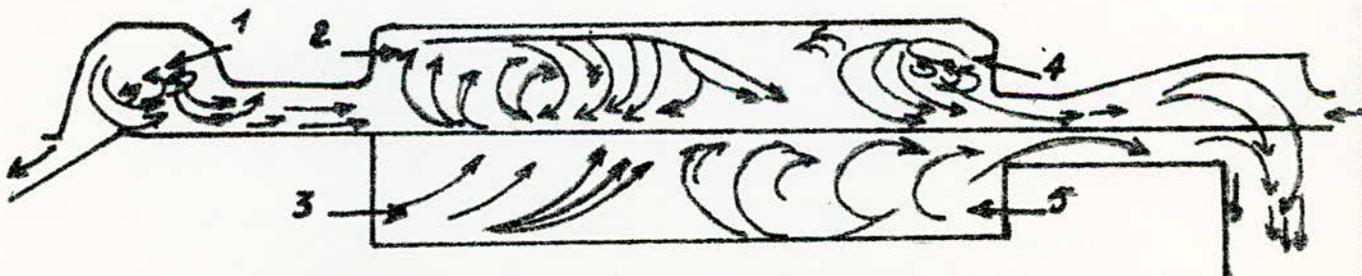
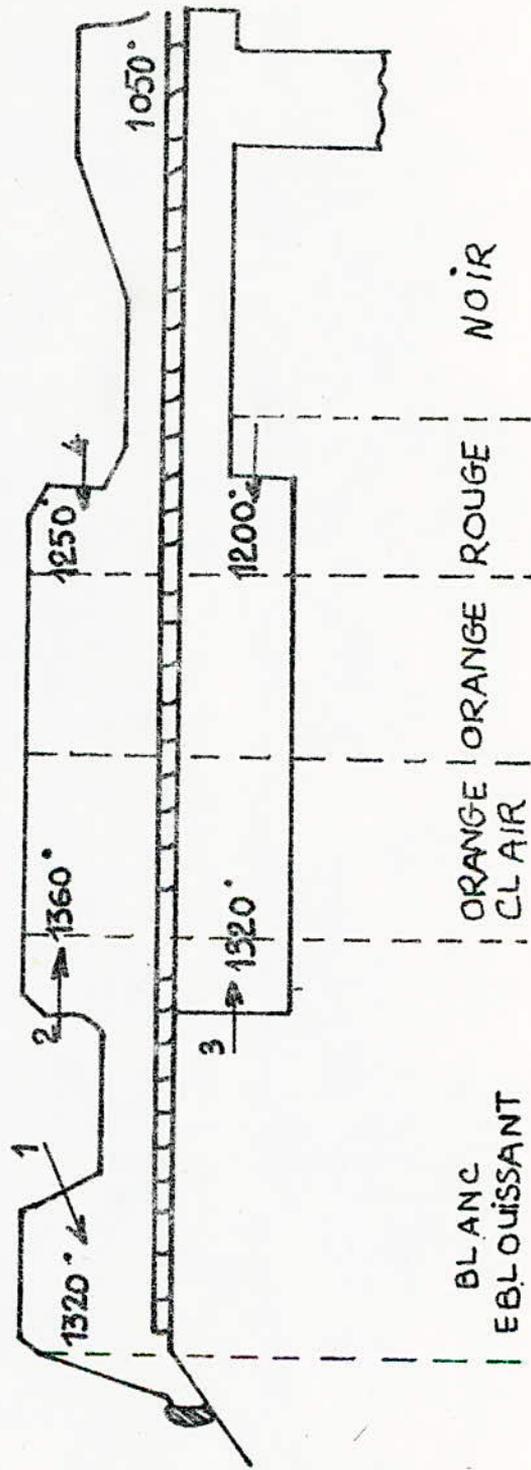


IMAGE DE LA CIRCULATION DES GAZ CHAUDS DANS LE FOUR

la zone d'égalisation crée un choc thermique capable de séparer l'oxyde de fer. Ainsi, l'atmosphère du four joue un rôle important dans l'oxydation de l'acier.

-TEMPERATURES DES ZONES -

IMPORTANT: Les températures indiquées ci-dessous ne sont valables qu'en marche normale. Elles sont données à titre indicatif



COULEURS DES BRAMES

3.2.2. Cage Edger et Quarto Reversible.

La cage verticale (à cylindres verticaux) a la fonction de laminier la brame de chant durant les deux premières passes impaires, afin d'obtenir une ébauche de largeur telle qu'on puisse avoir à la sortie du train finisseur une ébauche ayant la largeur convenable.

Diamètre des cylindres	1000 mm
Vitesse de laminage	0 à 4,7 m/s
Pression maximum	300 tonnes
Ecartement des cylindres	500 à 2900 mm

Par contre le quarto (cage horizontale) a pour rôle de laminier les brames (longues) jusqu'à obtention d'une ébauche d'épaisseur variant entre 23 et 28 mm, les brames courtes jusqu'à obtention de tôles d'épaisseur variant entre 6 et 50 mm. Cette cage est prévue pour une pression de 3000 tonnes et une vitesse de laminage allant jusqu'à 5 m/s.

Elle se compose de :

Bati : Absorbe les vibrations et les efforts de laminage.

Cylindres: Deux cylindres d'appui et deux cylindres de travail.

Cylindres d'appui : Sont en contact des cylindres de travail. Ils ont pour but d'empêcher une flexion excessive des cylindres de travail durant le laminage. Ils sont constitués en acier forgé.

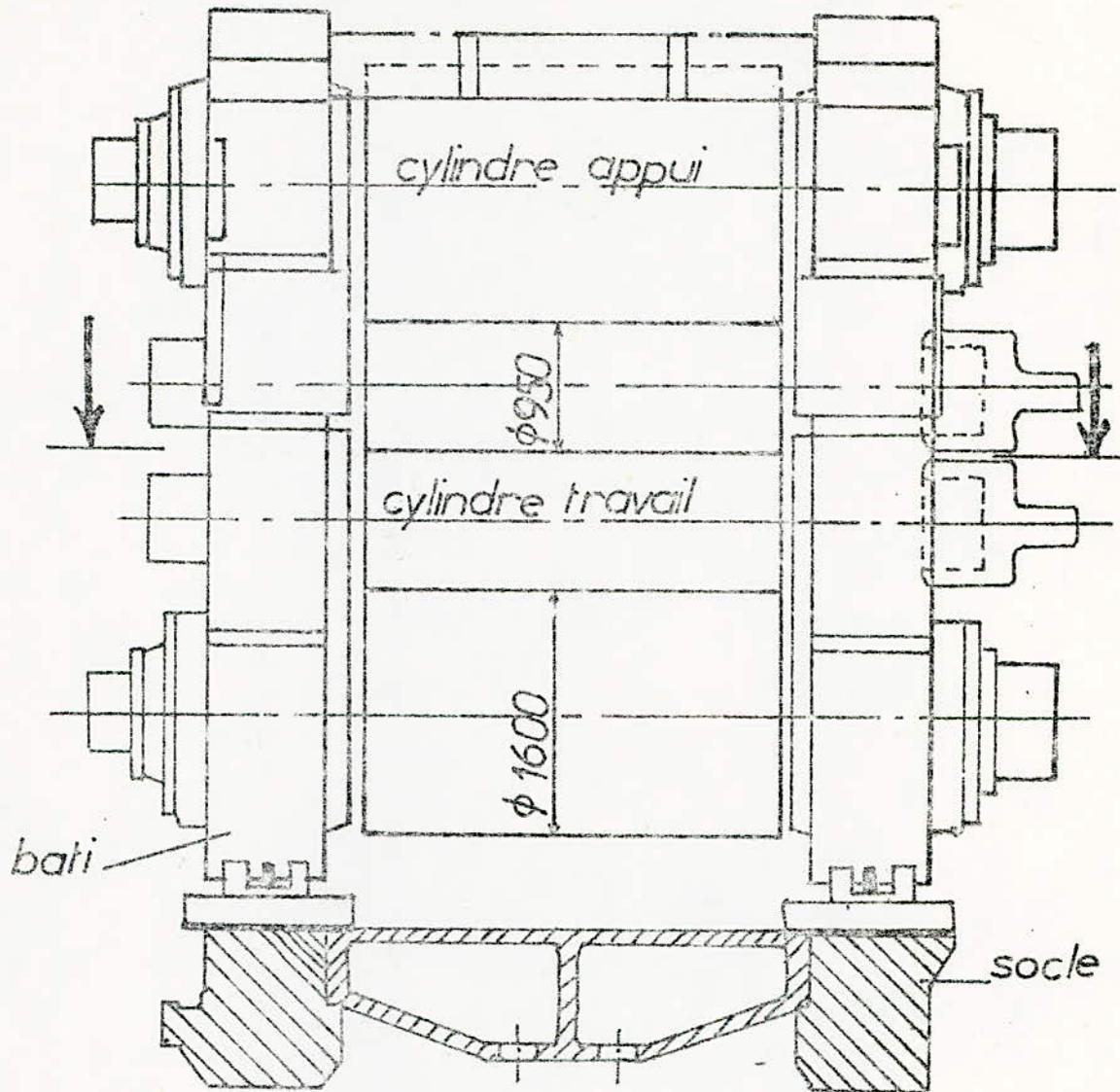
Cylindres de travail : Sont en contact avec la brame et la laminer. Ils sont en fonte alliée et trempée.

Accessoires très divers de part leur conception, entrent en fonction pendant le laminage :

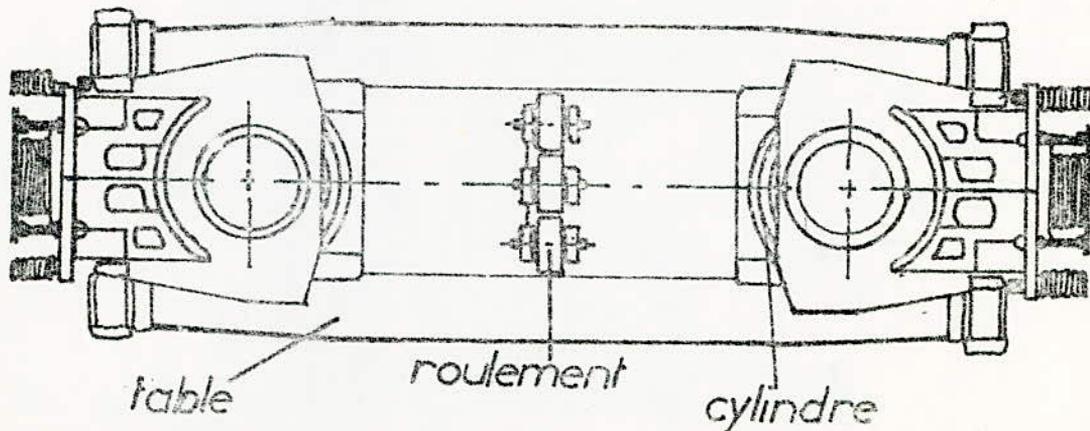
Vis de serrage et déblocage des vis.

Jauges de contraintes.

cage degrossisseuse. coupe verticale



cage verticale. vue en plan



Dispositifs de changement de cylindres.

Pupitre de commande.

Une cisaille volante et décalamineuse - planeuse avant train finisseur sont prévues pour faciliter l'introduction de la bande et éviter ainsi que les cylindres du train finisseur ne cassent. Les ébauches provenant du quarto dégrossisseur sont donc éboutées par la cisaille et planées par la même occasion.

Un pyromètre donne la température de l'ébauche à l'entrée cisaille, au pupitre finisseur.

Le taux de déformation est donnée par la formule suivante:

$$\frac{e_i - e_f}{e_i} \times 100$$

3.2.3. Train finisseur.

Le train finisseur a la fonction de transformer l'ébauche venant du quarto réversible d'épaisseur 23 à 28 mm et de largeur de 600 à 1350 mm en une bande d'épaisseur de 1,8 à 15 mm et de même largeur.

Il se compose de 5 cages. Sur chaque cage on peut distinguer les parties suivantes :

Bati de la cage.

Cylindres avec garnitures et complexe vis.

Guide entrée cage.

A la sortie du train finisseur sont installées: des jauges d'épaisseur et de largeur.

Une jauge d'épaisseur à rayons X.

Une jauge de largeur.

Ainsi qu'un pyromètre optique pour la prise de température de fin de laminage.

Entre chaque cage se place un looper: Tendeur de boucles. Son rôle est d'éliminer les anses ainsi que le tiré excessif entre les cages. L'angle formé par la plaque métallique et la ligne de la table à rouleaux est d'environ 15°. Un dispositif automatique permet d'agir sur la régulation de l'épaisseur des bandes et des loopers.

	F 5	F 4	F 3	F 2	F 1
Vitesse de rotation minimale m/s	5,2	4,4	2,9	2	1,2
Vitesse de rotation maximale m/s	13,5	10,6	7,5	5,35	3

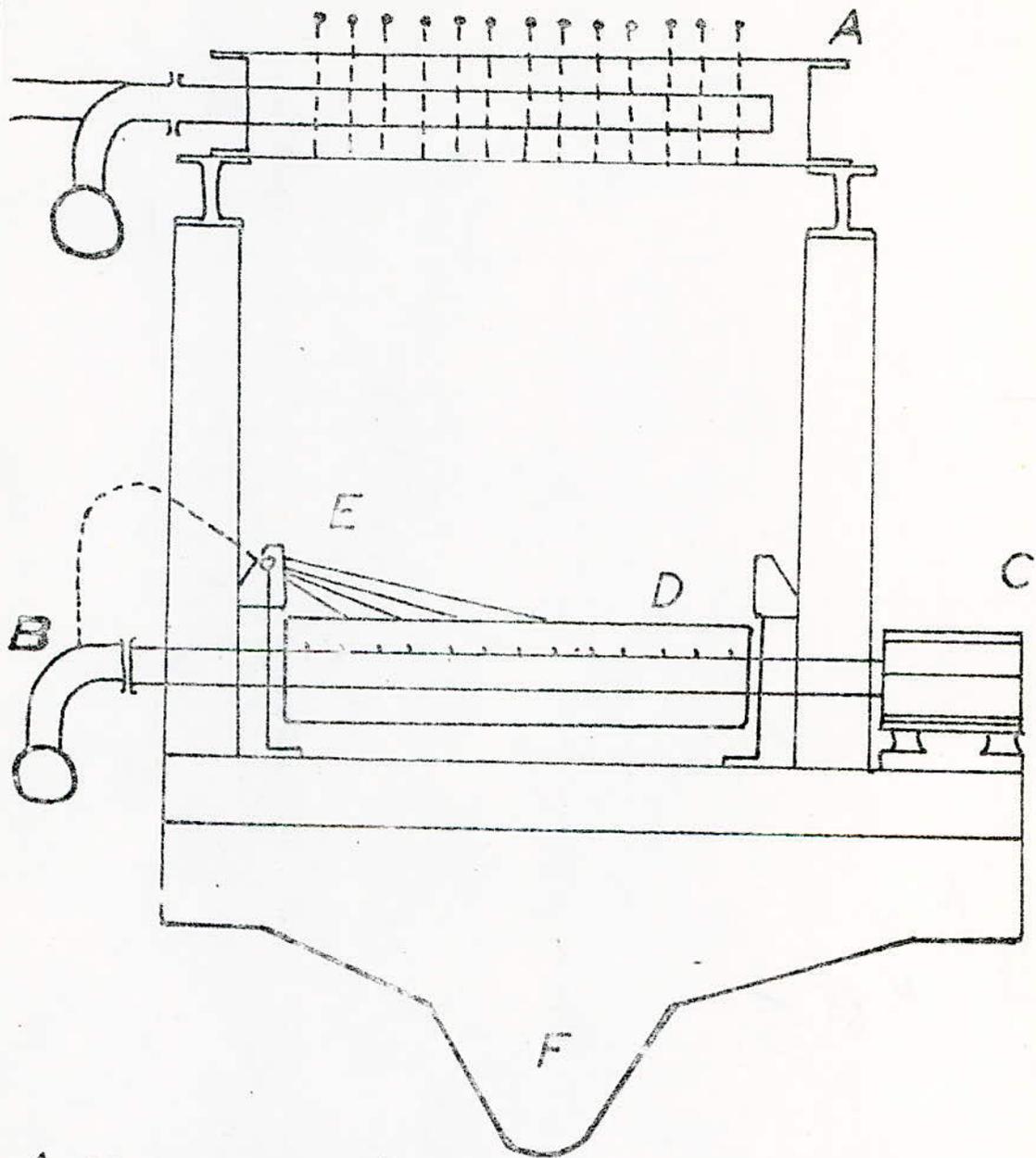
3.2.4. Équipement d'arrosage de la bande.

