

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

PROJET DE FIN D'ETUDES.

etude d'une chaine de fabrication de ressorts  
à lames pour vehicules ferroviaires et  
amélioration de la qualité de la lame.

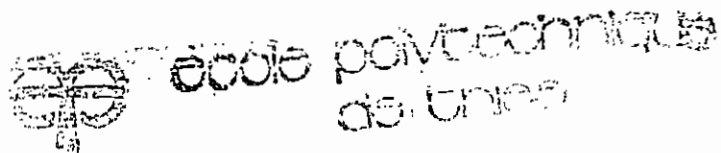
par  
Mody Diop

Gm. 0402

5<sup>ème</sup> année . génie mécanique.

Directeur de projet

Mr Y. A. Youssef.



Année scolaire :

1981-1982

## Remerciements.

Avant de présenter, le sujet de cette étude dans sa globalité, je tiens à adresser mes sincères remerciements à:

Mr Y. A. YOUSSEF professeur d'Éléments de Machines, de Manutention et d'Implantation à l'E.P.T, pour avoir accepté de diriger mon projet, pour son entière disponibilité et ses conseils.

- Mr Znamierowski, professeur de Sciences des Matériaux à l'E.P.T

- Tous les professeurs de l'E.P.T

- Mr Lacoste, Mr Loizau, Mr Alpha Kane, Mr Christian Niokhor Sene, cadres à la région des chemins de fer du Sénégal

- Mr Seck, chef de l'atelier Ressorts à lames de la région des chemins de fer du Sénégal

- Tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à l'avancement de mon projet.

## Sommaire


Au niveau de la régie des chemins de fer du Sénégal (RCFS), il y a actuellement beaucoup de wagons immobilisés par manque de ressorts à lames de suspension. il faut dire que ces organes de machines sont fabriqués par la RCFS même, au niveau d'un atelier installé à Thiès. on a noté que ces ressorts connaissent une grande fréquence de faillite, en effet ils cassent beaucoup et dans des délais de fonctionnement très courts, nous avons regardé le problème de près et avons pu déterminer que les traitements thermiques sont très mal faits; parceque les normes scientifiques ne sont pas respectées; étant donné que les fours ne disposent pas d'appareils de mesure de température et que celle dernière est estimée à l'œil nu, ce qui donne des résultats complètement faux; en plus de cela les températures de trempe et de revenu, ainsi que les durées de chauffage et de trempe des lames ne sont pas respectées, les essais des ressorts avant leur utilisation ne sont pas effectués correctement, à cela il faut ajouter le problème que pose l'état de la voie qui est très mauvais et la surcharge des wagons. nous avons donc décidé de déterminer les normes de traitement thermiques correctes et d'indiquer une méthode d'essai valable.

# TABLE DES MATIERES

|   | pages |
|---|-------|
| Remerciements   | i     |
| Sommaire  | ii    |
| introduction  |       |
| chapitre 1 : sollicitations exterieures des lames<br>et contraintes de construction | 3     |
| 1.1 rappels theoriques sur les ressorts à lames                                     | 3     |
| 1.2 sollicitations exterieures des lames  | 5     |
| Chapitre 2 : étude des methodes de fabrication des<br>ressorts à lames              | 13    |
| 2.1 choix de l'acier  | 13    |
| 2.2 decoupage des lames d'acier   | 13    |
| 2.3 meulage et elabourage   | 13    |
| 2.4 deux travaux differents   | 13    |
| 2.5 formage des extremités  | 13    |
| 2.6 trempé  | 14    |
| 2.7 le revenu   | 14    |
| 2.8 assemblage de ressorts  | 14    |
| 2.9 essais des ressorts   | 14    |
| Chapitre 3 : procedés et normes de traitement<br>thermique                          | 17    |
| 3.1 propriété du fer  | 17    |
| 3.2 alliages Fer-carbone  | 19    |
| 3.3 la trempé   | 21    |
| 3.4 le revenu   | 29    |
| Chapitre 4 : équipements de Fabrication utilisés                                    | 34    |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 4.1  | cisaille   | 34 |
| 4.2  | meule  | 34 |
| 4.3  | perforeuse   | 35 |
| 4.4  | emboutisseur   | 35 |
| 4.5  | fours special pour le chauffage des bouts de lame            | 35 |
| 4.6  | appareil a faire les bouts et forme de la lame               | 35 |
| 4.7  | machine a rouler les oeillets des lames maitresses           | 36 |
| 4.8  | fours pour le chauffage de lames                             | 37 |
| 4.9  | pyrometrie   | 38 |
| 4.10   | machine a cintrer et a tremper                               | 39 |
| 4.11   | milieu de trempe   | 38 |
| 4.12   | machine a faire les brides                                   | 39 |
| 4.13   | branc d'essais   | 39 |
| Chapitre 5: etude de produits et quantites                               |  | 40 |
| 5.1  | situation actuelle   | 40 |
| 5.2  | situation a venir  | 41 |
| Chapitre 6: etude de l'atelier de la Regie des chemins de fer du senegal |  | 43 |
| 6.1  | equipements de fabrication auxiliaires                       | 43 |
| 6.2  | differentes etapes dans la construction des ressorts a lames | 45 |
| Chapitre 7   |  | 52 |
| 7.1  | verification des aciers utilises                             | 52 |
| 7.2  | normes de Traitement Thermique respectees                    | 58 |
| Chapitre 8 implantation  |  | 71 |
| 8.1  | diagramme d'acheminement simple                              | 71 |
| 8.2  | implantation   |    |

|   |    |
|---|----|
| Conclusion et discussions               | 76 |
| references bibliographiques             | 77 |
| Annexe A pyrometres                     | 78 |
| Annexe B fours                          | 81 |
| Annexe C Diagramme de phase Fer - C     | 88 |
| Annexe D Différents schémas d'appareils | 89 |

 école polytechnique  
de thèses

## Introduction:

Le problème des ressorts métalliques est l'un des plus complexes et des plus passionnants qui se présente à l'ingénieur mécanicien.

Il faut d'abord remarquer qu'ils correspondent à un domaine particulier de la mécanique appliquée, alors qu'à la plupart des pièces mécaniques on demande d'être aussi indéformables que possible, pour les ressorts, c'est la déformabilité et la recherche d'une loi de correspondance exacte de cette déformation avec les efforts appliqués qui est le but visé. Par ailleurs les problèmes de résistance des matériaux qui les concernent font appel aux connaissances les plus variées de la physique et de la métallurgie : nature et structure cristallographique de l'alliage, état de surface, traitement thermique, fatigue, etc... Enfin, leur champ d'application industriel est extrêmement vaste et on les trouve à la base de toutes les machines qui ont marqué le développement de la civilisation mécanique moderne : chemin de fer, aviation, automobile, etc...

Donc il est évident qu'ils doivent être étudiés et construits comme des organes essentiels auxquels un haut niveau de performances, de fiabilité et de longévité est demandé.

Il a fallu aussi développer des procédés de fabrication à la fois économiques et sûrs qui permettent d'obtenir la meilleure performance au moindre coût. Pour y parvenir des traitements particuliers de conditionnement tels que la précontrainte (presetting) ou le grenailage (shot peening) rigoureusement contrôlés ont été développés. Les ressorts figurent aujourd'hui parmi les pièces les plus fiables, pourvu que le soin et le contrôle dans leur fabrication soient rigoureusement assurés.

Cependant au niveau de la régie des chemins de fer du Sénégal (RCFS)

des problèmes sérieux concernant les ressorts à lames se posent actuellement. En effet on remarque une grande fréquence de faillite des organes de suspension, ce qui entraîne l'immobilisation d'un nombre important de wagons. Il existe trois causes connues à l'origine de ces ruptures, on peut citer :

1°) L'état de la voie : le mauvais état entraîne une sollicitation excessive des ressorts de suspension.

2°) La surcharge : elle est évidente dans le cas de certains wagons ; le résultat est l'apparition de contraintes anormales dans les ressorts.

Remarque : ces deux premiers facteurs dépassent le cadre de notre compétence, il est évident que la RCFS doit prouder à l'amélioration de sa voie et doit aussi veiller à ce que la charge normale des wagons soit respectée.

3°) La Fabrication des ressorts : c'est le facteur que nous jugeons à notre portée. Ce qu'il faut noter ici, c'est que le traitement thermique est une opération très importante et très délicate. Si on veut l'exécuter correctement, il faudra utiliser le matériel adéquat tel qu'un four avec des appareils de mesure très précis de la température. En effet il suffit d'une déviation de l'ordre de quelques dizaines de degrés autour de la valeur recherchée, pour passer complètement à côté des résultats visés. Au niveau de l'atelier de fabrication de la RCFS, ce qu'il faut déplorer c'est l'absence de fours dotés de pyromètres précis donnant la température exacte de temps, les ouvriers sont obligés d'approximer. Il faut noter aussi l'absence de Machine à cintres et à tremper qui éviterait la perte de degré comme avec la méthode actuelle. donc une solution pour diminuer cette grande fréquence de faillite des ressorts à lames consiste à effectuer un très bon traitement thermique en atelier.



Cet empilage est élastiquement équivalent à la poutre triangulaire initiale, en effet sous l'action de la charge  $F$  agissant à son extrémité, la lame supérieure se courbe et vient prendre appui sur l'extrémité de la seconde; la réaction mutuelle étant  $F$ ; la seconde plie à son tour et vient prendre appui sur la troisième et ainsi de suite. Dans cette déformation une lame quelconque est fléchie dans sa partie triangulaire et vient prendre appui sur la suivante.

La largeur reste constante, mais le moment fléchissant aussi  $Fx$  de sorte que la même forme circulaire va subsister. La déformation étant terminée, toutes les lames auront donc même courbure, de sorte que le ressort ne bouillera pas et la sollicitation du matériau, ainsi que la déformation, seront identiques à celle de la pièce théorique. alors on peut dire que le ressort à lames est équivalent à la poutre triangulaire encastrée.

Cependant on impose à la lame une courbure initiale dans le but d'augmenter sa course lors des sollicitations. on aura la représentation suivante.

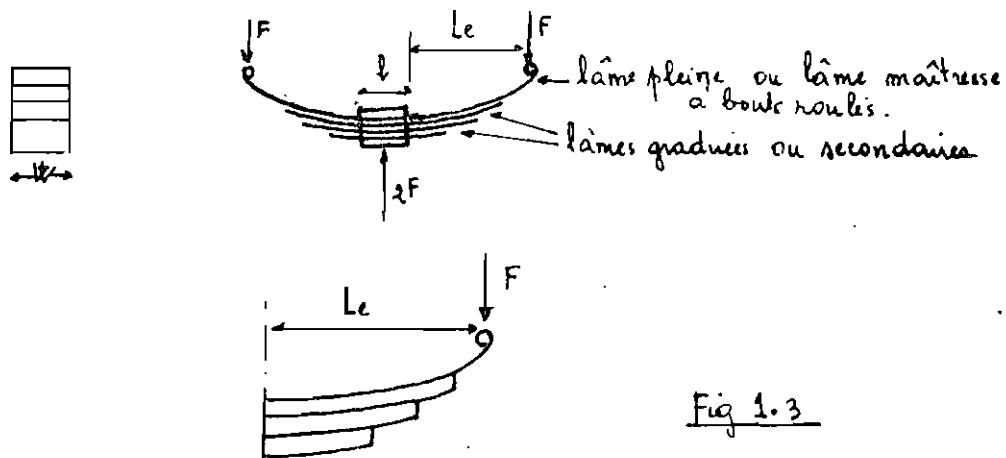
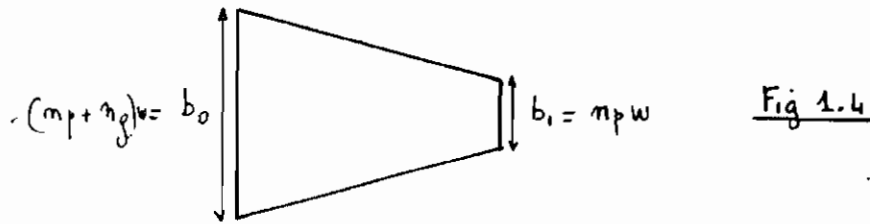


Fig 1.3

on a  $Le = \text{longueur équivalente} = \frac{1}{2} L_{\text{Tot}} - \frac{1}{3} l$   
 $l = \text{longueur de la bride}$   
 $t = \text{épaisseur de la lame (voir Fig 1.1)}$

Pour des besoins de calcul, on va considérer une poutre d'égal épaisseur trapézoïdale dont la largeur à l'encastrement est  $b_0 = (n_g + n_p)w$  et la largeur à l'autre extrémité est  $b_1 = n_p w$ . avec  $n_g =$  nombre de lames gradues  
 $n_p =$  nombre de lames pleines  
 $w =$  largeur d'une lame.

on a la représentation suivante.



la contrainte de flexion est donnée par :  $\sigma = \frac{Mx}{I}$

donc  $\sigma = \frac{FLe \cdot \frac{1}{2} \times 12}{(n_p + n_g)wt^3} = \frac{6FLe}{(n_p + n_g)wt^3} = \frac{6FLe}{nwt^3}$  avec  $n = n_g + n_p$   
 nombre total de lames.

l'affaissement de l'extrémité du ressort est donné par

$$y = \frac{k_1 4FLe}{Et^3 (n_p + n_g)w}$$
 avec  $k_1 = \frac{3}{(1-c)^3} \left[ \frac{1}{2} - 2c + c^2 \left( \frac{3}{2} - \ln c \right) \right]$   
 et  $c = b_1/b_0$

la constante élastique est donnée par  $F/y$ .

1.2) Sollicitations extérieures des lames

a) rôle de la suspension :

Dans le transport ferroviaire, la suspension assure la liaison élastique entre le châssis et les organes de roulement. la suspension a pour but

- de répartir convenablement la charge du véhicule sur les fusées d'essieu
- d'amortir les effets de choc pour les véhicules, les voyageurs ou marchandises transportés dus aux irrégularités de la voie ( joints de rail )
- de diminuer les chocs des roues sur la voie, enfin d'en éviter la détérioration trop rapide.

## CHAPITRE 1:

### Sollicitations extérieures des lames et contraintes de constructions:

#### 1.1) Rappels théoriques sur les ressorts à lames.

Considérons une poutre triangulaire d'égalé résistance, comme indiqué sur le schéma suivant:

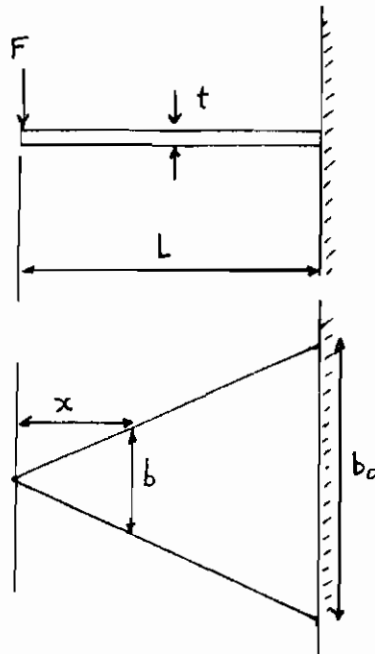


Fig 1.1.

découpons cette poutre en  $2n$  bandes parallèles à son axe et réunissons les bandes symétriques deux à deux, de façon à former des lames à extrémités triangulaires, empilons ensuite ces dernières de manière à obtenir l'ensemble représenté dans les figures suivantes.

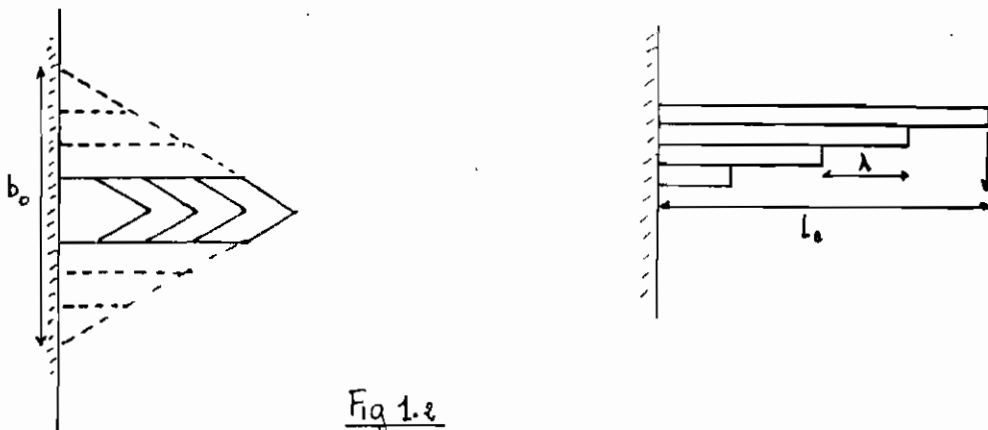


Fig 1.2.

Une suspension mal étudiée, mal entretenue, mal réglée est une cause certaine de chauffage de boîtes et même de déraillement.

Les organes de suspension comprennent :

- les ressorts à lames
- les ressorts hélicoïdaux
- les organes reliant les ressorts au châssis.

En ce qui concerne le ressort à lames, on peut dire qu'il est formé d'une série de lames d'acier superposées, parallèles, cintrées, de longueurs décroissantes.

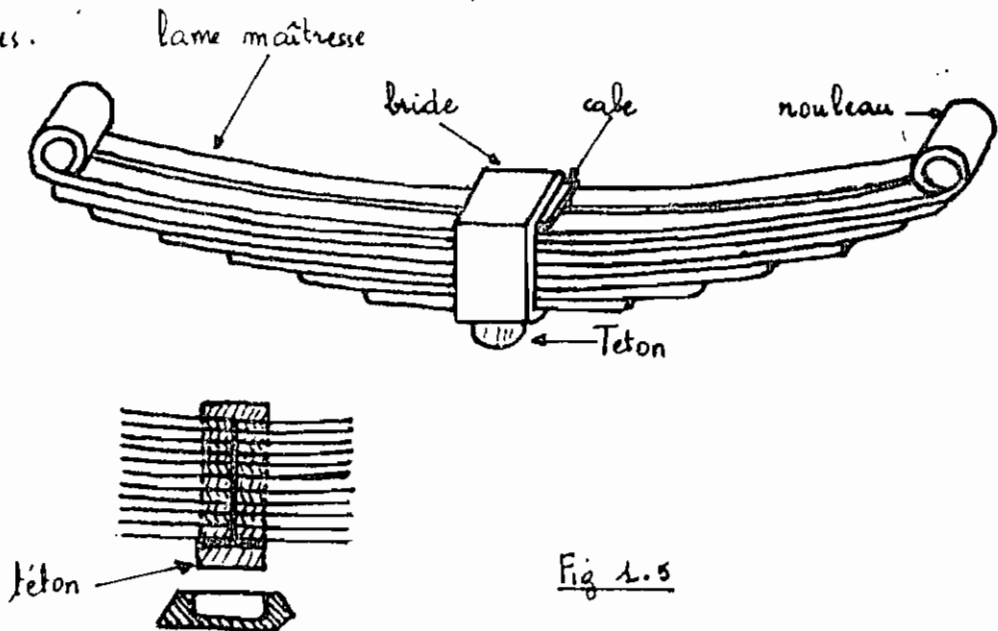


Fig 1.5

La première lame, la plus longue s'appelle lame maîtresse, ses extrémités sont soit à bouts roulés pour la liaison avec le châssis par l'intermédiaire d'une broche, soit à pincettes.



Pour éviter le glissement longitudinal, les lames sont réunies entre elles, en leur milieu, par un rivet central, de plus une bride fixée au châssis assemble les lames en leur milieu, en les ceinturant. Le téton de la bride s'engage dans un logement au dessus du corps de boîte.

Sur les ressorts de construction récente, le percage des lames de ressort et le rivet central sont supprimés, le centre des lames est embouti avec un outil provoquant une empreinte sphérique dans la face supérieure de la lame, et une protubérance sur la face inférieure appelée ETOQUIAU. de cette façon l'écaillage de chaque lame se trouve dans l'empreinte sphérique de la lame située au dessous.

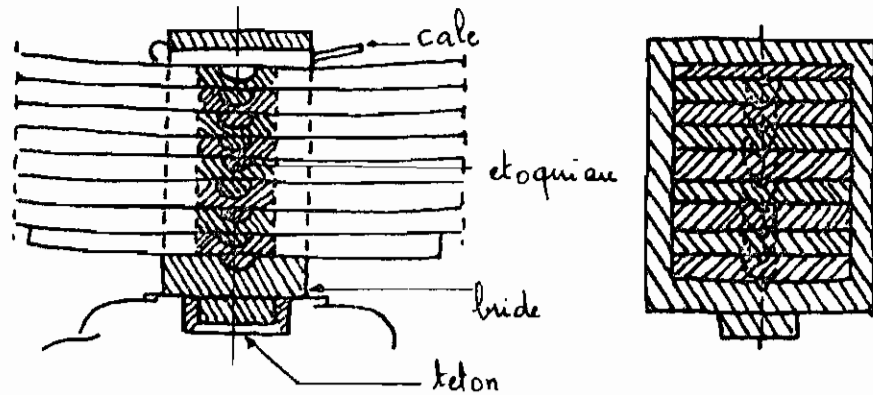


Fig 1.6

pour éviter le glissement transversal (éventailage), la section de la lame comporte venue du laminage, une languette à la partie inférieure et une rainure à la partie supérieure.

Les ressorts à lames, grâce aux frottements produits entre les lames lors des déformations, absorbent rapidement les oscillations de grande amplitude. Ce type de ressort est généralement suffisant pour la suspension des véhicules marchandises.

on peut citer les caractéristiques qui sont en général données pour les ressorts à lames :

- la longueur de la lame maîtresse
- le nombre de lames
- la section des lames ( largeur  $\times$  épaisseur )
- la flèche du ressort à l'état libre
- la flexibilité ( perte de flèche par tonne de charge )

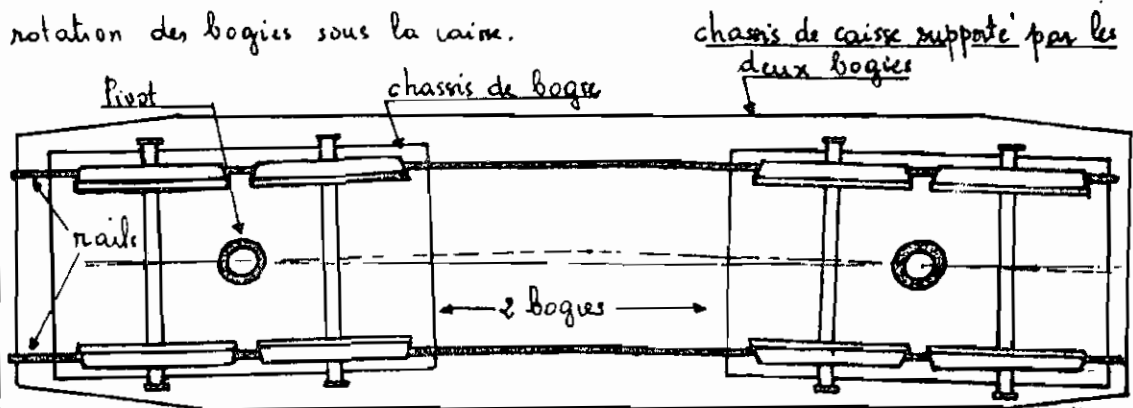
on peut par schéma montrer à quel niveau se situe les ressorts à lames dans l'ensemble (chassis-bogies), mais on va d'abord définir un bogie.

c'est un petit chariot, sur lequel repose la caisse du Wagon, il possède à lui seul tous les organes nécessaires

- à son guidage entre les rails
- sa suspension et celle de la charge de caisse.

on désigne donc sous le nom de bogie un ensemble essentiellement constitué par deux essieux sur lesquels un chassis repose, par l'intermédiaire des boîtes d'essieux et des ressorts de suspension.

l'appui devant permettre à chaque bogie de s'orienter dans les courbes se fait par l'intermédiaire du pivot, ou autres dispositifs permettant la rotation des bogies sous la caisse.



les bogies présentent d'autres avantages qui justifient l'attention de leur <sup>Fig. 7</sup> emploi sur tous les véhicules.

en particulier, la suspension élastique du véhicule sur ses organes de soulèvements (ensemble de ressorts et d'amortisseurs destinés à absorber les irrégularités du roulement) est beaucoup améliorée par l'emploi des bogies.

la figure 1.7 représente un chassis de caisse supporté par deux bogies.

on peut montrer maintenant par schéma comment le ressorts à lames se situent dans l'ensemble (chassis de caisse - bogie). pour cela on va présenter une coupe du wagon perpendiculaire aux rails.

