

UNIVERSITE D'ALGER



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Mines & Métallurgie

PROJET DE FIN D'ETUDES

Problèmes Métallurgiques dans une unité de visserie

Sujet proposé [REDACTED]

et [REDACTED]

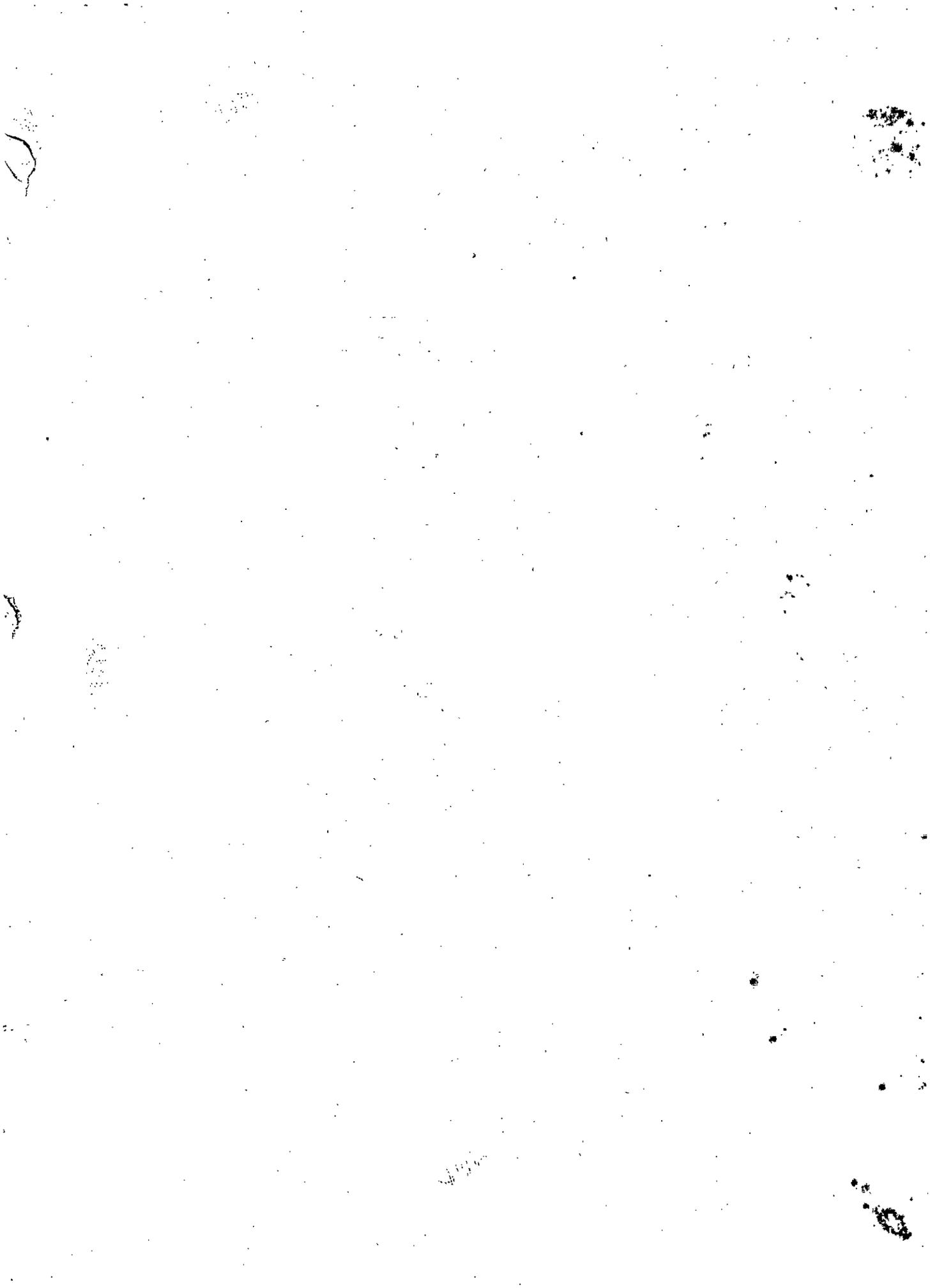
Etudié par :

Idir BENSIKHALED

Dirigé par :

M. LE COMTE

Promotion 75



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE D'ALGER

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Mines & Métallurgie

PROJET DE FIN D'ETUDES

Problèmes Métallurgiques dans une unité de visserie

Sujet proposé [REDACTED]

et

[REDACTED]

Dirigé par :

M. LE COMTE

Etudié par :

Idir BENSIKHALED

Promotion 75

Je dédie ce travail à :

- mes chers parents.

- ainsi qu'à tous mes amis

en particulier, à Talaouanou Nouredine
de Zounina qui m'a tout aidé
dans cette œuvre.



Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

Nos remerciements vont particulièrement à Monsieur GUERRAK (Chef du Département Mines et Métallurgie) pour le matériel qu'il a mis à notre disposition et les conseils qu'il n'a pas manqué de nous prodiguer.

Monsieur ARAB Ahmed, (Directeur du Développement ONRS), pour l'intérêt certain qu'il a porté à notre projet.

Monsieur LECOMTE (Professeur de Métallurgie) qui n'a aucun moment ménagé ses efforts pour nous prodiguer des conseils bénéfiques en vue de l'élaboration de ce modeste ouvrage.

B I B L I O G R A P H I E

- I - Revue SACMA Limbiate
(Presse rapide à double frappe, à matrice fermée,)
modèl SP.1, année 1967
- 2 - Revue Métallurgique "Matériaux et Techniques"
(Janvier - Février n° 1-2 ; 1974)
Rédacteur en chef : Roger Drouhin
- 3 - Revue Métallurgique "Matériaux et Techniques"
(Janvier - Février 1975, N° 12, Année 1975)
- 4 - Cours de Monsieur J. LECOMTE : Professeur de Métallurgie Physique
à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.
- 5 - Techniques de l'Ingénieur.
(Mise en forme des Matériaux : M3, Année 1970
- 6 - Editions " Que sais je " N° 890
(Aciers Spéciaux par Bernard Hedde)
- 7 - USS : United States Steel, Wire fom Industry
" Cold heading and Cold Extrusion " Decembre 1969.
- 8 - Revue KARL Sieber, HAMBOURG
" Principes de l'Etude d'outillages pour la déformation à froid,
notamment sur presses à postes multiples JUIN 1966.
- 9 - Métallurgie Générale : Edition Masson et Cie
5 Bernard, A. Michel, J. Philibert Année 1969
- 10 - Technologie des Métaux, édition Mir-Moscou
P. Poloukhine Année 1967
- 11 - Mannuel de Ingénieur: Hutte
" Bases théoriques et technologique "
28 Edition Nouvelle traduite de l'allemand Année 1962.

PLAN DE L'ETUDE

- AVANT PROPOS
- PRESENTATION DE L'ETUDE
- GENERALITES

 PREMIER PARTIE

 RAPPE A FROID

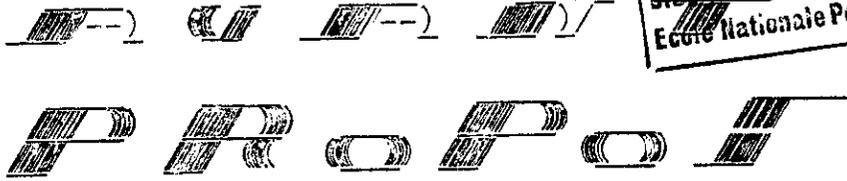
I - Présentation de la fabrication de la vis par frappe à froid	1
1-1. - Le Décolletage	1
1-1-1. - Principe	1
1-1-2. - Type de machines utilisées	2
1-2. - Le roulage	3
1-2-1. - Type de machines utilisées.....	4
1-3. - Etude comparative du décolletage et du roulage	5
2. - Caractéristiques métallurgiques de la frappe à froid	6
2-1. - Filage	6
2-1-1. - Etudes théoriques sur la transformation du filage à froid	7
2-1-1-1. - L'écoulement	8
2-1-1-2. - Formules empiriques. Influence de la lubrification	8
2-1-1-3. - Tracé approximatif des lignes de déformation	
dans la partie avant de la barre filée	10
2-1-1-4. - Zones de déformation	10
2 - 1 - 2. - Causes théoriques des défauts de filage.....	11
2 - 1 - 3. - Remède à apporter	12

2-1-4.-	Caractéristiques physiques et mécaniques des produits filés	12
2 - 2.-	Force de frappe du poinçon	12
2 - 3.-	Répartition des contraintes sur les matrices.....	13
2 - 4.-	Répartition des contraintes sur la matière et son.....	
	Ecoulement dans les procédés industriels d'extrusion et de frappe..	14
2-4-1.-	Contraintes sur la matière	14
2-4-2.-	Ecoulement plastique de la matière.....	15
2 - 5.-	Aciers employés pour les visseries et boulonneres.....	17

II) DEUXIEME PARTIE

3.-	Partie expérimentale	24
3-1.-	Essais mécaniques	24
3-1-1.-	Essais de traction	24
3-1-1-2.-	Essai de dureté	27
3-1-2.-	Microdureté	31
3-1-3.-	Micrographie	32
3 - 2.-	Analyse chimique	34
3-2-1.-	Influence du C,S,Mn, Si et P sur les propriétés usuelles du métal.	34
3-2-2.-	Résultats des analyse chimiques des aciers B3 et B3,5	34.a
3-2-3.-	Interprétation	34.b
3-3.-	Traitement thermiques	35
3-3-1.-	Résultats sur machines à l'usine et interprétation.....	36
3-3-2.-	Tables de s Essais Mecaniques sur Aciers traités au four sous vide et au four industriel	39
3-3-3.-	Courbes : $A\% = f[\theta, t]$ $H = h[\theta, t]$ $\delta R = g[\theta, t]$ pour les différents aciers	52
4.-	Resultats généraux des essais effectués et interpretation	65
4-1.-	Courbes expérimentales de contrôles des aciers	
4-2.-	Conclusion générale de l'Etude	





-----ooOoo-----

Aucuns n'ignorent l'impact de la Révolution Industrielle et l'avènement du machinisme ; et l'on peut affirmer que de nos jours l'utilisation des vis, boulons et rivet comme moyens d'assemblage tient une place importante dans la vie économique d'un pays. Et il n'est pas exclu que des problèmes sérieux peuvent surgir dès lors qu'il s'agit de concilier les exigences des utilisateurs de vis avec les possibilités technologiques des fabricants de vis et du secteur sidérurgique.