Il sert au refroidissement de la bande. Il comprend des rampes d'arrosage disposées au dessus et en dessous de la table à rouleaux est entre les rouleaux. Ces rampes d'arrosage sont groupées en neuf sections fonctionnant suivant un principe préétabli.

Le refroidissement des bandes se faisant par aspersion.

Il est obtenu grâce à une combinaison douche eau + air pour avoir une température de bobinage désirée à partir d'une température de fin de laminage fixée.

refroidissement des bandes



- A: rampes superieures
- B: " inferieures
- C: moteur
- D: rouleau
- E: jet de balayage
- F: canal d'évacuation

3.2.5. Méthodes de Contrôles ou Laminoir à chaud.

Notre propos n'est pas de décrire tous les systèmes de contrôle avec leurs particularités mais de les énumérer en montrant leur rôle dans les différentes installations afin de compléter ces dernières. On rencontre entre autre,

3.2.5.1. Des jauges de contraintes. Elles sont montées à la base des vis de serrage et communiquent les informations suivantes au pupitre de commande.

Pression totale.

Différence entre les pressions exercées sur les deux (2) vis.

L'opération de déblocage des vis s'effectuant au moyen d'un système à verins hydrauliques.

3.2.5.2. Règles de centrage avant et après quarto. Un dispositif de synchronisation permet leur manipulation. Ce dispositif est inséré pendant le laminage des bandes. Notons que l'ouverture des règles avant commande la fermeture des règles arrières.

3.2.5.3. Dispositif de régulation automatique d'épaisseur (voir schéma).

Le réglage automatique des vitesses se fait sur les cages 1, 2, 4 et 5. La cage 3 étant fixée comme cage pilote.

Ce réglage se fait suite au contrôle de la tension sur la bande entre 2 cages consécutives par le tendeur de boucles.

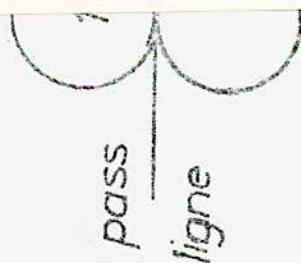
3.2.5.4. Jauges d'épaisseur et de largeur.

Une jauge d'épaisseur à rayons X.

Une jauge de largeur à l'ultra-violet.

3.2.5.5. Pyromètres Optiques.

Les températures entrée finisseuses (ébauche) et fin laminage



(bande) et températures de bobinage sont recueillies au pupitre finisseur sur des enregistrements graphiques, et ceci grâce de des pyromètres placés, un à l'entrée cisaille, l'autre à la sortie train finisseur et le troisième après refroidissement (début bobinage).

Ces pyromètres sont pointés sur l'axe de la bande, source de rayonnement.

Certaines réserves peuvent être faites sur ces méthodes de contrôle et de mesures mais vu le manque d'information et de documentation, nous ne pouvons nous prononcer sur ces méthodes. Néanmoins nous dirons que:

La mesure par pyrométrie ne répond pas aux conditions du corps noir et

que la sensibilité varie avec l'épaisseur pour la méthode par absorption de rayons X.

REmarque : La bobineuse est munie d'un synchronisme de vitesse.

Cette régulation intéresse les vitesses des installations suivantes:

Train finisseur (dernière cage)

Les 4 sections de la table à rouleaux de refroidissement.

Les rouleaux entraineurs de la bobine.

Les blockers rolsés .

Le mandrin de la bobineuse.

Une variation de vitesse de la dernière cage du train entraine automatiquement une variation correspondante des autres vitesses.

3.2.5.6. Contrôle visuel des défauts.

En règle générale les défauts rencontrés sur bandes et tôles sont de deux sortes. On distingue :

Les défauts qui peuvent provenir du laminage et qui sont :

Le cintrage: Il est du à

Un mauvais parallélisme des cylindres horizontaux.

Un mauvais centrage de la brame ou de l'ébauche

Un mauvais refroidissement des cylindres de travail

Une différence de températures entre les deux bords de la brame.

Les ondulations : On rencontre des

Ondulations aux bords à cause de trop fortes réductions subies par le métal, un mauvais bombé des cylindres et un parallélisme non correct.

Ondulations au centre, Les cylindres étant trop bombés et les réductions faibles.

Les criques à feu : Le manque d'eau de refroidissement, ou l'ébauche bloquée sous les cylindres, provoque des fissures sur les cylindres brûlés. Elles sont reportées sur le produit d'une manière cyclique.

Les défauts d'élaboration de l'acier : Origine A C O.

Les pailles : reperables grâce à leur forme allongée sur la tôle décapée, elles résultent des soufflures. Elles sont de couleur blanche.

Les griffures : Ce sont un ensemble de vermiculures discontinues qui s'étendent sur presque toute la largeur de la tôle.

Il faut dire que la qualité des tôles est un critère sérieux pour un usage ultérieur de ces dernières.

3.3. Laminage à froid.

Le laminage à chaud ne permet pas dans la pratique d'obtenir des bandes d'épaisseur inférieure à 1,5 mm. Pour obtenir des bandes plus minces, il est nécessaire d'opérer par laminage à froid. Procédé qui présente, en outre, des avantages très intéressants : aspect de surface, tolérances dimensionnelles étroites et amélioration des caractéristiques mécaniques.

La réduction d'épaisseur effectuée sur ce laminage n'est en réalité qu'une phase s'inscrivant dans un cycle plus complet, destiné à

assurer au produit final tous les avantages, déjà cités, que permet ce procédé.

3.3.1. Décapage.

Le but du décapage est d'enlever la couche d'oxyde qui recouvre les bandes laminées à chaud.

Il consiste essentiellement à briser mécaniquement et chimiquement la couche de calamine et à faire passer les bandes dans des bains d'acide dilué à température et concentration convenables, puis à rincer, sécher et le plus souvent huiler.

Le décapage est effectué à l'aide de l'acide sulfurique (H_2SO_4).

3.3.2. Dégrossisseur réversible:

La cage est conçue pour le laminage des épaisseurs de bandes jusqu'à 0,16 mm.

Basé sur le même principe de marche que le quarto réversible, il est de conception assez complexe. Nous nous limiterons donc aux possibilités et aux limites d'utilisation de cette machine.

	Entrée	Sortie
Largeur de la bande (mm)	600 à 1050	600 à 1050
Épaisseur de la bande (mm)	1,5 à 4,5	0,16 à 2
Poids de la bobine max.	19 tonnes	19 tonnes

Il faudrait aussi que la résistance maximale à la traction soit de 45 kg par mm^2 .

3.3.3. Dégraissage.

Lorsque le laminage à froid est effectué avec une huile végétale (huile de palme), le dégraissage du métal est nécessaire afin d'éviter tout dépôt rendant le métal impropre à toute application de revêtement électrolytique.

Principe de l'opération: L'opération s'effectue dans un bac à électrolyse de composition (25gr. d'orthosilicate/litre d'eau, température 90 à 95°C).

En un premier temps, le film d'huile est décollé mécaniquement par le dégagement gazeux produit sur la bande, puis l'huile de palme, qui est un mélange d'esters d'acides gras est saponifiée lentement au sein du bain, en savons solubles par l'action de l'orthosilicate de sodium.

3.3.4. Four à cloche.

Le recuit amène le métal en équilibre physico-chimique et mécanique s'il y a lieu et tend à réaliser l'équilibre structural.

Il a donc pour but de faire disparaître les états hors d'équilibres résultants des traitements antérieurs, thermiques et mécaniques.

Les fours à cloche mobile se composent de trois éléments:

Une base sur laquelle est déposée la charge à recuire.

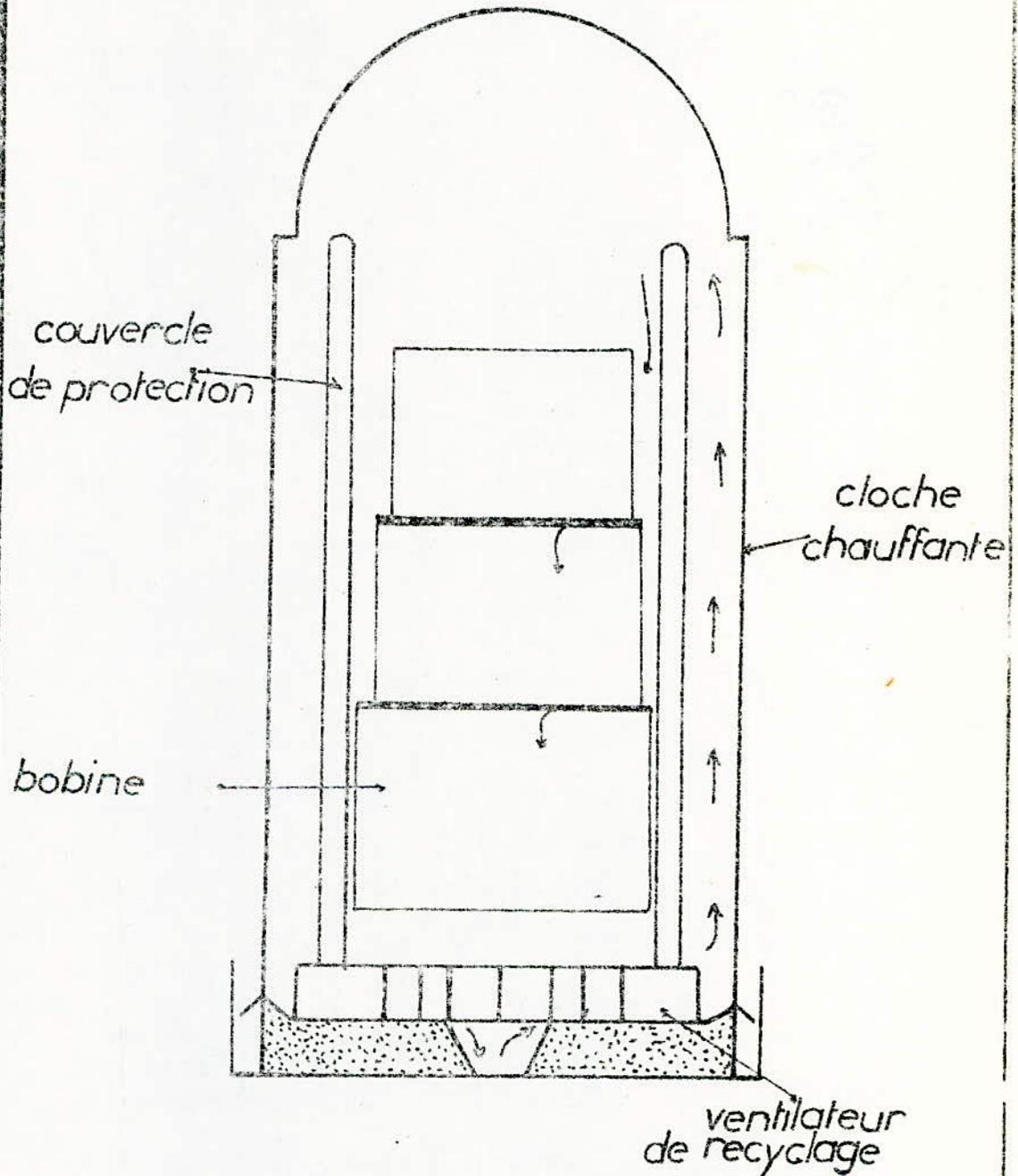
Un couvercle intérieur protecteur.

Une cloche mobile chauffante qui vient recouvrir le tout.

A l'intérieur du four règne une atmosphère protectrice à base de HNX (95% N₂, 5% H₂). Afin de réduire au minimum le temps de chauffage, on réalise une circulation intense du gaz atmosphérique au moyen de ventilateurs de recyclage débitant plusieurs milliers de m³/h avec une pression suffisante pour assurer une circulation correcte.

A l'intérieur de la cloche chauffante sont situés tous les systèmes de régulation et mesure de température ainsi que les brûleurs de chauffage.

FOUR A CLOCHE



Les avantages du four monopile sont principalement :

L'homogénéité de recuit

Augmentation de la production grâce à une répartition régulière des surfaces chauffantes.

Economie de combustible et gain de temps.

3.3.5. Le Skin-pass.

Au cours de l'emboutissage des tôles fines, des lignes en relief, appelées bandes de Piobert - Luders apparaissent dans les parties faiblement allongées de toute tôle recuite n'ayant pas subie une opération connue sous l'appellation américaine du "Skin-Pass" ou temper rolling, ce qui correspond en français à un écrouissage superficiel.

Ce défaut correspond, sur la courbe de l'essai de traction d'une éprouvette de tôle non Skin-passée, au palier d'écoulement à la limite élastique.

Le rôle principal du laminoir skin-pass est donc de supprimer ce palier à la limite élastique, celui-ci ne disparaît qu'après un écrouissage dû à un laminage donnant un allongement de 0,5 à 2% suivant la nature du métal utilisé: Acier calmé ou effervescent.