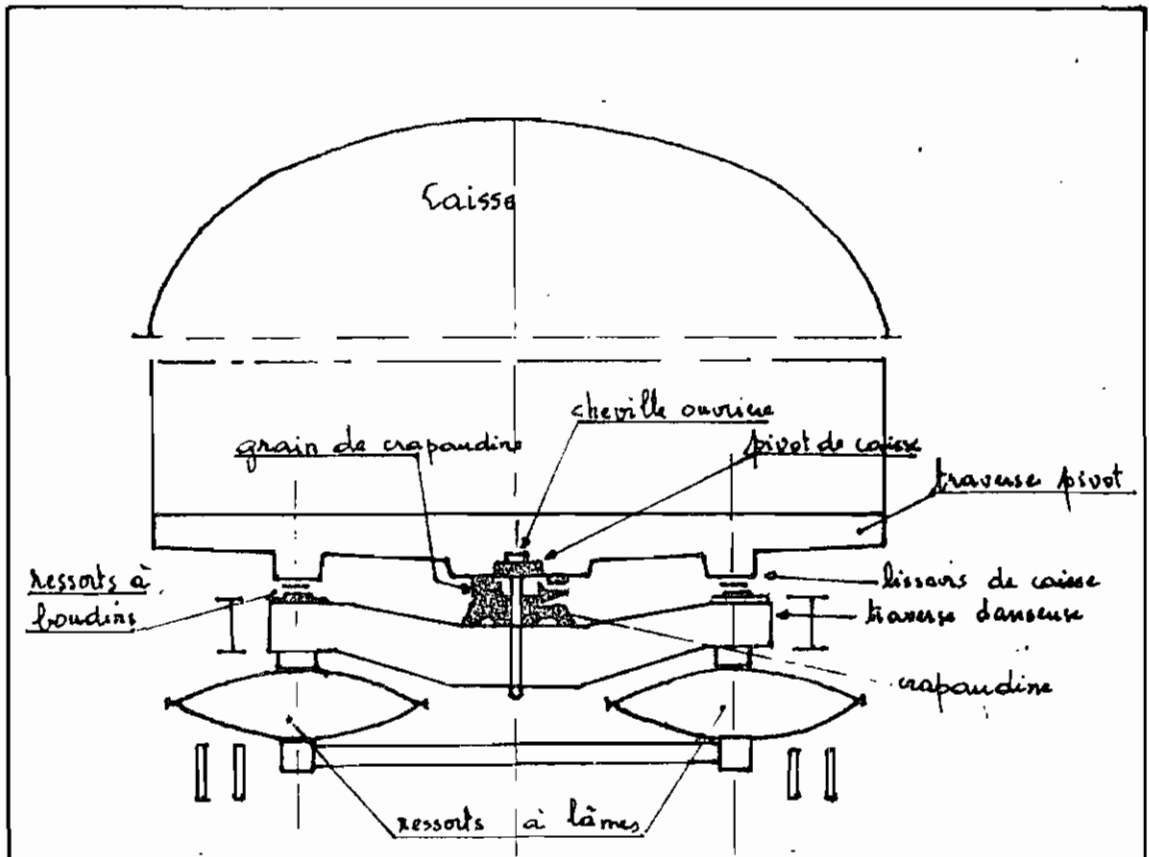
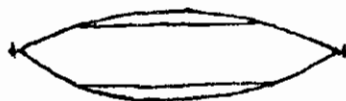


Fig 1.8

Position des ressorts à lame dans l'ensemble chassis-bogie

le chassis repose sur chaque bogie par l'intermediaire d'une de ses traverses, renforcees en consequence et appeles traverses supports de pivots, elles sont toujours montees sur le chassis en paralleles deux a deux et perpendiculaires aux brancards. ces deux traverses comportent dans l'axe longitudinal du chassis, un pivot dont la surface de contact et de forme spherique et repose dans la cuvette de meme forme d'une crapandine boulonnee sur une traverse de bogie appelee traverse dansure entre le pivot et la crapandine on interpose un disque en bronze qui facilite les mouvements de rotation.

les ressorts à lames sont generalement montes par ensemble de deux ressorts comme montre sur la Fig 1.8. et on le schema suivant:



sur le sujet de la distribution des forces on peut dire que si un des ressorts est soumis à une force  $F$ , l'autre sera soumis à la même force, en voici la démonstration.

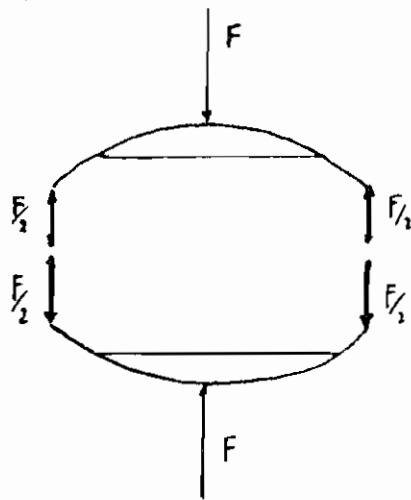


Fig 1.9

si on prend chaque ressort comme un système, on voit qu'il est en équilibre soit l'action de la force  $F$  et des deux forces  $F/2$ .

si on prend comme système l'ensemble des deux ressorts, on voit qu'il est aussi en équilibre, parcequ'à leurs jonctions les forces  $F/2$  vont s'annuler mutuellement, il ne restera que les deux forces  $F$ , de même direction, même intensité et sens opposé.

les ressorts sont montés en batterie de 4 ensembles de 2 ressorts, comme exemple on peut visualiser le cas des ressorts à pincettes.

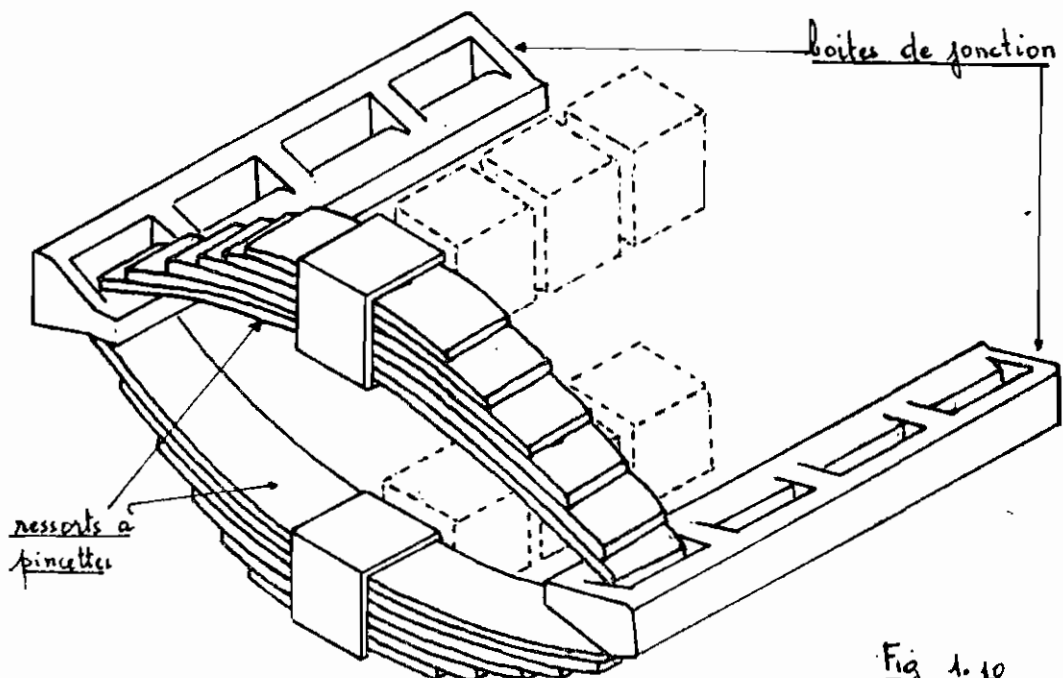


Fig 1.10



on a 4 assemblages de deux ressorts par bogie, et comme qu'on a deux bogies par wagon, alors on a 8 assemblages par wagon.

### b) Sollicitations extérieures

lorsque le wagon se déplace sur la voie, il est soumis à des accélérations verticales variables, alternativement vers le haut et le bas.

Les accélérations verticales vont donc s'appliquer sur les ressorts à lames qui constituent la suspension et du fait que leur sens est variable, on peut donc conclure que les ressorts à lames sont soumis à un phénomène de fatigue.

soit  $M$  = masse du wagon vide + charge normale + surcharge

donc la force due au poids sera  $P = Mg$   $g$  = accélération de la pesanteur.

soit  $a$  = accélération verticale du wagon

donc la force due à cette accélération sera  $P' = Ma$

alors  $P'$  est une force qui change alternativement de sens, puisque  $\vec{a}$  est alternatif à  $\vec{a}$ .

La valeur maximale de  $a = 0,22g$ , elle a été enregistrée sur voie avec un accélérographe bidirectionnel.

si  $P'$  est dirigé vers le haut

on a  $F_{\text{min}} = P - P'$  par wagon

on a 8 assemblages de 2 ressorts par wagon

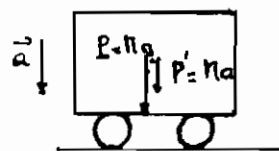
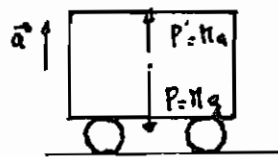
alors on a  $F'_{\text{min}} = \frac{F_{\text{min}}}{8}$  par assemblage.

si  $P'$  est dirigée vers le bas

on a  $F_{\text{max}} = P + P'$  par wagon

donc  $F'_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}}{8}$  par assemblage.

en conclusion on peut dire que chaque ressort est soumis à une force constante, superposée à une force alternée.



on peut visualiser le concept par la figure suivante

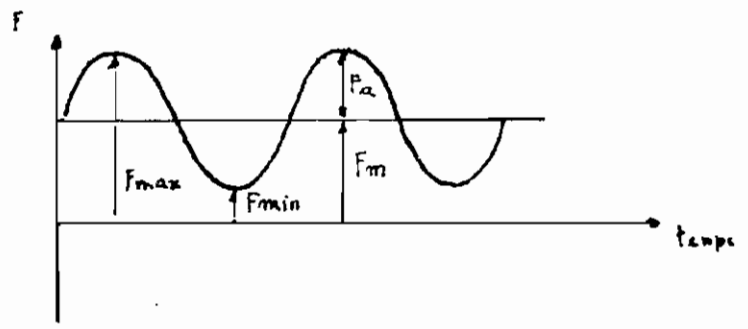


Fig 1.11

on remarque donc que  $F_m = P$  et  $F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} = \frac{2P'}{2} = P'$   
 si on considère les ressorts, il faudra diviser chaque force par 2. comme  
 démontré précédemment.

## chapitre 2: Étude des méthodes de Fabrication des ressorts à lames.

Dans cette section, il sera présentée la méthode industrielle de Fabrication utilisée dans les ateliers disposant d'équipements modernes. on va citer les différentes étapes dans l'ordre réel des opérations. on aura successivement

### 2.1: choix de l'acier:

on choisit un acier dont la limite élastique ( $R_e$ ) et la résistance à la rupture ( $R_s$ ) sont satisfaisants pour le niveau de contraintes qui agissent sur les ressorts à lames, et qui ont été déterminées par calcul.

### 2.2: découpage des lames d'acier:

elles sont découpées à la longueur voulue à froid, à la cisaille.

### 2.3: meulage, ébavurage:

cette étape vise à supprimer les substances indésirables qui se sont déposées à la surface du métal, telles que la couche de carbone provenant de l'acier. la meule assure ainsi une surface propre, nette d'inclusions et sans accidents superficiels qu'il n'est généralement pas possible d'obtenir avec des produits bruts de laminage.

2.4: on distingue deux travaux différents: perçage des lames en leur milieu pour les ressorts à lames rivetés, formage des étoquiaux à l'aide d'une presse pour les ressorts à étoquiaux.

### 2.5: formage des extrémités:

les extrémités sont chauffées et passées à la machine à faire les bouts. Et dans le cas des ressorts à bouts roulés, les lames maîtresses sont présentées ensuite à la machine à rouler les yeux. La plupart des machines existantes forment

en rouleau les extrémités par trois opérations successives. Toutefois pour les ressorts légers, destinés à l'automobile par exemple, il existe des machines capables de rouler l'œil en une seule opération.

### 2.6: trempage:

On chauffe les lames dans un four à la température de trempage qui est fonction du type d'acier (on a en général 900°C environ) jusqu'à obtenir une température uniforme dans toute la lame. Puis on passe à la machine à cintrer et à trempage (dont un type et son fonctionnement sont illustrés en Annexe) après cintrage, la lame tombe dans un milieu de trempage qui peut être de l'eau, de l'huile, l'air ou une autre substance, dont le rôle est de refroidir à une vitesse bien déterminée, après refroidissement on sort la lame.

### 2.7: le revenu:

après le trempage et le refroidissement, on procède au revenu, c'est à dire que les lames sont replacées dans le four pendant une période bien déterminée qui va assurer un chauffage uniforme, à la température de revenu qui est généralement de l'ordre de 500°C. après les lames sont refroidies à l'air ambiant.

### 2.8: assemblage des ressorts:

On procède au bridage des lames de ressorts à chaud ou à froid, ce qui consiste à placer la bride autour des lames (voir 1.5 et 1.6 aux pages 6 et 7). l'idée principale de cette opération est d'empêcher tout déplacement latéral des lames. dans le cas des ressorts à lames rivetées, on place d'abord le rivet.

### 2.9: essai des ressorts:

on distingue deux méthodes d'essai

#### 2.9.1 essai sous charge statique

on a déjà vu (page 5) que pour un ressort à lames l'affaissement

$$y = \frac{K_1 4FLc}{Et^3(m_p + m_q)W} \quad \text{avec} \quad K_1 = \frac{3}{(1-c)^2} \left[ \frac{1}{2} - 2c + c^2 \left( \frac{1}{2} - \ln c \right) \right]$$

$$c = b/b_0$$

La flexibilité est donnée par le rapport  $F/y$ . et pour chaque type de ressort à lames, il y a une valeur bien déterminée de cette flexibilité.

Exemple: dans le cas du ressort de suspension primaire du bogie Y101 on a la flexibilité par tonne de 7,7mm

Le but de l'essai sous charge statique est de vérifier cette valeur imposée. grâce à une presse (voir figure suivante), on applique au milieu de la bride du ressort la charge maximale possible  $F'_{max} = \frac{P+P'}{n}$  avec  $n$  = nombre d'ensemble de ressorts.

on mesure l'affaissement  $y$  du ressort et on calcule  $\frac{F'_{max}}{y}$   
avec  $\frac{F'_{max}}{y} < F/y$  le ressort est trop flexible, ce qui n'est pas bon  
avec  $\frac{F'_{max}}{y} \geq F/y$  si  $\frac{F'_{max}}{y}$  est beaucoup plus grand que  $F/y$ , le ressort est trop rigide, il va transmettre sans les filtrer tous les chocs de la voie, ce qui est mauvais.

d'autre part l'essai avec  $F'_{max}$  et non avec une force  $F < F'_{max}$  a pour but de vérifier en même temps si le ressort ne va pas s'aplatir sous l'effet de cette force maximale qui peut exister.

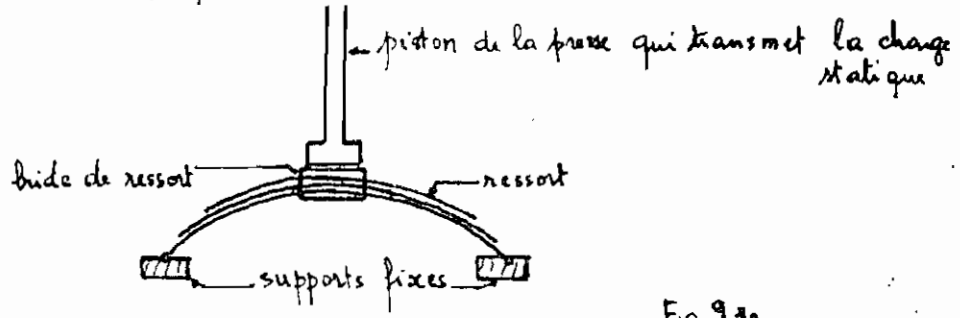


Fig 2.1a

l'inconvénient de cet essai est qu'il ne réunit pas les conditions réelles de sollicitations des ressorts qui travaillent en général en dynamique.

2.2b essai sous charge dynamique

elle est plus représentative des conditions de fonctionnement du ressort, c'est une méthode utilisée en général dans les ateliers de fabrication modernes qui ont les moyens de se payer un équipement sophistiqué.

On essaye de reconstituer les conditions reelles qui existent en dynamique, il existe plusieurs procede utilises. on peut citer l'exemple suivant:  
 un contre poids qui va représenter la charge permanente  $F_m$  est accroché sous le ressort et un piston animé de mouvements alternatifs va appliquer la force alter-  
 .ne  $F_a$  (voir figure suivante).

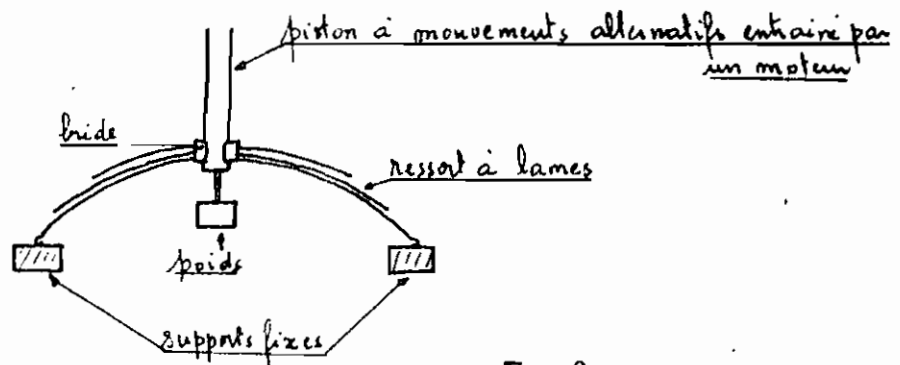


Fig 2.2

sur les feuilles d'enregistrement de l'accélérographe, on peut lire la période de variation de l'accélération verticale qui est aussi la période d'application de  $F_a$ .  
 Il faut noter aussi que cette période est fonction de la vitesse du véhicule.  
 connaissant cette période, on peut régler la vitesse de rotation du moteur pour obtenir par l'intermédiaire du piston la fréquence de  $F_a$  désirée.  
 alors on pourra étudier l'endurance du système et voir au bout de combien de cycles les ressorts vont casser.

# chapitre 3: procédés et normes de traitement thermique.

mons allons d'abord procéder à un rappel des propriétés du fer et des alliages fer-carbone. étant donné que le fer est un élément de base de l'acier, il est important avant de parler de traitement thermique de connaître ses propriétés.

## 3.1: propriétés du fer

si on permet à du fer pur en fusion de refroidir lentement, et si on mesure à des intervalles réguliers la température, une courbe temps-température sera obtenue comme montré sur la figure 3.1. les discontinuités ou paliers de température, de la courbe sont causés par des changements physiques dans le fer.

le premier arrêt à  $2800^{\circ}\text{F}$  indique la température à laquelle le fer commence à se solidifier. les autres arrêts appelés aussi points critiques indiquent les températures auxquelles certains changements internes ont lieu dans le fer solide. Certaines de ces températures sont très importantes dans les traitements thermiques.

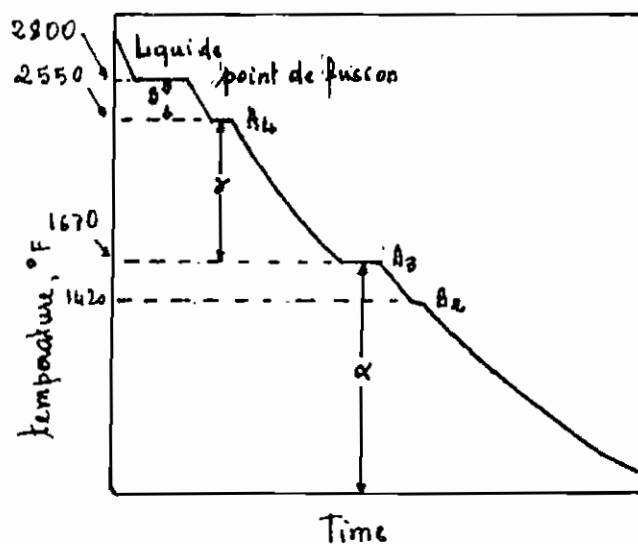


Fig 3.1

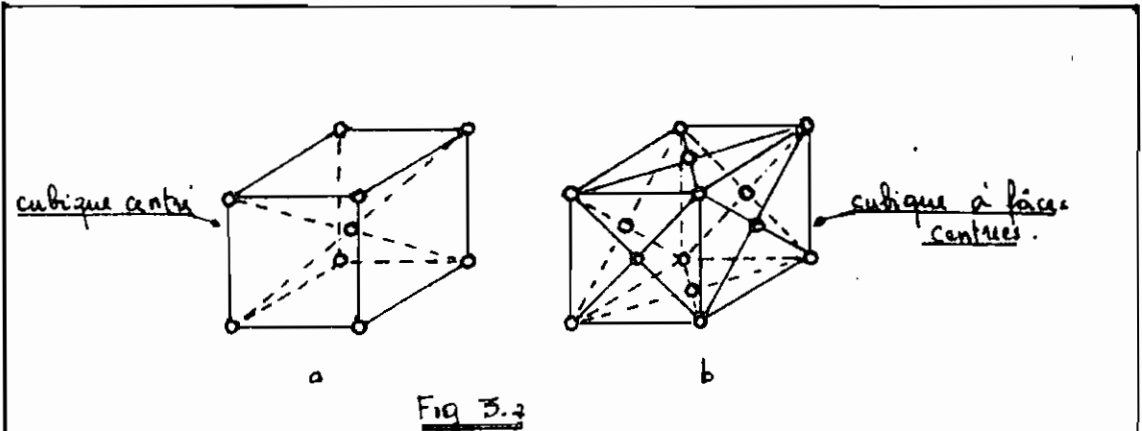
Courbe de refroidissement idéal du fer pur.