Bien entendu, ces problèmes peuvent se poser tant sur le plan de l'usinage et du formage que sur celui des traitements thermiques ou des propriétés mécaniques et chimiques du métal etc... S'il est vrai que les progrès de l'Industrie conduisent à une augmentation des performances, la visserie est néanmoins de plus en plus soumise à des contraintes importantes et est de ce fait obligée de rechercher une meilleure tenue aux sollicitations mécaniques, de modifier des formes et d'en créer de nouvelles. Ces problèmes sont courants dans les pays avancés sur le plan technologique et la recherche a porté à la fois sur l'outillage de production et sur la qualité des aciers à utiliser pour la fabrication de la visserie.

En Algérie, une grande partie des besoins nationaux en boulonnerie et visserie fait appel à l'importation. Dans cette optique, les problèmes de la fabrication des vis revêtent un caractère important à un moment où justement notre pays engage son processus d'industrialisation.

Ainsi nous nous assignons comme but, par ce modeste ouvrage, de traiter des problèmes métallurgiques inhérents à une Unité de visserie à bois située à BEJAIA. Signalons au préalable que l'Ingénieur débutant qui est en contact pour la première fois avec la dure réalité de la pratique éprouve maintes difficultés. Car il est évident qu'après un enseignement précis où tout est calculé avec précision, l'Ingénieur débutant se trouve confronté à des phénomènes complexes, comme le problème de l'écoulement du fil métallique et l'écrasement de la tête de la vis pour citer le cas de notre étude.

Dans cette optique, nous avons essayé tout au long de cette étude de concilier notre formation théorique avec le travail pratique pour pouvoir déboucher sur un travail concret.

PRESENTATION DE L'ETUDE

Par cette étude, nous nous proposons, selon nos possibilités de déterminer les causes et origines d'un défaut de fabrication de vis à bois et d'essayer de déboucher sur les meilleures conditions d'utilisation des divers paramètres qui peuvent influencer sur le métal et le produit final. Nous aurons donc à orienter notre étude sur les problèmes métallurgiques.

Le fonctionnement de la machine ne présentant pas d'anomalies apparentes, la lubrification des pièces étant correctement effectuée, nous axerons l'étude sur les caractéristiques mécaniques et métallurgiques du fil.

Parmi les procédés utilisés pour la fabrication de vis à bois, l'extrusion par frappe à froid correspond mieux aux petites dimensions (2,5mm à 5mm de diamètre).

Le défaut de fabrication qui se manifeste (surtout pour les vis de faible diamètre) est l'écrasement de la tête consécutif à un mauvais écoulement du fil métallique dans la filière.

Dans ce sens, nous avons été amenés pour pouvoir améliorer les conditions de fabrication de procéder avant tout à des traitements thermiques afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques exigées du métal (allongement, résistance, dureté). En second lieu, nous avons effectué des analyses chimiques afin de déterminer si les teneurs demandées (Carbone, Manganèse, silicium, Phosphore) sont respectées. Nous avons aussi procédé à des essais mécaniques et mécanographiques afin d'analyser le métal sur le plan structural. Par ailleurs, des études métallographiques qu'il nous a été impossible d'effectuer, faute de moyens, auraient certainement été bénéfiques.

D'après ceci nous avons essayé de cerner tous les problèmes pouvant de près ou de loin influencer sur les caractéristiques métallurgiques inhérentes à la fabrication des vis à bois et nous espérons contribuer par cette oeuvre modeste à intérêt général plus que particulier. Nous avons enfin abordé une étude économique concernant l'implantation d'une unité de visserie à grande échelle.

GENERALITES

La fabrication de vis, boulons, etc...entraîne à coup sûr la participation de plusieurs autres industries à l'élaboration de ce produit: sidérurgie, outillage, machines-outils et parallèlement divers laboratoires qui auront à déterminer l'aptitude du produit à son futur emploi. Et il reste certain que lorsque l'utilisateur aura un problème de fixation ou autre à résoudre, une collaboration étroite entre la sidérurgie, la visserie et lui sera nécessaire pour arriver à une solution pratique.

Il existe une normalisation internationale qui détermine les détails de construction des éléments filetés pour être produits avec les aciers normalisés les plus courants. Toute modification rompant l'équilibre aciers-outils-machines fera recommencer tout le processus de mise au point.

Selon la norme française homologuée NF E27-005 Octobre 1956, article 2 : terminologie, la vis est une pièce constituée d'une tige filetée sur tout ou partie de sa longueur, avec ou sans tête, mais comportant un dispositif d'immobilisation ou d'entraînement. Si la vis comporte une tête, celle-ci peut être destinée:

- Soit à l'entraînement (vis à tête assurant comme les vis sans tête une immobilisation, une pression, etc...)
- Soit à assurer un serrage entre la face d'appui de la tête et celle d'un écrou vissé à l'extrémité de la vis (vis à métaux entrant dans la constitution d'un boulon)
- Soit à assurer l'assemblage de 2 pièces avec ou sans serrage, celle opposée à la tête jouant l'office d'un écrou (vis à métaux ou vis à bois).

Il est à préciser que pour la fabrication des vis et boulons, trois procédés, en général, sont employés :

- Le décolletage ou enlèvement de métal par copeaux.
- Le roulage.
- Le matriçage à chaud.

Il faut souligner que le décolletage et le roulage nécessitent au préalable un matriçage à froid.

- Le décolletage : le procédé par décolletage où l'ébauche du rivet est plus facile à obtenir grâce à l'emploi de la matrice ouverte, n'est cependant pas économique, vu la perte de matière qui en résulte.

- Le roulage : il est plus délicat car la matrice employée est fermée. Il présente néanmoins l'avantage d'être adapté au modèle des vis et il est bien plus économique, le travail se faisant par déformation et non par enlèvement de métal comme pour le roulage.

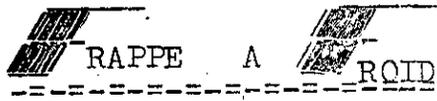
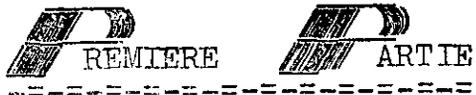
On constate en règle générale qu'il y a deux éléments qui influent sur le choix du procédé de fabrication :

La forme : celle-ci varie et l'on peut avoir des vis à tête cylindrique, à tête fraisée, bombée, à tête fendue, des vis à bois, pointes etc...

Les caractéristiques géométriques s'appliquent aussi pour les bouchons, écrous et autres.

La nature du métal employée : elle dépend des caractéristiques mécaniques désirés pour le produit fini.

Pour la visserie à bois, le métal employé est un fil d'acier extra doux, pas ou peu allié.



I. PRESENTATION DE LA FABRICATION DE LA VIS A BOIS PAR FRAPPE A FROID :

Parmi les produits finis de visserie, boulonnerie, la vis à bois par ses dimensions géométriques (\emptyset : 2,5 à 5 mm, L : 16 à 50 mm) se prête assez bien à un mode de fabrication par frappe à froid pour usiner le rivet. Le filetage est obtenu par deux procédés : le roulage et le décolletage.

1.1. Le décolletage :

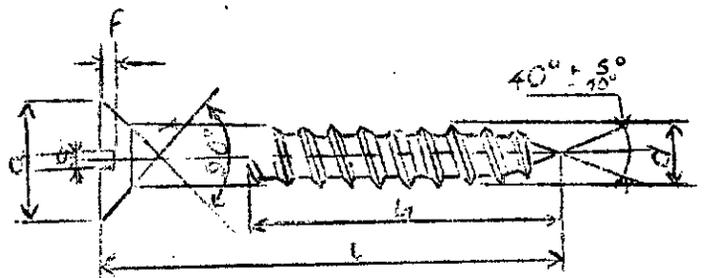
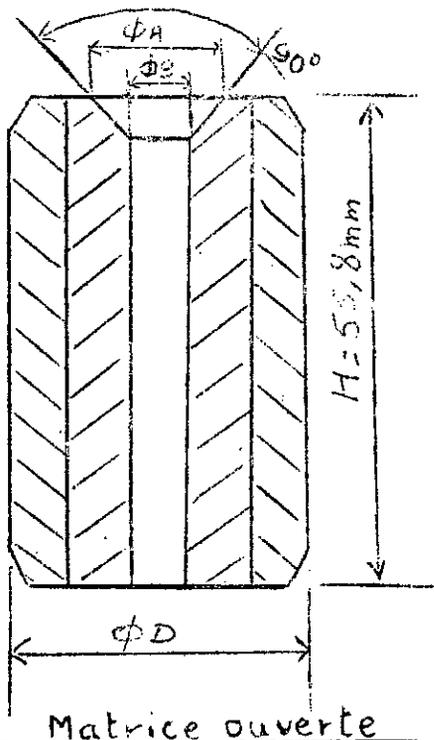
1.1.A. Principe :

Avec ce procédé, l'ébauche de la vis se fait par matricage à froid à l'aide d'une matrice ouverte.

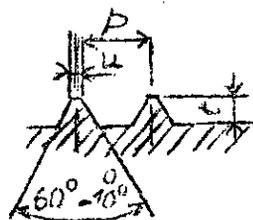
La matrice ouverte ou matrice de formage des têtes sans étranglement permet au rivet d'avoir un diamètre uniforme : celui du fil.

Le rivet sera décolleté sur les deux tiers environ de la longueur totale à l'aide d'un outil spécial : l'outil de coupe en carbure de tungstène.

Cet outil permet ainsi de procéder efficacement à l'enlèvement du métal pour élaborer le filetage de la vis.



Vis à bois à tête fraisée à 90° de $d = 4$ et $L = 50$



Profil théorique du filet

1 1.2. Type de machines utilisées :

La fabrication d'une vis à bois par le décolletage est soumise à quatre (4) stades :

- le matricage à froid
- le premier décapage
- les filetage et fraisage
- Le deuxième décapage

A chaque étape correspond une machine spécifique

Le matricage est fait par une presse mécanique automatique, à une seule matrice ouverte et deux poinçons : l'un ébaucheur, l'autre finisseur.