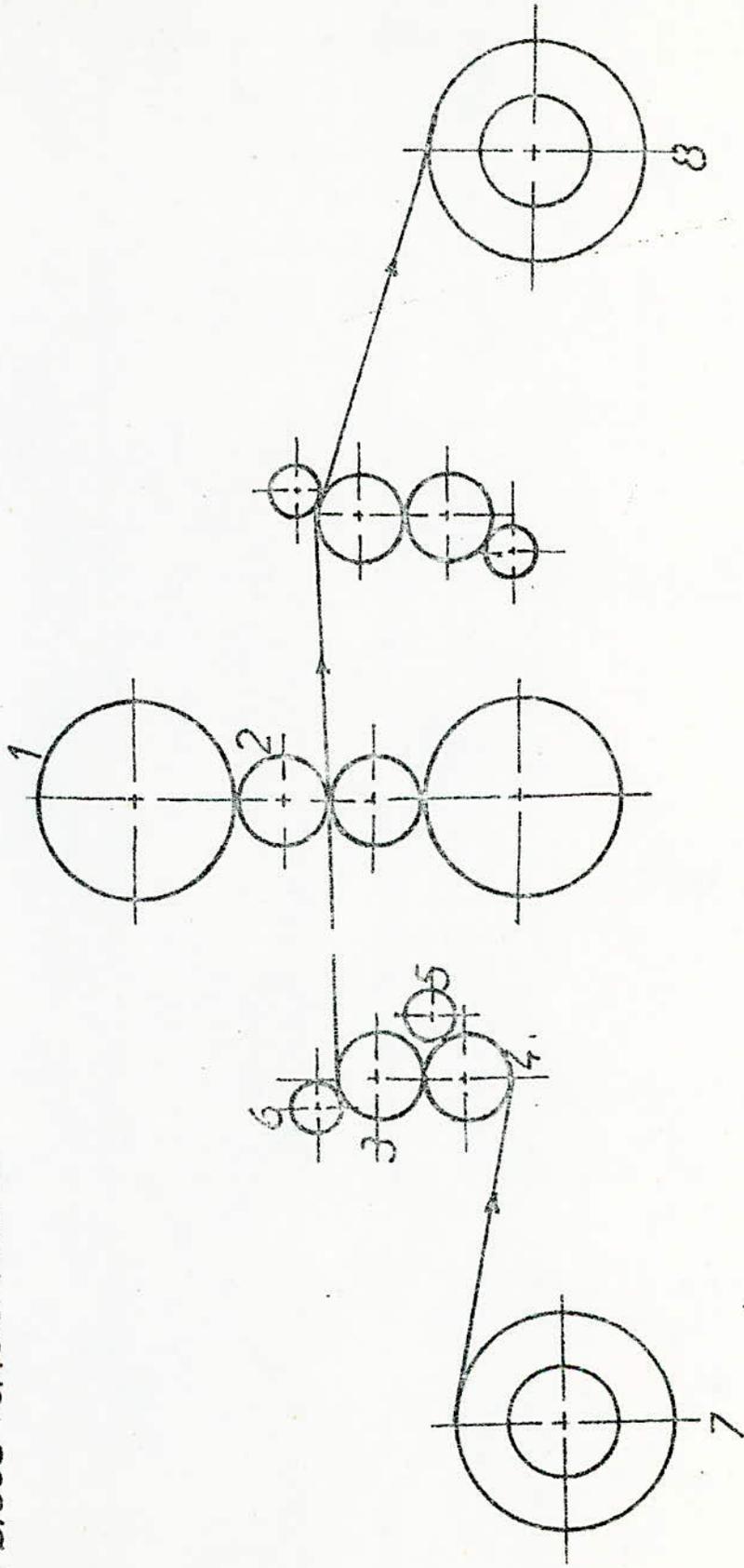
Ce léger laminage abaisse la limite élastique de 2 ou 3 points mais augmente très peu la dureté (de 0,15 à 1 point).

On remarque que pour cette opération, la suppression du palier à la limite élastique n'est pas définitive: Dans le cas des aciers effervescents, le palier réapparaît légèrement d'une façon progressive pendant les deux ou trois mois qui suivent l'opération de Skin-pass, alors que pour les aciers calmés la période est beaucoup plus grande.

On profite du léger laminage sur le Skin-pass pour améliorer la planéité de la bande et lui donner le fini exigé par l'utilisateur. Suivant l'aspect désiré pour les tôles, on utilise des polis plus ou moins rugueux.

- 1. cylindre d'appui
- 2. " de travail
- 3.4 blocs tensionneurs

- 5.6 rouleaux presseurs
- 7. débobineuse
- 8. bobineuse



schema du skin-pass

Notons que la rugosité de la tôle améliore la planéité, atténue l'importance des défauts d'aspects et augmente l'adhérence de la peinture.

La réduction obtenue au cours de l'opération est mesurée d'après l'allongement de la bande à cause de la conservation du volume.

Les appareils indiquant cet allongement utilisent généralement la différence de vitesses des rouleaux deflecteurs d'entrée et de sortie.

4. TECHNIQUES MISES EN OEUVRE

4.1. Microscopie Métallographique.

4.1.1. Mode de prélèvement.

Tous les échantillons utilisés, aussi bien en micrographie qu'aux essais mécaniques, étaient pris en queue de bobine après chute de deux ou trois spires de cette dernière.

Cette précaution a été prise afin d'avoir des échantillons qui soient représentatifs de la bande. Aussi ces échantillons ont été découpés dans le travers.

Les différents échantillons examinés au microscope sont pris du milieu de la bande (dans le sens de la largeur) et leur observation est dans le sens de laminage.

4.1.2. Préparation des échantillons.

Enrobage: De très faibles dimensions (15 mm X 15 mm), ces échantillons sont difficiles à polir. L'enrobage a pour but de faciliter leur manipulation. Il se fait à l'aide d'une presse hydraulique utilisant la poudre de plexiglas.

Polissage: Les échantillons ont été préparés par meulage mécanique à l'eau, suivi d'un polissage sur papier émeri à grains fins. La finition s'est faite à la main à l'aide d'une suspension d'alumine sur du coton. Ces échantillons ont été préalablement enrobés sur presse hydraulique.

L'attaque a été effectuée à l'aide d'une solution alcoolique d'acide nitrique à 4%.

Le nital attaque la matrice ferritique avec une intensité différente suivant l'orientation des différents grains de ferrite par rapport à la surface polie. La ferrite se présente en blanc - grisâtre et la cémentite en noir. La détermination de la grosseur de grain s'est faite par comparaison avec des micrographies standard suivant la norme (A S T M).

4.1.3. Microscope Métallographique.

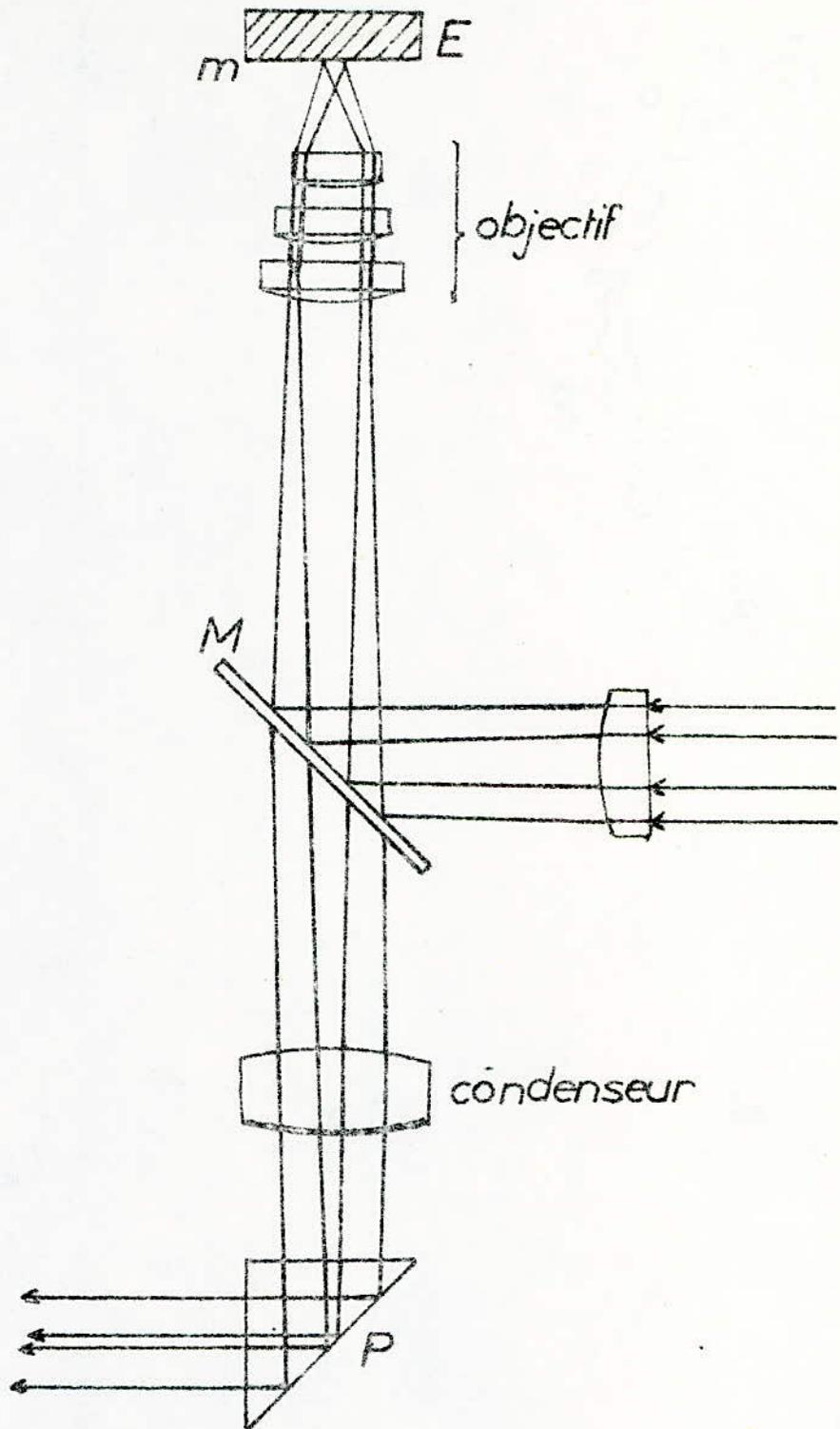
Le microscope lui-même est caractérisé par les points suivants : système de lentilles convergentes appelées objectif et oculaire, transmission de la lumière de l'un à l'autre par un miroir semi réfléchissant (M), miroir, placé à 45° par rapport aux rayons incidents et envoie ainsi l'image à travers un prisme à réflexion totale, sur une plaque photographique, placée dans une chambre noire.

Dans le microscope métallographique vertical dont la disposition est due à Le Chatelier, l'objectif est placé, en haut et l'échantillon (E) à étudier est placé, face polie (m) et attachée vers le bas, sur une plate-forme horizontale située au dessus de l'objectif. Cette plate-forme peut s'éloigner ou se rapprocher du système optique, qui, lui, est fixé et permet ainsi la mise au point, d'autre part cette plate-forme a deux autres mouvements de directions perpendiculaires, permettant l'exploration méthodique de la surface de l'échantillon.

Quant à l'éclairage, il s'obtient par une source lumineuse placée, avec diaphragmes et lentilles, devant un prisme à réflexion qui renvoie les rayons sur la surface à éclairer.

Le socle est une chambre noire et l'appareil est conçu pour que l'image réelle fortement agrandie soit projetée après avoir traversé l'oculaire de projection, sur un verre dépoli auquel on peut substituer une plaque photographique. L'examen visuel dans l'oculaire est possible, le faisceau lumineux est alors intercepté par un prisme (P) mobile à 90° qui le renvoie dans le tube porte oculaire incliné pour l'observation.

microscope métallographique



INCLUSIONS.

L'évaluation des inclusions non métalliques dans l'acier laminé se fait par comparaison avec des images types constituant l'échelle jernkoutoret (ou échelle JK). Cette norme (NFA 04 - 106) a pour objet la description de la méthode micrographique de dénombrement des inclusions non métalliques des produits laminés.

Types d'inclusions : oxydes, sulfures, silicates, aluminates.

Inclusions: plastiques et non plastiques; on les distingue par leur forme, leur nombre et leur disposition après corroyage (voir tableau JK).

Nous dirons tout simplement que le mode de designation n'est pas fondé sur la spécification d'une certaine nature d'inclusions, mais sur leurs morphologies .

4.2. Essais Mécaniques.

L'essai consiste à soumettre une éprouvette à un effort de traction et généralement jusqu'à rupture, en vue de déterminer une ou plusieurs des caractéristiques mécaniques.

L'essai est exécuté à la température ambiante pour des éprouvettes dont la forme et les dimensions correspondent à la NF A03 - 151 .

INTRODUCTION.

La contrainte de déformation de l'acier étant plus faible à haute température, l'acier étant ainsi plus plastique, il est évident que les lamineurs préfèrent laminier à la plus haute température possible. Cette température est celle qui est juste inférieure à la température de début de brûlures.

Si cette pratique est justifiée du point de vue mécanique, elle doit être critiquée du point de vue métallurgique, car elle conduit à terminer le laminage à température très haute.

Une trop forte température à la dernière passe donne des produits ayant une texture grossière et donc ne présentant pas les meilleures caractéristiques mécaniques.

Si de telles textures peuvent être admises pour certains produits courant laminés par gros tonnages (exemple les ronds à bétons), elles ne peuvent l'être pour les produits dont l'emploi à l'état brut de laminage à chaud conduit à des exigences de qualité.

Les propriétés finales des tôles laminées à froid présentent par rapport à celles des bandes laminées à chaud dont elles sont issues une hérité marquée, dans les domaines de la texture et de la distribution de la cémentite et de la taille de grain.

Nous nous sommes attachés plus particulièrement à l'influence des conditions de laminage à chaud sur la structure des aciers, ainsi qu'à l'observation micrographique de ces derniers.

1. Influence des Eléments d'alliages sur l'acier.

Nous prenons en considération seulement les éléments communs aux aciers traités dans notre étude.

1.1. Le carbone:

C'est le plus important des éléments pouvant s'allier avec le fer. Il n'est pas possible d'en abaisser la teneur au dessous de $0,01 \div 0,02\%$. Il est toujours présent dans l'acier pour lui conférer des propriétés mécaniques déterminées.

Avec l'augmentation de la teneur en carbone, augmente dans les aciers, la résistance à la traction, la limite élastique et la dureté.

1.2. Le phosphore:

Le phosphore est toujours présent dans tous les types d'aciers en quantités variables qui dépendent des matières premières employées et des méthodes de fabrications suivies.

Il forme une solution solide avec le fer, la limite maximale de solubilité étant de $1,7\%$. En présence de carbone cette solubilité diminue toutefois fortement jusqu'à $0,7\%$. La solubilité est plus grande dans le fer γ que dans le fer α , ainsi la répartition présente dépend en très grande partie de la vitesse de refroidissement.

A chaud, il augmente la grosseur du grain provoquant une facilité de surchauffe (sous ce nom il faut classer la fragilité à chaud due à un grossissement excessif de la structure cristalline). En outre le phosphore réduit le domaine $\alpha + \gamma$ élevant la température de la transformation gamma - alpha et baissant la température de début de fusion et rend donc plus délicates les opérations de rechauffage étant donné qu'il est plus apte à provoquer des brûlures.

1.3. Le soufre:

Le soufre se présente avec des pourcentages fortement variables de point à point, à l'intérieur de la brame. Les zones qui se solidifient les premières sont moins riches en soufre et celles qui se solidifient les dernières (centre et partie supérieure) en sont plus riches. Le soufre ne forme pas de solution solide avec le fer.

Il forme par contre un composé, le sulfure de fer qui fond à 980°C et qui a tendance à se déposer entre la ferreté et la cémentite.

À chaud, le soufre provoque une assez forte fragilité, c'est à dire, formation de déchirures superficielles. La cause en est que la température de fusion du sulfure est facilement dépassée dans le laminage à chaud.

Par conséquent, autour des grains se forment des zones liquides qui limitent beaucoup la cohésion du matériau.

Ainsi, sur la surface et à l'intérieur du matériau se forment des défauts "demaillages". Ces défauts du soufre dans le laminage à chaud sont très limités grâce à la présence du manganèse.