18

les atomes dans tous les solides métalliques sont disposés en une géométrie ou cristallographie bien déterminée. Les atomes dans le fer aussitôt après le début de la solidification sont arrangés en système cubique centré. Dans cette structure cristalline, l'unité est constituée d'un cube avec un atome de fer sur chacun des huit sommets et un autre au centre (Fig 3.2.a). Chacun de ces grains individuels ou cristaux est constitué d'une union d'un nombre important de ces unités. Le fer à la température élevée est appelé fer delta ( $\delta$ ). à la température de  $2550^{\circ}\text{F}$  (point  $A_4$ ), le fer va subir une transformation allotropique (Fig 3.2), ce qui signifie que l'arrangement des atomes dans le cristal va changer. La nouvelle structure cristalline est appelée cubique à faces centrées, et la cellule unitaire sera constituée encore d'un atome sur chacun des huit sommets et d'un atome sur chacune des six faces. Cette forme est appelée fer gamma ( $\gamma$ ). à la température de  $1670^{\circ}\text{F}$  (point  $A_3$ ), le fer va subir un autre changement allotropique et va revenir au système cubique centré, cette structure qui est cristallographiquement équivalente au fer delta ( $\delta$ ), et est stable à des températures en dessous de  $A_3$ , et est appelée fer alpha ( $\alpha$ ). L'arrêt qui a lieu à  $1420^{\circ}\text{F}$  (point  $A_2$ ) n'est pas causé par un changement allotropique, mais il marque plutôt la température à laquelle le fer devient ferromagnétique et est appelé point de transition magnétique. au-dessus de cette température le fer n'est pas magnétique.

Ces différents arrêts de la température, lors du refroidissement sont causés par une évolution de la quantité de chaleur absorbée. Lors du chauffage, les arrêts sont intervenus en sens inverse et sont causés par une absorption de chaleur. On peut aussi détecter les points critiques par des changements soudains dans d'autres propriétés physiques, surtout l'expansivité et la conductivité électrique.





3.2: les alliages du fer et du carbone:

les propriétés du fer peuvent être changées par addition du carbone, et ceci de façon remarquable.

3.2.1: le diagramme de phase Fer-carbone.

Ce diagramme représente les relations possibles entre températures, composition et structures de toutes les phases qui peuvent être formées par le fer et le carbone sous des conditions d'équilibre (refroidissement très lent). une portion de ce diagramme pour les alliages dont le pourcentage de carbone est inférieur à 6,7% est représentée à la figure 3.3. la partie gauche (droite verticale) représente le fer pur, et la partie gauche représente le  $Fe_3C$ , communément appelé cémentite.

sur le diagramme de phase, on remarque que tous les alliages commençant à se solidifier à partir de la ligne ABCD, appelée liquidus. la fin de la solidification a lieu, le long de la courbe AHJECF, appelée Solidus. le point de début de solidification du fer est abaissé par addition de carbone (inférieur à 4,3%) et les alliages qui en résultent vont se solidifier sur un intervalle de température bien déterminé, et non à une température constante comme dans le cas du fer pur. Cependant l'alliage qui contient 4,3% de carbone, appelé alliage eutectoïde de fer et de cémentite ( $Fe_{50}C_{50}$ ) se solidifie à une température constante comme

l'indique le point C. cette temperature est de l'ordre de 2065°F, considerable. ment au dessous du point de debut de solidification du fer pur.

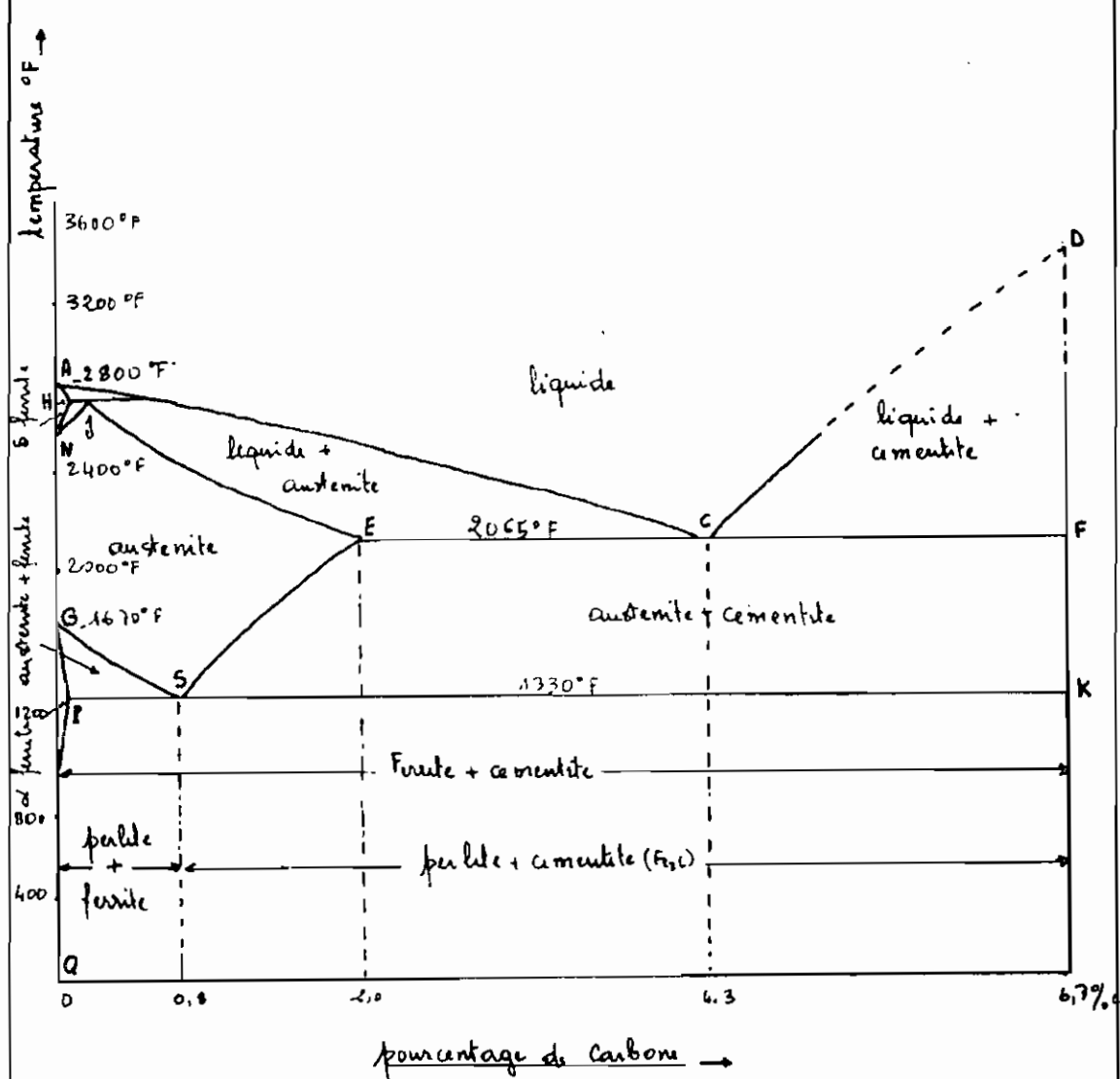


Fig 3.2 Diagramme de phase Fer-carbone.

le carbone a un effet important sur les temperatures de transformation, ou points critiques du fer. Il eleve la temperature du point A<sub>4</sub> et baisse celle de A<sub>3</sub>. Cet effet sur la temperature A<sub>3</sub> est tres important sur le traitement thermique des aciers a carbone, tandis que celui sur A<sub>4</sub> est tres important sur les aciers fortement allies. il est possible pour du fer solide d'absorber ou de dissoudre du carbone, la quantite depend de la structure cristalline du fer et de la temperature. le fer Alpha ou delta peut dissoudre seulement un peu de carbone

2

tandis que le fer gamma peut dissoudre une grande quantité. le maximum étant 2% à 2065 °F. Cette solution solide de carbone dans le fer gamma s'appelle austénite. Tandis que la solution solide de carbone dans le fer delta s'appelle delta ferrite et la solution solide de carbone dans le fer alpha s'appelle alpha ferrite, ou plus simplement ferrite.

le mécanisme de solidification des alliages fer-carbone, surtout ceux dont le pourcentage de carbone est inférieur à 0,6%, n'est pas très compliqué et ne présente aucun intérêt dans le traitement thermique des aciers au carbone et des fontes. Ce qu'il faut retenir, c'est que tout alliage Fer-carbone contenant moins de 2% de carbone (les aciers), sera constitué après solidification complète d'un seul élément appelé austénite. les fontes elles seront constituées de deux phases après solidification : austénite et cémentite ( $Fe_3C$ ). dans certaines conditions, la cémentite formée en refroidissant le long de la ligne horizontale ECF, va se décomposer partiellement ou complètement en austénite et graphite (carbone).

### 3.3 : la trempe :

la trempe est un traitement thermique qui comprend :

- le chauffage du métal à une température supérieure au point de transformation  $A_3$  (voir le diagramme de phase de la page 88)
- le maintien en température pour permettre aux transformations internes de se produire dans toute la masse (on veut obtenir la structure austénitique)
- le refroidissement rapide à une vitesse supérieure à la vitesse indispensable à la formation de martensite et inférieure à la vitesse qui laisserait subsister une proportion trop importante d'austénite.

le refroidissement a lieu par immersion des pièces dans un fluide.

un tel traitement thermique modifie très sensiblement les caractéristiques

mécaniques du métal. d'une façon générale on admet que :

- la résistance à la rupture ( $R_r$ ) a augmenté.
- la contrainte de limite élastique ( $R_e$ ) a augmenté,
- la dureté HB a augmenté,
- l'allongement  $A\%$  a diminué.
- la résilience  $K$  a diminué.

en général on dit que les aciers doux ne prennent pas la trempe, ce qui veut dire que les effets de la trempe sont faibles.

Remarquons aussi que dans certains cas, les effets de la trempe sont contraires à ceux qui sont constatés couramment :

C'est le cas d'aciers auto-tremnants (aciers au nickel-chrome : 4 à 6% Ni, 1,5 à 3% Cr ; 0,1 à 0,4% C) qui acquiescent par refroidissement à l'air, une texture martensitique, mais qui s'adoucissent par trempe à l'eau en raison du maintien à froid de l'austénite.

De même, certains laitons et bronzes deviennent moins durs et plus malléables après trempe. Mais ce sont là des exceptions.

L'examen d'éprouvette cassées révèle que le métal trempé correctement présente de grains beaucoup plus fins et plus régulièrement disposés qu'ils ne l'étaient initialement.

#### 2) but de la trempe

1°) : amélioration générale des propriétés mécaniques.

2°) : regénération d'un métal surchauffé.

un métal est dit surchauffé lorsqu'il a été porté trop longtemps à une température bien supérieure à son point de transformation.

il présente une cristallisation grossière et ses caractéristiques sont ainsi très diminuées. une trempe aura pour effet, en affinant son grain, de lui redonner des propriétés mécaniques maximales. Ce traitement pourra avantageusement être appliqué.

b) étude de la chauffe:

elle consiste à porter le métal à une température supérieure au point de transformation  $A_{c3}$ . Pour être certain de parvenir au résultat cherché, on choisit, dans l'industrie, une température égale à  $A_{c3} + 50^\circ$  environ.

Par exemple on a :

|             |                        |              |                        |
|-------------|------------------------|--------------|------------------------|
| aciers XC20 | $850 + 50 = 900^\circ$ | aciers XC70  | $735 + 50 = 785^\circ$ |
| aciers XC50 | $750 + 50 = 800^\circ$ | aciers XC100 | $720 + 50 = 770^\circ$ |

pour les aciers spéciaux, se reporter aux températures préconisées par le métallurgiste.

en ce qui concerne, le mode opératoire on peut dire qu'au cours de l'échauffement, il faut éviter :

- la déformation des pièces,
  - la détérioration du métal qui résulte : des fissures ou ruptures internes provenant des irrégularités de dilatation; du changement de composition chimique imputable à une oxydation ou à une decarburation superficielle.
- donc pendant la chauffe, il faudra prendre les précautions suivantes:

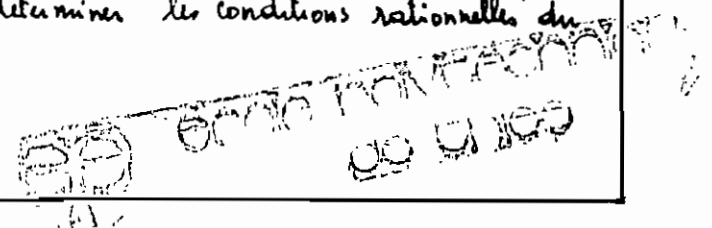
1.) comment éviter la déformation des pièces.

Vers  $700$  ou  $800^\circ$ , le métal est devenu plastique, si les pièces sont mal soutenues dans le four, ou reposent sur une sole irrégulière, elles peuvent se déformer. Ces déformations subsistent après refroidissement et pourront même se trouver amplifiées au cours de la trempe. aussi doit-on étudier des supports appropriés pour la chauffe des pièces longues aux formes tourmentées.

2.) comment éviter la détérioration du métal.

L'étude des phénomènes physiques et chimiques, qui se succèdent au cours de la chauffe, va nous permettre de déterminer les conditions rationnelles du chauffage.

- la fragilité à chaud.



l'expérience a montré qu'au cours de l'échauffement, les aciers deviennent très fragiles à certaines températures. en particulier, cette fragilité est maximale pour les aciers au carbone entre 300 et 400°. l'essai suivant permet de la mettre en évidence. prenons une tôle douce recuite. nous pouvons à froid la plier à bloc sans craquer, ni déchirure. si au contraire, nous la chauffons à 350° et la serons dans l'eau, il devient impossible de la plier sous un angle de 90° sans la casser. ce phénomène met en évidence la fragilité au bleu qui permet d'expliquer notamment la rupture des essieux de wagon lorsqu'un échauffement se produit en raison du manque de graissage. pour les aciers rapides, la zone de fragilité correspond à des températures de 700 à 750°. elle est bien connue des outilleurs qui savent que ces aciers se cassent lorsqu'on les forge au rouge cerise naissant.

- la dilatation du métal.

tout corps chauffé se dilate. l'échauffement d'une pièce est plus rapide à l'intérieur qu'à l'extérieur, plus rapide aussi sur les parties minces que sur les parties épaisses. les pièces étant placées dans un four très chaud, des inégalités de dilatation vont se produire: des forces internes tendront à empêcher ces dilatations. ces forces, nommées tensions internes, risquent de provoquer le décollement des parties extérieures ou la rupture de la pièce au raccordement des parties minces avec les parties massives. pour éviter ces ruptures internes ou l'appareil qui peuvent n'être révélés qu'à l'usinage ou aux essais voici les précautions à prendre:

1) chauffer lentement le métal jusqu'à une température supérieure à la limite de fragilité, soit 450° pour les aciers au carbone, au chrome, au nickel, et 800° pour les aciers rapides.

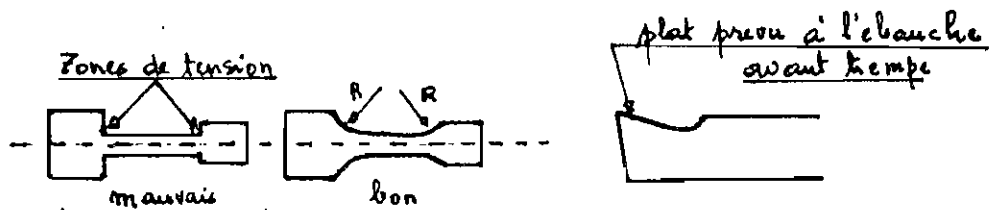
2) chauffer ensuite rapidement jusqu'à la température de trempe. d'où la nécessité, si l'on pratique la trempe continue, d'établir un four à deux étages

chauffés à des températures différentes.

3°) ne jamais mettre directement les pièces froides dans un four très chaud, il est nécessaire de dégorger les pièces en les plaçant devant ou sur le four, dans le trajet des gaz chauds. c'est ainsi que l'on opère lorsqu'on trempe des outils à la forge à gaz ou au charbon

4°) utiliser de préférence des fours à chauffage indirect ou à braise de sel, dont la température est plus homogène.

5°) si les pièces trempées doivent avoir de grandes différences de sections prévoir des raccords à grand rayon (voir les figures suivantes)



oxydation ou décarburation :

les risques de modification de la composition du métal par oxydation ou décarburation sont d'autant plus intenses,

que la température de chauffe est plus élevée

que le métal reste plus longtemps à haute température

que l'atmosphère du four est plus oxydante.

la décarburation superficielle peut modifier notablement les propriétés des pièces traitées ; surtout la dureté après trempe, fonction de la teneur en carbone de l'acier.

pour diminuer la décarburation et l'oxydation on peut :

1°) activer la deuxième partie du chauffage, d'où la nécessité d'employer des fours convenablement calorifuges et à importante puissance de chauffe.

2) rendre neutre ou même réductrice l'atmosphère des fours: d'où les diverses solutions, suivant le mode de chauffage. on peut en citer deux:

- fours à mazout ou au gaz: donner un excès de combustible. pour le four à gaz, on se rend compte que l'atmosphère est réductrice quand les gaz de départ présentent une légère coloration bleue.

- fours électriques: mettre dans le four quelques morceaux de charbon de bois, une poignée de ciment, ou faire arriver du gaz d'éclairage. dans les deux cas, il faut laisser les portes du four bien closes et défoncer rapidement au moment de la trempe.

lorsque les pièces présentent des angles aigus avec arête vive, la légère oxydation inévitable produit nécessairement l'affaissement de cette arête aussi est-il recommandé de prévoir un léger plat; l'acuité de l'angle s'obtiendra après trempe par meulage ou rectification: application à la trempe des outils de tour ou des outils de forme (figure précédente).

Il faut noter également que l'on enduit d'un ciment spécial, à base d'amiante et de kaolin, certaines parties de pièces qui ne doivent ou ne peuvent pas être usinées à la meule après trempe.

Exemples: - protection pour la trempe des parties moulées;  
- protection des filetages exécutés sur des pièces devant subir des traitements thermiques.

- fours à bain: ces fours utilisent des bains métalliques (plomb, zinc) ou des sels complexes en fusion (nitrites, nitrates, chlorures, carbonate de potassium, de sodium, etc...).

les bains métalliques peuvent être utilisés depuis leur point de fusion (plomb 330°, zinc 410°) jusqu'à 850° environ. malheureusement, à haute température, le métal s'oxyde rapidement et un gros déchets se produit.

les bains de sel ont une gamme d'utilisation assez restreinte. on utilise



plusieurs fours dont les creusets contiennent des sels différents. l'emploi de ces fours limite au minimum les dangers d'oxydation et de decarburation des pieces. d'ailleurs, une legere addition de ciment liquide dans le bain assure une carburation superficielle qui compense la decarburation resultant de l'oxydation au cours des mainten-

c) maintien en temperature.

lorsqu'un metal est porte a une temperature superieure au point  $A_{c3}$  (voir le diagramme de phase Fe-carbone), il se produit des transformations internes comportant notamment, pour les aciers, la dissociation du carbure de fer. ces reactions ne sont pas instantanees et elles doivent interesser toute la masse si l'on veut obtenir une trempe a coeur. il est donc necessaire.

- 1°) que toutes les parties des pieces soient reellement portees a une temperature superieure a  $A_{c3}$
- 2°) que la transformation, qui commence par les parties exterieures de la piece, gagne toute la masse metallique.

or le pyrometre (appareil de mesure de la temperature) place dans le four nous renseigne sur la temperature de l'atmosphere et de bain et non celle des pieces.

entre l'instant ou le pyrometre marque la temperature desiree et celui ou l'on va tremper le metal, il faut donc attendre 2 a 3 minutes pour les pieces minces, 10 minutes pour les grosses pieces. ce temps doit etre reduit au minimum afin d'eviter la decarburation, l'oxydation du metal et, dans le cas des pieces cimente'es, la diffusion du carbone dans la masse, ce qui entrainerait un manque de durete.

## d) étude du refroidissement

Une étude systématique des phénomènes physiques accompagnant le refroidissement va nous permettre de déterminer dans quelles conditions la trempe doit être faite, comment on doit choisir et utiliser les différents fluides. Rappelons les modifications internes résultant du chauffage et du refroidissement :

1°) le chauffage a pour objet de mettre en solution le carbone dans le fer  $\gamma$  et, s'il s'agit d'aciers alliés, de mettre aussi en solution solide dans le fer  $\gamma$  les carbures des métaux alliés (carbure de Cr, Mn, W, V, Nb) ou les métaux eux-mêmes Si, Ni, Co.

Ces transformations se produisent entre les points  $A_c1$  et  $A_c2$ .

2°) lorsqu'on refroidit très lentement le métal chauffé, les transformations inverses se reproduisent et l'on retrouve les constituants de l'acier recuit : perlite et ferrite ou perlite et cémentite.

3°) par contre, si le refroidissement est rapide, la perlite ne peut se former et une solution de carbone dans du fer  $\alpha$  apparaît, c'est la martensite, tandis que la ferrite et la cémentite se reforment. ces transformations se produisent entre les points  $A_r3$  et  $A_r1$  (voir diagramme des phases Fer-carbone) températures beaucoup plus basses que  $A_c1$  et  $A_c3$ . elles sont accompagnées d'un dégagement de chaleur, surtout aux environs du point  $A_r1$ .

4°) la plus petite vitesse de refroidissement lors de la trempe.

Correspondant à une durée de trempe acceptable et appelée vitesse critique. Elle est fonction de la composition des métaux. ainsi le nickel incorporé aux aciers diminue la vitesse de trempe. donc les aciers qui en contiennent peu peuvent se tremper avec des fluides comme l'huile ou l'air, refroidissants moins énergiques que l'eau.

5.) si l'on refroidit trop rapidement le métal, l'austénite va subsister à froid et la trempe n'est pas parfaite. cette imperfection risque de se produire avec certains aciers spéciaux.

6.) si la vitesse de refroidissement est inférieure à la vitesse critique, il y a formation de troostite et de perlite : la trempe est douce.

7.) on peut obtenir une trempe correcte en refroidissant rapidement la pièce jusqu'à  $A_{r1} + 50$  à  $100^\circ$ , et moyennement vite jusqu'à la température ordinaire.

8.) dans les pièces massives, l'intérieur se refroidit plus lentement que l'extérieur, toujours en contact avec le fluide de trempe, donc l'extérieur pourra être trempé sec et l'intérieur doux ou même non trempé. le traitement thermique n'est donc pas homogène.

### 3.4 le revenu :

c'est un traitement thermique qui ne s'applique qu'aux métaux préalablement trempés. il consiste à un chauffage du métal trempé à une température inférieure à  $A_c$ .

le revenu a pour but de diminuer les effets de la trempe. il supprime les tensions internes, en partie responsables de la fragilité de l'acier trempé. en diminuant très peu la dureté.

la martensite, solution solide de carbone dans le fer  $\alpha$ , est transformée en un nouveau constituant : la sorbite, agrégat de fer  $\alpha$  et de carbure de fer, analogue à la troostite. la sorbite est constituée par des lamelles très minces de carbure de fer, disposées entre des couches très peu épaisses de fer. elle est presque aussi dure que la martensite, mais beaucoup moins fragile.

### a) le mode opératoire

le revenu comprend :

- un chauffage à une température déterminée, pour chaque métal, par les caractéristiques mécaniques à obtenir, mais toujours inférieure au point de transformation  $A_{c1}$ .
- le maintien en température pendant le temps nécessaire pour que l'échauffement soit uniforme dans toute la pièce
- un refroidissement assez lent, obtenu en général à l'air. on évite ainsi la création de légères tensions pouvant résulter d'une brusque chute de température.