Avec cette machine, on arrive à refouler pour faire la tête, un volume de matière environ égal à 5 fois le diamètre du fil.

Le fonctionnement : le fil métallique monté sur le dévidoir, entraîné par deux rouleaux, subit d'abord un redressement puis est placé en position de coupe. Une fois arrêté à la longueur voulue, il est cisailé, transporté par une pince jusque dans le trou de la matrice.

Le morceau de fil subit ensuite toujours dans sa propre matrice la première opération : l'ébauche est réalisée par une première frappe.

Le second poinçon donne à la tête de la vis sa forme définitive à l'exception de la fente.

En ce qui concerne la longueur cisailée, on peut citer par exemple que pour une vis finie de 16 mm de longueur, il faut une longueur de fil de 17,5 mm.

Après la frappe, le rivet est expulsé de la matrice par un éjecteur et recueilli dans un récipient prévu à cet effet : le collecteur.

Il est à noter que le bon fonctionnement de la machine et la qualité de la vis dépendent en grande partie de la lubrification.

Pour cela toutes les commandes principales ainsi que les parties mobiles de la machine doivent être lubrifiées.

Une huile minérale de viscosité SAE 30 est utilisée

Par ailleurs, la lubrification du fil métallique avant même son introduction dans la matrice est exigée, car ceci permet un écoulement facile et régulier de la matière dans la matrice.

Une fois sorti de la presse, le rivet est alors soumis au décapage afin de le dégraisser. Le rivet passe ensuite dans une autre machine de transfert qui sert à la fois pour le filetage d'une partie de rivet et le fraisage de la tête de celui-ci.

Après le filetage et le fraisage où le rivet subit un arrosage à huile soluble pour le refroidir et lubrifier la coupe, un dernier décapage est donc nécessaire.

1.2. Le roulage :

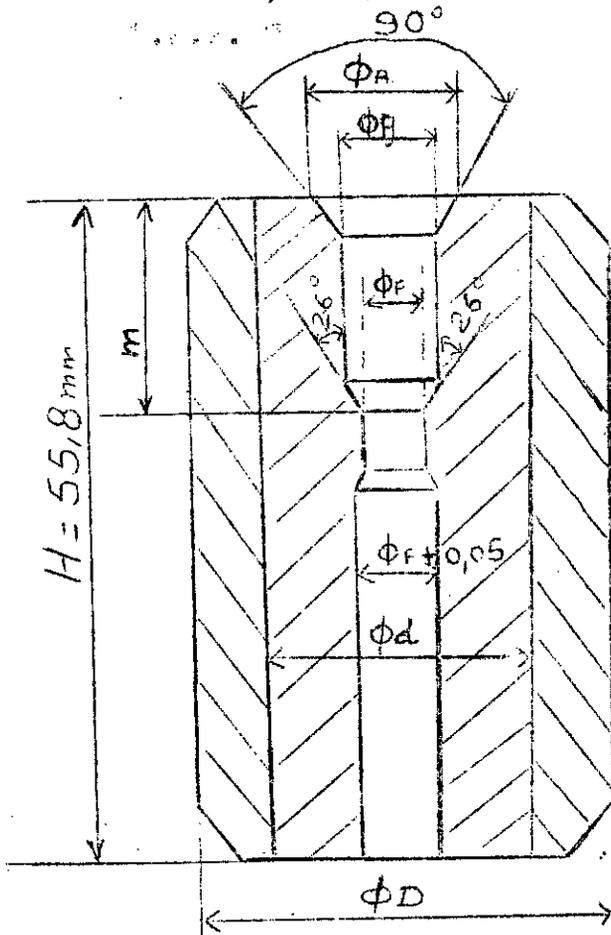
Comme pour le procédé ci-dessus, l'ébauche de la vis est obtenu par matrigage à froid mais la matrice employée est fermée.

On l'appelle matrice de réduction et de formage des têtes. Elle possède 2 diamètres : l'un extérieur, légèrement supérieur au diamètre du fil, un autre, intérieur, plus petit.

L'étranglement dû au diamètre intérieur de la matrice fermée permet une réduction de surface sur une partie de la tige du rivet. C'est sur cette partie étranglée que se fera le filetage sur environ les 2/3 de la longueur du rivet.

L'ébauche de la vis obtenue par roulage est faite par extrusion et frappe.

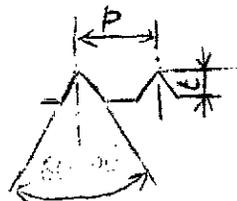
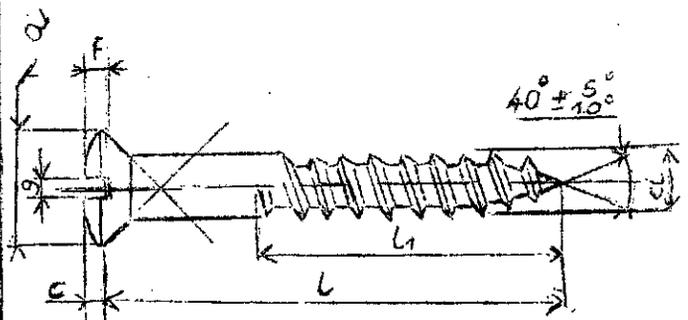
Le procédé par extrusion et frappe comporte une combinaison d'opération d'extrusion et de refoulement dans lesquelles on obtient tout ou une partie du fût de la vis par extrusion et la forme de la tête, en partie par refoulement.



MATRICE fermée

Vis à bois à tête fraisée à 90°

$d = 4 \text{ mm}; L = 50 \text{ mm}$



Profil théorique du filet

1.2.1., Type de machines utilisées :

La fabrication d'une vis à bois par roulage est soumise à 5 stades :

- Extrusion et refoulement à froid à la presse
- Le premier décapage
- La fente de la tête
- Le deuxième décapage
- Le filetage

- Rappelons que comme pour le cas précédent, à chaque phase correspond une machine déterminée.

Bien entendu, le 1er et 2ème décapage sont effectués par la même machine.

Le matricage est fait par une presse mécanique munie de deux matrices fermées et trois poinçons dont l'un est ébaucheur et deux finisseurs. Par conséquent, à vitesse de roulement égale ou à nombre égal de courses de coulisses, sa production est double de celle de la presse mécanique utilisée pour le décolletage.

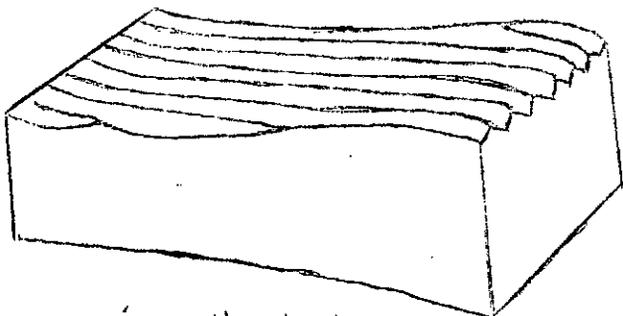
Fonctionnement : Grâce à deux pinces qui travaillent d'une façon alternative pour l'introduction du fil métallique, l'alimentation est doublée.

Les poinçons travaillent alternativement et d'une façon continue : pendant que sur la première matrice se fait l'ébauche d'un rivet, sur la deuxième se fait la finition d'un autre rivet et vice versa.

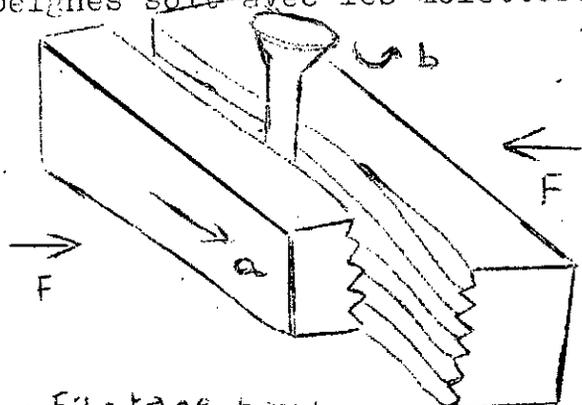
Les poinçons placés dans un bloc porte-poinçons monté sur une coulisse, se déplacent verticalement pouvant de la sorte atteindre la matrice supérieure et inférieure par un mouvement mécanique à bielles (voir biblio N° 1 Page 1).

Notons que les remarques faites au chapitre 1.1 sur la nécessité de la lubrification est sur la qualité des vis restent valable pour le roulage.

Il serait opportun de souligner que le filetage dans ce cas diffère de celui le décolletage en ce sens qu'il se fait par roulement soit avec les peignes soit avec les molettes.



SCHEMA d'un peigne



Filetage par peignes

Le rivet est d'abord inséré entre deux peignes dont l'un est mobile en même temps que le peigne mobile se déplace (a), une force F est appliquée sur les deux peignes perpendiculairement au déplacement du peigne mobile.

Le rivet est animé par conséquent d'un mouvement de rotation sur lui même (b) (d'où le nom de roulage) et est déformé plastiquement de façon à former le filetage.

1.3. Etude comparative du décolletage et du roulage :

L'avantage du décolletage réside dans la forme du diamètre intérieur de la matrice qui est ouverte.

Les efforts mis en jeu (contraintes et frottements) entre les parois de la matrice et la matière, lors de l'écoulement du fil, sont minimes.

Mais nous insistons sur le fait que bien que le décolletage soit encore le moyen le plus employé pour la fabrication des écrous hexagonaux et certaines vis spéciales de très faibles séries, ce procédé reste de loin le moins économique à cause de la perte de matière qui en découle et de la faible productivité.

Le procédé par extrusion et frappe présente des avantages par rapport au précédent par le fait qu'il comporte comme nous l'avons dit une combinaison d'opérations d'extrusion et de refoulement.

Cette technique donne les pièces de précision géométriques supérieure car les machines d'extrusion et frappe sont plus puissantes que les machines de simple ou double frappe.

Cette méthode s'avère très économique puisque le travail se faisant par déformation et non par enlèvement de métal.