1.4. Le Manganèse:

Les aciers courants contiennent de 0,3 à 0,7%. Ayant une plus grande affinité pour le carbone que pour le fer, il tend à former un carbure de manganèse qui s'insère dans la maille de la cémentite de la quelle il n'est pas séparable.

Ayant plus d'affinité pour le fer que le soufre n'en a, il se combine plus facilement en formant un composé: le sulfure de manganèse. Ce dernier n'est pas fragile et fond à plus de 1600°C .

À la température de laminage il ne cause ni fragilité, ni perte de cohésion entre les cristaux. De ce fait, la règle courante en sidérurgie est que le manganèse doit être présent dans les aciers et une quantité sept fois plus grande que le soufre.

Le manganèse bloque donc le soufre et fixe l'oxygène sous la forme MnO assez plastique, au lieu de l'oxyde de fer très dur.

1.5. Le Silicium:

Il donne lieu à une solution solide de fer. On admet, en général que le silicium est présent dans la solution solide non pas sous la forme de silicium pur mais tant que "silicium de fer" FeSi .

Ayant une grande affinité pour l'oxygène, il fixe l'oxygène à l'état libre, soustrait des oxydes de fer et de manganèse l'oxygène déjà combiné, formant à son tour un oxyde de silicium. Pour cette raison, de la phase finale d'affinage de l'acier, on ajoute normalement du silicium dans le four ou dans la poche de coulée.

Le bain est désoxydé et calmé.

Le silicium limite le domaine du fer gamma ($Fe\gamma$). Avec plus de 2% de silicium la phase gamma disparaît pratiquement et il n'y a plus que la phase alpha jusqu'au point de fusion.

L'action du silicium sur les propriétés mécaniques semble devoir être recherchée dans la propriété d'augmenter l'insolubilité du carbone dans le fer, qui précipite sous la forme de carbure, et dans la propriété de former de gros grains, propriété qui est exaltée par des traitements thermiques opportuns sur les tôles fines.

1.6. L'Aluminium:

L'aluminium a une affinité poussée pour l'oxygène, affinité supérieure à celle du silicium et du manganèse. L'aluminium donc, ajouté à l'acier, se transforme en oxyde Al_2O_3 jusqu'à saturation de tout l'oxygène présent dans l'acier sous la forme de granules très durs, indéformables qui gênent l'usinage et le forgeage.

Pour cette raison, l'aluminium est rarement employé comme seul élément calmant et desoxydant de l'acier, sauf dans le cas où sa présence est nécessaire pour obtenir des propriétés déterminées de taille de grains.

A chaud, il confère une grande insensibilité au surchauffage c'est à dire qu'il lui donne une tendance poussée à avoir un grain fin. Ceci paraît dû au fait que la présence de Al diminue la solubilité du carbone dans le fer gamma. Ainsi, dans la masse de l'acier, se forme une grande quantité de particules très petites de carbures qui agissent comme germes de cristallisation pendant le refroidissement.

La structure de l'acier est composée d'un grand nombre de très petits grains au lieu de gros, mais peu nombreux.

Il existe toutefois un intervalle de température dans lequel on a une augmentation secondaire de la solubilité des carbures et donc une augmentation secondaire des dimensions des grains. Il semble que cette température critique diminue avec l'augmentation de la teneur en oxygène. En outre le phénomène est plus visible avec des teneurs comprises entre 0,025 + 0,25%.

2. Aspect Métallurgique du Laminage à Chaud.

2.1. Effet du réchauffage:

L'effet d'une opération de réchauffage sur la surface et sur la structure de l'acier, dépend de trois facteurs:

Atmosphère du four de réchauffage.

Température de réchauffage.

Durée du réchauffage.

2.1.1. Atmosphère du four de réchauffage:

Dans un four normal de réchauffage pour laminoir, elle varie avec le type de combustible employé et à identité de combustible, selon la façon dont est réglée la combustion.

Dans le cas présent, on utilise le fuel lourd (10.000 kcal/kg). On ne considère que l'action de deux composants qui pourraient avoir un effet néfaste sur l'acier traité.

2.1.1.1. L'Hydrogène:

Il a une action triple qui peut-être nuisible pour le traitement de l'acier :

Il gêne la formation de l'oxyde de fer. En sa présence il y a tendance à la formation d'une seule couche d'écaillage, très mince, difficile à détacher parce que plastique.

Ceci peut être particulièrement nuisible dans la fabrication des laminés demandant une surface particulièrement propre tels que les larges plats.

L'hydrogène réagit avec le carbone présent dans l'acier formant des composés qui s'échappent sous la forme gazeuse. On a ainsi une décarburation dans la couche extérieure du matériau au cours du réchauffage.

A des températures déterminées, l'hydrogène peut-être absorbé par l'acier qui en devient plus fragile spécialement s'il contient des teneurs en carbone élevées.

2.1.1.2. L'oxygène.

L'oxygène manifeste une capacité de réaction exceptionnelle qui se manifeste surtout sous deux formes:

L'oxygène diffuse sous forme atomique le long des joints des grains et les attaque en les oxydant. Ainsi recouverts par cette mince couche oxydée les grains perdent leur cohésion.

Pendant le laminage, à cause des efforts de traction qui les sollicitent, les grains se séparent. Sur la surface des laminés apparaissent ainsi des criques ayant, en général, l'aspect de "démallages" et qui mettent en peril les possibilités ultérieures d'utilisation de l'acier.

L'oxygène réagit énergiquement avec le carbone présent dans les grains provoquant une décarburation par fois élevée.

La seule protection contre ces dangereuses actions de l'oxygène atomique est donnée par la couche d'oxyde, remarquable antidote à l'action de cet oxygène est la présence, dans l'atmosphère du four, des composés sulfures sous forme d'anhydride sulfureux ou d'anhydride sulfurique: Le soufre se combinant avec l'oxygène, facilite la formation de la couche d'oxyde protectrice. Le fuel utilisé contient 2 à 3 % de soufre.

Plus la température est élevée, plus la capacité des gaz qui composent l'atmosphère du four, de réagir avec l'acier augmente. L'effet, est d'autant plus grand que la durée du réchauffage est grande.

2.1.2. Température du Réchauffage.

La réalisation des températures élevées, dans le réchauffage de l'acier, donne lieu à des conséquences contradictoires.

D'un côté ces températures provoquent un effet bénéfique en améliorant la plasticité de l'acier, ce qui permet, à égalité de déformation, une consommation d'énergie plus faible au cours du laminage et un danger moindre de ruptures des installations et des cylindres

D'un autre côté, par contre, elles donnent lieu à toute une série d'effets imisibles pour l'acier comme la brûlure et le grossissement exagéré des grains.

2.1.2.1. Fusion du contour des grains;

Sur le diagramme fer - carbone (Cf. Planche :), reporté pour en faciliter la consultation, les températures de début de fusion de l'acier sont représentées par la courbe A.E.

La courbe nous dit par exemple que:

Pour un acier à 0,5% de carbone, le début de la température de fusion est de 1420°C. Nos aciers ont une teneur en carbone de l'ordre de 0,1% ce qui donne une Tf: 1500 °C.

Tandis que pour un acier à 1,2% de carbone elle est de 1290°C ceci, toutefois, n'est valable qu'en théorie. En pratique, nous savons qu'un acier au carbone contient d'autres composants qui concordent pour abaisser sensiblement la température de début de fusion.

Nous savons en outre qu'à cause du phénomène de la ségrégation majeure dans l'acier, lors de son élaboration, l'analyse chimique n'est pas égale en tout point: En général, au centre des brames, le contenu de carbone, soufre, phosphore etc... est beaucoup plus que

le contenu nominal de la coulée. De ce fait, ces zones peuvent avoir un point de début de fusion encore plus bas.

Nous savons aussi que dans le phénomène de la ségrégation mineure, le contour des grains présente un contenu d'éléments en alliage plus grand que la moyenne de la zone d'acier environnante.

Il faut en outre, tenir compte que sur le contour des grains centraux α , en général, une concentration assez importante d'impuretés, poussées dans ces zones par le processus de solidification, Ce qui rend encore plus facile le début du phénomène de fusion localisée. En correspondance avec les zones fondues la cohésion intergranulaire est annulée et, par conséquent, au cours du laminage, le matériau cède.

Conclusion:

Pour ne pas recourir à ces phénomènes, il faut éviter d'atteindre des températures plus hautes que indiquées par la ligne dans le diagramme.

Aussi, lors du processus de la coulée, le métal doit être aussi peu chargé que possible en inclusions non métalliques et on doit-on observer une tenue aussi bonne que possible des fourchettes d'analyse ou des exigences métallurgiques imposées par la clientèle.

La bonne homogénéité chimique et thermique du métal dans la poche de coulée doit être aussi complète que possible.

2.1.2.2. Effet de la Température d'Austénisation.

La grosseur du grain austénitique, dit aussi grain à chaud, est influencée par la température de réchauffage car avec l'augmentation de la température augmente la grosseur du grain.

2.1.2.2.1. L'augmentation de la taille des grains s'effectue par un mécanisme de déplacement des joints du α à la mise en solution des éléments d'alliage ou impureté en phase γ C.F.C.

Les grains qui grossissent le font en absorbant leurs voisins. Le grain le plus perfectionné grossit au dépend du grain moins parfait, avec abaissement de l'énergie libre de l'ensemble.

L'aptitude du grain au grossissement varie donc avec les aciers: (composition).

Selon la composition chimique.

Selon la façon dont il a été élaboré: la présence d'oxygène, par exemple, augmente beaucoup l'aptitude au grossissement. Aussi pour un acier donné, elle est dûe à deux faits:

Cycle thermique que l'acier a subi.

A la tendance propre, plus ou moins élevée, au grossissement du grain.

Donc du point de vue théorique chaque acier a une grandeur intrinsèque qui est liée à l'élaboration de ce dernier car elle dépend des modalités de traitements dans le four, de la composition chimique et de la teneur en impuretés. Par contre en pratique l'acier montre une grandeur effective de grain, mesurée au microscope, qui est influencée par cette grandeur intrinsèque mais déterminée par la température et le temps de réchauffage. Ainsi que, comme nous le verrons par la suite, elle le sera aussi par la température à laquelle est effectué le dernier passage du laminage.

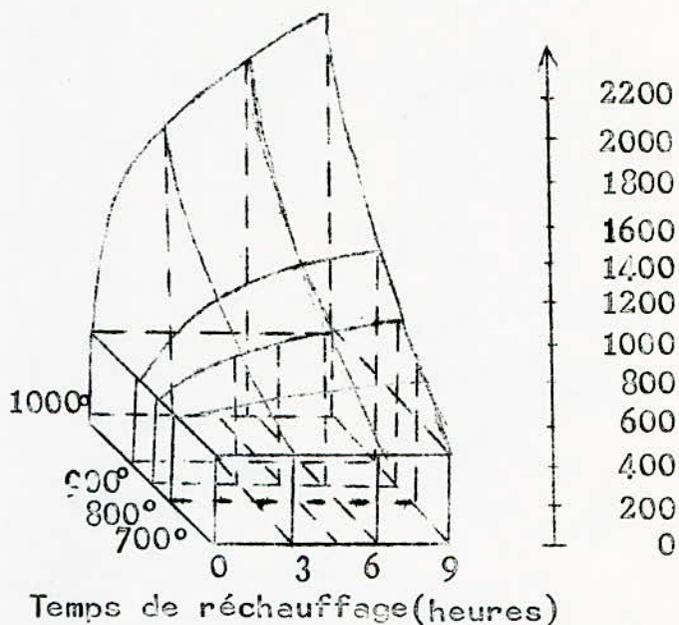
Il en résulte que la température de réchauffage de l'acier doit être la plus basse, tout en respectant la nécessité de couferer à l'acier les caractéristiques de plasticité suffisantes et la possibilité de souder les soufflures intérieures, dans le cas des aciers effervescent. Elle est fixée en général aux alentours de 1200°C.

2.1.3. Durée de réchauffage.

L'augmentation du temps de maintien de l'acier dans le four à température élevée a toujours des conséquences nuisibles:

Le phénomène précité est évident car si la permanence des causes qui régènerent le phénomène se prolonge dans le temps, le phénomène même en resultera agrandi.

Dimensions de grain (mm²/1000)



(fig. 2.1.3.)

Le diagramme (fig. 2.1.3.) indique pour un acier extra doux, les variations de la grosseur du grain pour des températures de réchauffage différentes, selon le temps de maintien.

L'attaque chimique des gaz présente dans le four se trouve prolonger, augmentant ainsi l'oxydation de la surface, l'oxydation du contour des grains et la décarburation.

2.2. Effet du Laminage à Chaud.

Le laminage influe sur la structure de l'acier de façon différente suivant :

La température à laquelle il est effectué et

Selon l'importance de la déformation qu'il produit.

2.2.1. Influence de la Température de Laminage sur la Structure.

La distribution de chaleur à l'acier et donc l'augmentation de sa température, conféré aux éléments qui le composent une augmentation d'énergie interne et donc une plus grande capacité à s'agiter et éventuellement à se dégager, pendant des périodes assez brèves, des forces de cohésion qui les lient en positions bien définies. Il arrive ainsi qu'à un certain point, quelques grains brisent le contour qui les délimite tandis que leurs atomes ont, pendant un bref instant, un mouvement de mise en place et se reconstituent ainsi dans une nouvelle forme extérieure qui leur permet un équilibre stable.

Cette tendance des agrégats cristallins à se régénérer pour se libérer des tensions qui les lient est dite recristallisation.

En relation avec cette disposition de l'acier à la recristallisation on obtient sur le laminé des structures différentes selon la température à laquelle est effectué le laminage.

2.2.1.1. Température Supérieure à Ar 3.

Dans le domaine austénitique la vitesse de recristallisation est très élevée, de ce fait les grains recristallisent tout de suite après leur déformation. L'acier laminé en ces conditions présentera donc des grains équiaxiaux dépourvus de tensions internes, qui ne seront ou faiblement altérés par le processus de laminage.

La dimension dans ce cas, n'est influencée que par la température à laquelle l'acier est porté pendant le réchauffage et resultera, d'autant plus grande que la température est élevée.

2.2.1.2. Température Inférieure à Ar 3.

Dans ce cas, l'aptitude à la recristallisation et la vitesse de recristallisation sont plus petites que dans le cas précédent.

La recristallisation peut néanmoins se manifester dans les cristaux ayant subis, à cause de leurs orientations, une déformation suffisamment élevée et qui se trouvent ainsi dans un état de tension interne. Ces grains commencent à se régénérer, à partir d'une forme équiaxiale continuent à absorber les cristaux environnants moins déformés jusqu'à ce qu'ils ne soient plus gênés dans leur croissance par d'autres grains en phase de développement.

En laminant à une température inférieure à Ar₃, on crée des difformités entre les dimensions des grains qui se trouvent vers l'extérieur, donc en surface, et les dimensions des grains qui se trouvent à coeur du laminé.

Ceci parce que la température du matériau à la périphère est normalement plus basse qu'au centre. Donc, à égalité de déformation, le processus de la recristallisation se développe de façon différente dans les diverses parties du laminé et ainsi se régèrent des grains de dimensions différentes.

Ces structures à grains de dimension non uniforme, dites structures mixtes, sont indésirables parce qu'elles donnent lieu à un produit avec des propriétés hétérogène dans le volume de la tôle. Pour cette raison il est toujours souhaitable de terminer le laminage à une température supérieure à Ar 3.