### b) modification des caractéristiques

les essais ont montré que les caractéristiques des aciers trempés soumis à un revenu sont généralement modifiées comme suit :

- la résistance à la rupture diminue.
- la dureté diminue
- la résilience augmente
- l'allongement % augmente.

l'importance des modifications des caractéristiques est fonction de la température. plus le revenu est fait à haute température, plus les effets de la trempe sont atténués.

il est à remarquer qu'un revenu effectué à haute température ( $500^{\circ}\text{C}$ ) procure par rapport à l'état recuit, une notable amélioration de la résistance à la rupture, tout en conservant au métal une bonne résilience et un pourcentage d'allongement assez important.

les revenus effectués au dessous de  $300^{\circ}$  sont appelés revenus de détente. la dureté des aciers a varié à peu près proportionnellement aux rendants. les aciers qui ont ainsi subi une trempe et un revenu à haute tempera-

«... sont dit, «traités». ils sont de plus en plus utilisés en construction mécanique. L'amélioration des caractéristiques est beaucoup plus nette lorsqu'il s'agit d'aciers spéciaux. Par exemple, un acier au nickel-chrome dont la composition approximative est 0,3% de C ; 4% de Ni ; 1% de Cr, présente les caractéristiques suivantes.

état recuit.  $(R_r)_c = 850 \text{ N/mm}^2$        $A\% = 20$        $K = 130 \text{ J/cm}^2$

trempé à l'huile et revenu à 550°

$(R_r)_c = 1200 \text{ N/mm}^2$        $A\% = 13$        $K = 130 \text{ J/cm}^2$

on comprend alors aisément l'intérêt que présentent ces traitements thermiques en construction mécanique. ils sont appliqués sur les pièces brutes ou sur les pièces terminées à l'outil, avant les opérations de rectification.

C) la pratique du revenu :

le revenu s'applique :

- aux métaux (aciers, duralium) dont on veut améliorer les propriétés mécaniques par trempé et revenu. Pour les aciers, la température de revenu est supérieure à 450° et inférieure au point de transformation.
- aux aciers d'outillage trempés dont on veut diminuer la fragilité. la température de revenu varie généralement entre 200 et 325°.

Comme dans tous les traitements thermiques, il faut chauffer le métal, contrôler la température et le refroidir. on aura donc :

I) chauffe du métal et contrôle de la température.

dans l'industrie, on utilise les fours à bain de sel qui permettent un chauffage uniforme et assurent en même temps le décapage de la pièce. quelquefois, on utilise des fours à atmosphère gazeuse. il est intéressant d'employer alors un moufle pour éviter le contact direct des gaz de combustion avec la pièce et obtenir un chauffage aussi uniforme

que possible. quand le revenu s'applique aux aciers et doit se faire au dessus de  $325^{\circ}$ , température qui correspond à la zone de fragilité du métal, il y a lieu pour éviter les tatures, de faire degourder les pièces en les plaçant quelques instants devant la porte du four.

le contrôle de la température se fait au moyen d'une canne pyrométrique ou d'un pyromètre à dilatation. la durée de l'opération doit être comptée à partir du moment où la pièce aura été portée à la température du revenu. le temps de mise en température est fonction du volume des pièces.

pour les outils, où seule une partie doit être trempée et revenue, on peut rechauffer le métal en utilisant la chaleur rayonnée par le feu de forge ou une pièce masquée préalablement portée au rouge. mais on doit éviter le contact de l'outil avec le charbon en ignition ou avec la pièce chauffée, ce qui produirait un chauffage irrégulier.

lorsqu'on desire faire revenir la pointe d'un outil qui vient d'être trempé, on utilise la chaleur emmagasinée dans la partie de cet outil qui n'a pas été immergée dans le liquide de trempage (application à la trempée d'un burin).

Dans ces deux cas, le contrôle de la température se fait par l'examen des couleurs de revenu. Cette méthode empirique, qui est fonction de l'épaisseur de la couche d'oxyde, de l'éclairage de l'atelier, et de l'œil de l'opérateur ne peut donner de résultats précis et constants.

actuellement, dans les ateliers d'outillage, les outils sont groupés et peuvent être trempés :

- individuellement : l'extrémité chauffée est immergée dans le liquide de trempage ; on attend que la température du corps soit inférieure au point de transformation avant de refroidir tout l'outil par immersion totale dans le bain.

- en bloc : tous les outils sont placés dans le four puis immergés entièrement dans le liquide. dans ce cas la trempée interesse tout l'outil (bancaulade)

quel que soit le mode de trempe, le revenu constitue une opération bien indépendante de la trempe ; les outils sont chauffés entièrement dans un four à bain de sel.

### 2°) refroidissement

la vitesse du refroidissement n'a pas d'influence sur les résultats obtenus lors du revenu. Cependant un refroidissement trop rapide, correspondant à la zone de fragilité du métal, risque de provoquer des taches.

aussi, pour des aciers au carbone revenus au dessous de  $300^{\circ}$ , le refroidissement peut se faire par immersion dans l'eau.

Pour des températures supérieures et pour des pièces volumineuses, il a lieu dans l'huile chauffée à  $150$  ou  $200^{\circ}$  et se termine à l'air libre.

si on ne dispose pas d'un bain d'huile chaude, un refroidissement à l'air libre donne généralement des résultats satisfaisants.

Pour certains aciers alliés au Ni-Cr, on constate une notable diminution de résilience quand le séjour à température élevée ( $650^{\circ}$ ) a été un peu long et lorsque le refroidissement a été trop lent. dans ce cas, opérer un refroidissement rapide par immersion dans l'huile.

## Chapitre 4:

### équipement de fabrication utilisé:

pour la fabrication des ressorts à lames, on a besoin du matériel suivant:

- une cisaille pour couper la lame à la longueur voulue
- d'une meule pour l'ébavurage
- d'une perceuse pour les ressorts à rivets
- un emboutisseur pour les ressorts à étoquiaux
- un four spécial pour le chauffage des bouts de lames
- une machine à faire les bouts de lame
- une machine à rouler les œils des lames maîtresses
- un four pour chauffer les lames à la température de traitement thermique
- des pyromètres installés sur le four qui vont donner des valeurs exactes de la température.
- une machine à cintrer et à tremper
- un milieu de trempe
- une machine à faire les brides pour les ressorts.
- une presse pour serrer l'ensemble bride et lames de ressort
- un banc d'essai pour les ressorts.

on va étudier en détail chacun de ces montages.

#### 4.1: Cisaille.

pour couper les lames, on peut utiliser une scie mécanique ordinaire, actionnée par un moteur électrique.

#### 4.2: meule.

on peut utiliser une meule ordinaire, actionnée par moteur électrique. la meule doit assurer l'ébavurage pour mettre l'acier à rif avant le début du traitement thermique. on doit donc



supprimer la couche décarburée du métal provenant de l'acierie. la meule assure aussi une surface propre, nette d'inclusions et sans accidents superficiels qui'il n'est généralement pas possible d'obtenir avec des produits bruts de laminage.

#### 4.3 perceuse

elle doit pratiquer un trou au milieu de chaque lame, pour permettre le passage du rivet, qui va permettre la fixation de l'ensemble des lames et les empêcher de bouger les unes par rapport aux autres avec l'aide de la bride.

on peut utiliser les perceuses ordinaires.

#### 4.4 emboutisseur

il va emboutir chaque lame pour créer une empreinte sphérique dans la face supérieure et une protubérance sur la face inférieure appelée étoquiau; de sorte que l'étoquiau de chaque lame va se trouver dans l'empreinte sphérique de la lame située au dessous (voir Fig 1.6 au chapitre I).

on a donné en annexe, le schéma d'un emboutisseur et son fonctionnement.

#### 4.5 un four spécial pour le chauffage des bouts de lames.

on a donné en annexe, des exemples de Four et leur fonctionnement.

le four doit assurer le chauffage des bouts et éviter la décarburation de l'acier.

#### 4.6 appareil à faire les bouts et la forme de la lame.

la lame chauffée, est sortie du four, elle est martelée sur un gabarit qui va donner la flèche et la forme. il existe plusieurs gabarits en général dans un atelier, chacun a une forme bien

plus que la resistance pour entrainer la lame et la forme devient plus grande.

la distance OM est réglable suivant l'épaisseur des lames et le diamètre des mandarins. En la choisissant de telle façon que OM soit légèrement inférieur à OB + BM (compte tenu de l'affaïssement de la lame chaude) on réalise un serrage très énergique.

Cependant le fonctionnement automatique est assuré par  
- L'air comprimé de 6/7 kg/cm<sup>2</sup>.

pour toutes les opérations de déplacement de la lame et de formation des ceils, cet air est envoyé tour à tour aux différents cylindres moteurs par le jeu de distributeurs à clapet.

D'une façon générale, chaque piston, en fin de course agit sur un des distributeurs pour commander l'opération suivante et assurer le retour en position initiale du piston ayant fonctionné précédemment.

- par l'huile sous pression de 0,7 kg/cm<sup>2</sup>

agissant en permanence sur une face des pistons moteurs, pour assurer leur rappel en position initiale. Cette pression est obtenue à l'aide d'un réservoir placé à une hauteur de 8m.

- par contre poids.

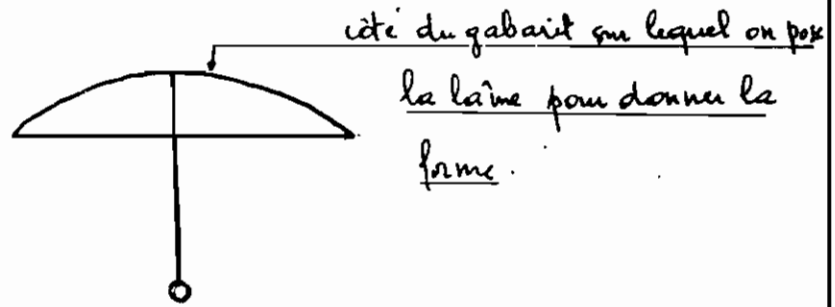
pour le rappel du chariot porte lame en position de départ.

4.8. Four pour le chauffage des lames.

Il s'agit de chauffer les lames pour les amener à la température de temps. il existe deux sortes de four:

- les fours où le véhicule de la chaleur est l'air ou les gaz de combustion: four à atmosphère
- les fours où le véhicule de chaleur est un métal ou un sel en

déterminée. on peut schématiser un gabarit de la façon suivante.



4.7: Machine à rouler les yeux des lames maîtresses.

on va d'abord donner le schéma de principe de cette machine.

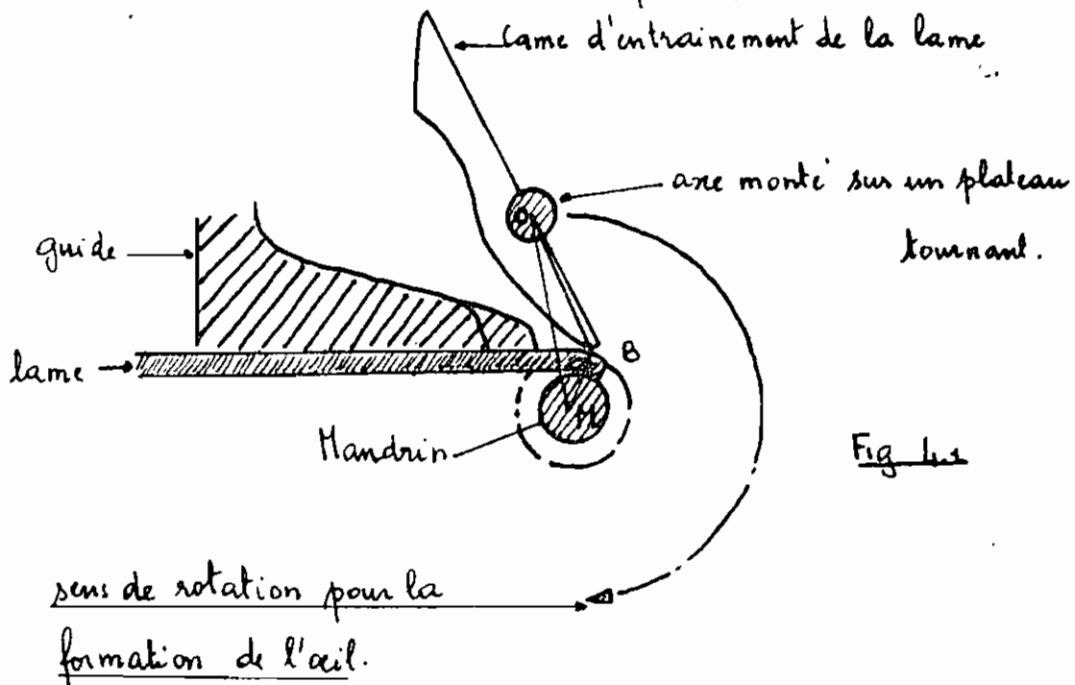


Fig 4.7

pour le principe de fonctionnement de cette machine, on peut dire que l'extrémité de la lame, chauffée entre 900 et 1000° sur une longueur un peu supérieure au développement de l'œil désiré est amenée au contact du Mandrin de diamètre égal à celui de cet œil.

L'enroulement de l'extrémité de la lame autour du mandrin est assurée par la came solidaire d'un plateau tournant qui entraîne la lame par auto-serrage. le schéma ci-dessous montre comment se fait cet auto-serrage par suite de la tendance du point B (mors de la came) à se rapprocher de OH et cela d'autant

de plus en plus

en fusion: four à bain de sel.

en annexe on a donné une liste de fours avec leur méthode de fonctionnement. (Annexe B)

#### 4.9: Pyromètres

C'est un appareil qui sert à mesurer la température. cette mesure ne pouvant être directe, elle se traduit par la mesure d'une grandeur qui varie de façon continue avec la température.

- mesure d'une force électromotrice

pyromètre à couple thermo-électrique et lunette de Fery à radiation totale.

- comparaison de l'intensité ou de la couleur des radiations lumineuses: pyromètre optique à dispersion de filament.

- mesure d'une longueur représentant la dilatation d'un solide.

pyromètre à dilatation.

- observation du début de fusion d'un corps.

cônes ou montres fusibles de Seger.

on a donné en annexe une liste de pyromètres.

#### 4.10 machine à cintrer et à tremper

elle permet d'éviter la perte de température entre l'opération de cintrage et celle de la trempe de la lame. en effet les deux sont faites simultanément.

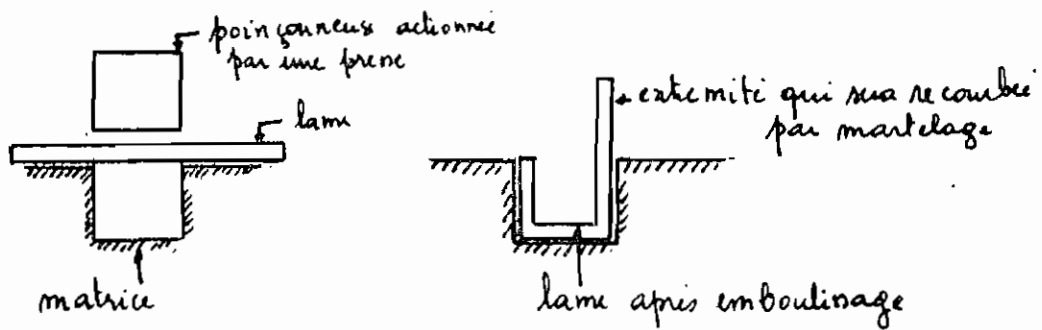
voir en annexe un exemple de machine avec son fonctionnement expliqué.

#### 4.11 milieu de trempe

Il sert à refroidir la lame chauffée. et suivant la vitesse de refroidissement que l'on veut avoir, le milieu peut être de l'eau, de l'huile, de l'air, de l'eau avec glaces.

### 4.12 : Machine à faire les brides

la lame est coupée à la longueur voulue, puis elle est placée sur une matrice, une poinçonneuse actionnée par une presse va plier la lame puis la partie qui n'a pas été pliée, est recourbée par martelage jusqu'à obtention de la forme rectangulaire de la bride, puis on soude les deux côtés qui ne ferment pas. on peut visualiser les différentes étapes.



### - 4.13 Banc d'essais.

le banc d'essais pour essais statique est le plus simple à obtenir, que celui en dynamique qui doit recréer les conditions réelles de fonctionnement du ressort. (pour plus de détails voir le chapitre 2, Fig 2.1 et Fig 2.2)

## chapitre 5:

### étude des produits et quantités.

Dans cette section nous parlerons des besoins présents, et futurs en ressorts à lames au niveau de l'atelier de la RCF5 (régie des chem. ins de fer. du Sénégal)

nous pouvons dire que le taux d'immobilisation 'doux' des wagons du parc commercial est dû essentiellement à un manque de ressorts de suspension.

Depuis des années, l'atelier des ressorts est au bord de la faillite, en effet, faute de rechanges, le personnel est obligé de prélever des ressorts sur des wagons immobilisés. c'est pourquoi le déficit actuel a atteint 1000 ressorts.

cette situation est due aux faits suivants:

- état de la voie
- surcharge du matériel
- insuffisance du crédit
- lenteur des approvisionnements.

mais il y a aussi une autre raison qui a son importance: c'est la production insuffisante et surtout de mauvaise qualité au niveau de l'atelier des ressorts.

une solution a été proposée pour remédier à cette situation, une action en deux phases:

- amélioration de la production à partir des possibilités actuelles
- étude du poste de fabrication des ressorts pour améliorer la production et la qualité en réduisant les coûts.

#### 5.1 1<sup>ère</sup> phase - la situation actuelle:

Actuellement, il existe sur place une équipe qui peut produire 32 de -

ments par semaine. soit 128 éléments par mois.  
 avec 10% d'heures supplémentaires la production pourrait passer à 48 éléments par semaine, soit 192 éléments par mois.

Il faut noter qu'il faut 16 éléments par wagon.

Il existe aussi une autre possibilité, c'est la création d'une deuxième équipe qui produirait 120 ressorts diversifiés par mois, pour faire la pénurie actuelle. on peut y arriver en satisfaisant les conditions suivantes:

- recrutement de cinq personnes
- fonctionnement du deuxième four; à cet effet, deux actions sont à cours:

- la commande de brûleur et tube de cuivre pour la remise en état du 2<sup>ème</sup> four ancien.
- relance au niveau de "Senegaz" pour rendre le four neuf opérationnel, par remplacement du propane par du butane.

les matières en stock sont suffisantes en ce moment, mais des ordres sont donnés pour éviter des ruptures, à cause des délais d'approvisionnement.

5.2: Deuxième phase:

Le besoin en ressorts à lames restera important même dans les années à venir malgré la refecton de la voirie.

une étude superficielle des coûts a été présentée récemment. elle démontre que le coût de fabrication au niveau des ateliers de la RCFS est nettement inférieur à celui des ressorts achetés à l'étranger.

L'écart en faveur de la fabrication locale devrait encore plus significative, si on ajoute les frais de douane difficiles à éviter.

C'est ainsi que pour le renouvellement complet de la suspension d'une voiture, il faut :

- 779 520 CFA en fabrication locale.
- 2 420 000 CFA en fabrication extérieure

et pour un Wagon, il faut :

- 403 680 CFA en fabrication locale
- 960 000 CFA en fabrication extérieure.

L'étude fonctionnelle du groupe de fabrication des ressorts est en cours de terminaison.

Sa réalisation nécessitera probablement l'acquisition :

- d'une presse à former et tremper les lames de ressorts
- d'une presse pour le bridage à chaud des ressorts.
- d'équipements divers devant faciliter les manutentions.



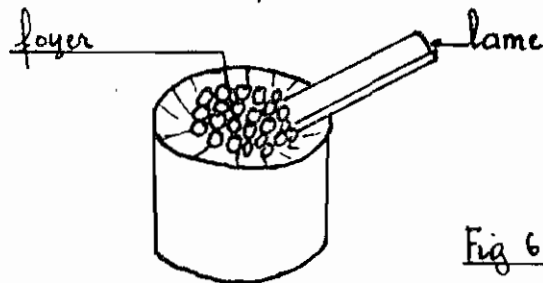
## CHAPITRE 6:

### étude de l'atelier des ressorts de la régie des chemins de fer du Sénégal.

#### 6.1 équipements de fabrication auxiliaires

l'atelier de fabrication des ressorts possède

- une scie mécanique entraînée par moteur électrique pour couper les lames d'acier à la longueur voulue. lors de la coupe, une huile est injectée automatiquement pour éviter l'échauffement.
- une meule ordinaire entraînée par un moteur électrique
- un foyer à l'air libre, fonctionnant au charbon, pour chauffer le bout des lames en vue de la formation des œils. on a le schéma de principe ci-dessous.



- une machine pour rouler les œils des lames maitresses.  
elle fonctionne sur le même principe que celle présentée au chapitre 4 à la figure 4.1 page 36  
mais au niveau de cet atelier au lieu d'être automatique, elle fonctionne manuellement.

- Un four fonctionnant par injection de Diesel oil :

Il est utilisé pour chauffer la lame en vue de sa trempe, mais l'absence totale d'appareils précis de mesure de la température (elle est approximée à l'œil nu) fait qu'il n'y a aucun contrôle sur celle-ci. donc à la sortie du four on ne connaît pas la température de la lame, ce qui fausse

144  
Totallement les résultats de la trempe, étant donné que la lame n'est pas trempée généralement à la température requise.

d'autre part on a noté que les portes de ce four ne ferment pas, donc pendant le chauffage la lame est en contact permanent avec l'atmosphère ce qui entraîne sa décarburation.

- un appareil à cintrer qui donne à la lame la forme recherchée

- un bac de trempe qui utilise de l'eau de robinet à la température ordinaire comme milieu de trempe, avec un orifice d'évacuation à la base

remarque: on a donné en annexe D un appareil à cintrer et à tremper avec son fonctionnement automatique.

C'est le même qui est utilisé au niveau de l'atelier de la RCFS, mais il ne fonctionne plus automatiquement. en effet le cintrage de la lame se fait à part, puis la lame est enlevée manuellement, puis plongée dans le bac de trempe.

- différents gabarits pour donner aux lames des différents ressorts la flèche cherchée. (pour le fonctionnement voir la section 4.6 au chapitre 4 page )

- Une presse automatique: c'est elle qui effectue le serrage de la bride chauffée autour des lames. il faut rappeler que le rôle de la bride est d'assembler les lames, dans le but de créer un ensemble rigide. (voir chapitre 1, Fig 1.5, page 6).

Cette presse possède un cadran qui indique la pression de serrage choisie dans la plupart des cas, la pression de serrage utilisée est de  $75 \text{ kg/cm}^2$ .