Par ailleurs, des qualités mécaniques sont conférées aux pièces par cette méthode.

D'une part, le fibrage obtenu permet d'éviter les points fragiles aux changements de section.

D'autre part, l'écrouissage du métal permet de relever considérablement les caractéristiques mécaniques dans la partie filetée.

L'inconvénient réside dans le fait que la matrice a une forme géométrique plus compliquée que pour le cas du décolletage.

Pour cela les contraintes mises en jeu entre la matière et les parois de la matrice sont plus importantes.

On peut y remédier en utilisant des matrices à armature simple ou double en carbure de tungstène.

Nous venons de voir les différents procédés de fabrication de la vis à bois particulièrement par frappe. Il serait intéressant de connaître les caractéristiques métallurgiques et mécaniques de la frappe à froid, notamment du filage.

Une étude s'impose sur les conditions de filage, des défauts qui peuvent en découler, les contraintes mises en jeu, aussi bien sur les outils que sur la matière elle-même, la nature du métal à filer.

Ce qui nous renseignerait sur les limites techniques et économiques à respecter lors du filetage de pièces de formes.

2. CARACTERISTIQUES METALLURGIQUES DE LA FRAPPE A FROID :

Précisons que la frappe à froid ne peut se réaliser que lorsque la plasticité du métal est suffisante.

Maxwell énonce un critère de plasticité : (voir biblio N° 5 page 720-3).

Les déformations plastiques prennent naissance dans une matière donnée dès que le travail interne de la déformation élastique atteint une certaine limite.

Cette condition s'exprime :

$$\boxed{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \gg 2K_f^2}$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ sont les trois contraintes principales.

K_f : Valeur de la limite d'écoulement en traction (ou compression) simple qui est la condition nécessaire et suffisante de l'écoulement plastique.

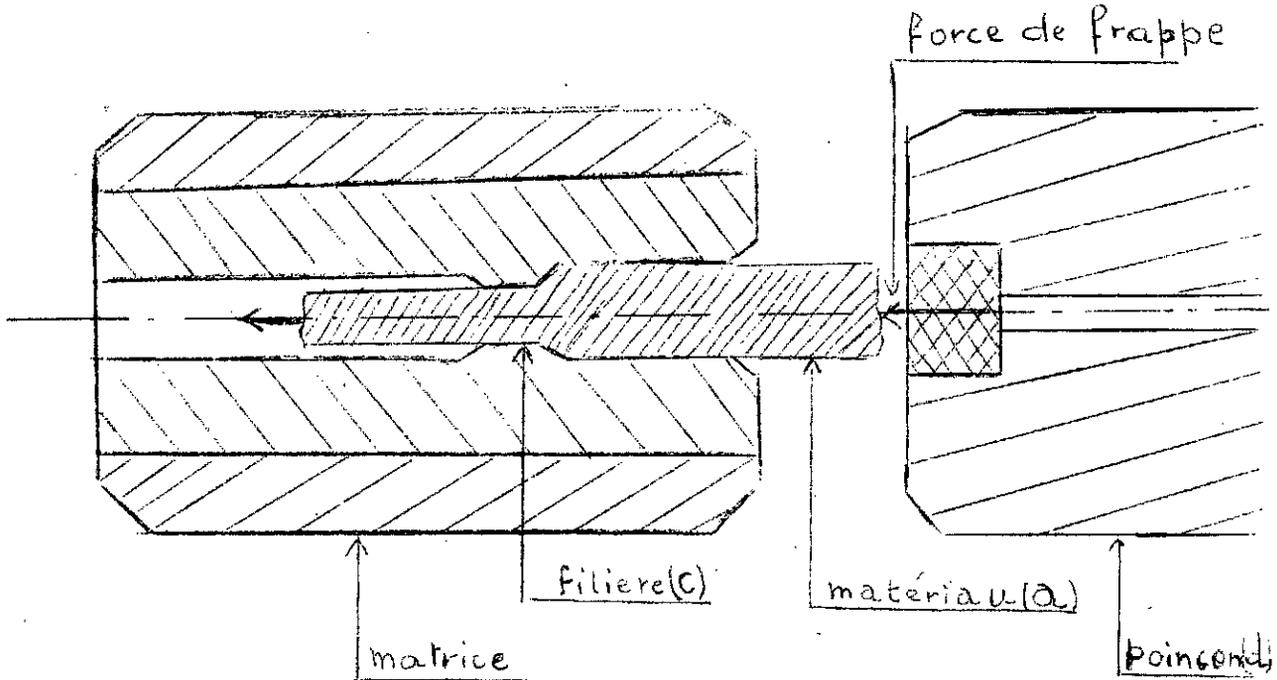
La plasticité d'un métal est fonction de sa composition chimique, structurale (dimension des grains), la vitesse de déformation, la direction, les contraintes mises en jeu.

2.1 Filage (Voir biblio: N° 7 page 610-2)

Etant donné que le défaut de fabrication de la vis qui nous préoccupe essentiellement est l'écrasement de la tête consécutif au mauvais écoulement du fil métallique dans la filière et que l'extrusion est ici assimilable au filage proprement dit, une étude théorique sur le filage nous apparaît d'une nécessité incontestable.

Le filage est un procédé de déformation plastique dont le principe consiste à obliger un matériau (a) fortement comprimé sous l'action d'un poinçon (d) dans une matrice (b) (faite en acier résistant aux fortes pressions) à fluer à travers la filière (c). L'orifice de celle-ci présente la section du profil à obtenir.

L' ébauche est utilisée à température ambiante. Mais une sensible élévation de la température se produit au cours de l'opération de filage, une partie de l'énergie de compression fournie par la presse se transformant en chaleur.



SCHEMA de filage (Extrusion)

Rappelons encore une fois la nécessité de la lubrification dans les opérations de filage. Les lubrifiants utilisés permettent de réduire les frottements du métal contre les parois de la matrice & est d'assurer par-là même un écoulement plus régulier et plus facile du fil métallique à travers la filière. A cet effet, de l'huile minérale de machine avec du graphite, du verre lubrifiant etc... sont utilisés.

2-1-1. Etudes théoriques sur la transformation par filage à froid

Il y'a lieu de signaler qu'au cours des dernières années, de nombreux travaux furent effectués pour tenter de déterminer théoriquement les conditions d'écoulement au cours de l'opération de filage. Mais ces études nécessitent des développements mathématiques importants et finalement peu de résultats susceptibles de s'avérer intéressants sur le plan pratique ont été obtenus.

Dans cette optique, citons quand même les travaux de E. Siebel et G. Sachs qui firent faire de grands progrès à l'étude de façonnage des métaux par déformation plastique.

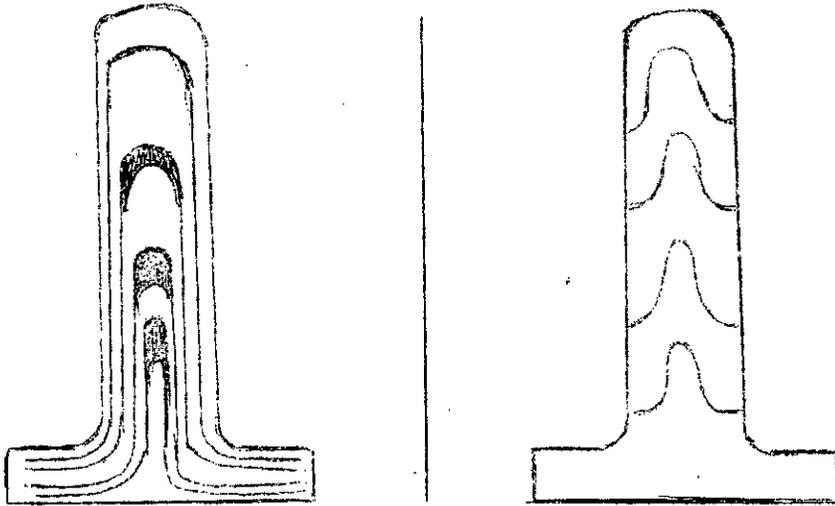
Voici d'une façon résumée les principales conclusions des études effectuées jusqu'à ce jour.

2.1.1.1. Écoulement.

La méthode pour étudier l'écoulement consiste à faire des repères dans le métal, arrêter la déformation à un stade déterminé. Ce qui permet de trouver la direction et la vitesse de l'écoulement.

Le processus classique de la déformation par filage est représenté schématiquement par la figure A.

Chaque disque élémentaire constituant le lopin se déforme en entonnoirs. Tous ces entonnoirs constitués viennent alors s'emboîter les uns dans les autres pour former la barre(fil) filée. D'après le schéma, chaque partie du fil n'a pas la même texture car la déformation n'est pas la même. Ainsi, à la fin du fil filé où la déformation est la plus forte, on trouve une série de tubes concentriques aux diverses sections successives de la billette.