2.2.2. Influence de la Réduction sur la Structure.

Nous avons vu que la tendance de l'acier à se recristalliser trouve ses origines dans la nécessité qu'ont les édifices cristallins d'éliminer les états de contraintes dans lesquels ils se trouvent par effet de leur déformation, et que la recristallisation se manifeste quand l'énergie interne acquise par les atomes par effet de la température est suffisante pour vaincre ces contraintes extérieures.

Nous savons cependant qu'une réduction déterminée de la forme du laminé ne provoque pas de déformations égales dans tout le volume. Selon leurs orientations, certains grains sont plus déformés que d'autres.

Si la déformation du laminé est d'importance limitée à l'intérieur il n'existent pas de grains suffisamment déformés pour donner lieu aux recristallisations préférentielles. Leur aspect équiaxial reste inchangé et leur état de tension sera presque normal.

Si par contre la déformation du laminé acquiert une valeur plus élevée, les grains orientés de façon particulièrement favorable à la direction des forces subissent une déformation considérable et deviennent ainsi des germes de recristallisation et commencent à se reconstruire.

Étant environnés par des grains en état de relâchement presque normal, il ne trouvent pas d'obstacle à leur transformation et continuent à grossir jusqu'à ce qu'ils se rencontrent entre eux.

Les valeurs de la réduction donnant lieu à ces forts grossissements varient selon la température. Par exemple, pour des températures élevées (1150° à 1200°C), des réductions minimales (1 à 2%) suffisent pour provoquer de forts grossissements. Pour des températures plus basses des réductions un peu plus élevées, sont nécessaires ainsi à 850°C , des réductions de l'ordre de 13 à 14% sont nécessaires.

2.3. Refroidissement des Bandes.

Le refroidissement se fait par aspersion. Les bandes sont arrosées par dessus et par eu-dessous lorsqu'elles traversent une section de refroidissement.

La vitesse de refroidissement est suffisamment lente pour donner les principaux constituants des aciers traités soit la ferrite et la cémentite.

2.4. Paramètres de Laminage à Chaud.

Pour l'application des tôles à chaud pour emboutissage, les paramètres essentiels sont la température de fin de laminage TF (température du métal au moment il subit la dernière réduction d'épaisseur) et la température de bobinage TB (température du métal quand il entre dans la bobineuse). On pourrait attribuer un effet à deux autres paramètres : la température d'austénisation de la brame Ta et la vitesse de refroidissement entre TF et TB, mais, d'une part la surveillance de ces paramètres n'est pas essentielle quand on traite des tôles d'analyse chimique aussi simple et, d'autre part le fonctionnement des trains à chaud ne connaît pas une grande souplesse de réglage pour ces paramètres quand il s'agit de laminier les épaisseurs de 2 à 5 mm qui sont usuelles pour les produits étudiés.

Ta est généralement de l'ordre de $1150^{\circ} + 1200^{\circ}\text{C}$ et la vitesse de refroidissement fonction des installations.

3. Exploitation des Résultats LAC.

3.1. Interprétation des essais mécaniques.

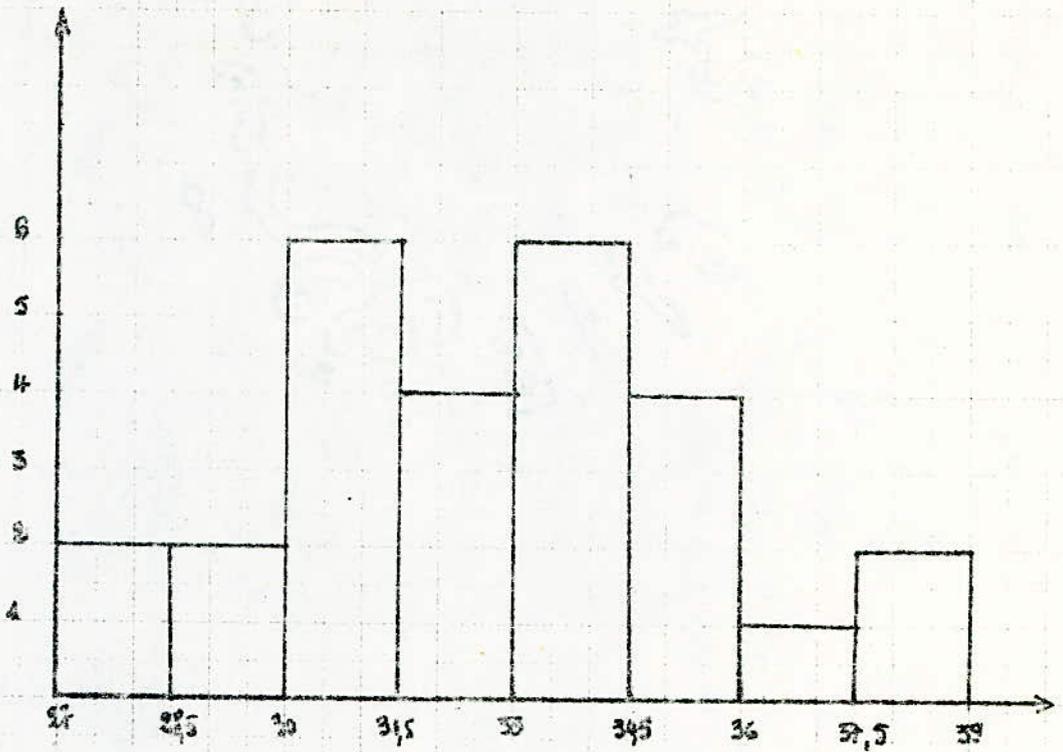
Pour l'interprétation des données, nous adaptons une représentation graphique basée sur la continuité des caractères quantitatifs.

3.1.1. Méthode.

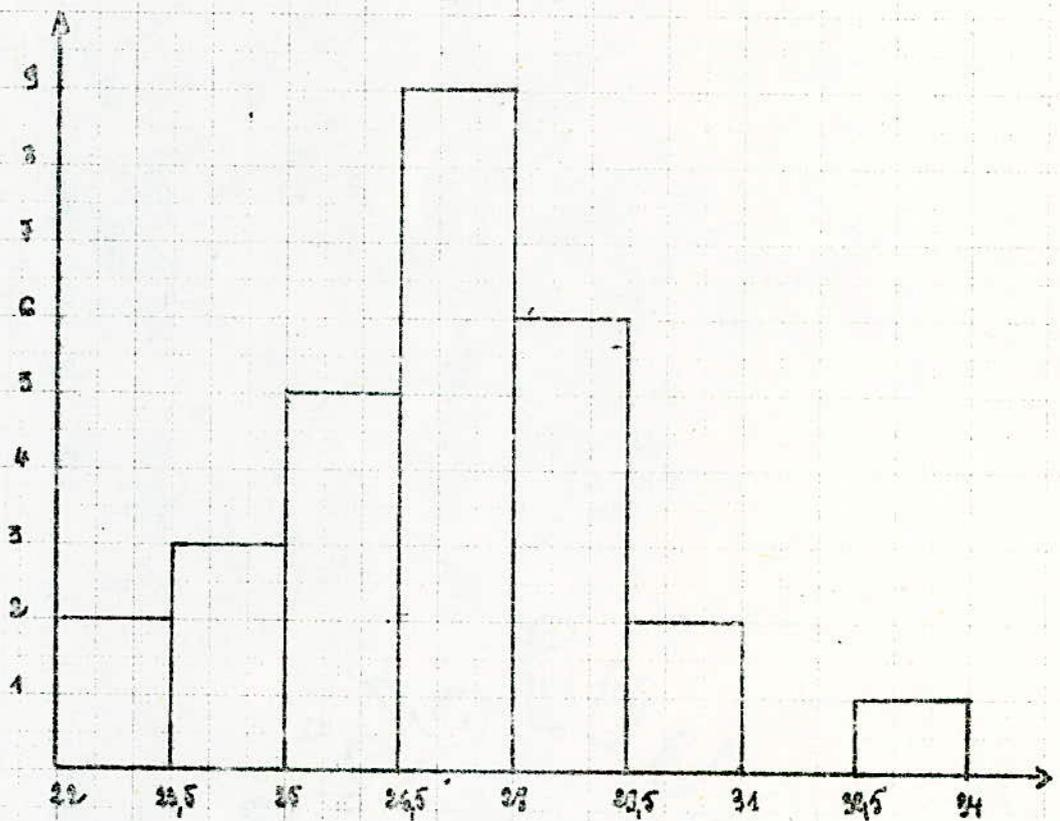
Nous procédons à un groupage des observations en divisant l'intervalle (valeur maximum, valeur minimum) dans lequel le caractère peut varier en intervalles partiels de classes. On détermine le nombre d'observations tombant dans chaque classe (ou effectif de classe).

Pour cela, nous nous sommes fixés le même nombre N d'échantillons. Les classes sont portées en abscisse, les effectifs en ordonnée.