- banne d'essai des ressorts

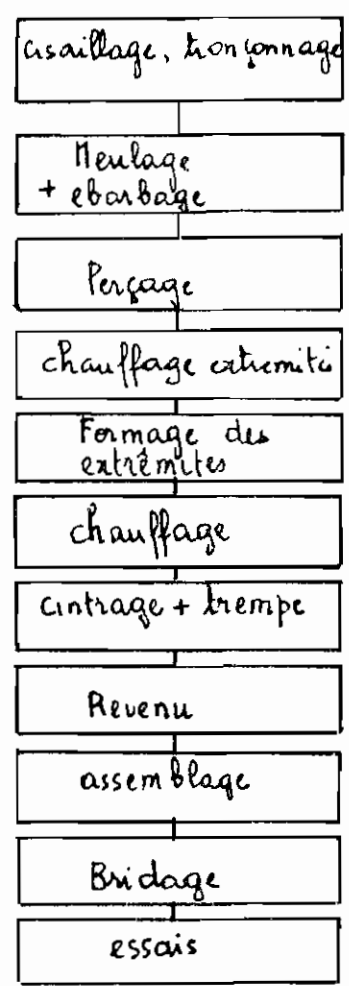
L'essai des ressorts proprement dit n'existe pas au niveau de l'atelier, mais on utilise la machine (Watson Stillman) pour réduire les flèches excessives de l'ensemble ressort, c'est la charge newmann qui est imposée sur la bride.

6.2 différentes étapes dans la construction des ressorts à lames au niveau de l'atelier.

au niveau de l'atelier on distingue deux genres de travaux effectués la construction de ressorts à lames neufs et la refaction des ressorts cassés.

a) Confection des ressorts neufs.

on peut visualiser les différentes étapes suivies pour les lames rivetées.



avant de les décrire.

Il faut noter qu'après avoir calculé les sollicitations qui agissent sur le ressort, en tenant compte des charges dynamiques qui entrent en jeu lorsque le wagon se déplace sur les rails, on choisit l'acier à utiliser et les traitements thermiques qu'on va lui faire subir.

au niveau de la RCFS, c'est le 45 57 et le 50S7 qui sont utilisés

pour la description des différentes étapes, on peut dire comment elles sont effectuées au niveau de l'atelier.

- cisaillage, tronçonnage:

les lames d'acier sont coupés à la longueur voulue par la scie mécanique, puis les bouts sont rabotés. pendant le cisaillage, on injecte de l'huile pour empêcher l'échauffement.

- meulage et ébarbage:

le bout des lames coupés au chalumeau est meulé, mais pendant les opérations de fabrication on ne procède pas au niveau de l'atelier au meulage dont le but est de supprimer la couche décarburee du métal provenant de l'acier et les accidents superficiels qui n'est généralement pas possible d'obtenir avec des produits bruts provenant du laminage. donc on note que la lame n'est pas préparée pour le traitement thermique.

- perçage:

on perce les lames en leur milieu pour le passage du rivet qui va rendre l'ensemble bride et lames solidaire, cette operation se fait dans un autre atelier. en effet au niveau de l'atelier des ressorts, il n'y a pas de perceuse.

- chauffage des extrémités:

les extrémités des lames sont chauffées dans le foyer décrit à la figure 6.2 de ce chapitre (voir la page 43).

mais comme que le foyer se trouve à l'air libre, il y a un problème de décarburation qui se pose.

- formage des extrémités:

les extrémités des lames mâchées chauffées, sont roulées en forme d'oeil à l'aide de la machine décrite à la page 48 du chapitre 6.

- chauffage:

les lames sont ensuite chauffées dans le four à Diesel. oil., jusqu'au rouge. il faut noter l'absence totale d'un moyen de contrôler la température rigoureusement. si le four est chaud la durée du chauffage peut varier de 30 à 40 minutes. si le four n'est pas encore chaud, l'opération peut durer 2h 45 minutes.

en conclusion, on peut dire que la température de la lame à sa sortie du four n'est pas connue.

- cintrage et trempé:

la lame sortie du four est cintrée sur la machine à cintrer décrite à la page 38 du chapitre 6. puis l'opérateur la retire et la laisse tomber dans le bac de trempé rempli d'eau de robinet

Il faut noter que plusieurs lames sont trempées à la fois, ce qui élève considérablement la température du bac, donc à partir d'un certain moment les lames qui viennent du cintrage sont atteignent le bac, alors que l'eau n'est plus à la température requise.

d'autre part étant donné que le cintrage se fait à l'air libre, il ya une grande perte de température entre le cintrage et la trempé. ce qui signifie que la lame atteint le bac de trempé avec une température nettement inférieure à celle requise par les normes.

pour la durée de la trempé, il faut dire qu'elle n'est pas définie clairement, en effet il arrive que tout ce paquet de lames trempées soit laissé dans le bac toute une journée.

- Revenu

après la trempé les lames sont remises au four jusqu'au rouge, puis elles sont sorties et refroidies à l'air ambiant

- assemblage

les lames sont reliées ensemble par un rivet qui va passer par les trous déjà percés.

- Bridage

après l'assemblage, la bride est chauffée jusqu'à sa dilatation, puis on la passe autour des lames déjà assemblées, puis l'ensemble est passé sous la presse à fonctionnement mécanique qui va imposer une pression de serrage.

- essais

Un essai rigoureux en tant que tel n'existe pas au niveau de l'atelier. on procède uniquement à la vérification de la flèche et l'expérience montre que la perte de flèche importante enregistrée lors de la première mise en charge entre 2 et 4 mm est normale.

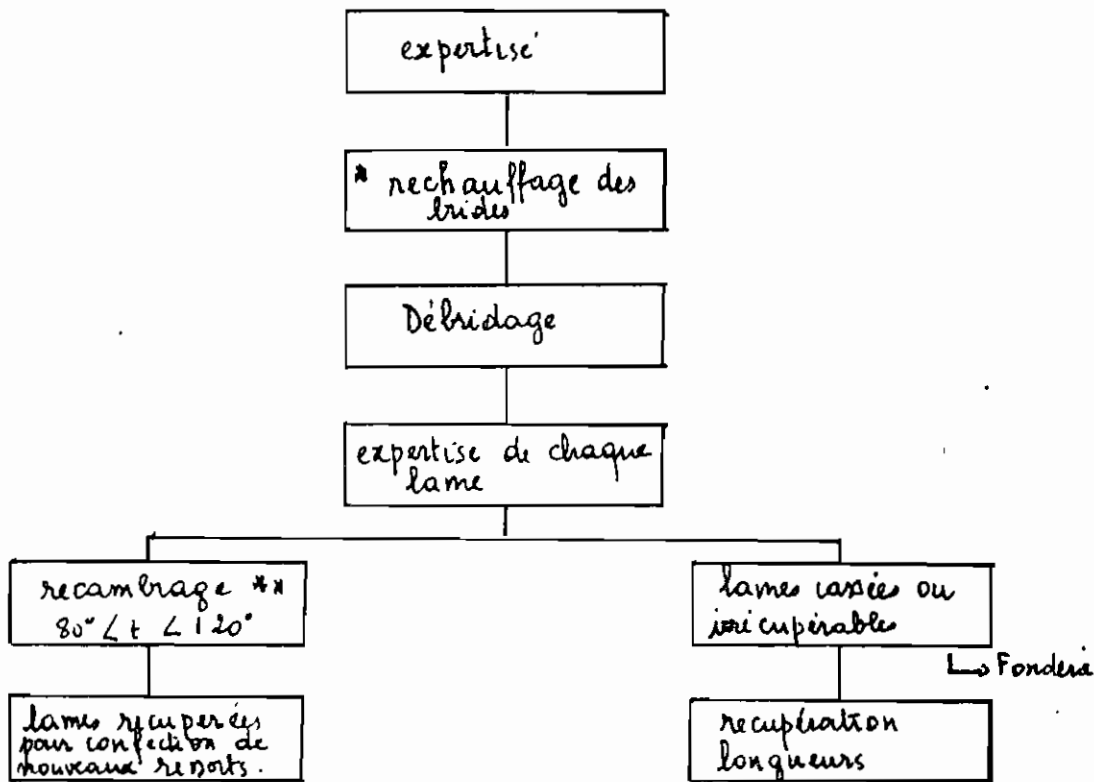
elle doit être nulle pour les mises en charge suivantes. il faut noter que ces vérifications sont effectuées sur la machine (Watson. Stillman).

Remarque:

dans le cas des ressorts à étoquiaux, on a le même cheminement que celui des ressorts rivetés, la différence est que dans le deuxième cas il n'y a pas de passage des lames, et qu'après le formage des bouts, elles sont embouties pour la formation des étoquiaux (voir la page 7 et la Fig 1.6 du chapitre 1)

b) réfection de ressorts usés ou cassés:

Lorsqu'un ressort cassé est récupéré, il va suivre les étapes suivantes:



\*\* c'est la remise en forme des lames qui ont déjà perdu

\* on chauffe la bride jusqu'à dilatation pour pouvoir l'enlever facilement.

c) entraînement du personnel:

On peut dire que les ouvriers qui travaillent au niveau de l'atelier, n'ont pas une connaissance scientifique du traitement thermique. en effet ils considèrent la confection des ressorts comme un travail artisanal sans aucune norme, exécuté par un forgeron. donc on devrait engager un personnel qualifié.

d) résumé des problèmes

En conclusion de cette section, on peut souligner les problèmes réels qui se posent lors de la confection des ressorts.

pendant le chauffage des extrémités, il ya le problème de décar.

buration de l'acier parce que le foyer se trouve en contact direct avec l'air ambiant qui n'est pas chimiquement neutre. donc au niveau des extrémités l'acier perd ses caractéristiques.

mais le problème le plus important est rencontré avec le four à Diesel oil, en effet comme on l'a déjà souligné celui-ci ne dispose pas d'appareils de mesure de la température (pyromètres), ce qui fait qu'à la sortie du four, on ne peut pas savoir si la lame se trouve à la température de trempé. Cependant les ouvriers essaient d'approximer en se basant sur la couleur de la lame à sa sortie du four.

par exemple: le bleu correspond à une température de l'ordre de  $315^{\circ}$  environ.

mais cette méthode présente des erreurs de l'ordre de  $50^{\circ}$  environ, or pour les traitements thermiques la température doit être obtenue rigoureusement.

Il suffit d'une variation de quelques degrés pour que les résultats soient complètement faussés. or étant donné que la température de la lame n'est pas connue à sa sortie, donc ce four ne remplit les bonnes conditions.

on peut <sup>dire</sup> aussi que la durée de la chauffe n'est pas contrôlée rigoureusement et comme que les portes du four ne ferment pas, alors les lames sont en contact avec l'atmosphère, ce qui entraîne leur décarburation qui est parfois profonde et la perte des caractéristiques de l'acier en conséquence.

en ce qui concerne le cintrage et la trempé, on peut dire que la première opération dure parfois des minutes, pendant ce temps la température de la lame qui se trouve en contact avec l'air va chuter considérablement à cela on ajoute la chute enregistrée lors de la manipulation de la



lame entre la sortie du four et l'appareil de cintrage. ce qui fait qu'au moment de la trempe, la température se trouve très en dessous de celle requise.

D'autre part au niveau du bac de trempe lui-même, il n'y a pas de circulation d'eau et comme que plusieurs lames sont trempées à la fois, <sup>alors</sup> au fur et à mesure la température augmente de sorte que les dernières lames vont atteindre l'eau alors qu'elle n'est plus dans les normes requises.

Tandis que pour le revenu, c'est le même problème de contrôle de la température et de décarburation qui se pose, comme dans le cas de la trempe.

à cela s'ajoute le fait que les essais sont très mal effectués, ils sont parfois même inexistantes, donc ils ne donnent aucune indication sur les défauts de la construction.

C'est pourquoi au niveau de l'école polytechnique de thies, on a effectuée des essais sur une lame de ressort carré, concernant la limite élastique et la résistance à la rupture, on a obtenu les résultats suivants pour le 50S7

$$R_e = 1020 \text{ MPa} \quad R_r = 1152 \text{ MPa}$$

si on les compare à ceux qui devraient être obtenus :

$$R_e = 1350 \text{ MPa} \quad R_r = 1500 \text{ MPa (valeur minimale)}$$

on se rend compte de façon pertinente et d'après la différence, que le traitement thermique est très mal fait, les normes ne sont pas respectées. (Il faut noter que des essais similaires ont été effectués sur d'autres lames)

## chapitre 7 :

travaux urgents nécessaires dans les conditions actuelles.

### 7.1 vérification des aciers utilisés : le 4557 et le 5057.

Il s'agit de vérifier si les aciers 4557 et 5057 utilisés par la RCFS satisfont aux conditions de travail des ressorts. pour cela nous allons procéder de la façon suivante : déterminer le niveau des sollicitations extérieures des lames, voir si les caractéristiques de l'acier utilisé telles que la résistance à la rupture ( $R_r$ ) et la limite élastique ( $R_e$ ) peuvent le satisfaire. nous allons faire nos calculs, en nous basant sur quelques types de ressorts à lames bien déterminés.

Comme exemple de calcul, considérons le ressort pour bogie Y101, suspension primaire.

### Ressort pour bogie Y101, suspension primaire

pour le bogie Y101, nous avons les données suivantes

- Tare de la caisse = 14 Tonnes
- charge normale = 9 Tonnes

considérons un pourcentage de surcharge de 15%, on aura

$$\text{surcharge} = \frac{15 \times 9}{100} = 1,35 \text{ Tonne}$$

alors la masse totale sera  $M = 14 + 9 + 1,35 = 24,35 \text{ Tonnes}$   
par wagon

le poids total sera

$$Mg = 24,35 \times 10^3 \times 9,81 \text{ Kg} \times \text{m/s}^2$$
$$= 238874 \text{ newtons}$$

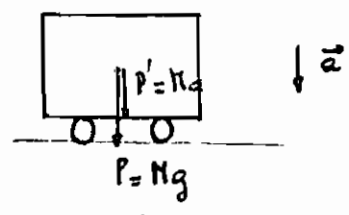
lors du fonctionnement en dynamique, les enregistrements sur voie, avec un accélérographe bidirectionnel, ont donné une valeur maximale

de l'accélération verticale de  $a = 0,22g$  avec  $g =$  accélération de la pesanteur.

cei donne une force verticale  $P' = Ma = 24,35 \times 10^3 \text{ Kg} \times 0,22g$   
 $\Rightarrow P' = 24,35 \times 0,22 \times 9,81 \text{ Kg m/s}^2 = 52.552 \text{ N}$

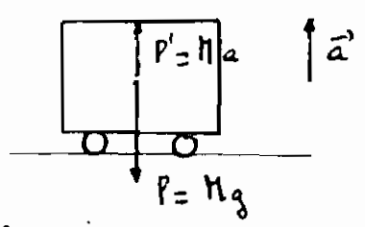
- lorsque  $P'$  est vers le bas, la force sur les ressorts est maximale

ona  $F_{max} = P + P'$   
 $= 238876 + 52552$   
 $= 291426 \text{ newtons}$

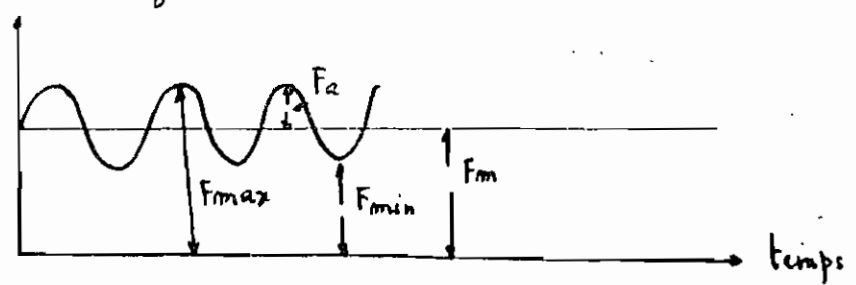


- lorsque  $P'$  est vers le haut, la force sur les ressorts est minimale

ona  $F_{min} = P - P' = 238876 - 52552 = 186322 \text{ newtons}$



on peut vérifier que les ressorts sont soumis au phénomène de Fatigue.



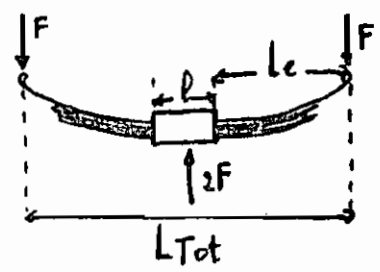
et si on considère le ressort on a:

$2F_m = P$   
 $2F_m = 238876 \text{ N par wagon}$

superposé à une force altérée

$2Fa = P' = 52552 \text{ N par wagon}$

$\Rightarrow F_m = \frac{238876}{2} = 119437 \text{ N par wagon}$



effort de traction

$$F_a = \frac{52552}{2} = 26276 \text{ N} \quad \text{par wagon}$$

on a 4 ressorts par bogie et 2 bogies par wagon, donc on a 8 ressorts par wagon.

⇒ par ressort on aura alors

$$F'_m = \frac{119437}{8} = 14930 \text{ N}$$

$$F'_a = \frac{26276}{8} = 3285 \text{ N}$$

Calcul des contraintes

$$\sigma = \frac{6 F' L_e}{n W t^2}$$

$$L_e = \frac{1}{2} L_{\text{Tot}} - \frac{1}{3} l$$

les données sont :  $L_{\text{Tot}} = 544 \text{ mm}$   $l = 80 \text{ mm}$

$$\Rightarrow L_e = \frac{1}{2} 544 - \frac{1}{3} 80 = 245,33 \text{ mm}$$

on a aussi

$n =$  nombre de lames = 8

$W =$  largeur de la lame = 80 mm

$t =$  épaisseur de la lame = 8 mm

$$\Rightarrow \sigma_m = \frac{6 \times L_e \times F'_m}{n W t^2} = \frac{6 \times 245,33 \times 10^{-3} \times 14930 \text{ N} \times \text{m}}{8 \times (80 \times 10^{-3}) \text{ m} \times (8 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_m = 536,55 \approx 537 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = \frac{6 \times L_e \times F'_a}{n W t^2} = \frac{6 \times 245,33 \times 10^{-3} \times 3285 \text{ N}}{8 \times (80 \times 10^{-3}) \text{ m} \times (8 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_a = 118 \text{ MPa}$$

Considérons l'acier 4557 :

Il a les caractéristiques suivantes :

-  $\sigma_{\text{min}}$  = 1270 MPa (après traitement thermique, trempé à l'eau (880°C) et revenu à 500°C)

-  $R_e$  = limite élastique = 1080 MPa

on a.  $S_e = (k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f) \times S_e'$  (voir organes de Machine)  
 E.P.T  
 page 42

or  $S_{ul} = 1270 \text{ MPa} \leq 1400 \text{ MPa} \Rightarrow S_e' = 0,5 \times 1270 = 635 \text{ MPa}$

pour l'éprouvette (voir Organes de Machines, E.P.T, page 41)

= on a :

-  $k_a$  = facteur de fini de surface

la figure 5.7 page 45 dans (O.M, E.P.T) pour acier eurom  
 donne  $k_a = 0,65$  (O.M = organes de Machine)

-  $k_b$  = facteur de grosseur de pièces

le critère de Shigley, à la page 47 dans (O.M, E.P.T) donne pour  
 $7,6 \text{ mm} < d = 8 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$

$k_b = 0,95$  puisque  $d = 8 \text{ mm}$  et proche de  $7,6 \text{ mm}$

-  $k_c$  = facteur de fiabilité

pour une fiabilité de  $0,999 = 99,9\%$  on a  $k_c = 0,753$   
 (voir Tableau 5.1, page 49, dans O.M, E.P.T)

-  $k_d$  = facteur de température

pendant le travail des lames  $T < 71^\circ\text{C} \Rightarrow k_d = 1$

(voir O.M, E.P.T, page 50)

-  $k_e$  = facteur de concentration de contraintes

$k_e = \frac{1}{K_f}$  avec  $K_f = q(K_t - 1) + 1$  (Page 52, O.M, E.P.T)

avec

$q$  = indice de sensibilité

$K_t$  = facteur théorique de concentration de contraintes

$K_f$  = facteur de concentration en fatigue

or il n'y a pas d'entaille, pas de concentrations de contraintes

$\Rightarrow q = 0 \Rightarrow K_f = 1 \Rightarrow k_e = 1$

-  $k_f$  = facteur divers en tenant compte de l'effet du traitement thermique, on prend  $k_f = 0,85$

$$\Rightarrow S_e = (0,65 \times 0,95 \times 0,753 \times 1 \times 1 \times 0,85) \times S_c'$$

$$S_e = 251 \text{ MPa}$$

si on prend le critère de Goodman Modifié (Pages 59, 61 dans O.N de E.P.T) on peut alors calculer le facteur de sécurité.

on a

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u} \Rightarrow \frac{1}{n} = \frac{118}{251} + \frac{537}{1270} \Rightarrow n = 1,12$$

Cette valeur de  $n = 1,12$  correspond à une valeur minimale de  $S_{ut}$  on il se trouve que  $1270 \leq S_{ut} \leq 1520 \text{ MPa}$

si on prend  $S_{ut} = 1400 \text{ MPa}$

$$\Rightarrow S_e = 0,5 S_{ut} = 700 \text{ MPa}$$

$$k_a = 0,64 \quad k_b = 0,95 \quad k_c = 0,753 \quad k_e = 1 \quad k_f = 0,85$$

$$\Rightarrow S_e = (0,64 \times 0,95 \times 0,753 \times 1 \times 1 \times 0,85) 700 = 272,4 \text{ MPa}$$

alors

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u} = \frac{118}{272,4} + \frac{537}{1400} \Rightarrow n = 1,23$$

si on prend  $S_{ut} = 1520 \text{ MPa} \Rightarrow S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \Rightarrow S_e = 700$

donc  $S_e = (k_a \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_f) \times 700$

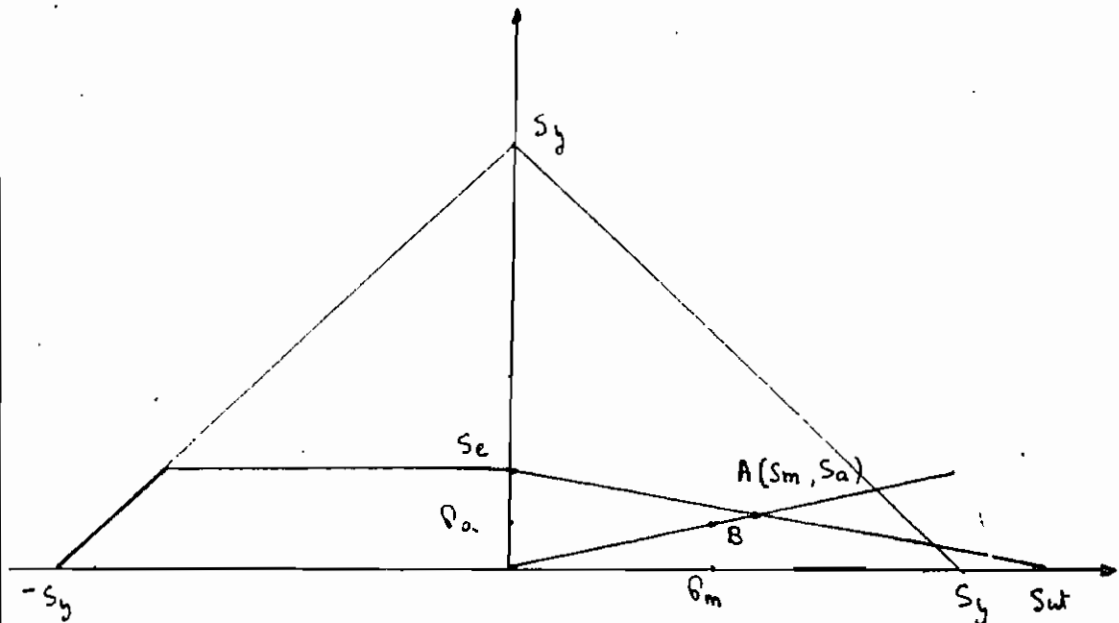
$$= (0,65 \times 0,95 \times 0,753 \times 1 \times 1 \times 0,85) \times 700 = 277 \text{ MPa}$$

$$\text{et } \frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u} = \frac{118}{277} + \frac{537}{1520} \Rightarrow n = 1,283$$

ce qui veut dire que le facteur de sécurité  $n$ , peut varier de

$$n = 1,12 \quad \text{à} \quad n = 1,283$$

on peut tracer le diagramme de Goodman Modifié avec  $S_{ut} = 1400 \text{ MPa}$



on calcule graphiquement que

$$S_m = 625 \text{ MPa}$$

$$S_a = 140 \text{ MPa}$$

le point de sollicitation B se trouve à l'intérieur, ce qui veut dire que l'on est sûritaire. (pourcentage de surchage 15%)

Il faut noter qu'on a effectué des calculs pareils pour beaucoup de ressorts, mais à chaque fois, on se rend compte que l'acier 4557 utilisé est sûritaire.

on a donné l'exemple ci-dessus pour illustrer la méthode de vérification utilisée.

en conclusion on peut donc dire que, puisque l'acier 4557 est sûritaire, alors le 5057 l'est aussi.