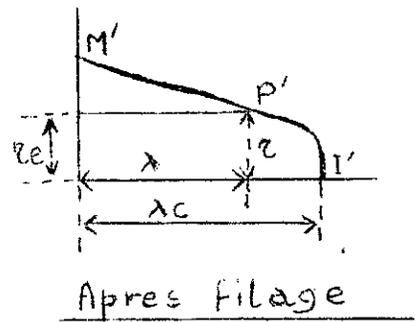
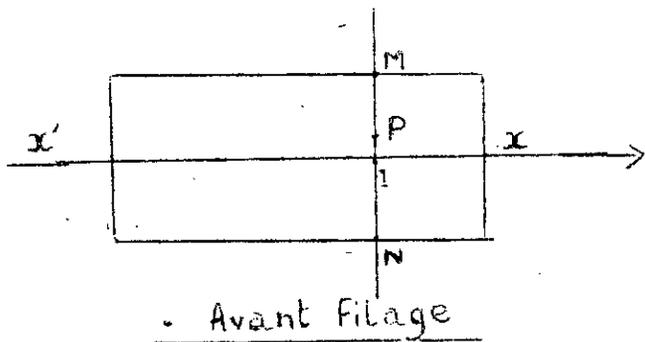


. Ecoulement sans lubrification . . Ecoulement avec lubrification

2.1.1.2. Formules empiriques. Influence de la lubrification.

Il est impossible de donner la formule théorique générale car les équations auxquelles ont abouti les chercheurs ne peuvent pas être intégrées. Au cours de l'opération de filage, d'importants progrès ont été réalisés dans le domaine de la lubrification ces dernières années. Il a été montré que dans les conditions opératoires classiques, le coefficient de frottement entre la billette et le contenu est élevé et que l'utilisation de lubrifiants appropriés peut permettre de le réduire dans de bonnes proportions. Il est constaté que lorsque ce coefficient de frottement est faible, l'allure de l'écoulement est notablement modifiée. Le processus de déformation devient régulier et après le filage d'une faible longueur de barre, tous les éléments filés sont identiques et ont les mêmes propriétés. Il est congu que lorsque la déformation prend cette forme régulière

il est possible d'établir des formules empiriques donnant la position d'un point de la barre filée, connaissant la position correspondant du même point dans la billette avant filage. Les recherches de B. Saoul sont applicables lorsque la barre filée est convenablement lubrifiée. (voir bib- N° 5 M3 Page 640. 8)

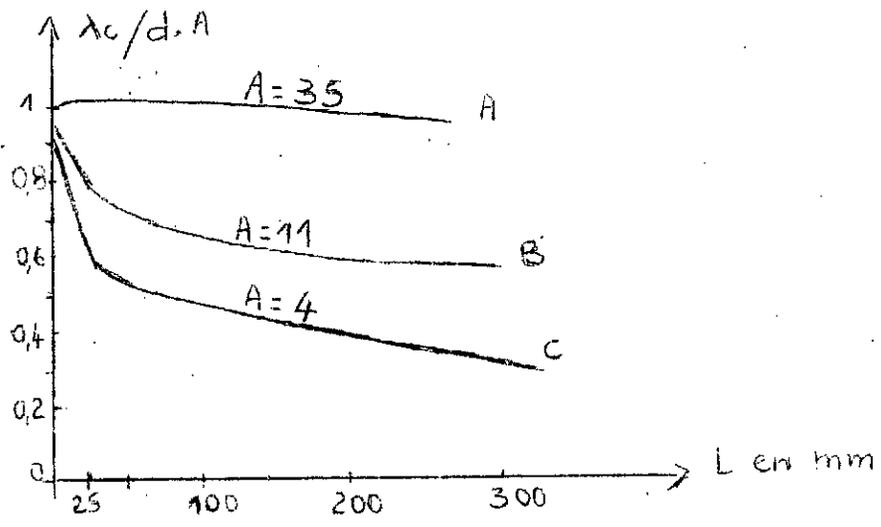


Supposons que l'on introduise dans une billette qui a pour axe $x'x$ une barrette (fil) MN perpendiculaire à l'axe $x'x$ (figure ci-dessus) Après filage, cette barrette subira une déformation et l'équation de sa courbe pourra s'écrire de la manière suivante:

$$\frac{\lambda}{\lambda_c} = \left[\left(\frac{z}{z_e} \right)^2 - \lambda \right]^2$$

- λ_c représente l'allongement de la barrette (fil).
- z_e représente les coordonnées du point P' de la barrette avant filage; z_e est le rayon extérieur de la barre filée. Selon cet auteur λ_c est lié au produit $(d \cdot A)$, A étant le rapport de filage et d, la différence entre le rayon de la billette et le rayon de la barre filée.

En pratique le rapport $\lambda_c / d \cdot A$ est une fonction de la distance L de la barrette à la partie avant de la billette. Les courbes représentées sur la figure (C) donnent des valeurs du rapport $\lambda_c / d \cdot A = f(L)$. Ces valeurs sont obtenues expérimentalement et pour diverses valeurs de A.



. Fig(C) : Courbes $\lambda_c / d \cdot A = f(L)$

D'autre part, il est possible de calculer avec précision les coordonnées du point P' connaissant celles du point P dans la billette. Si L est la distance du point P à la partie avant de la billette et R sa distance à l'axe, les valeurs de sont les suivantes :

$$\lambda = A \left[\frac{L}{0,98 + 0,03(R^2/R_e^2)} - d \left(\frac{R^2}{R_e^2} - 1 \right)^2 \right]$$

$$\tau = (R/\sqrt{A}) [0,99 + 0,016(R^2/R_e^2)]$$

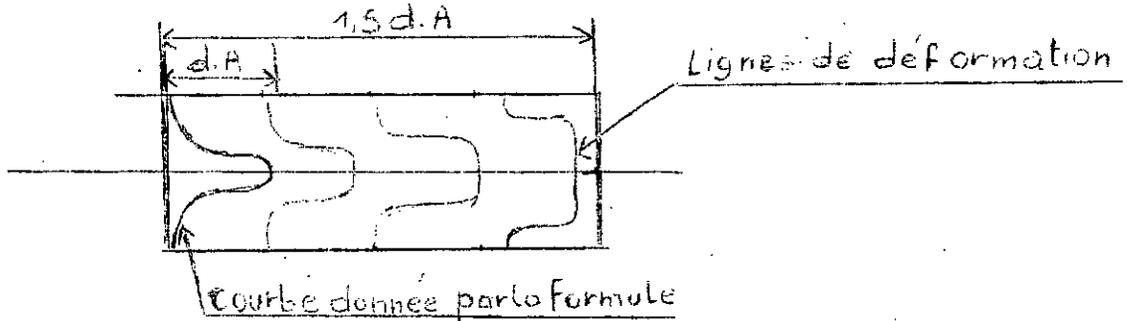
Re est le rayon du conteneur .

Les formules ci-dessus ont pu être remplacées par les formules approximatives suivantes :

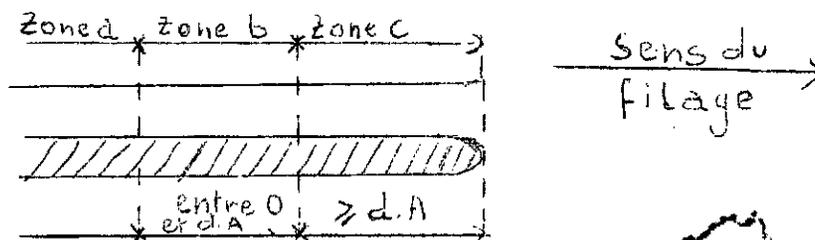
$$\lambda = A [L - d(R^2/R_e^2 - 1)^2] , \tau = R/\sqrt{A}$$

A remarquer que ces formules sont applicables uniquement pour des valeurs de L supérieures à 1,5 d.A . Pour L compris entre 0 et 1,5 d.A , il est plus commode de tracer des lignes telles que le volume compris entre deux sections droites donne un volume équivalent dans la barre .

2.1.1.3. Tracé approximatif des lignes de déformations dans la partie avant de la barre filée :



2.1.1.4. Enfin, il est montré que dans un filage convenablement lubrifié, la surface d'une barre filée comporte 3 zones réparties conformément à la figure ci-dessus. Une zone a correspond au filage de la surface avant de la billette, une zone b correspond à une zone perturbée au cours du passage de la surface de la billette située entre la partie avant de la billette et son diamètre extérieur. Enfin, une zone c qui correspond au filage de la surface de la billette et qui donne lieu à une zone de déformation très régulière .



Rémarque : En général, une des conditions du filage permet de réduire la zone b au maximum et d'éviter des perturbations dues au passage de l'angle de la bilette.

Autre formule sur la réduction de section du métal :

La réduction de section du métal est établie comme étant le rapport de la différence entre les sections du trou du conteneur et du trou de la filière à la section du trou du conteneur. Elle est exprimée par la formule suivante et peut atteindre 90%.

$$\lambda \% = \frac{S_c - S_f}{S_c} \times 100$$

2.1.2. Causes théoriques des défauts du filage (Voir biblio n° 5 P.640.10.

D'après l'étude effectuée par F. le châtelier, tous ces défauts ont pour origine essentielle le frottement du métal contre le conteneur et la filière.

Frottement du métal contre le conteneur :

L'influence du frottement du métal contre les parois est d'autant plus importante que le rapport du frottement de glissement interne du métal au frottement du métal sur les parois du conteneur lui-même est plus faible. A cause de ce frottement la pression est plus faible au centre du lopin qu'à la périphérie et le centre pourra être moins écroui ; si le rapport diminue, la pression pourra devenir nulle au centre. Il n'y aura plus d'adhérence et le centre étant entraîné par les couches voisines, on aura affaire au phénomène du tubage. Cette aspiration peut devenir assez forte pour que le métal arrive à être sous tension ; et si celle-ci dépasse la limite de rupture, on aura alors la cavité de Tresca. La forme en fer de lance est due aux différences des vitesses du métal au centre et à la périphérie.

Frottement du métal contre la filière :

Le frottement du métal sur la partie travaillante de la filière développe une tension superficielle T qui devra être considérée compensée par les efforts de compressions développés au centre. Cette tension T peut dépasser la charge de rupture on a alors les criques dont l'aspect dépendra des propriétés mécaniques du métal et de sa température de sortie.

Propriétés mécaniques du métal :

a) Métal à tenacité et ductibilité suffisantes :

Une crique se forme sur la filière. Le frottement qui continue à s'exercer tend à l'ouvrir et à faire gagner en profondeur en même temps que le couplage de la tension superficielle. Compression au centre : il la fait tourner pour devenir parallèle à l'axe. On a affaire alors à la crique d'épanouissement.

b) Si le métal est sans tenacité ni ductibilité, la crique baille peu donc diminue peu la tension et une nouvelle crique se forme tout de suite après on a dans ce cas des criques transversales.

b)

c) Si le métal est à la limite élastique élevée, voisine de la charge de rupture il y'a alors une ductilité faible et la crique se forme suivant une ligne géométrique bien définie sans suivre les joints, on obtient alors des criques transversales en forme d'anneaux.

2-1-3 - Remèdes à apporter:

Pour éviter les défauts dus au frottement du métal contre les parois du conteneur (matrice), il faut chercher à augmenter le rapport γ

Pour cela, il est possible de :

- diminuer les efforts de frottements en améliorant le tracé de la filière.
- Agir sur la nature du métal ou sur la température.
- Augmenter le frottement interne du métal (augmenter la déformation interne)

en augmentant le degré de filage. (Exemple: G. Saches conseille l'emploi d'un poinçon concave dont le creux est égal au diamètre de la filière).