ELASTICITE TRANSVERSALE

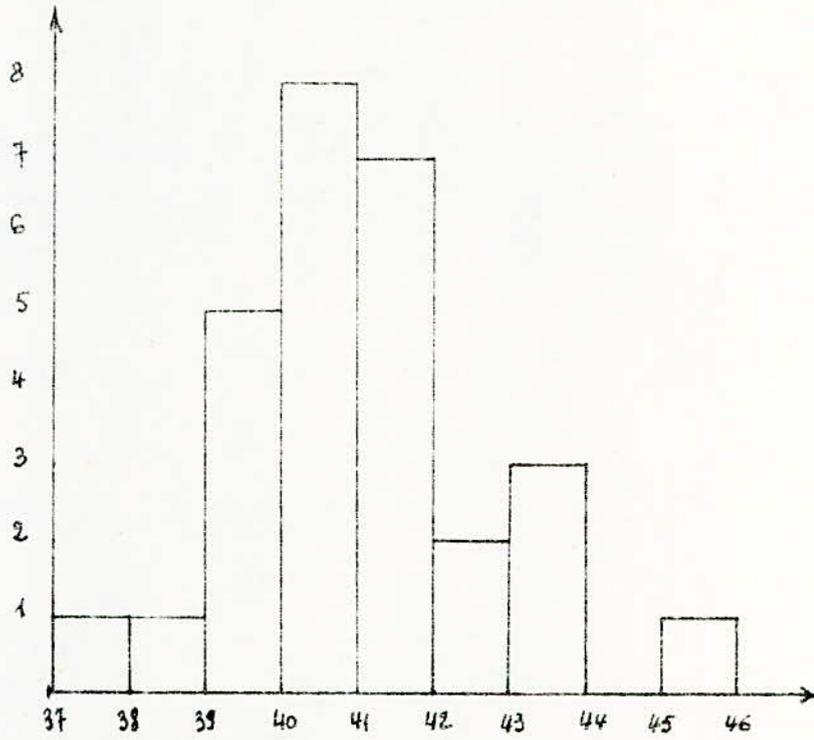


Acier Calmé

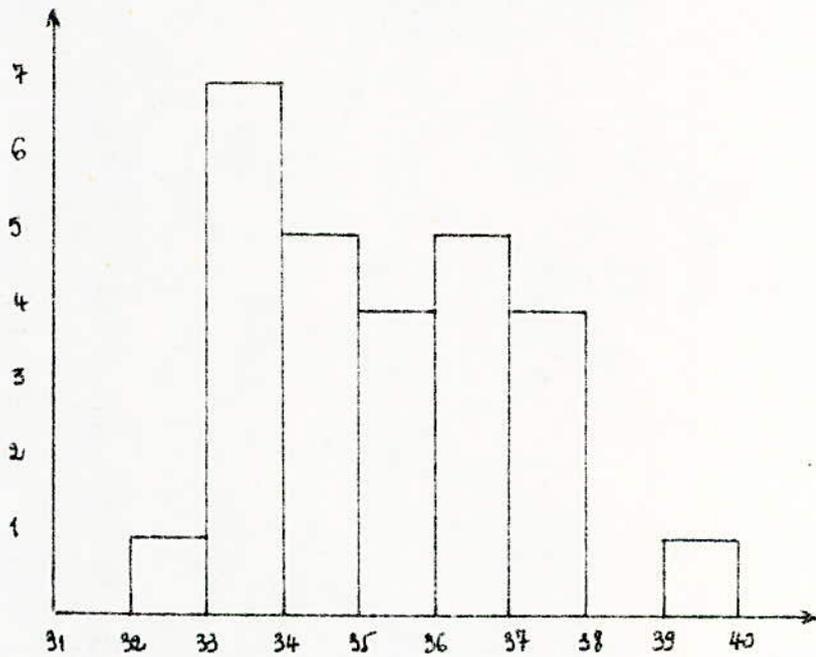


Acier effervescent

RESISTANCE TRANSVERSALE

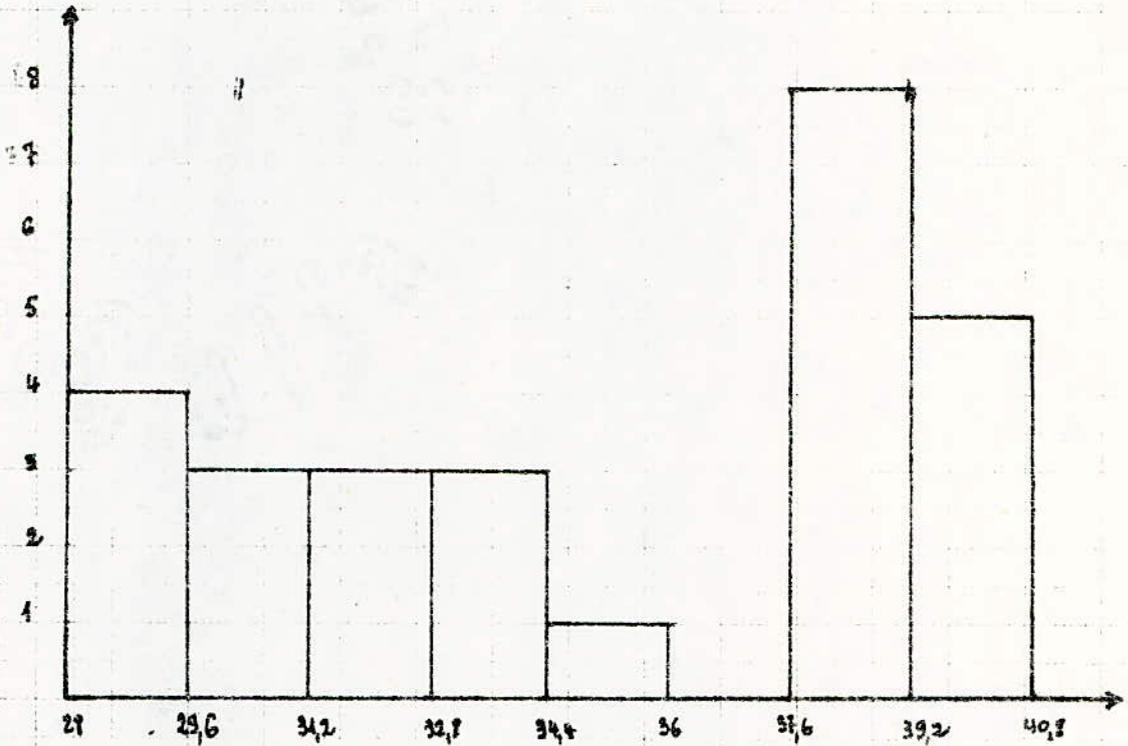


Acier Calmé

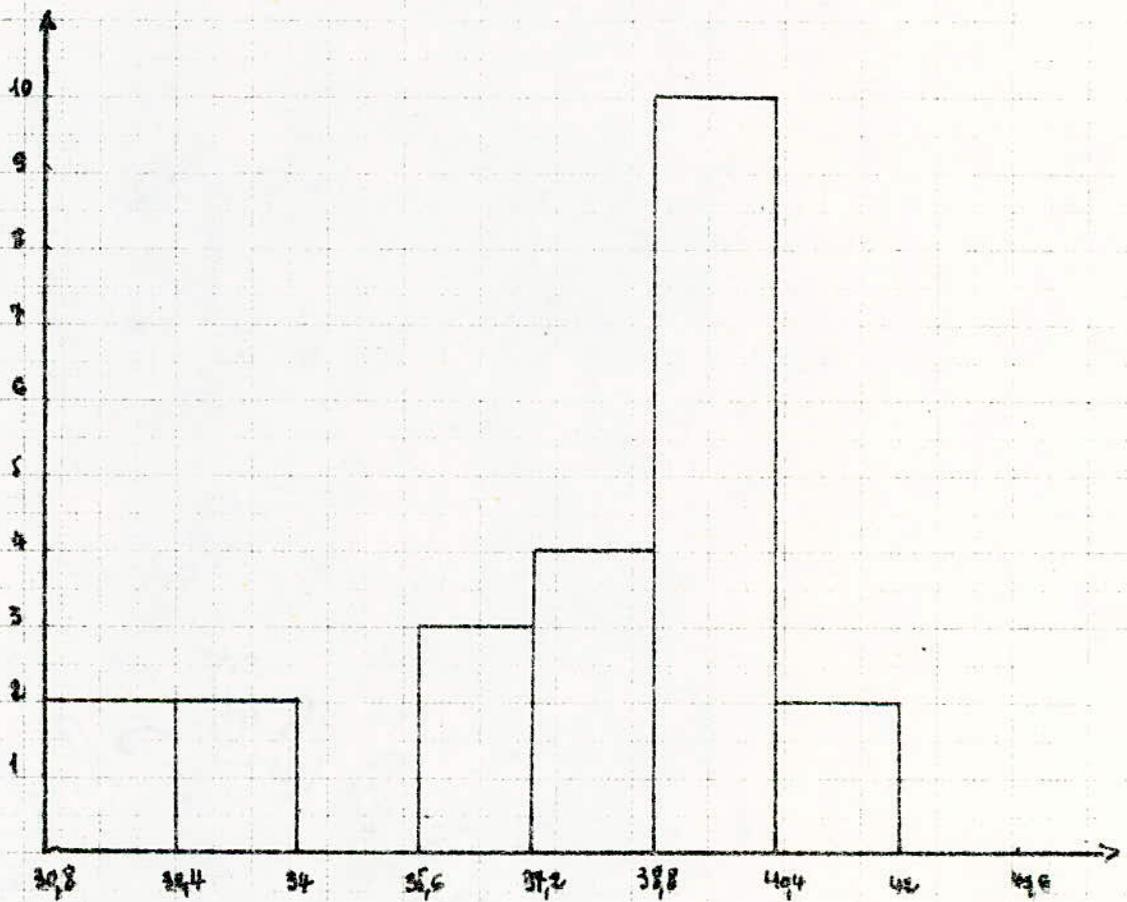


Acier effervescent

ALLONGEMENT %



Acier Calmé



Acier effervescent

3.1.2. Résultats.

Les résultats obtenus font songer immédiatement à une distribution normale. Les intervalles de classes étant égaux, on adopte comme moyen de travail X_0 la valeur centrale d'une classe voisine du milieu de la distribution. Si alors C est l'intervalle de classes, la valeur centrale de chaque classe ramenée à la moyenne de travail X_0 , est de la forme :

$$xi = C \times Ui$$

Ui étant un nombre entier.

On aura alors :

$$m' = X_0 + C \cdot Ui$$

$$V' = C^2 \frac{\sum n_i (Ui - \bar{U})^2}{N} \quad \bar{U} = \frac{T}{N}$$

$$\sigma' = \sqrt{V'}$$

Nous appliquons ce mode de calcul sur l'une des distributions observées.

Exemple: Calcul de la valeur moyenne et de l'écart type observés dans la distribution transversale de l'acier calmé.

La distribution statistique observée est résumée par les deux premières colonnes du tableau ci-dessous.

C l a s s e s	effectif n_i	U_i	$n_i \times U_i$	$n_i U_i^2$
27 - 28,5	2	- 4	- 8	32
28,5 - 30	2	- 3	- 6	18
30 - 31,5	6	- 2	- 12	24
31,5 - 33	4	- 1	- 4	4
33 - 34,5	6	0	0	0
34,5 - 36	4	1	4	4
36 - 37,5	1	2	2	4
37,5 - 39	2	3	6	18
	<u>N=27</u>		<u>T=-18</u>	<u>=104</u>

Intervalle de classe: $C = 1,5$.

$$\bar{u} = \frac{T}{N} = - \frac{18}{27} = - 0,66$$

$$m' = X_0 + C\bar{u} = 33 - 1,5 \times 0,66 = 32,01$$

$$S = 104 - \frac{T^2}{N} = 104 - \frac{324}{27} = 92$$

$$V' = C^2 \times \frac{S}{N} = 2,25 \times \frac{92}{27} = 7,66$$

$$\sigma' = \sqrt{V'} = 2,35$$

Ce contrôle statistique permettra de vérifier les caractéristiques du produit avec les spécifications auxquelles ce dernier doit répondre. Dans notre cas, ces spécifications ont été fixées comme suit :

E_T Kg/mm ²	R_T Kg/mm ²	A %
32 Max	42 Max	30 Min

On remarque que l'hypothèse faite sur la distribution, se vérifie sur l'acier effervescent pour l'élasticité transversale et sur l'acier calmé pour la résistance transversale.

3.1.3. Conclusion.

Il est évident que la distribution vraie ne peut être déterminée de façon certaine en dehors du cas de l'inspection à 100%. On suppose que les inclusions influencent les propriétés travers, donc l'isotropie des propriétés mécaniques des produits métallurgiques ayant subi un corroyage à chaud (laminage): En effet, des études statistiques sur les caractéristiques en travers des produits ont, par exemple, montré que, dans les produits particulièrement riches en inclusions de grandes dimensions, les courbes de fréquence des valeurs de la striction en travers, au lieu de présenter la forme en cloche classique, présentaient des queues vers les valeurs basses de la striction, dans que, pour cela, le maximum de la courbe de fréquence ait été abaissé par comparaison avec du métal de composition et de structure analogues mais propre, cette analogie a été rapprochée de l'existence de grosses inclusions.

Il serait intéressant de vérifier, dans notre cas, cela sur les caractéristiques travers de produits de composition et de structure bien définis afin de pouvoir en juger de la propreté du métal.

Aussi est-ce un moyen de vérifier le type d'inclusions et la propreté du métal.

3.2. Interprétation des Micrographies

Rappelons que les indices de grain sont déterminés par comparaison avec des micrographies standard établies selon la norme AFNOR ou parfois ASTM.

Théoriquement la grosseur de grain s'exprime soit en nombre de grains au mm² de surface de l'éprouvette examinée, soit par l'indice conventionnel G. Si N est le nombre de grains au mm² G est défini par la formule :

$$N = 16 \times 2^{G-1} \quad \text{ou}$$
$$G = \log \frac{N}{0,301}$$

Dans notre cas, nous l'avons noté I_G.

La composition chimique de l'acier effervescent figurera sous une forme réduite, à partir d'une formule empirique établie comme suit:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{4}$$

où C et Mn représentent les teneurs, en pourcent, respectives du carbone et du manganèse.

Sur les planches, les dimensions des grains sont toujours établies conformément aux normes de l'ASTM.

Les grossissements des micrographies optiques, et le type d'attaque sont portés en haut à droite de chaque planche.

TYPE: ACIER CALME AU SILICIUM

Analyse chimique

N°	C	Mn	Si	P	S	Al
1	0,105	0,36	0,07	0,008	0,008	0,018
2	0,09	0,43	0,08	0,011	0,011	0,036
3	0,10	0,34	0,10	0,009	0,013	0,159
4	0,09	0,43	0,10	0,011	0,013	0,16
5	0,09	0,33	0,08	0,011	0,013	0,011
6	0,095	0,42	0,09	0,009	0,012	0,035
7	0,085	0,42	0,095	0,015	0,011	0,022
8	0,07	0,34	0,010	0,09	0,016	0,022
9	0,06	0,42	0,10	0,010	0,010	0,13
10	0,09	0,43	0,10	0,011	0,013	0,16

Paramètres LAC.

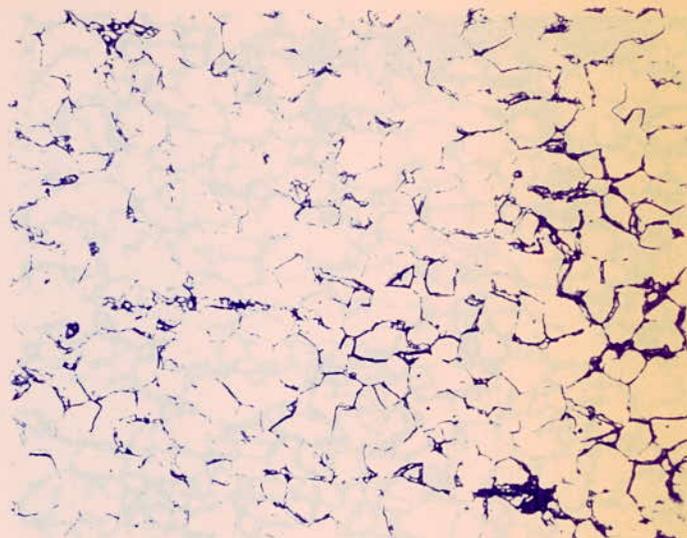
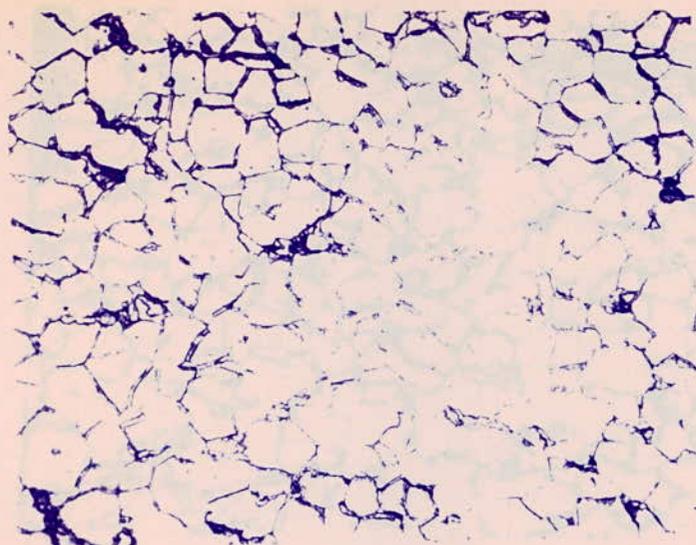
N°	T _f ^o	T _b ^o	I n d i c e de grains	
			BORD	MILIEU
1	900	665	9	10
2	900	660	9	12
3	900	650	9	10
4	900	670	9	10
5	910	670	8	9
6	890	660	8	10
7	890	650	11	12
8	885	605	8	9
9	910	670	8	9
10	900	670	10	9

G^x400

Attaque: Nital 4%

1B

1M



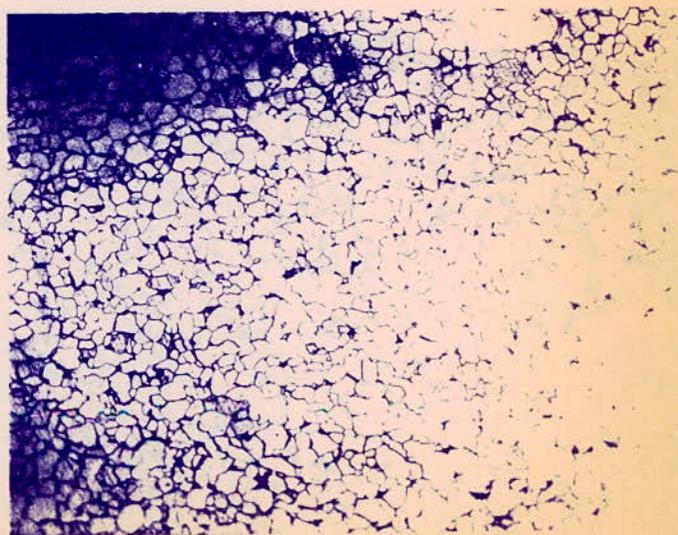
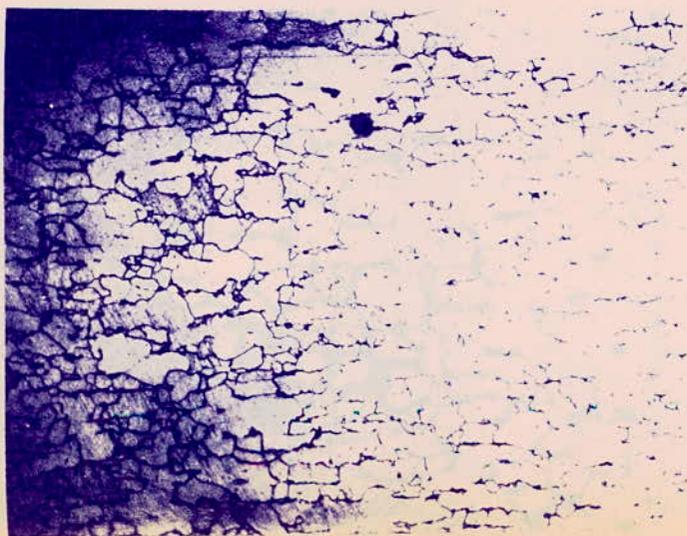
lg 9

lg 10

T_f°890 ————— T_b°665

2B

2M



lg 10

lg 12

T_f°900 ————— T_b°660

On remarque dans l'ensemble que nous avons toujours un grain plus gros au bord de l'échantillon qu'au milieu de ce dernier.

Toutefois une homogénéité s'observe et se pour différentes compositions chimiques dans une échelle de température assez notable.

Nous expliquons cette légère différence à l'action combinée de la décarburation plus poussée en surface qu'à coeur, lors du réchauffage, et de l'écroutissage qui, lors du laminage, accentue le phénomène.

Aussi nous dirons, qu'à une vitesse de refroidissement comparable, la structure finale sera à grains d'autant plus gros que l'austénite est plus grossière. Une bande à faible teneur en carbone se composera de gros grains de ferrite et de gros ilots de perlite (N°9), une bande à teneur en carbone un peu plus élevée présentera un grain plus gros (N°1).

Il semble que la grosseur du grain est fonction de la teneur en carbone, du moins en surface des bandes traitées.

Le bord se refroidissant plus vite que le centre, ce dernier présentera une structure plus homogène.