## 7.2 Normes de traitement thermique respectées

### a) formage des œillets:

L'atelier de la RCFS (regie des chemins de fer du Senegal) doit se doter le plus vite possible d'un four pour le chauffage des extrémités de la lame, dans le but du formage des œillets; ceci permet d'éviter la décarburisation du métal, qui survient avec l'utilisation du foyer en contact direct avec l'atmosphère. (en annexe B on a donné une liste de fours).

### b) chauffage des lames pour la trempe.

le but, est d'amener l'acier à la structure austénitique et de la geler par la trempe. cette structure possède les caractéristiques requises. il faut noter que l'austénite est une solution solide de carbone dans le fer ( $\gamma$ ) qui a une structure cubique à faces centrées.

C'est pourquoi on doit rendre fonctionnel le four Meker Type 194 (voir en annexe sa description et son utilisation) le plus vite possible. en effet, en plus d'un équipement adéquat qui permet à l'opérateur d'imposer une température bien déterminée à l'intérieur, pendant une durée qu'on aura choisie, ce four dispose d'appareils très précis de mesure de la température (pyromètre). donc on pourra porter un métal à une température précise, pendant une période déterminée.

C'est pourquoi nous disons que le vieux four à Diesel oil, qui est actuellement utilisé n'est pas adéquat, parceque, aussitôt après son allumage, la température intérieure se met à monter progressivement, de sorte qu'on aura des problèmes pour imposer à un métal une température précise, pendant une durée déterminée; elle se met plutôt à augmenter jusqu'à dépasser les limites permises pour



le traitement thermique en cours. c'est la raison pour laquelle le four Meker Type 194, doit être fonctionnel dans un délai très court. avec son utilisation les normes de traitement thermique seront :

- pour la température de trempe.

Au moment de la trempe on doit avoir  $T = A_{c3} + 50^\circ$  en moyenne. or avec le diagramme de phase Fer-carbone donné en annexe C on détermine pour nos aciers, le 45S7 qui a 45% de carbone que  $A_{c3} = 780^\circ$  et que pour le 50S7 (50% de C)  $A_{c3} = 770^\circ$

$$\Rightarrow T = A_{c3} + 50^\circ = 830^\circ \quad \Rightarrow T = A_{c3} + 50 = 820^\circ$$

on doit aussi prévoir la chute de température, entre la sortie du Four, la mise en place sur la machine à cintrer et tremper, et la trempe, opérations qui peuvent durer jusqu'à 15 s, or la vitesse de refroidissement à l'air libre est de l'ordre de  $10^\circ$  par seconde. donc on atteint une chute de  $150^\circ$  en moyenne.

c'est pourquoi à l'intérieur du four, l'acier est porté à  $1000^\circ\text{C}$  de sorte qu'au moment où la lame touche l'eau elle est de l'ordre de  $890^\circ$  à  $850^\circ$ , intervalle valable pour les deux aciers

donc  $T = 1000^\circ$  à l'intérieur du four pour les deux aciers.

$T = 890^\circ$  à  $850^\circ$  au moment de la trempe, cette température correspond bien à la zone de trempe indiquée sur le diagramme de phase Fer-carbone. en effet dans cette zone on a de l'austénite.

- pour la durée du chauffage de la lame

on doit obtenir une température uniforme dans toute la pièce, c'est pourquoi on impose une durée de chauffage. elle est fonction de l'épaisseur de la pièce à porter à la température choisie.

en pratique on a calculé et vérifié expérimentalement qu'il faut

1/2 heure par 2,54 cm d'épaisseur.

Il faut cependant noter, qu'en général on chauffe par paquets de lames, donc on peut dire du fait de la superposition de celles-ci, qu'on a une pièce dont l'épaisseur est égale à la somme des épaisseurs de chacune des lames.

Dans ce cas la durée du chauffage sera celle du paquet le plus épais et on aura

$$\text{durée} = \frac{\text{épaisseur en cm} \times 30 \text{ min}}{2.54 \text{ cm}}$$

donc avant le chauffage, l'opérateur doit effectuer la règle de 3 précédente, pour déterminer la durée.

puis, il devra placer les pièces à chauffer devant la porte du four ou, au dessus de celui-ci, pour ainsi augmenter leur température et éviter de mettre directement les pièces à la température ambiante dans un four porté à très haute température, ce qui peut créer des fissures, et tapures internes.

### c) mise en forme et trempe de la lame.

Ces deux opérations doivent être effectuées en même temps. si on procède d'abord à la mise en forme, la température va chuter considérablement pendant cette période (10° par seconde), de sorte qu'au moment où la lame va toucher le bain de trempe, elle n'est plus dans les conditions requises. Comme solution à ce problème, l'atelier de la RCFS doit se doter le plus vite possible d'une machine à cintrer et à tremper (on a donné en annexe D, un exemple de cette machine) qui peut effectuer les deux opérations simultanément.

La méthode séparée, utilisée actuellement dans l'atelier, faussera toujours les résultats visés après le traitement des lames.

d) le bain de trempe

on veut avoir de la martensite aux temperatures de l'ordre de 50°C à 60°C, donc le refroidissement doit se faire rapidement jusqu'aux environs de 300°C à 400°C, pour notre acier on a 325°C, c'est le début de formation de la martensite. la vitesse de refroidissement doit être élevée pendant cette période, pour éviter la décomposition de l'austénite en Ferrite et cémentite (Fe<sub>3</sub>C). puis on peut refroidir moins rapidement jusqu'aux environs de 50°C à 60°C, cette baisse de vitesse de refroidissement nous permet d'éviter le danger des trappes.

Donc comme milieu de trempe, on va utiliser de l'eau à 30° ± 3° au début il faudra utiliser un thermomètre pour déterminer expérimentalement le temps nécessaire pour atteindre 325°C, puis le temps nécessaire pour se retrouver dans l'intervalle 50°-60°. Ainsi pendant la trempe, on va ouvrir pendant la première période le robinet et la bouche d'évacuation du bac, complètement, dans le but d'obtenir un refroidissement rapide du fait de la bonne circulation de l'eau. puis lorsque la température de 325°C est atteinte, diminuer le débit du robinet et celui de l'évacuation pour obtenir un refroidissement moins rapide. on peut dire que la détermination expérimentale de ces intervalles de temps nous permet de connaître la durée totale de la trempe.

en général dans la technologie pour les lames de faible épaisseur la durée de trempe est de l'ordre de 30 à 45 secondes, ce qui donne de très bons résultats. or comme que nos lames sont de faibles épaisseurs aussi (13mm max), nous pouvons adopter ces valeurs, on doit aussi souligner la nécessité d'une bonne circulation de l'eau. effectivement, il faut éviter de remplir le bac, de fermer le robinet,

62

et la bouche d'évacuation, ce qui rend l'eau stagnante. ainsi au fur et à mesure que les lames seront trempées, la température du bain va augmenter considérablement de sorte que les dernières lames atteindront l'eau qui n'est plus aux conditions requises ( $T=30 \pm 3^\circ$ )

Il faut aussi éviter de tremper plusieurs lames à la fois dans un seul bac de trempe, en effet leurs températures élevées, vont augmenter considérablement celle du bain, il n'y a pas une bonne circulation de l'eau; et les conditions de trempe ne seront plus respectées.

nous préconisons avant de commencer la trempe, d'ouvrir le robinet d'alimentation en eau, et la bouche d'évacuation du bac, de régler les deux débits, de sorte à avoir un niveau d'eau constant dans le bac, égal à peu près aux trois quarts de la profondeur de celui-ci. ainsi la chaleur dégagée par les lames chauffées sera évacuée vers l'extérieur.

### e) le revenu

Il a pour but; améliorer les résultats de la trempe.

#### - température de revenu.

on doit avoir  $450^\circ\text{C} < T < A_{c1}$  (voir diagramme des phases fer-carbone en annexe C).

on sait que plus la température  $T$  s'approche de  $A_{c1}$ , plus les résultats de la trempe disparaissent. donc il s'agit de choisir  $T$  de revenu pour obtenir les bonnes caractéristiques requises: Tenacité, dureté, résilience, A%.

pour le 50S7 et le 45S7 on a choisi  $T = 500^\circ\text{C}$

- temps de chauffage

comme dans le cas de la trempe, il faut 1/2 heure par 2,54 cm d'épaisseur pour obtenir une température uniforme dans toute la pièce.

- milieu de refroidissement

pour le revenu, la vitesse de refroidissement n'est pas importante, donc nous pouvons utiliser l'air ambiant comme milieu.

f) Cas où l'on ne dispose pas d'une machine à cintrer et à tremper

le cas correspond aux conditions actuelles de fabrication, nous proposons la solution de compromis suivante.

- après le formage des oeillets, chauffer les lames individuellement ou par paquets jusqu'à  $T = 350^{\circ}C$ , pour rendre l'acier assez déformable. la durée de chauffe est déterminée comme dans le cas de la trempe et du revenu. on utilisera le four MEKER TYPE 194.

- former la lame sur la cintruse manuelle

- laisser refroidir les lames à l'air libre

- afficher sur le four Meker Type 194, la température de trempe et la durée de chauffe calculée. on a cette fois  $T = 900^{\circ}C$  parce que la lame étant déjà cintrée, on la plongera directement dans le bain. ce qui entraîne une perte de température faible (5 à 6s avec 10%/s)

- mettre les lames individuellement ou par paquets de lames de même forme dans le four.

- attendre que la minuterie du four soit déclenchée pour les sortir et les tremper directement

- afficher sur le four Meker Type 194 la température de revenu  $T = 500^{\circ}C$  et la durée de chauffe calculée, placer les lames à l'intérieur.

- attendre que la minuterie soit déclenchée pour les sortir et les laisser refroidir à l'air libre.

ainsi on pourra passer aux autres étapes de fabrication déjà décrites : assemblage, bridage à chaud, essais.

avec cette méthode proposée, nous pouvons éviter la chute de température considérable qu'occasionne le cintrage manuel, et qui faisait que la température de la lame au moment de toucher l'eau était trop basse et que par conséquent, elle n'avait pas une structure austénitique. maintenant la lame est cintrée à une température largement inférieure aux points de transformation, puis refroidie à l'air libre, ce qui lui redonne la constitution cristalline de départ, avant d'être remise dans le four pour l'opération de trempe et plongée dans le bac à eau dans les conditions requises. nous remarquons donc, l'élimination de la succession, cintrage puis trempe qui est néfaste.

### g) fiches techniques d'instructions :

Ces fiches donnent dans l'ordre chronologique, les différentes étapes que doit suivre un opérateur qui n'a pas de grandes connaissances scientifiques sur les traitements thermiques.

nous proposons deux fiches, l'une dans le cas où l'atelier dispose d'une machine à cintrer et à tremper, appelée fiche n°1 l'autre dans le cas où cette machine n'existe pas, ou n'est pas fonctionnelle, fiche n°2.

Ces deux fiches sont données dans les deux pages suivantes.

### Fiche d'instructions n° 1

effectuer les opérations suivantes dans l'ordre donné ci-dessous :

- ① couper la lame à la longueur déterminée avec la scie mécanique et injecter en même temps de l'huile pour éviter l'échauffement
- ② raboter les bouts coupés
- ③ meuler toute la surface de la lame superficiellement, en évitant les nervures, pour mettre l'acier à nu.
- ④ percer les lames en leur milieu pour les ressorts rivetés, et former les étoquiaux des lames à étoquiaux.
- ⑤ chauffer le bout des lames dans le four destiné au chauffage des extrémités.
- ⑥ pour les ressorts à œillets, rouler les extrémités des lames maint. venues en forme d'œillets, avec la machine à rouler les bouts.
- ⑦ laisser refroidir à l'air libre et commencer pendant ce temps les manœuvres en vue de l'allumage du four Meker Typo 194
- ⑧ afficher sur l'appareil de commande du four la température  $T = 1000^{\circ}\text{C}$  et la durée de chauffage donnée par le tableau suivant, elle est fonction du nombre de lames par paquets.  
pour une lame on a 16 minutes.

| nombre de lames par paquet | durée de chauffage | nombre de lames par paquet | durée de chauffage |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| 2                          | 32 min             | 7                          | 1 h 52 min         |
| 3                          | 48 min             | 8                          | 2 h 08 min         |
| 4                          | 1 h 04 min         | 9                          | 2 h 24 min         |
| 5                          | 1 h 20 min         | 10                         | 2 h 40 min         |
| 6                          | 1 h 36 min         |                            |                    |

tous les paquets doivent avoir même épaisseur.

- ⑨ mettre les lames dans le four Hecker Type 194 .
- ⑩ ouvrir le robinet d'alimentation du bac à eau et la bouche d'évacuation , régler les deux débits pour obtenir un niveau de l'eau constant et égal aux trois quarts de la profondeur du bac , ceci pour obtenir une bonne circulation . à effectuer à 5 min de la fin du chauffage
- ⑪ attendre le déclenchement de la minuterie , puis la coupure automatique du four , pour mettre l'interrupteur sur la position "Arrêt", fermer les robinets sauf ceux de by pass A et B , sortir la lame .
- ⑫ positionner la lame sur la machine à cintrer et à tremper le plus vite possible
- ⑬ appuyer sur le bouton "marche" de la machine .
- ⑭ attendre la fin de la trempé et récupérer la lame libérée automatiquement par la machine , la mise au bain doit durer 30 à 45 s
- ⑮ laisser refroidir la lame à l'air et tremper les autres qui se trouvent encore dans le four .
- ⑯ lorsque toutes les lames sont trempées , rallumer le four pour le revenu , couper l'alimentation d'eau du bac .
- ⑰ afficher sur l'appareil de commande la température  $T = 500^{\circ}\text{C}$  et le temps comme indiqué à l'étape ⑧
- ⑱ attendre le déclenchement de la minuterie et la coupure automatique du four , mettre l'interrupteur sur la position "Arrêt", fermer tous les robinets sauf les robinets de by pass A et B , puis sortir les lames et les laisser refroidir à l'air ambiant
- ⑲ assembler les lames qui doivent constituer un ressort
- ⑳ effectuer le bridage à chaud et appliquer la pression de



sonage avec la pèse, elle est de 75kg/cm<sup>2</sup> en general.

② faire les essais valables

### fiche d'instructions n°2

executer les operations suivantes dans l'ordre donne ci-dessus.

- ① couper la lame a la longueur determinee avec la scie mecanique et injecter en même temps de l'huile pour éviter l'échauffement.
- ② raboter les bouts coupés.
- ③ meuler toute la surface de la lame superficiellement, en évitant les nervures, pour mettre l'acier a'raf.
- ④ percer les lames en leur milieu pour les ressorts rivetés, et former les étoquiaux des lames, pour ressorts a' étoquiaux.
- ⑤ chauffer le bout des lames dans le four destine au chauffage des extrémités.
- ⑥ pour les ressorts a' œillets, rouler les extrémités des lames maîtresses en forme d'œillets, avec la machine a'rouler les bouts.
- ⑦ laisser refroidir a' l'air libre et commencer pendant ce temps les manoeuvres en vue de l'allumage du four Meker Type 194
- ⑧ afficher sur l'appareil de commande du four la temperature  $T = 350^{\circ}C$  et la durée de chauffage donnee par le tableau suivant, elle est fonction du nombre de lames par paquets.  
pour une lame on a 16 minutes.

| nombre de lames<br>par paquet | durée de<br>chauffage |  | nombre de lames<br>par paquet | durée de<br>chauffage |
|-------------------------------|-----------------------|--|-------------------------------|-----------------------|
| 2                             | 32 min                |  | 7                             | 1h 52 min             |
| 3                             | 48 min                |  | 8                             | 2h 08 min             |
| 4                             | 1h 04 min             |  | 9                             | 2h 24 min             |
| 5                             | 1h 20 min             |  | 10                            | 2h 40 min             |
| 6                             | 1h 36 min             |  |                               |                       |

- ⑨ mettre les lames dans le four Hecker Type 194.
- ⑩ attendre le déclenchement de la minuterie et la coupure automatique du four, pour mettre l'interrupteur sur la position "Arrêt", fermer tous les robinets du four sauf ceux de by pass A et B, sortir la lame
- ⑪ positionner successivement chaque lame sur la centreuse manuelle et donner la forme.
- ⑫ enlever la lame et la laisser refroidir à l'air ambiant.
- ⑬ réallumer le four Hecker Type 194, afficher sur les appareils de commande la température  $T = 900^{\circ}\text{C}$  et la durée de chauffage selon les conditions données en ⑧
- ⑭ remettre les lames dans le four.
- ⑮ à 5 minutes de la fin du chauffage, ouvrir le robinet d'alimentation du bac à eau et la bouche d'évacuation, régler les deux débits pour obtenir un niveau d'eau constant, égal aux trois quarts de la profondeur du bac, ceci pour obtenir une bonne incrustation.
- ⑯ attendre le déclenchement de la minuterie et la coupure automatique du four, pour mettre l'interrupteur sur la position "Arrêt" fermer tous les robinets du four sauf ceux de by pass A et B
- ⑰ sortir les lames une par une, et les plonger le plus vite possible dans le bac à eau, on doit avoir au maximum trois lames ensemble dans le bac, ceci pour éviter l'échauffement, chaque lame doit être trempée pendant un temps compris entre 30 et 45 s.
- ⑱ sortir les lames et les laisser refroidir à l'air ambiant
- ⑲ lorsque toutes les lames sont trempées, couper l'alimentation en eau du bac, et commencer les manœuvres de rallumage du four.

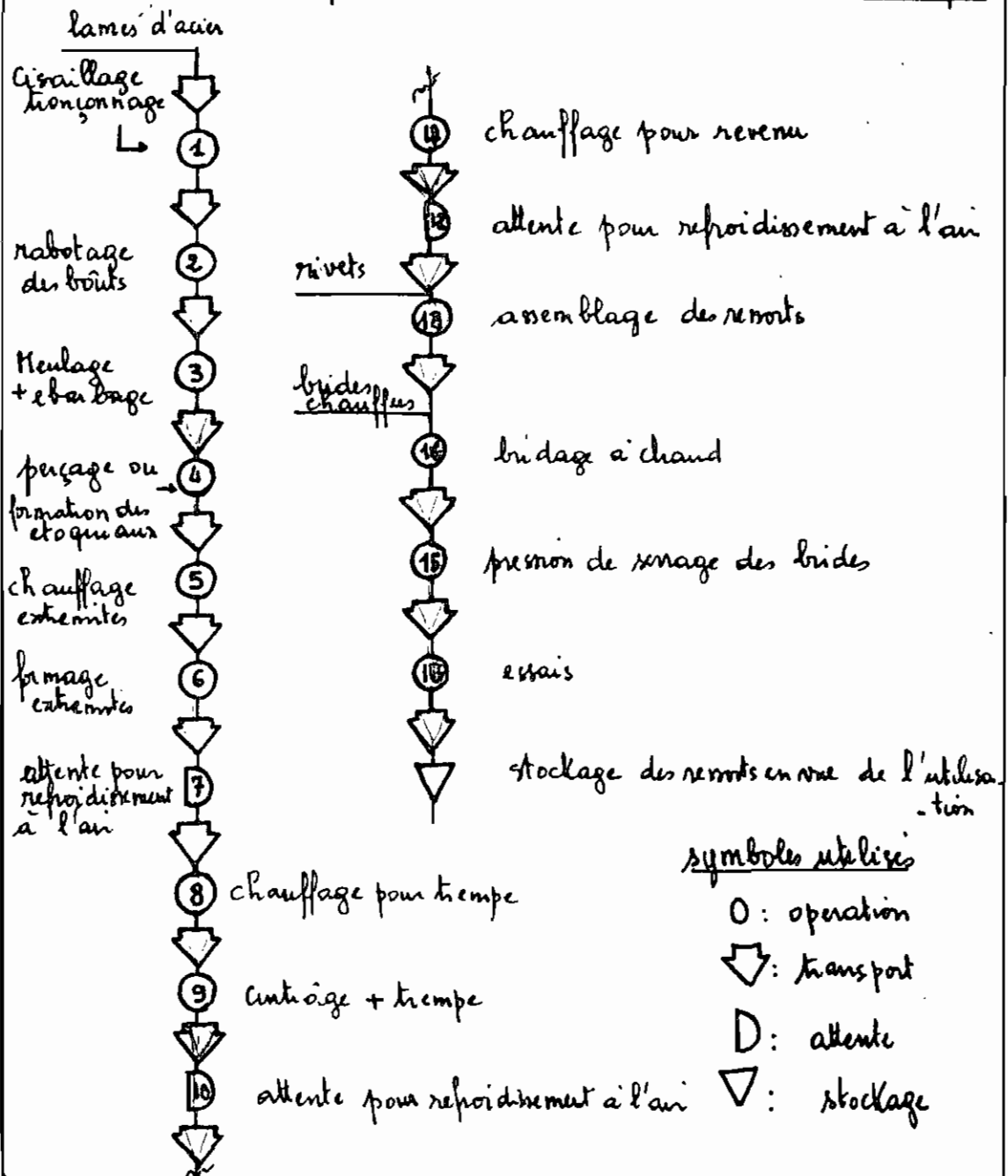
- 40
- ②0 afficher la température de revenu  $T = 500^{\circ}\text{C}$  et la durée de chauffage, selon les conditions données à l'étape ⑧.
  - ②1 remettre les lames dans le four Meker Type 194
  - ②2 attendre le déclenchement de la minuterie et la coupure automatique du four, pour mettre l'interrupteur sur la position "Arrêt", fermer tous les robinets du four sauf ceux de by pass A et B
  - ②3 sortir les lames et laisser refroidir à l'air ambiant.
  - ②4 assembler les lames qui doivent constituer un ressort
  - ②5 effectuer le bridage à chaud et appliquer la pression de serrage avec la presse, elle est de  $75\text{kg}/\text{cm}^2$
  - ②6 faire les essais valables.