Un autre défaut cité par L. Northcatt peut entrer en jeu:

défauts provenant de la structure de coulée: la billette venant de la fonderie n'a pas une texture uniforme par suite de son refroidissement.

Il est donc avantageux d'usiner la billette avant filage ou tréfilage, ce qui supprime la couche extérieure.

2-1-4-Caractéristiques physiques et mécaniques des produits filés:

L'opération de filage s'effectue à très forte pression spécifique, pression comprise généralement entre 50 et 110 kg/mm².

La transformation par filage se fait sous l'influence de pressions s'exerçant selon les trois directions principales ; il en résulte un brassage extrêmement énergétique des atomes du métal filé conduisant à des produits homogènes dont les effets en travers et en long ont des valeurs voisines.

Les contraintes et déformations mises en jeu lors du filage ont pour origine la force de frappe du poinçon sur la matière qui rentre dans la matrice et frappe sur les parois de celle-ci créant ainsi des tensions triaxiales.

2-2. Force de frappe du poinçon.

La force totale nécessaire au démarrage pour assurer la réduction de section d'un fil métallique s'exprime par la formule suivante =

$$F = \pi R^2 \rho \log S \cdot e^2 fl/R \quad (\text{voir N}^\circ 5 -640-3)$$

avec F = Force totale appliquée au poinçon en kg.

R = Rayon extérieur de la matrice en mm.

ρ = Résistance à la déformation de la matière à filier à la température convenable de filage en kg/mm².

l = longueur du fil en mm.

S = Rapport de filage (section initiale du fil/ section du fil étranglé).

S = Allongement.

f = coefficient de frottement entre le métal et la matrice.

2.3. Répartition des contraintes sur les matrices : (voir biblio-8)

Dans l'étude des outillages pour la frappe à froid, notamment de filage de pièces de forme métalliques, il faut tenir compte des limites d'ordre technique et économique.

- limites techniques : du point de vue technique, par le matériau et la forme de la pièce et par le procédé de déformation mis en oeuvre :

Exemple : (cas du charbon)

Refoulement favorable pour : $D^2/d^2 = 1,4$, avec H: hauteur des têtes et collerettes.

Retreint libre réalisable pour une réduction de surface maximum allant jusqu'à 28 % et $D^2/d^2 = 1,4$.

Une extrusion directe possible pour $D^2/d^2, H > D$

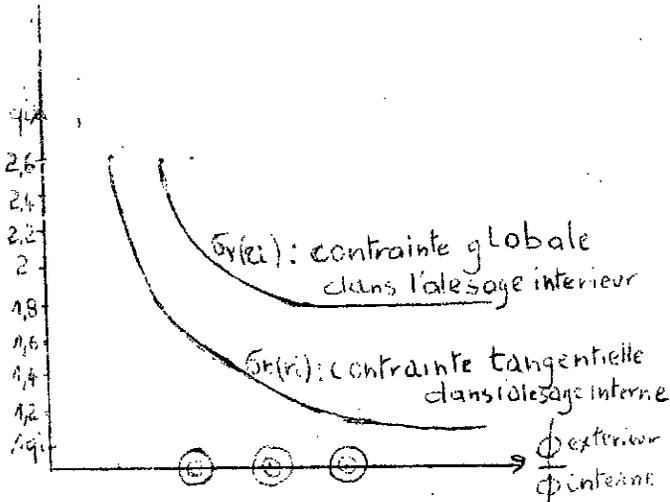
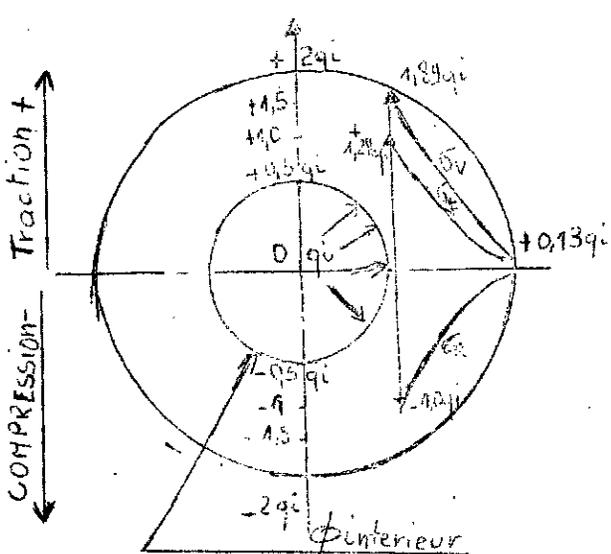
Remarque :

Par refoulement en (i) ou (x) opérations, sans recuit intermédiaire, on ne peut obtenir que le double du ϕ initial et le dépassement de cette limite entraînerait un pourcentage de fissuration élevé.

- limites économiques : les limites techniques étant respectées il faut soigneusement tenir compte des limites de la charge que peuvent supporter les outillages pour garantir une économie optimale.

Illustrons la répartition des contraintes dans le cas d'une matrice ordinaire et dans le cas d'une matrice armée.

Répartition des contraintes dans une matrice de filage ordinaire :



- σ_r : contrainte radiale engendrée par la charge radiale q_i

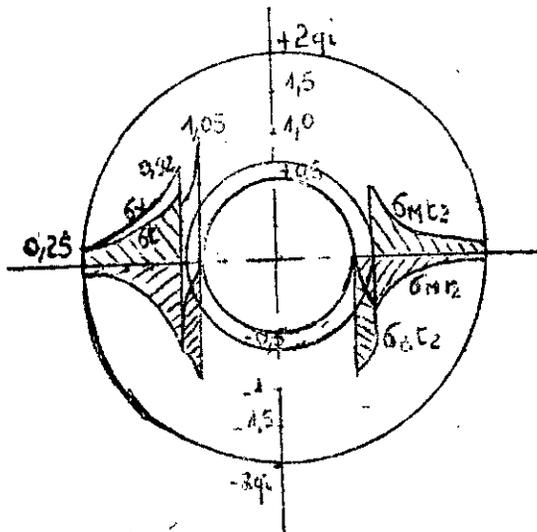
- σ_t : contrainte tangentielle

$\sigma_r = \sigma_t = +1,28 q_i$
 $\sigma_v = \sigma_r + \sigma_t = 1,89 = 2 q_i$

Remarque :

Si le matériau d'une matrice ordinaire peut supporter 200 kg/mm^2 il faut la charger à 100 kg/mm^2 de pression interne.

Répartition des contraintes dans une matrice armée :



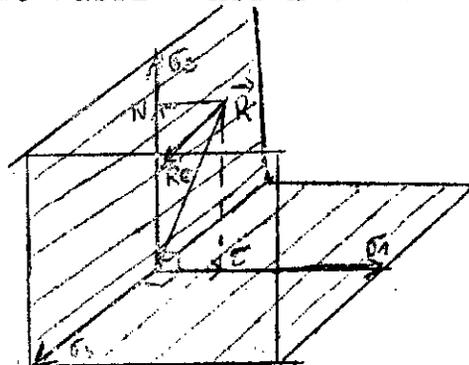
- La matrice est divisée en un noyau fretté à chaud avec surcote
- La surcote produit une précontrainte tangentielle de compression σ_{ct} sur l'alésage
- σ_{ct} et la pression de formage produisent un point de charge égal à $0,9q_1$ c'est à dire si la frette supporte 135 kg/mm^2 , on peut charger avec 150 kg/mm^2

2.4. Répartition des contraintes sur la matière et son écoulement dans les procédés industriels d'extrusion et frappe :

2.4.1. Contraintes sur la matière :

- les contraintes mises en jeu sur la matière au niveau de l'étranglement de la matrice fermée, sont dues à la force de frappe du poinçon :

L'ensemble de ces contraintes est une compression hydrostatique appelée aussi tension triaxiale.



- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: contraintes principales
- \vec{R} : tension triaxiale
- N, T, R_c : composantes de \vec{R} sur les trois directions principales

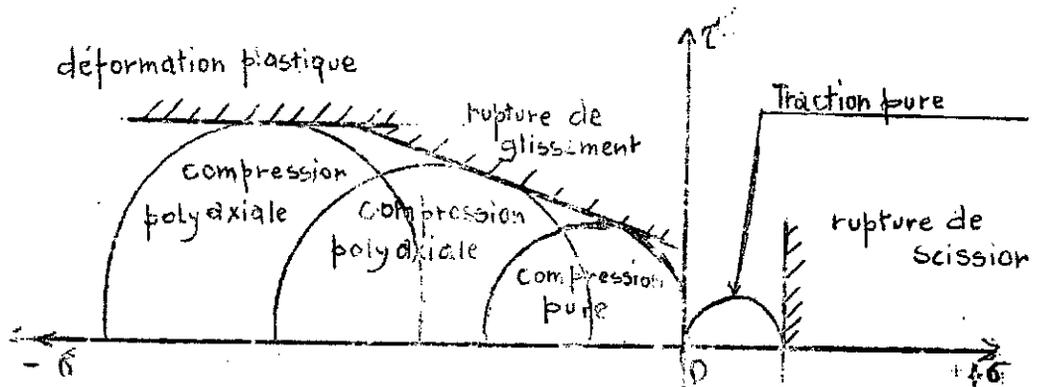
Schéma d'une compression hydrostatique

- Tension triaxiale :

L'état de contrainte triaxiale fait intervenir trois contraintes principales à 90° .

Un état de contrainte triaxiale est représentée par trois cercles de MOHR.

- L'ensemble des cercles de MOHR correspondant aux contraintes pour lesquelles les déformations cessent d'être élastiques, a pour enveloppe, la course intrinsèque de limite élastique caractérisant le matériau du point de vue de son aptitude à la déformation permanente.



Hypothèse de résistance de MOHR complétée par lignes limites pour les ruptures de scission et le glissement et par la déformation plastique d'après SIEBEL (voir biblio. 11 page 926).

2-4-2. Écoulement plastique de la matière: (voir biblio.11 page 926)

Lors d'une déformation plastique le volume d'un corps peut être considéré comme invariable.