La cémentite perlite se présente sous forme d'un liseré où par endroits elle se trouve en cornes de ferrite. Pendant le refroidissement relativement lent, la ferrite qui s'est formée, à partir de l'austénite, s'est déposée sur la ferrite non dissoute. (Cf. Métallographia t₁₁).

TYPE : ACIER EFFERVESCENT

Analyse chimique:

$$C_{eq} = 0,16 \pm 0,18$$

Paramètres LAC:

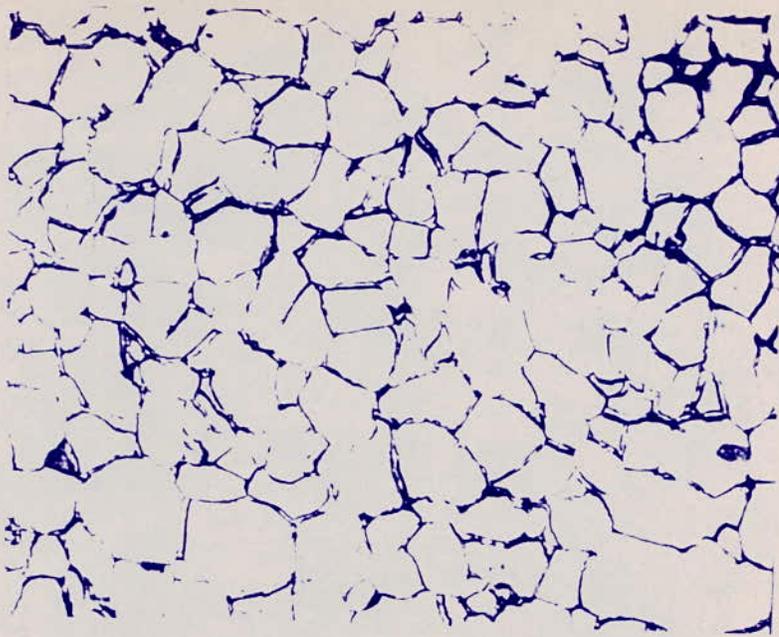
N°	T _f °	T _b °	Indice de grains	
			BORD	MILIEU
11	850	580	8	10
12	870	580	8	9
13	840	600	7	11
14	870	600	8	10
15	880	610	7	10

Dans le cas de l'acier effervescent, les grains au bord sont légèrement plus gros que ceux de l'acier calmé pris au même endroit.

Les grains sont plus purs que ceux de l'acier calmé, ils ne contiennent pas d'inclusions intergranulaire.

$G^x 800$
Attaque: Nital 4%

11B

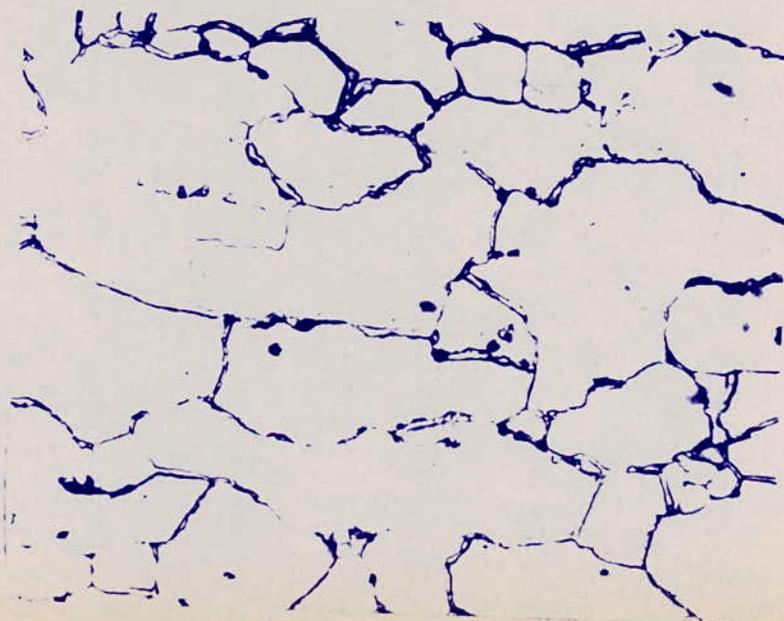


$T_f^{\circ} 850$

$T_b^{\circ} 580$

lg 8

11M



$T_f^{\circ} 850$

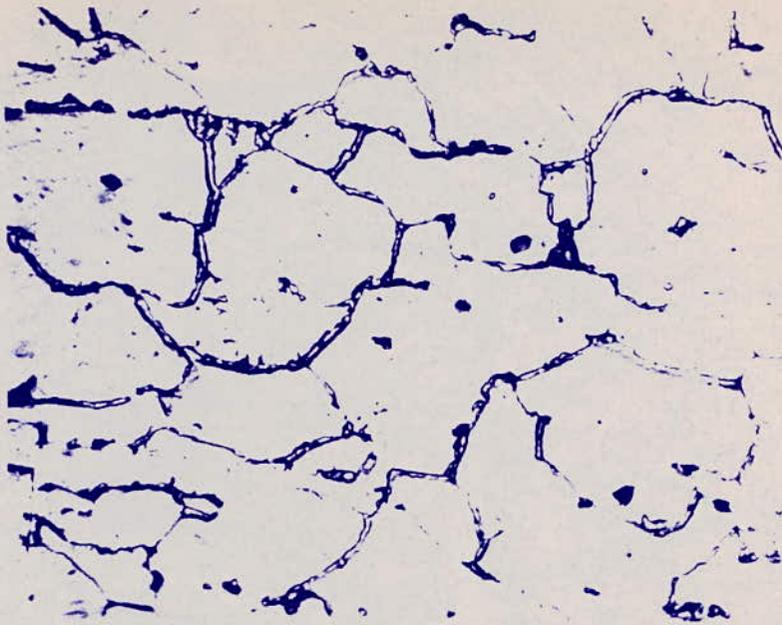
$T_b^{\circ} 580$

lg 10

$G^x 800$

Attaque: Nital 4%

12B

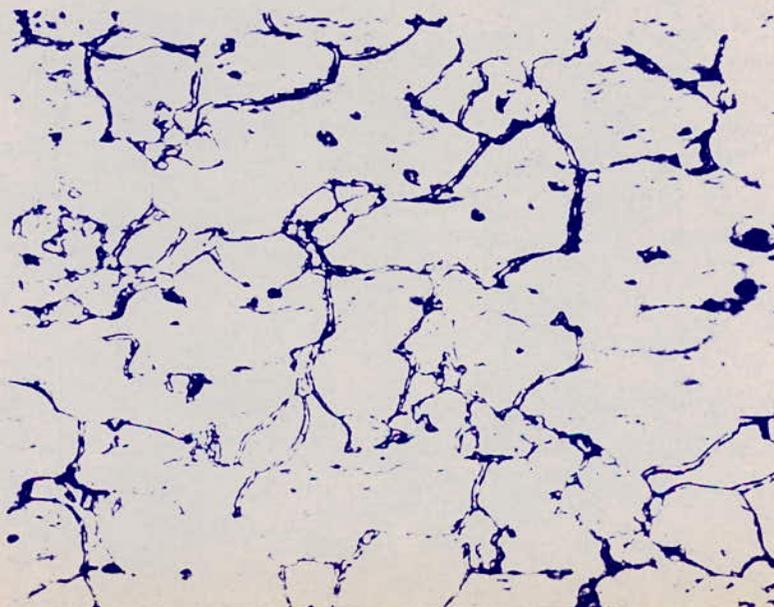


$T_f^{\circ} 8370$

$T_b^{\circ} 5830$

lg 8

12M



$T_f^{\circ} 8370$

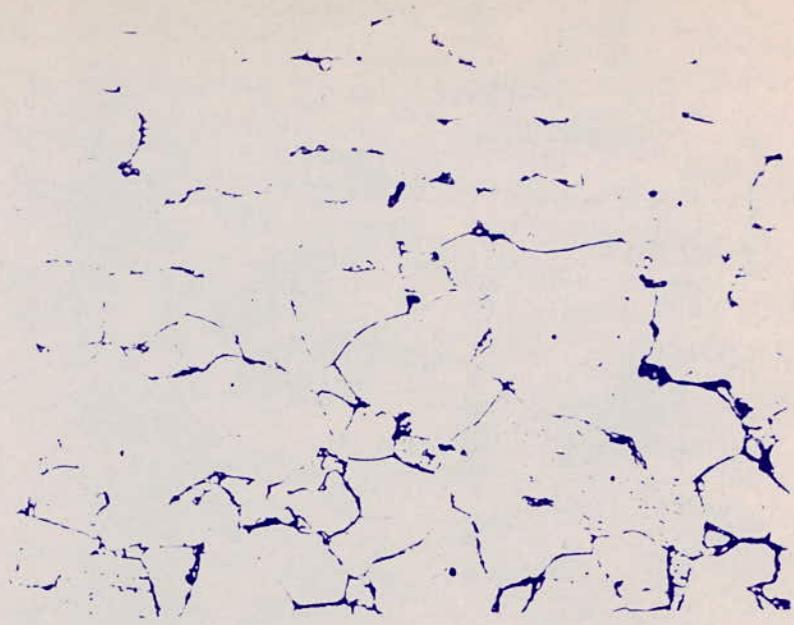
$T_b^{\circ} 5830$

lg 9

G^x800

Attaque: Nital 4%

13B

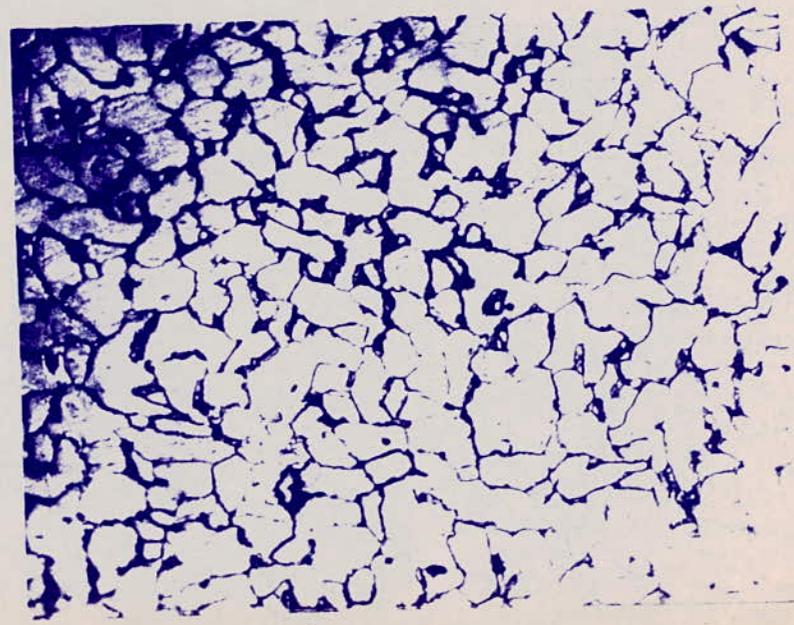


T_f°840

T_b°600

lg 7

13M



T_f°840

T_b°600

lg 11

grains que dans les joints. Cette répartition n'est pas expliquée.

Il semble que cet élément alphasène (domaine gamma réduit) provoque dès la solidification du métal un rejet du carbone car l'aspect micrographique de l'intérieur de la brame montre de très petites plages de carbures, plus nombreuses et plus petites que dans le cas d'un acier effervescent.

Une comparaison entre ces différents aciers serait souhaitable.

4.2. Interprétation des Essais Mécaniques.

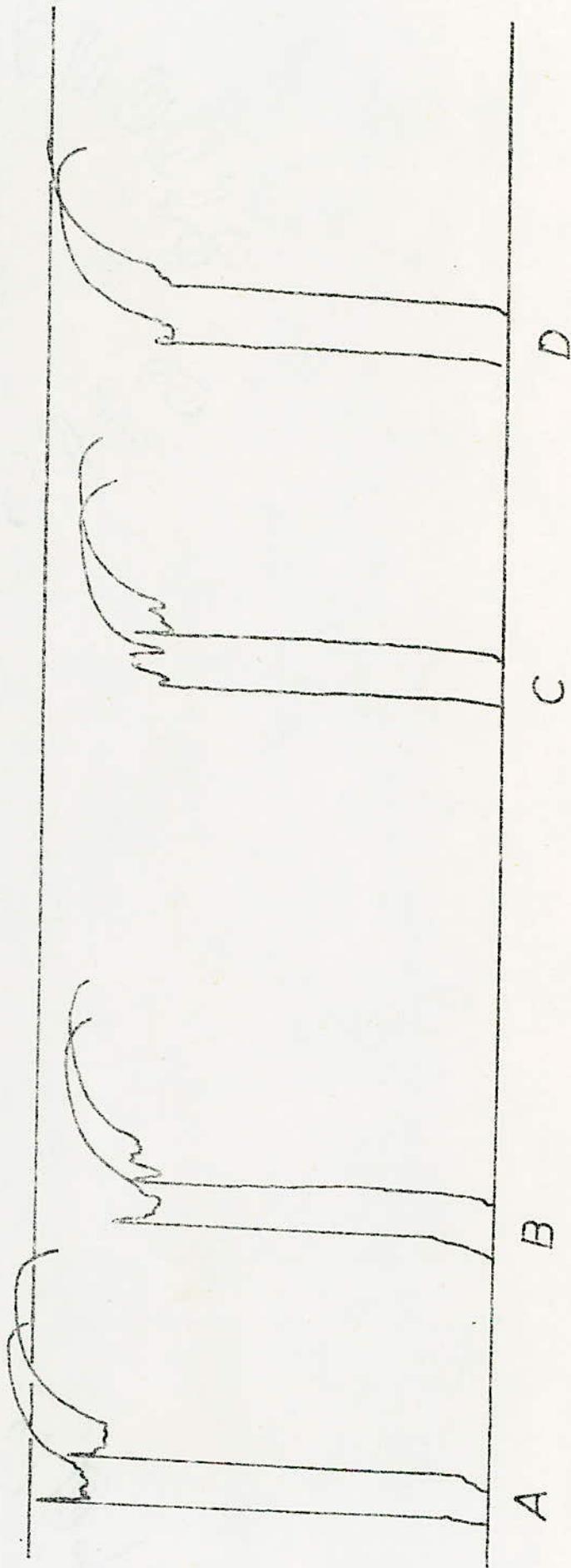
4.2.1. Les aciers étudiés à cet effet portent sur l'analyse chimique suivante:

Indice	Types	C	S _i	Mn	P	S	Al.
A	Effervescent	0,08	Traces	0,37	0,007	0,022	0,011
B	"	0,06	"	0,39	0,008	0,018	0,012
C	Calmé	0,07	"	0,39	0,008	0,018	0,012
D	"	0,06	"	0,40	0,012	0,018	0,011

4.2.2. Résultats d'essais avant Skin-pass.

Le laminage à froid amène l'épaisseur de 2,8 à 1mm, soit un taux de réduction de 65% pour les quatre échantillons. Le recuit s'est fait dans les mêmes conditions, une température de 680°C avec un temps de maintien de 25 heures.

tractions avant skin-pass
sens transversal



grains que dans les joints. Cette répartition n'est pas expliquée.

Il semble que cet élément alphagène (domaine gamma réduit) provoque dès la solidification du métal un rejet du carbone car l'aspect micrographique de l'intérieur de la brame montre de très petites plages de carbures, plus nombreuses et plus petites que dans le cas d'un acier effervescent.