# chapitre 8 Implantation

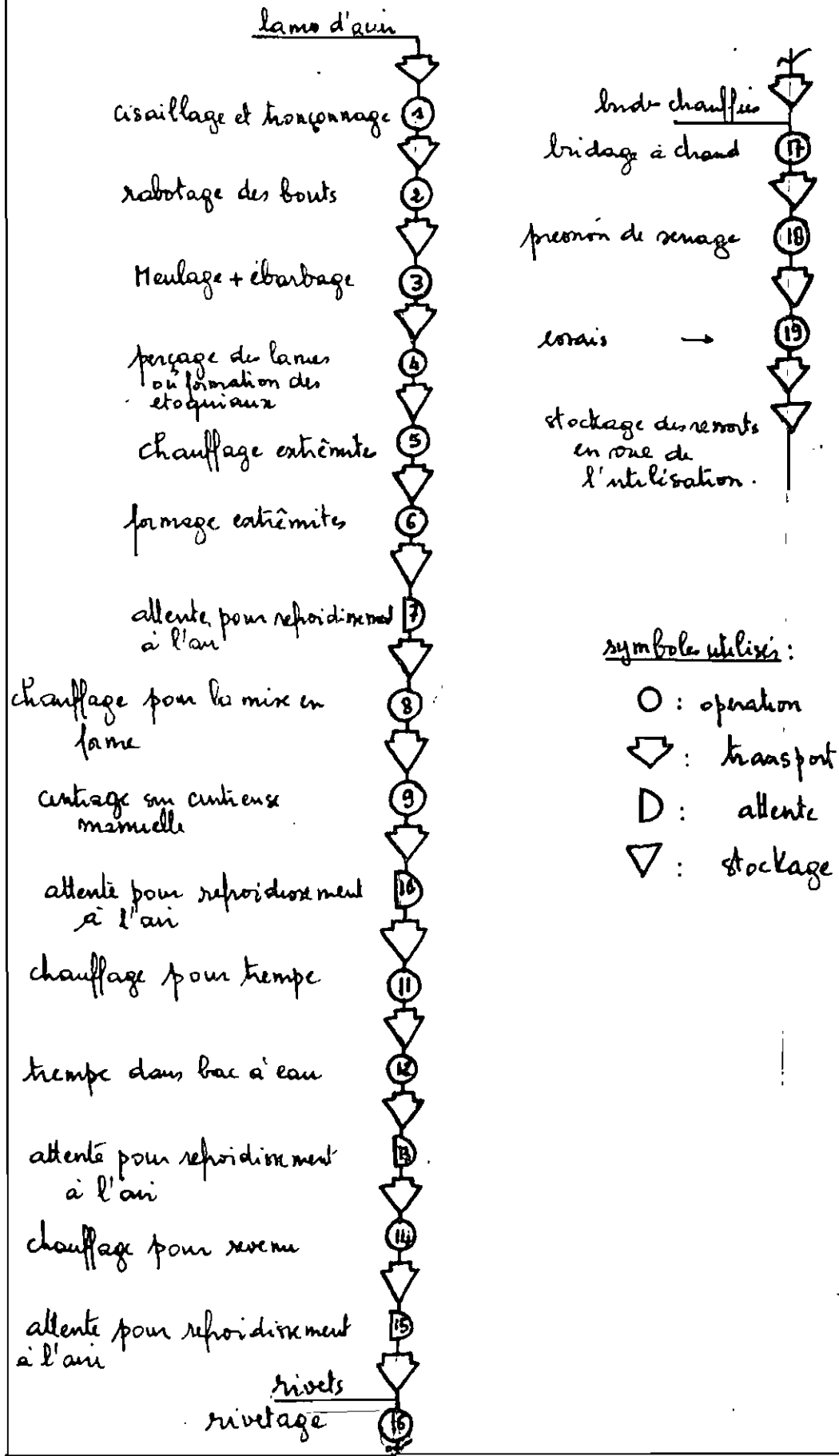
## 8.1 Diagrammes d'acheminement simple

Etant donné que nous avons un seul produit, nous utiliserons un diagramme d'acheminement simple. Comme que nous avons proposé deux méthodes de fabrication différentes pour les ressorts, nous aurons donc deux diagrammes d'acheminement simple.

a) l'atelier dispose d'une machine à cintrer et à tremper



### b) utilisation de la cintruse manuelle



## 8.2 implantation

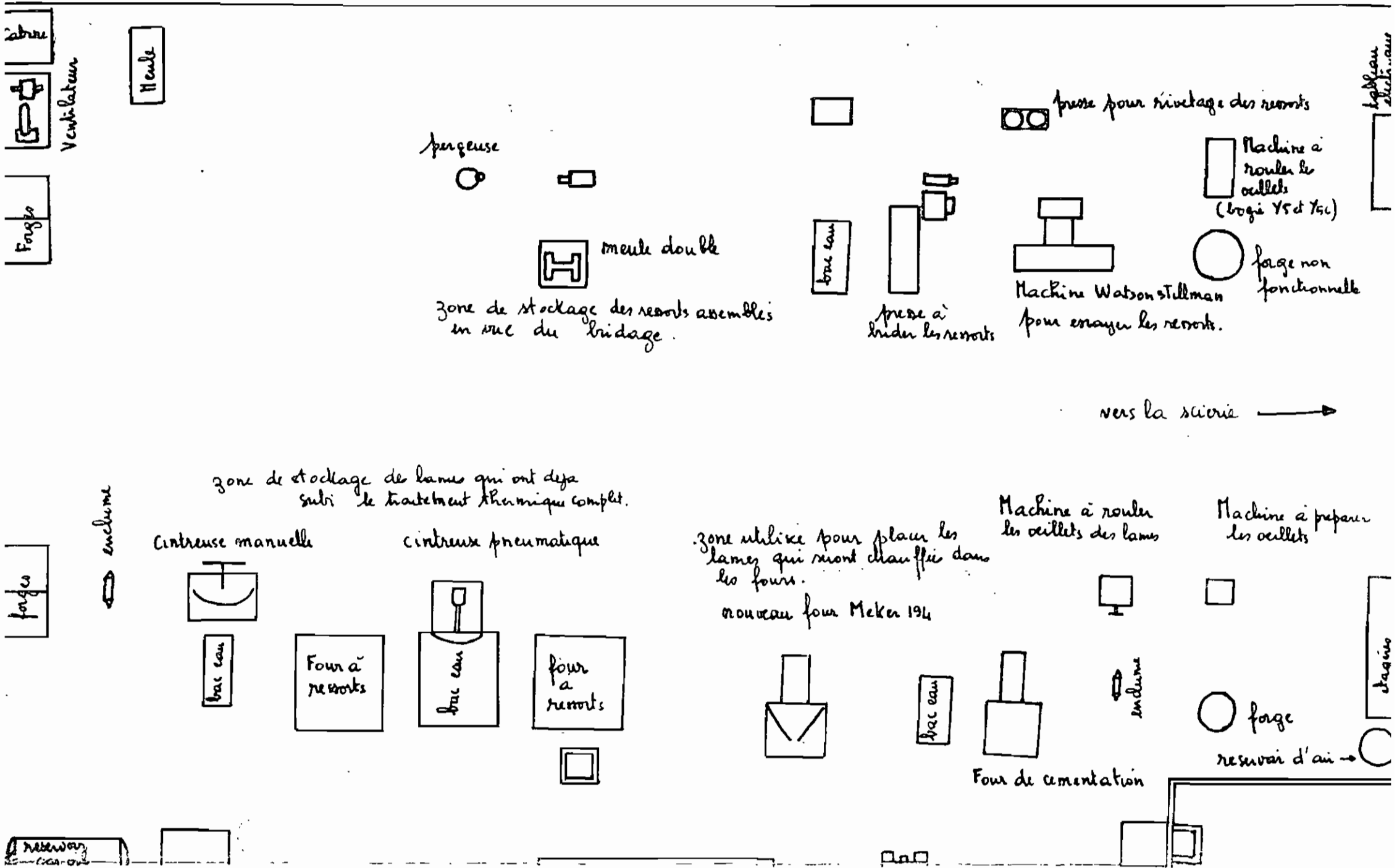
nous sommes passés de l'ancienne implantation, à la nouvelle en déplaçant la cinteuse manuelle, et la machine à aigreur et à tremper et en les amenant à côté du four, ce qui nous permettra de minimiser le temps entre la sortie du four et le contact avec l'eau de trempe, pour les pièces. ainsi on pourra réduire les chutes de températures.

on a représenté dans les pages suivantes l'ancienne implantation et l'implantation proposée.

en ce qui concerne les méthodes de maintenance utilisées actuellement dans l'atelier, elle sont très convenables. Pour les pièces chaudes ce sont des pinces ou tenailles qui sont utilisées, pour les pièces à la température ambiante, on utilise des boîtes pour augmenter la quantité transportée par voyage.

Ancienne implantation

echelle 1/100



Meule

perceuse

meule double

zone de stockage des ressorts assemblés en vue du bridage.

bois eau

presse à brider les ressorts

Machine Watson Stillman pour essayer les ressorts.

Machine à rouler les œillets (logi 75 et 76)

forge non fonctionnelle

vers la scierie →

zone de stockage de lames qui ont déjà subi le traitement thermique complet.

Centreuse manuelle

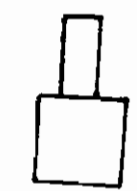
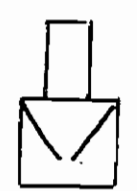
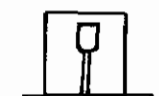
Centreuse pneumatique

zone utilitaire pour plaquer les lames qui sont chauffées dans les fours.

nouveau four Meker 194

Machine à rouler les œillets des lames

Machine à préparer les œillets



bois eau

Four à ressorts

bois eau

four à ressorts

bois eau

Four de cementation

enclume

forge

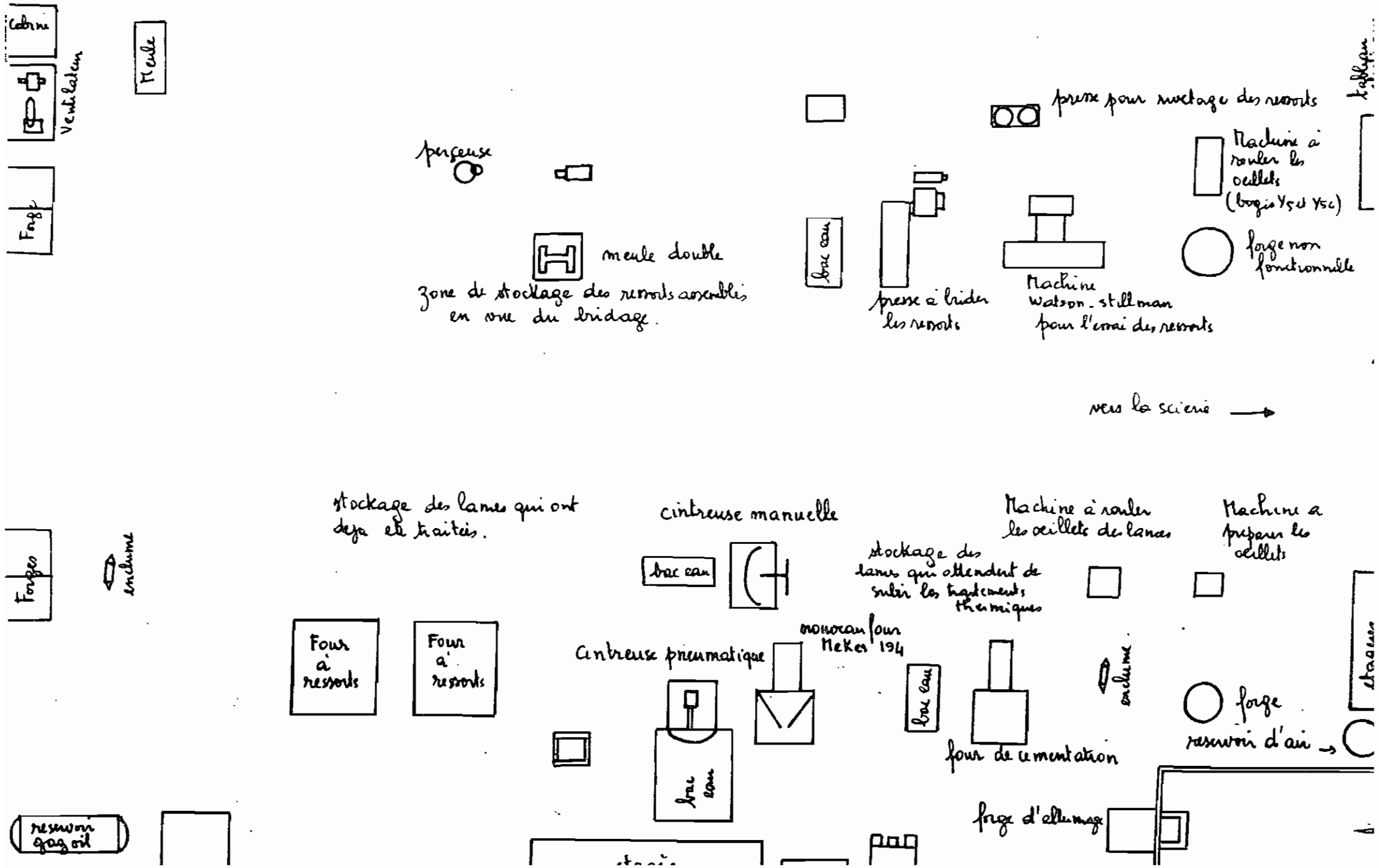
réservoir d'air →

réseau can-ov

tableau électrique

chassis





Conclusion et discussions

nous pensons que si les conseils donnés, sont suivis on devrait obtenir de  
 bons résultats dans la fabrication des ressorts à lames. mais ce qui est  
 urgent en ce moment, c'est doter l'atelier d'équipements modernes  
 capables de satisfaire la demande, notamment une machine à centrer  
 et à tremper fonctionnelle, un appareillage complet pour essayer  
 valablement, les ressorts. il faut rendre aussi opérationnel le nouveau four  
 Meker Type 194, parce que toutes les directives données sont basées sur  
 son utilisation; il est d'une importance capitale pour les traitements  
 thermiques. il faudra veiller aussi à l'élimination systématique du  
 foyer qui sert à chauffer les bouts de lame, pour le formage des  
 œillets et acheter un four pour chauffer les extrémités des lames.  
 en dehors de l'atelier, nous pensons que la RCFS doit sensibiliser  
 son personnel sur la nécessité d'éliminer complètement les surcharges  
 parce que les ressorts sont calculés pour des charges bien déterminées. il  
 faut aussi améliorer l'état de la voie qui est très mauvaise et qui crée  
 par conséquent une grande amplification des charges.

1  
2  
3

1  
2  
3

77

## références bibliographiques

- Mr Y. A. YOUSSEF. notes de cours Organes de Machines  
1981, E.P.T  
U.S DEPARTMENT OF COMMERCE  
heat treatment and properties of iron  
and steel. 1966

- Mr Znamierowski : notes de cours Sciences des matériaux  
1980, E.P.T  
PALISSY, des matériaux, 1980  
édition de l'école polytechnique de  
Montréal.

- Mr Lacoste de la région des chemins de fer.  
ARMAND. G. LIGIER, conception et  
réalisation des ressorts industriels de qualité  
1974, édition EYROLLES. Paris.  
  
C. REYNAL, étude complète et méthode  
rapide de calcul des Ressorts, édition Dunod

## Annexe A

### B. — Mesure précise des températures : les pyromètres

La mesure des températures ne pouvant être directe, se traduit par la mesure d'une grandeur qui varie d'une façon continue avec la température.

**1° Mesure d'une force électromotrice.**

Pyromètre à couple thermo-électrique et lunette de Féry à radiation totale.

**2° Comparaison de l'intensité ou de la couleur des radiations lumineuses.**

Pyromètre optique à disparition de filament.

**3° Mesure d'une longueur représentant la dilatation d'un solide.**

Pyromètre à dilatation.

**4° Observation du début de fusion d'un corps.**

Cônes ou montres fusibles de Séger.

**Couple thermo-électrique.**

Considérons deux fils de métaux différents : fer et constantan (alliage de 60 % Cu et 40 % Ni), dont les extrémités sont torsadées, puis soudées par fusion à l'arc électrique (voir fig. 1).

Si l'une des soudures est portée à une température  $T$ , supérieure à celle de l'autre,  $t$ , on constate le passage dans les conducteurs d'un courant électrique  $i$  produit par une force électromotrice qui augmente avec la différence  $(T - t)$  des températures.

En outre, si l'on intercale un galvanomètre dans le circuit, l'appareil et les fils de liaison restant à la même température  $t$ , la force électromotrice ne change pas (fig. 2).

Le galvanomètre mesure la force électromotrice qui est proportionnelle à la différence  $(T - t)$  des températures de la « soudure chaude » et de l'appareil.

Si  $t$  est supposée constante, les indications du galvanomètre sont proportionnelles à  $T$  et, pour avoir une lecture directe de la température, il suffit de graduer l'appareil en degrés.

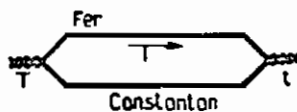


Fig. 1. — Schéma de principe d'un couple thermo-électrique.

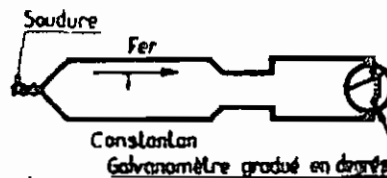


Fig. 2. — Schéma de principe d'un pyromètre à couple thermo-électrique.

## Annexe A (suite)

### b) Canne pyrométrique Le Chatelier.

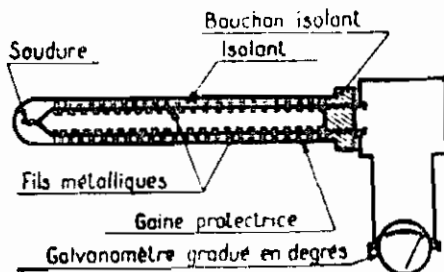


Fig. 3. — Schéma d'une canne pyrométrique.

Dans l'appareil utilisé industriellement, les deux fils de nature différente qui constituent le couple thermo-électrique sont isolés et enfilés dans une gaine protectrice (fig. 3).

Ils sont terminés par deux bornes où viennent se brancher les cordons du galvanomètre.

La gaine montée qui constitue la canne pyrométrique est placée dans le four dont on veut mesurer la température.

Les principaux couples sont :

- Fer-constantan**, pouvant être utilisé jusqu'à 800°. Les fils sont isolés à l'amiante et disposés dans une canne en acier inoxydable.
- Nickel-chrome**, utilisable jusqu'à 1100°, avec gaine en acier inoxydable.
- Chromel (90 % Ni, 10 % Cr) alumel (94 % Ni, 3 % Mn, 2 % Al, 1 % Si)**, utilisable jusqu'à 1200°, avec gaine en acier inoxydable.
- Platine-platine rhodié** (alliage de platine et 10 % de rhodium), utilisable de 700 à 1450°.
- Platine rhodié à 20 % de rhodium et platine rhodié à 40 % de rhodium**, utilisable de 700 à 1800°.

Cet appareil, portatif lorsqu'il est équipé avec des piles, est très précis et peut être utilisé à partir de 800° jusqu'à 2500°. L'ampèremètre comporte deux graduations correspondant au réglage avec ou sans écran.

Il se place à n'importe quelle distance de la pièce chaude.

## Annexe A (suite)

### e) **Pyromètre à dilatation.**

Il utilise les variations de longueur d'un barreau en métal spécial, placé dans une gaine de silice. Celle-ci s'introduit dans le four comme la canne pyrométrique. Le métal, en se dilatant, produit le déplacement d'une aiguille qui enregistre la température par l'intermédiaire d'un petit levier (fig. 7).

Le pyromètre à dilatation, qui peut être employé de 200 à 1 000°, présente le double inconvénient de ne pas permettre la lecture à distance et d'être assez fragile.

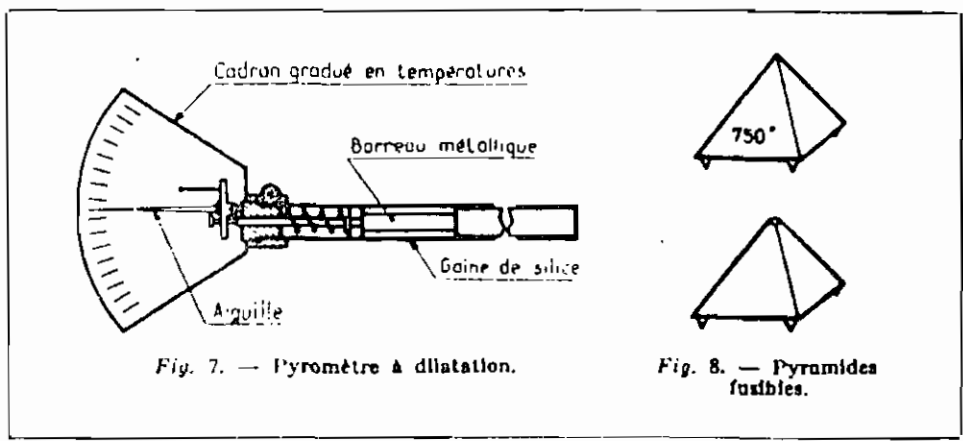


Fig. 7. — Pyromètre à dilatation.

Fig. 8. — Pyramides fusibles.

### f) **Pyramides ou montres fusibles de Séger.**

Elles sont constituées par de petites pyramides triangulaires en porcelaine, en terre ou en sels, fondant à des températures déterminées, espacées de 25 en 25° (fig. 8).

Elles sont composées de mélanges de kaolin, carbonate de chaux et oxyde de fer ou de plomb.

Pour observer la température, on en place quelques-unes dans le four par ordre de fusibilité. A mesure que la température augmente, on voit le sommet de chaque montre s'affaisser et s'arrondir.

Rarement, elles sont employées pour suivre la température dans les fours de traitements thermiques. Mais, le plus souvent, on les utilise en émaillerie ou dans l'industrie céramique.

### g) **Contrôle des pyromètres.**

Les pyromètres sont des appareils délicats qui doivent être fréquemment contrôlés. Pour ce contrôle, on emploie une canne étalon ou un appareil à disparition de filament. On peut également utiliser des bains métalliques dont on connaît le point de fusion ou d'ébullition.

## Annexe B

### CHAUFFAGE DES PIÈCES : LES FOURS

#### A. — Généralités

Le chauffage des pièces pour les traitements thermiques peut se faire au *feu de forge* ou dans des *fours*. La chauffe au feu de forge est à éviter, car aucun contrôle de température n'est possible et l'atmosphère, souvent oxydante, cause une *décarburation* du métal.

Industriellement, la chauffe se fait dans des fours ou, s'il s'agit de chauffe locale, au moyen de chalumeaux à gaz oxyacétylénique ou de fours à courants de haute fréquence.

Il existe deux sortes de fours :

- 1° Les fours où le véhicule de la chaleur est l'air ou les gaz de combustion : *fours à atmosphère*.
- 2° Les fours où le véhicule de la chaleur est un métal ou un sel en fusion : *fours à bain liquide*.

#### B. — Fours à atmosphère

On distingue les fours fixes et les fours basculants qui peuvent être utilisés pour le chauffage de pièces, soit lourdes, soit de grande longueur.

Les fours comprennent une ou plusieurs *chambres en briques réfractaires* (silicate d'alumine), scellées par un coulis réfractaire (mélange d'argile cuite et d'argile crue).

La *sole* du four est le plus souvent exécutée en briques spéciales à base de carbure de silicium.

Le *ciel* de la chambre est constitué par une brique de grande dimension moulée spécialement, ou par un assemblage de briques réfractaires disposées en forme de voûte.

Pour éviter toute déperdition de chaleur, on prévoit un revêtement calorifuge en briques de silice poreuse, ou en laine minérale (verre filé) pour les fours électriques. La forme donnée aux fours dépend surtout de leur mode de chauffage.