L'allongement peut être, alors, donné par l'expression suivante

$$\int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \log \frac{l_1}{l_0} = \Psi_1$$

L'élargissement (ou retrécissement) par :

$$\int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b} = \log \frac{b_1}{b_0} = \Psi_2$$

Le reculement par :

$$\int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \log \frac{h_1}{h_0} = \Psi_3$$

l_1, b_1, h_1 , représentent par exemple les dimensions après déformation, d'un parallépipède.

Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 , sont appelés coefficient logarithmiques de déformation; ils sont liés par la formule suivante : $\Psi_1 + \Psi_2 + \Psi_3 = 0$
entre les coefficient Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 , et les déformations.

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \varepsilon_2 = \frac{\Delta b}{b_0} \quad \varepsilon_3 = \frac{\Delta h}{h_0}$$

on a les relations suivantes:

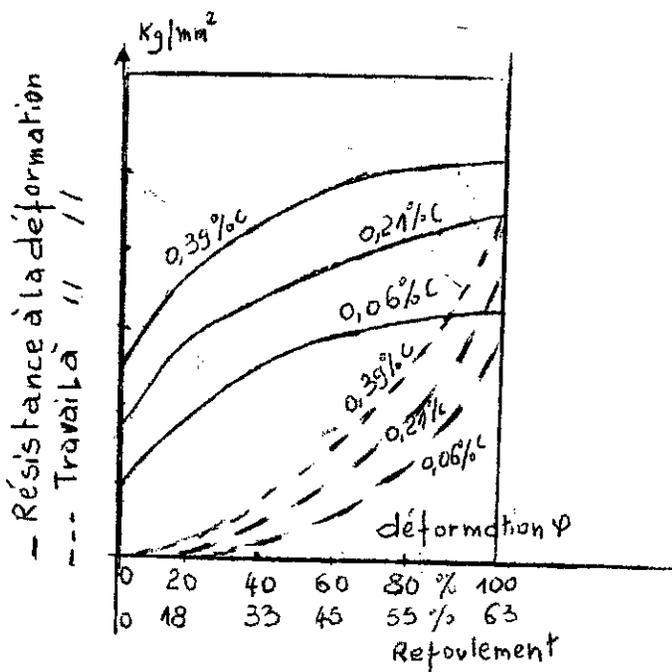
$$\psi_1 = \log \frac{l_1}{l_0} = \log \left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \right) = \log (1 + \varepsilon_1)$$

$$\psi_2 = \log (1 + \varepsilon_2)$$

$$\psi_3 = \log (1 + \varepsilon_3)$$

Il est à remarquer que les directions de déformations principales coïncident avec les directions des principales qui, rappelons le, donnent le critère de plasticité ;

Par ailleurs, il est important de préciser que dans le cas de l'extrusion et frappe à froid, le comportement de la matière (glissement en fonction de la structure) est défini par les courbes d'écoulement caractérisant l'allure de la résistance à la déformation k_f en fonction de la déformation. Illustrons cette remarque par la courbe d'écoulement dans la déformation à froid ; (voir biblio.11. Page 823)



Remarque.

Pour le B3 on a $C = 0,08\%$
($0,1\%$)

$$\frac{S_0}{S_A} = \frac{2,88}{2,30} \text{ d'où } \psi = \ln(1,26)$$

$\psi = 0,23$ ce qui correspond à

42 kg/mm^2 de résistance à la déformation.

Or sa charge maximale à la rupture par traction est de 42 kg/mm^2 .

Pour la déformation imposée, il faudrait augmenter sa résistance à la rupture.

2.5. Aciers employés pour les visseries et boulonneries:

Selon la nature et la destination du produit fini, l'acier employé doit répondre à des caractéristiques mécaniques et métallurgiques bien déterminées qui sont définies dans les éditions de normalisation (homologuées AFNOR)

- catégorie (allié ou non allié)
- nuance (ADX, XC, selon % en carbone)
- état (recuit, trempé, revenu, non défini)

On détermine ainsi trois grandes spécifications d'aciers employés suivant les caractéristiques imposées:

-acier à basse résistance pour vis à bois et petite visserie ordinaire:

C 0,1 %
30 - 50 kg/mm²
exemple ADX.

-acier à résistance moyenne pour vis à métaux:

0,1 C 0,25 % ;
0,8 Mn 1,10 %; 0,15 Si 0,30
50 - 65 kg/mm²
exemple XC38f

-acier à haute résistance pour boulonnerie:

0,25 C 0,45 %
80 - 125 kg/mm²
trempé à huile et revenu
exemple 24MC4

Donnons ci-dessous les caractéristiques des aciers et vis extraites des revues SACMA (Italie), USS (United States Steel International, New York), AFNOR (NF E27-005 Octobre 1956).

Revue SACMA (ITALIE)

Caractéristiques des vis à bois en acier par matricage à froid:

Vis à bois avec filetage obtenu par décolletage.

Classe	R (Kg/mm ²)	A min. (%)	Dureté (HRB)	Type d'acier
4 A	≥ 34	30	≥ 61	Fe 34B UNI 5334-64
4 D	≥ 40	25	≥ 64	C10 UNI 4365
4 S	≥ 40	14	≥ 64	C8 UNI 4365

Vis à bois avec filetage obtenu par roulage.

Classe	R (Kg/mm ²)	A min.	Dureté	Type d'acier
5 S	50670	10	77-94	C 21 UNI 4365 C 30 UNI 4365 C 35 UNI 4365

Caractéristiques des aciers pour vis obtenues à froid.

Aciers UNI 4365	Traitement thermique	R (Kg/mm ²)	A min. (%)	Hd Max. (Kg/mm ²)
C 8	Normalisation	35-42	26	-
C 10	// //	37-45	26	=
C 21	// //	42-50	24	-
C 30	// //	50-60	22	-
C 35	// //	55-65	21	-

Type d'acier	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	S	P
UNI 4365	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
C 8	0,06-0,10	0,30-0,45	Trace	-	-	-	0,040	0,040
C 10	0,06-0,13	0,3-0,7	0,35	-	-	-	0,035	0,035
C 21	0,18-0,24	0,3-0,6	0,10	-	-	-	0,040	0,040
C 30	0,25-0,35	0,8	0,40	-	-	-	0,035	0,035

Rappelons que les machines utilisées par l'usine (SIMEA) sont fabriquées par la Société SACMA (Italie).

Revue USS (United States Steel International - New - York)

Moyens caractéristiques des propriétés mécaniques de la - fabrication du fil (Voir Revue USS -N° 7 page 9)

Mesures couramment utilisées	Dimension type	Enroulé chaud et étiré automatiquement			Procédé par recuit		
		R (Kg/mm ²)	HRB	R.A. (%)	R (Kg/mm ²)	HRB	R.A. Min.
1108	3,43-4,43	69	94	45	40	67	55
	4,60-6,44	57	83	45	39	65	55
1110	3,43-4,43	68	94	45	40	67	55
	4,60-6,44	57	83	45	39	65	55

Composition Chimique pour Vis à Têteaux, boulons, rondelles.

Matière et traitement	C %		P %	S %	Ø
	Min.	Max.	Max.	Max.	
Acier à bas ou moyen carbone	-	0,28	0,048	0,050	6,43

Norme AFNOR: NF. E27-005 Octobre 1956

Catégorie	Aciers				Caractéristiques					
	non alliés		alliés		(kg/mm ²)		N	HB		Nbre NF
	Nuance	Etat	Nuance	Etat	Min.	Max.		Min.	Max.	
Vis à bois	ADX	non défini	-	-	33	50		95	143	A35.003

Pour ne pas aborder directement la partie expérimentale de l'étude, il serait bon de rappeler le problème d'une façon plus détaillée, (causes et origines éventuelles), afin de justifier la succession ordonnée des essais entrepris.

Position du problème.

Il y a, souvent, écrasement de la tête du rivet au filage quand le fil d'acier employé est de 3mm de diamètre.

Trois cas peuvent se poser pour les rouleaux de fil de trois diamètre.

-le rivet est bien fait, il n'y a pas d'écrasement de la tête: le rouleau répond de façon satisfaisante au besoin de la fabrication.

-aucun rivet n'est réussi, toutes les têtes sont écrasées: le rouleau est totalement défectueux.

-le rouleau présente des zones satisfaisantes et des zones défectueuses, on l'appellera rouleau à zones.

Quoique assez rare, le même problème peut se poser pour les fils de diamètre supérieur.

Origines éventuelles du problème et essais à entreprendre en conséquences:

-les conditions de filage ne sont pas respectées pour deux rouleaux de fil de même nature et de même section. Dans ce cas on doit revoir le réglage de la machine et le système de lubrification.

-la matière employée n'a pas les caractéristiques mécaniques et chimiques imposées par les normes internationales.

.s'il ya défaut des caractéristiques mécaniques, on tentera de les améliorer par traitement thermique.

.si les caractéristiques chimiques ne répondent pas aux normes, deux origines peuvent être supposées:

-les conditions d'affinage n'ont pas été convenablement respectées, il reste donc des impuretés qui nuiront au bon emploi industriel du métal.

-la possibilité de diffusion chimique, lors du tréfilage à chaud, ce qui favoriserait, ainsi, l'hétérogénéité de certaines parties du fil et pourrait nous expliquer le phénomène du rouleau à zones.

S'il ya défaut des caractéristiques chimiques, nous envisageons pour toute éventualité, les deux cas précités, lors des essais entrepris, et nous effectuerons chaque fois une analyse chimique et une analyse métallographique dans le but de recueillir le plus de renseignements possibles sur les origines du défaut constaté.

3 - PARTIE EXPERIMENTALE.

Pour le prélèvement et dimensions des échantillons, l'énumération et la technique des essais, nous avons essayé de nous rapprocher dans la plupart des cas de la méthode d'essais conseillée par les normes AFNOR.

Ceci dans le but de faire une comparaison des résultats de nos essais avec ceux donnés par les normes AFNOR et autres et de tirer le plus efficacement possible des conclusions sur les solutions à apporter au problème.