Une comparaison entre ces différents aciers serait souhaitable.

4.2. Interprétation des Essais Mécaniques.

4.2.1. Les aciers étudiés à cet effet portent sur l'analyse chimique suivante:

Indice	Types	C	S _i	Mn	P	S	Al.
A	Effer- vescent	0,08	Traces	0,37	0,007	0,022	0,011
B	"	0,06	"	0,39	0,008	0,018	0,012
C	Calmé	0,07	"	0,39	0,008	0,018	0,012
D	"	0,06	"	0,40	0,012	0,018	0,011

4.2.2. Résultats d'essais avant Skin-pass.

Le laminage à froid amène l'épaisseur de 2,8 à 1mm, soit un taux de réduction de 65% pour les quatre échantillons. Le recuit s'est fait dans les mêmes conditions, une température de 680°C avec un temps de maintien de 25 heures.

grains que dans les joints. Cette répartition n'est pas expliquée. Il semble que cet élément alphasène (domaine gamma réduit) provoque dès la solidification du métal un rejet du carbone car l'aspect micrographique de l'intérieur de la brame montre de très petites plages de carbures, plus nombreuses et plus petites que dans le cas d'un acier effervescent.

Une comparaison entre ces différents aciers serait souhaitable.

4.2. Interprétation des Essais Mécaniques.

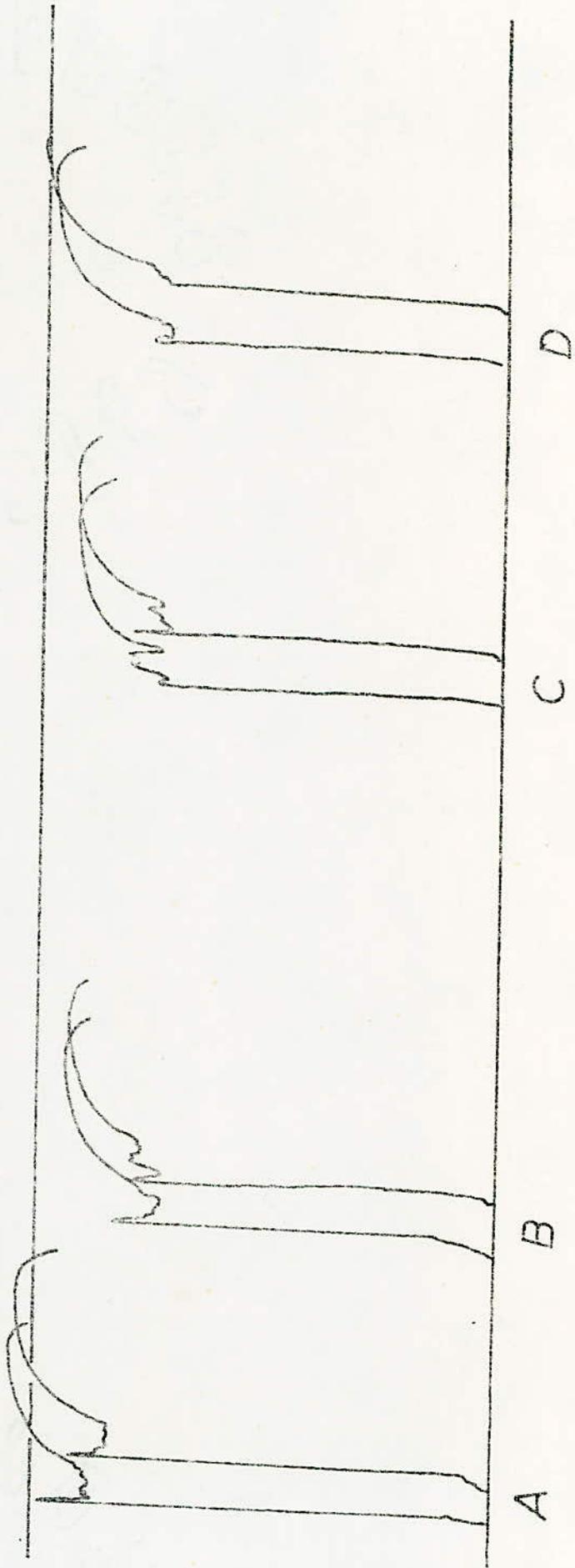
4.2.1. Les aciers étudiés à cet effet portent sur l'analyse chimique suivante:

Indice	Types	C	S _i	Mn	P	S	Al.
A	Effervescent	0,08	Traces	0,37	0,007	0,022	0,011
B	"	0,06	"	0,39	0,008	0,018	0,012
C	Calmé	0,07	"	0,39	0,008	0,018	0,012
D	"	0,06	"	0,40	0,012	0,018	0,011

4.2.2. Résultats d'essais avant Skin-pass.

Le laminage à froid amène l'épaisseur de 2,8 à 1mm, soit un taux de réduction de 65% pour les quatre échantillons. Le recuit s'est fait dans les mêmes conditions, une température de 680°C avec un temps de maintien de 25 heures.

tractions avant skin-pass
sens transversal



Indice	HRB	E_T	R_T	A %
A	47	27,1	32,6	33,7
B	39	24,5	30,9	37,5
C	48	25,1	31,7	37,5
D	42	24,6	32,6	36,25

4.3. Le Skin-Pass.

Pour beaucoup d'usages la tôle, telle qu'elle sort du recuit, ne peut être utilisée pour les raisons suivantes.

Si l'on découpe dans une tôle qui vient d'être recuite une éprouvette de traction et que l'on trace la courbe effort - allongement on trouve à la fin de la déformation élastique un palier assez important (4.2.2). Ce palier de limite élastique est assez particulier au fer. Il est d'autant plus développé que la structure de la tôle est à grains fins.

Lorsqu'on emboutit une pièce, il se produit un aspect analogue à celui des bandes de PLOBERT - LUDER dans les régions peu déformées de la pièce, celles qui ont juste supporté une sollicitation égale ou à peine supérieure à la limite élastique. Les lignes de LUDER ont alors un aspect assez tourmenté, on les appelle vermiculaires. Les parties les plus déformées de la pièce ont par contre un aspect lisse. Pour remédier à ce défaut, il faut donner à la tôle un certain allongement.

Si cet allongement était donné par traction, il devrait être égal à la longueur du palier de limite élastique. En réalité l'allongement est donné industriellement par laminage, laminage et traction. L'allongement produit varie entre 0,5 et 2,5 % plus le grains du métal est fin, plus le palier de limite élastique est long, donc plus il faut donner d'allongement pour le faire disparaître.

Lorsque, pour faire disparaître le palier de limite élastique du fer, on lui a fait subir un écrouissage, ce métal est susceptible de vieillir. Ce vieillissement se traduit par une augmentation de la limite élastique de 3 à 4 kg/mm² et une réapparition du palier une augmentation plus faible (inférieure à 1 kg/mm²) de la charge de rupture et de la dureté, et une légère diminution de l'allongement.

Le vieillissement est d'autant plus rapide que la température à laquelle les tôles sont conservées est plus élevée:

T° C	T e m p s de Vieillissement		
20	8 jours	15 jours	1 Mois
35	34h 20 mn	2 J. 17 H	5 J. 8 H.

Le mode d'écrouissage intervient beaucoup sur le temps nécessaire à l'apparition du vieillissement. Les déformations par flexion ou par traction pure donnent un vieillissement plus rapide que les déformations par laminage.

4.4. Résultats d'Essais Après Skin-Pass.

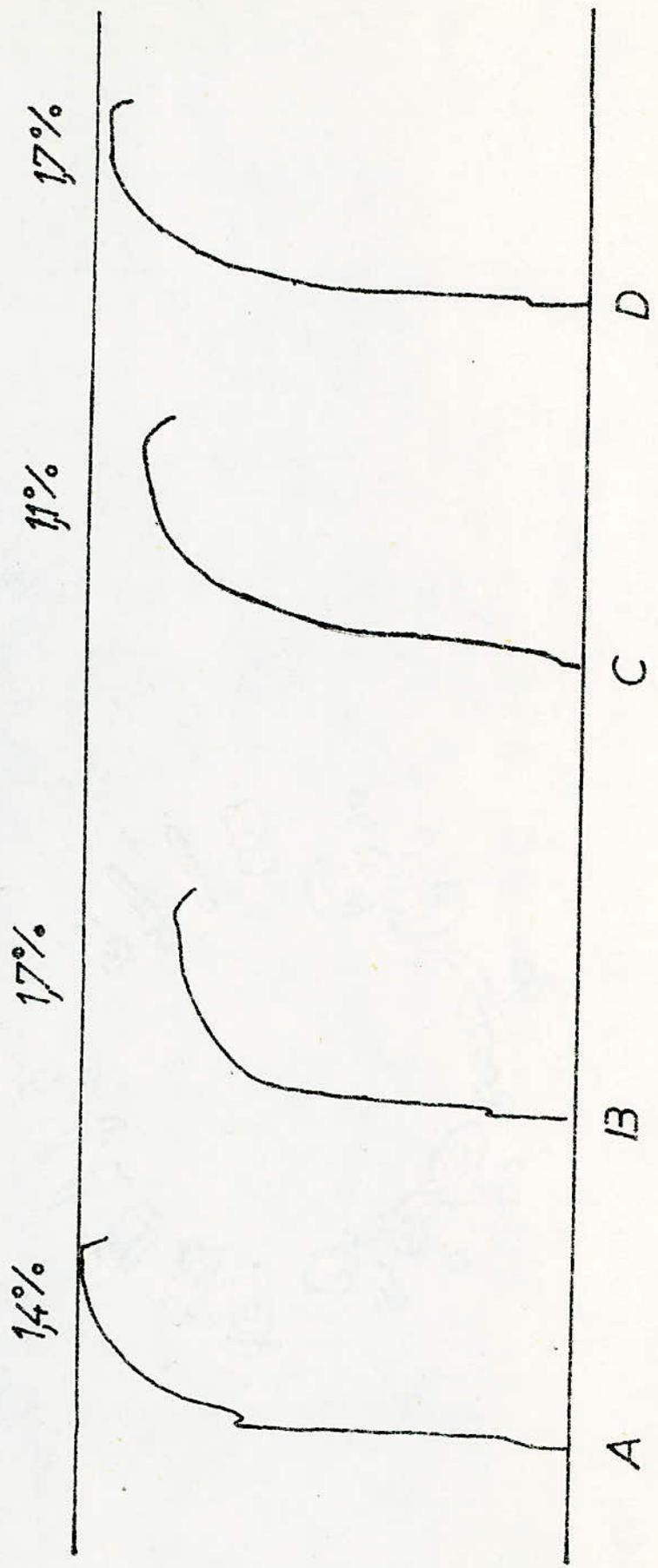
Indice	HRB	E_T	R_T	A %
A	46,5	22,4	31,6	31,2
B	44	20,1	32,0	37,5
C	47	20,3	33,2	37,5
D	54	20,7	32,4	31,2

4.5. Conclusions : Intérêt du SKIN-PASS.

Le Skin-Pass a pour objet :

- 1) de faire disparaître le palier visible sur la courbe de traction à la hauteur de la limite élastique. Sur la surface du produit ce palier correspond à des rugosités redhibitoires, si on n'a pas pris la précaution d'effectuer cette opération de Skin-Pass.
- 2) de donner une courbe de traction sans "crochet" qui prouve qu'il n'y a un écoulement plastique homogène. Néanmoins ces courbes montrent une limite élastique moins franche et dont on a tendance à minimiser la mesure.
- 3) de "glacer" la surface du produit en lui donnant un bel aspect, lisse et une épaisseur régulière sur toute sa longueur. Ce "glacage" autorisera, aisément, le revêtement ultérieur du produit tel que zincage, étamage, etc ...

tractions apres skin-pass
sens transversal



Conclusion Générale

Le but du projet était d'étudier les conditions du laminage à chaud de brames, en acier à bas carbone, et de relier ces conditions avec l'aptitude au relaminage à froid.

Du point de vue métier de l'Ingénieur notre séjour au complexe de la S.N.S. d'El-Hadjer nous a permis de visiter les installations les plus modernes et les mieux adaptées à la productivité sidérurgique. En même temps nous avons eu des contacts enrichissants avec le personnel du site.

Durant ce séjour qui a duré un mois et demi, nous avons suivi la production depuis la brame, obtenue par coulée continué, jusqu'à la bobine apte à la confection de produits finis. Dans ce déroulement logique, nous nous sommes attardés sur les problèmes de contrôle de la qualité avec le personnel de la division métallurgie. Nous avons par conséquent réalisé qu'elles étaient les préoccupations que peut donner une production régulière et convenable.

Du point de vue métallurgie de transformation, notre étude montre les opérations successives nécessaires à l'obtention des objectifs ci-dessus mentionnés, et donne une compréhension satisfaisante des phénomènes physico-chimiques qui s'attachent aux nuances traitées.

- L'austénitisation, dans le four poussant, donne au métal une structure plus plastique, $Fe\gamma cFc$, outre l'augmentation de la forgeabilité due à l'élévation de température. Du coup les impuretés sont dissoutes, ce qui prépare le métal à l'homogénéité :

- Le cycle thermique $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ a pour effet d'affiner le grain final grâce à la multiplication des germes lors de chaque passage au point de transformation.

- Notre étude montre l'importance des températures de fin de laminage, de bobinage, de leur écart - En définitive de la vitesse de refroidissement, après la dernière passe de laminage à chaud sur la recristallisation final en phase α .

Bibliographie

Documentation privée: SNS El-Hadjar

Technique de l'ingénieur:

Paul ROCQUET: Traitements des tôles après laminage. M-615

Charles CRUSSARD: Ecouissage. Recuit . M-230

Paul ROCQUET: Structure Métallographique des Aciers extra-doux
Mémoires Scientifiques Rev. Métallurg , LXXI, N°10, 1974

De Ferri Metallographia t_{II}: Structure des Aciers.

LARKE: Laminage des produits plats

On trouvera ci-après les titres et adresses de certaines revues
qui ont publié des articles sur le laminage.

ROSSARS: Ecouissage et Recristallisation des Aciers par déforma-
tion plastique à haute température.

Mémoires Scientifiques Rev. Metallurg, Avril 1969, 66 N°4 page
263-270.

PANKOWSKI-HOMES: Mécanisme de déformation du fer résulte de deux
processus d'activation superposés.

Mémoires Scientifiques Rev. Metallurg, Juin 1968, 65 N°Special
page 231-235

- Ce sont là les conditions d'une aptitude au relaminage a froid que nous avons dégagées et que nous considérons comme essentielles.
- Outre ces considérations métallurgiques sur ces diverses transformations à l'état solide, nous avons saisi l'intérêt de l'écroutissage superficiel, contrôlé, appelé SKIN-PASS, qui parachève les performances métallurgiques du produit.

Notre séjour au complexe sidérurgique d'El-Hadjar et plus particulièrement au sein de la division métallurgie, qui nous accueillait nous a donné de vivre des problèmes intéressants et d'actualité concernant la sidérurgie algérienne. Néanmoins, toutefois, la réalisation d'un tel projet en usine ne permet pas a son titulaire de dominer certains paramètres et de les faire varier. En effet, les obligations de la productions entravent le choix d'idées et d'actions qu'on pourrait avoir en laboratoire.