### Annexe B (suite)

#### Fours à combustibles solides.

Fours à charbon, à coke. Pour disposer d'une marche continue, il sont souvent pourvus d'un brûleur à charbon.

Sur la figure 9, remarquer la forme de la voûte, prévue pour guider les gaz de combustion et réfléchir les rayons calorifiques sur la sole.

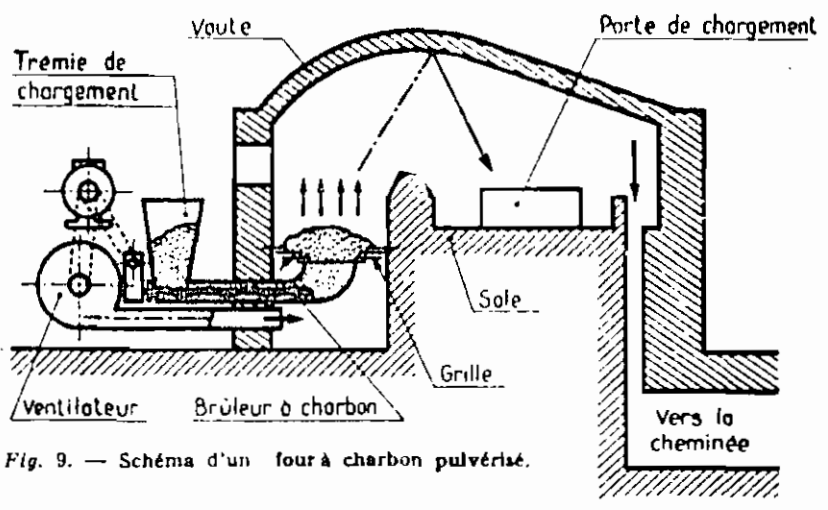


Fig. 9. — Schéma d'un four à charbon pulvérisé.

#### Fours à combustibles liquides ou gazeux.

Les premiers (fig. 10) utilisent le mazout, les seconds (fig. 11) le gaz d'éclairage, de haut fourneau ou de gazogène.

Le mélange du combustible et de l'air parvient dans le four au moyen d'un brûleur à la sortie duquel il est enflammé.

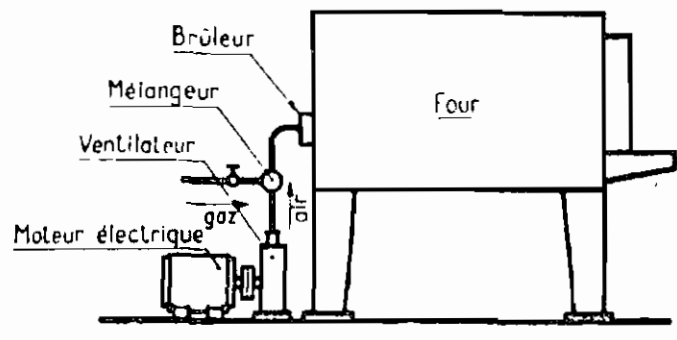


Fig. 10. — Schéma de montage d'un four à gaz.

L'air nécessaire à la combustion doit être surpressé au moyen d'un ventilateur ou d'un compresseur. Les figures 10 et 11 donnent le schéma des canalisations à prévoir pour l'installation d'un four à gaz et d'un four à mazout.

Les fours à combustible solide, liquide ou gazeux peuvent être à chauffage direct lorsque les gaz de la combustion entrent en contact avec les pièces à chauffer.

La figure 12 représente un four à gaz à une chambre de chauffage.



### Annexe B (suite)

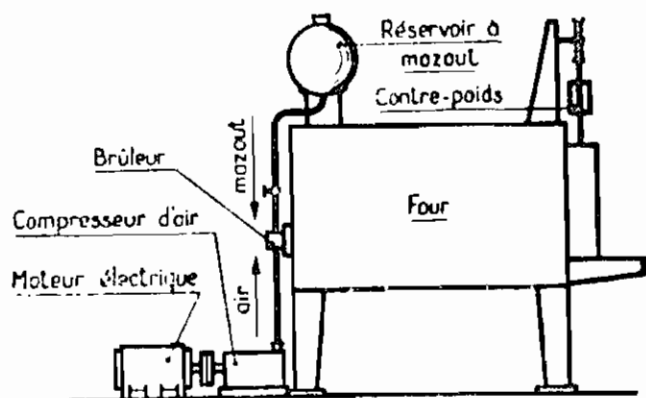


Fig. 11. — Schéma de montage d'un four à mazout.

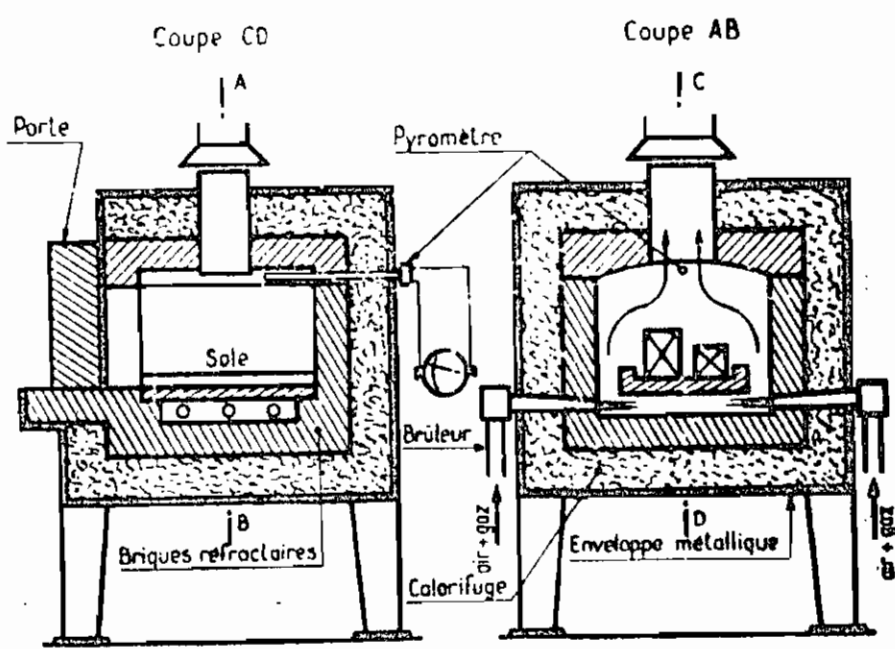


Fig. 12. — Four à gaz à une chambre de chauffage.

## Annexe B (suite)

La figure 13 représente un four à gaz à deux étages pour le traitement de l'acier rapide. Les brûleurs chauffent des débris de briques réfractaires qui rayonnent de la chaleur. La voûte concentre les rayons calorifiques sur la sole.

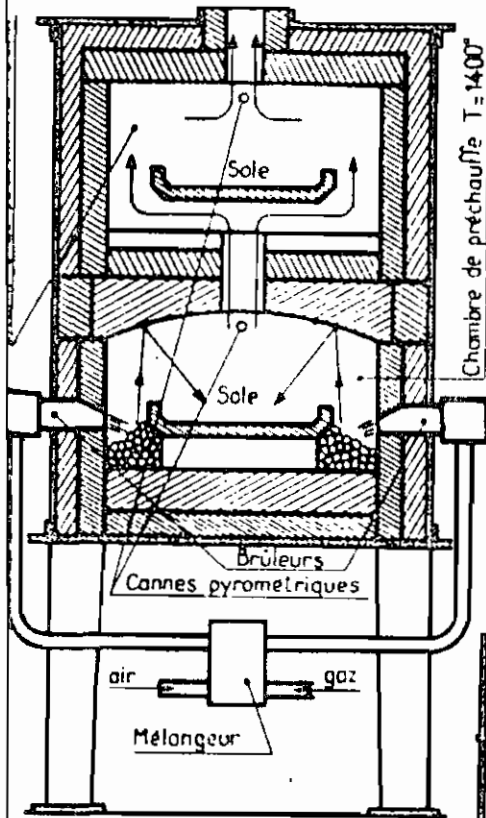


Fig. 13. — Four à gaz à deux chambres de chauffage.

Le contact des gaz de combustion avec les pièces a pour inconvénient de décarburer ou d'oxyder le métal et de l'altérer, si le combustible contient du soufre. D'autre part, le chauffage n'est pas toujours très régulier.

Aussi pratique-t-on souvent le chauffage indirect, en disposant les pièces dans un caisson réfractaire appelé moufle (voir fig. 14).

Fig. 15. — Four électrique aux chambres et à résistances apparentes. →

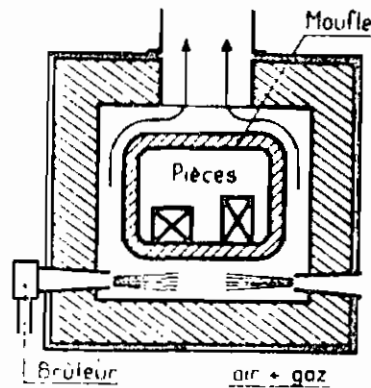
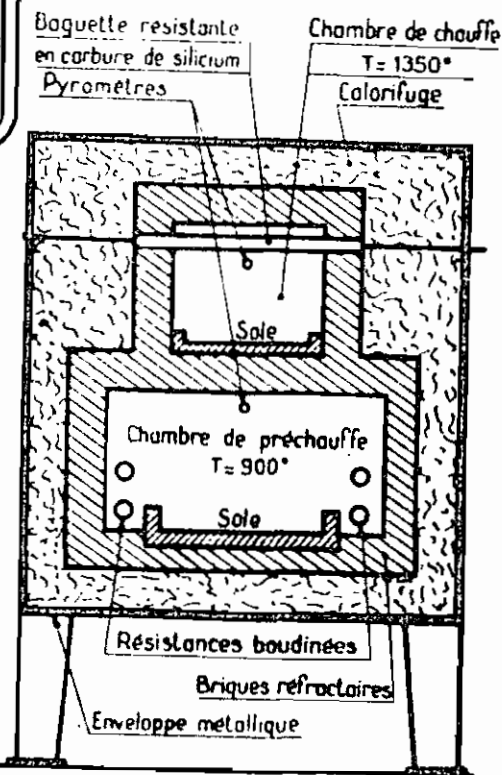


Fig. 14. — Schéma d'un four à moufle.



# Annexe B (suite)

## 3° Fours électriques.

On distingue les fours à résistances et les fours à circulation calorifique forcée. Dans les premiers, les plus utilisés, les résistances peuvent être apparentes (fig. 15) ou noyées (fig. 16).

Les résistances en alliage de nickel-chrome fonctionnent le plus souvent jusqu'à des températures comprises entre 800 et 1 000°.

Pour des températures supérieures, on utilise des baguettes de graphite ou de carbure de silicium.

Le fonctionnement des fours électriques se révèle très sûr pour les températures inférieures à 800° : pour le traitement des alliages d'aluminium, on utilise presque toujours des fours électriques.

Les parois du four peuvent être métalliques pour des températures inférieures à 500° (calorifugeage en laine minérale).

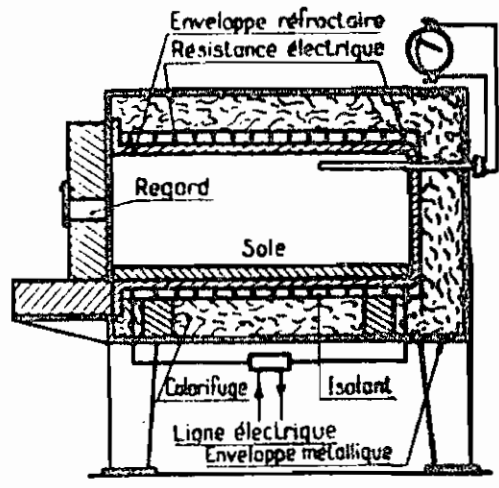


Fig. 16. — Four électrique horizontal à résistances noyées.

Les fours à circulation calorifique forcée ont été créés surtout pour le traitement des alliages d'aluminium, afin d'obtenir en tous les points du four une température aussi constante que possible ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ).

La figure 16 bis représente un type de four vertical pouvant fonctionner jusqu'à 700°.

Un ventilateur communique à l'air du four un mouvement suivant le circuit tracé par des flèches en trait plein. L'air passe, à grande vitesse, sur des résistances chauffantes et sur les pièces. Le circuit d'air est inversé à intervalles réguliers.

Ce genre de four peut être utilisé pour la cémentation gazeuse.

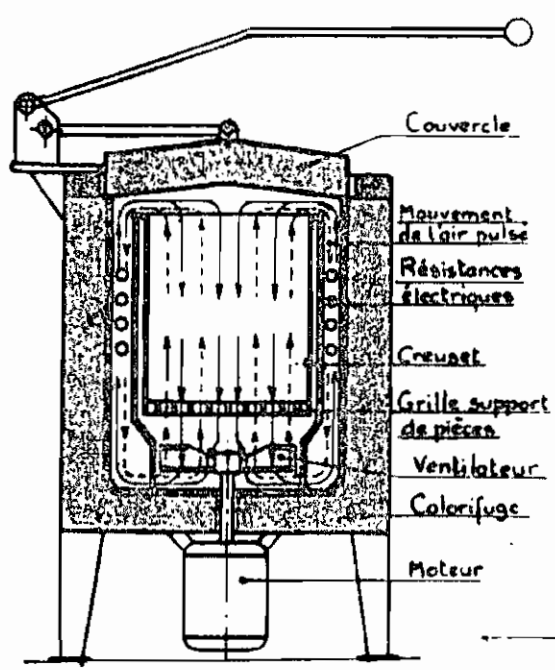


Fig. 16 bis. — Four électrique vertical à circulation forcée.

# Annexe B (suite)

## C. — Fours à bain liquide

Les fours à bain liquide sont constitués par un creuset en fonte, ou en acier inoxydable soudé et embouti, ou en graphite. Le creuset peut être chauffé au coke, au mazout, au gaz, ou à l'électricité. Les bains employés sont, suivant les températures désirées : de l'étain, du zinc, du plomb fondu ou des sels nitrites et nitrates qui ont été amenés à la fusion. Parmi les sels, de compositions très diverses, certains peuvent même être utilisés pour la trempe de l'acier rapide à 1300°.

La figure.17 donne le schéma d'un four à gaz. Remarquer la disposition tangentielle des brûleurs et la forme de la canne pyrométrique.

Les fours électriques sont le plus souvent des fours à électrodes plongeant dans le bain (voir fig. 17 bis).

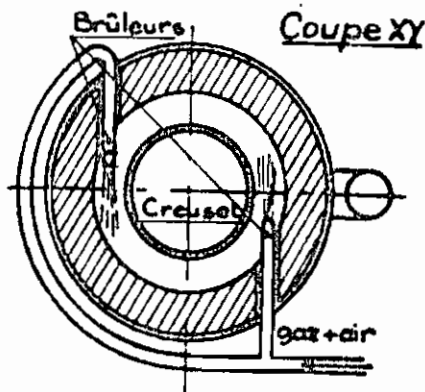
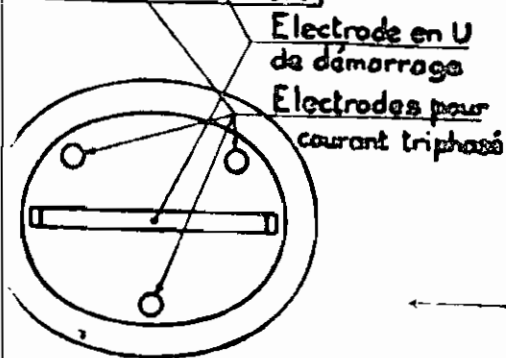
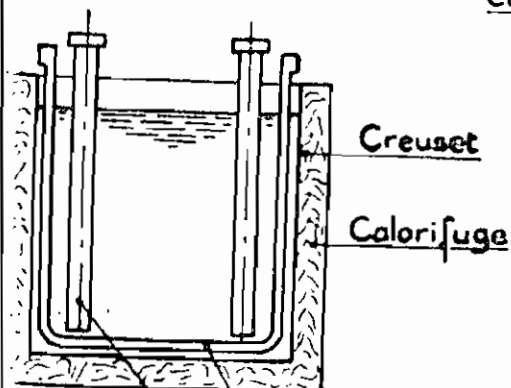
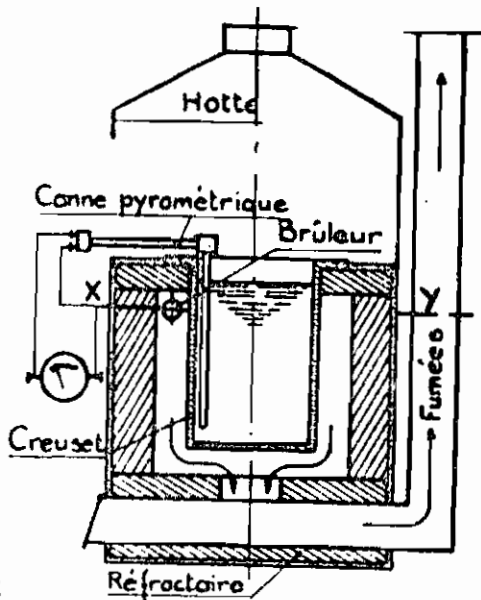


Fig. 17. — Four à bain liquide chauffé au gaz.

Fig. 17 bis. — Four électrique à bain de sel.

## Annexe B (suite)

Au démarrage, le sel solidifié est porté à la fusion par le passage du courant dans une électrode en U. Les électrodes plongeantes sont ensuite mises sous tension et le courant traversant le sel liquide fournit les calories nécessaires pour porter et maintenir le bain à la température de fonctionnement.

La hotte prévue sur ces fours pour l'évacuation des vapeurs nocives n'est pas indispensable pour les fours de cémentation. Pour conserver leur efficacité, les bains de cémentation présentent, en surface, une croûte sur saturée en carbone, dont la présence constante empêche la décomposition du bain. Cette couche ne peut se former qu'au contact de l'air froid.

### **D. — Régulation de la température**

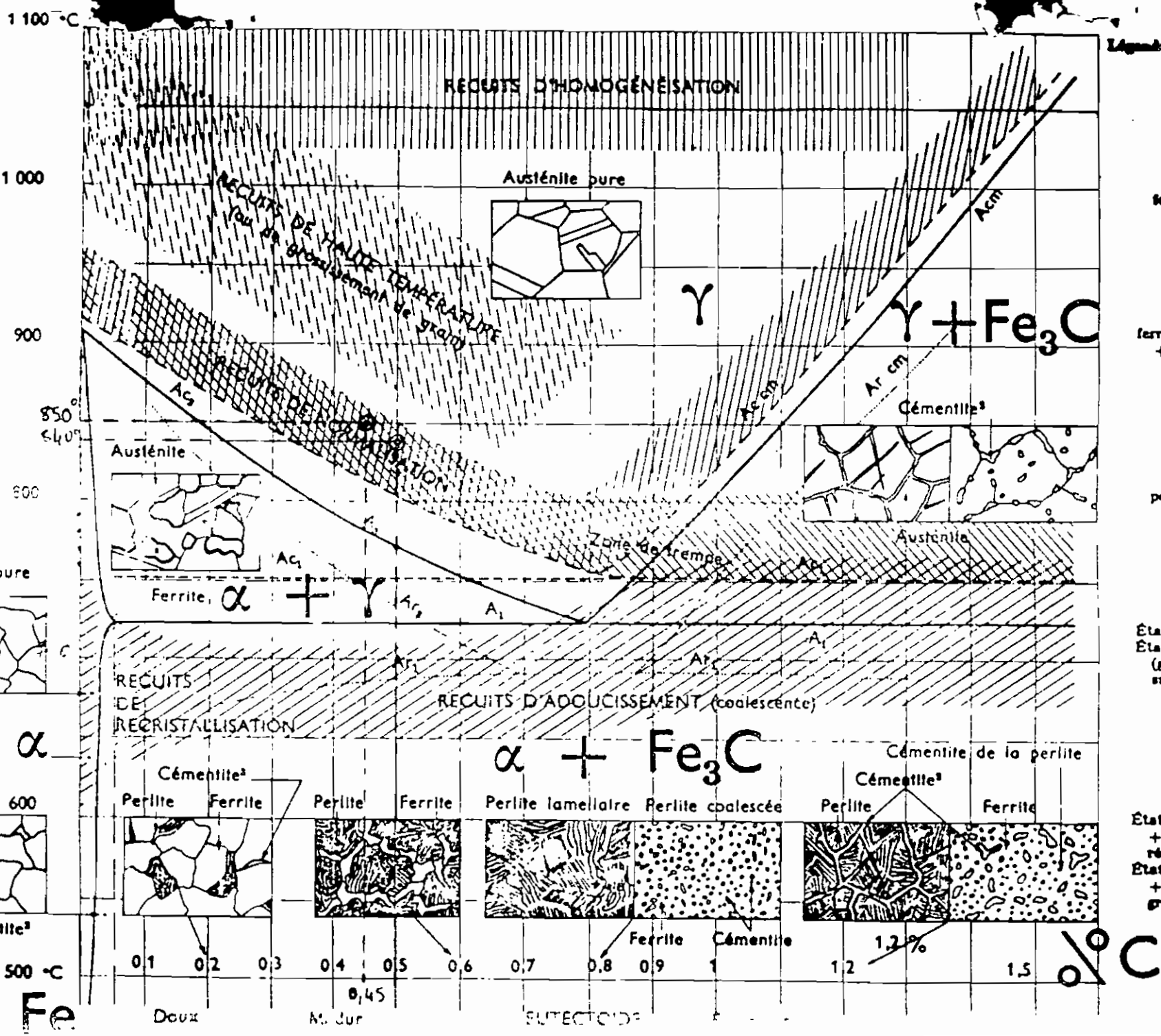
Les fours modernes sont équipés avec des régulateurs dont le rôle est de maintenir la température  $T$  du four entre deux limites,  $T_1$  et  $T_2$ , aussi rapprochées que possible :  $T_1 - T_2 = 5$  à  $10^\circ$  environ.

Le régulateur, qui exerce son action sur le système d'apport de calories, est commandé par le couple thermo-électrique. Il agit :

- pour les fours à combustibles solides, sur le registre d'entrée d'air ;
- pour les fours à combustibles liquides ou gazeux, à la fois sur les vannes d'arrivée de combustible et sur celles d'arrivée d'air ;
- pour les fours électriques, sur l'arrivée de courant : le circuit électrique est coupé lorsque  $T = T_1$ , et rétabli lorsque  $T = T_2$ .

La marche des fours peut être suivie d'un poste central de commande, grâce à un système de lampes de signalisation et à un thermomètre enregistreur.

Annexe



Acier à 0,04 % C :  
ferrite + cémentite tertiaire.

Acier à 0,2 % C :  
ferrite + perlite lamellaire + cémentite tertiaire.

Acier à 0,6 % C :  
perlite lamellaire + ferrite.

Acier à 0,8 % C :  
État recuit : perlite lamellaire.  
État coalescé : perlite globulaire (globules fins de cémentite sur fond ferritique).

Acier à 1,2 % C :  
État recuit : perlite lamellaire + cémentite secondaire en réseau.  
État coalescé : perlite globulaire + cémentite secondaire en gros globules.

La position des lignes  $A_1$ ,  $A_{c1}$ ,  $A_{c2}$  varie avec la teneur en Mn, Si, P, Ni, Cu, ... et avec la « propriété » de l'acier.

500 °C  
Fe

01 02 03  
Doux

04 05 06  
M. Dur

07 08 09 1  
SUCTOIDE

12 1,2% 1,5 % C

Annexe D