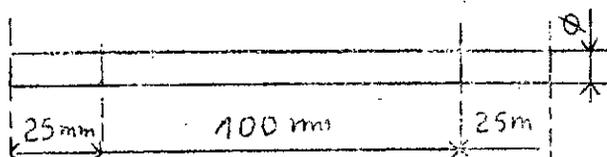
3-1 - Essais mécaniques.

Les essais mécaniques ont pour but de déterminer un certain nombre de caractéristiques des métaux et alliages : aptitude à la déformation par traction ou compression, résistance à la pénétration d'une pièce dure soumise à effort constant (dureté), résistance du métal au choc (résilience) etc...

Les résultats obtenus dans ces différents essais qui mettent en oeuvre des techniques particulières sont en relation directe avec la structure du métal et permettent de prévoir son comportement dans les conditions réelles de l'utilisation.

3-1-1. Essais de traction.

Notons d'abord que les essais effectués ne sont pas normalisés car les dimensions du fil employé ne sont pas compatibles avec la géométrie des éprouvettes de traction normalisées.



25 mm: Partie à fixer dans les mâchoires de tractions.

100 mm: Partie utile de l'éprouvette, doit subir la déformation pendant l'essai mécanique.

La machine de traction utilisée est une presse hydraulique : MOHR FEDERHAFFAG. enregistreur.

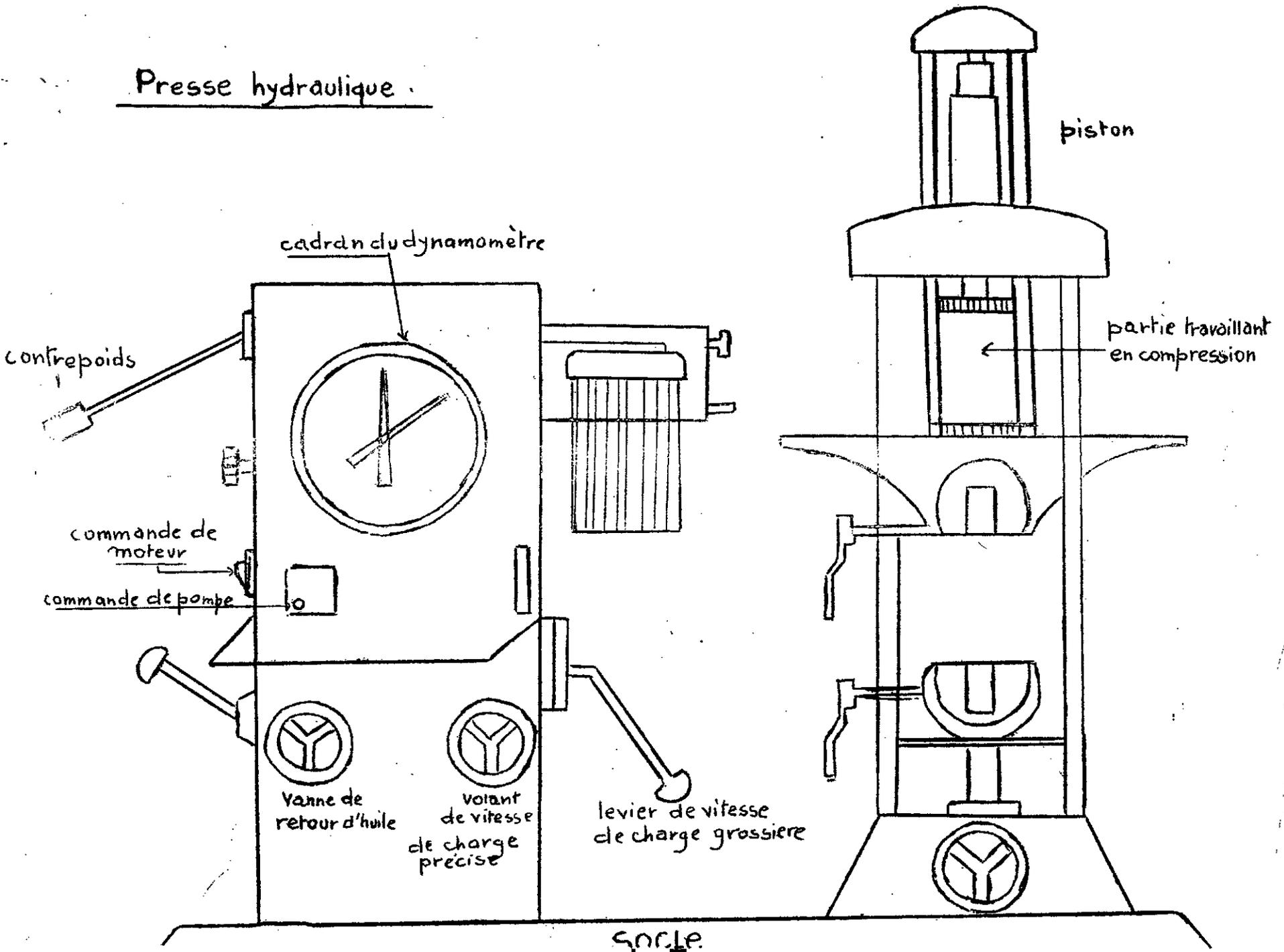
Le principe de la machine est très simple, une pompe à huile commandée par l'opérateur à l'aide d'une vanne mécanique actionne un vérin qui, s'appuyant sur la partie fixe de la machine fait monter un plateau mobile. (Voir schéma de la presse hydraulique). La machine utilisée dispose de trois échelles de forces et il faudra choisir l'échelle en fonction des dimensions et nature de l'éprouvette à casser pour avoir une bonne précision.

Le changement d'échelle est très simple : il suffit d'ajouter ou de retrancher des poids A, B, et C sur le bas de levier de la machine.

ECHELLES	Poids	CHARGE MAXIMALE (Kg)
1	A	500
2	A+B	1000
3	A+B+C	5000

L'inconvénient d'une telle machine: Avec ce type de machine, on impose une vitesse de montée en charge ; celle-ci est fonction de l'ouverture de la vanne et ne peut donc être déterminée.

Presse hydraulique



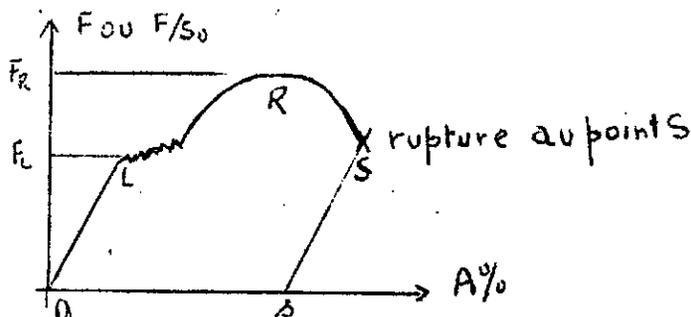
On enregistre la déformation de l'éprouvette résultant de cette force imposée par un système à tambour entraîné mécaniquement par une cordelette. Ce système, aussi, est très imprécis : une seule gamme d'amplification.

Une machine à déformation imposée (vitesse de déformation de l'éprouvette connue) aurait été plus apte pour notre étude.

L'enregistrement effort-déformation sur de telles machines se fait par l'intermédiaire d'un potentiomètre enregistreur : la vitesse du papier est proportionnel à la vitesse de traction et une jauge piezoelectrique lui envoie un signal proportionnel à la force à une déformation donnée.

Avant d'exposer nos résultats expérimentaux sur l'essai de traction, il serait utile d'expliquer l'intérêt de la théorie de celui-ci.

Les courbes de traction conventionnelles permettent de définir un certain nombre de caractéristiques mécaniques du métal.



- Limite élastique (σ_E) Elle est définie par la valeur de l'effort rapporté à l'unité de sa section de l'éprouvette à partir de laquelle la loi de HOOKE, proportionnalité entre l'effort et la déformation, n'est plus satisfaite.

$$\sigma_E = \frac{F_L}{S_0}$$

La pente de la droite OL caractérise les propriétés élastiques. Au delà du point L, l'effort n'est plus proportionnel à l'allongement, l'éprouvette se déforme plastiquement.

- Résistance à la traction (R)

Elle est définie par l'effort correspondant au point R, rapporté à l'unité de section de l'éprouvette :

$$R = \frac{F_R}{S_0}$$

- Allongement à la rupture (A%)

Il est mesuré par l'abscisse du point s, intersection avec l'axe des abscisses de la parallèle à LO menée à partir de S (fig.380). Il donne une valeur de l'aptitude du métal à la déformation plastique.

Si l_0 est la longueur initiale entre repère de l'éprouvette, l_s la longueur entre repères de l'éprouvette au moment de la rupture :

$$A \% = \frac{l_s - l_0}{l_0} \times 100.$$

- Coefficient de striction:

Il mesure comme l'allongement à la rupture, l'aptitude du métal à la déformation plastique. Si S_0 est la section de l'éprouvette et S_s sa section à la rupture le coefficient de striction est défini par:

$$Z = \frac{S_0 - S_s}{S_s} \times 100$$

Résultats pratiques obtenus :

Les essais de traction ont été effectués sur quatre types d'acier :

- Acier Mu7 provenant d'Allemagne (diamètre 3,89 mm)
- Acier B4 provenant de Belgique (diamètre 3,88 mm)
- Acier B3 provenant de Belgique (diamètre 2,88 mm)
- Acier T0 provenant d'Italie (diamètre 2,91 mm)

Il est à noter que les aciers Mu7 et T0 ne sont plus employés à l'usine car ils n'ont pas donné de résultats satisfaisants en fabrication. Les essais dont ils ont fait l'objet n'ont été effectués qu'à titre comparatif.

Les courbes de traction N°: 1 et 2 page () des aciers bruts B3 et B4 présentent une allure identique, on remarque cependant un allongement réparti un peu plus important pour le B3

Les résultats des essais de traction consignés au tableau N°: 3 , page () sur les aciers bruts de tréfilage nous montre que la résistance à la rupture reste dans la limite exigée par les normes AFNOR ($33-50 \text{ kg/mm}^2$), alors que l'allongement est faible (8 % au lieu de 20 %).

On peut donc conclure que les aciers manquent de plasticité, d'où la nécessité d'un recuit pour améliorer l'allongement.

3.1.2. Essai de dureté:

La dureté d'un métal est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un autre corps plus dur que lui. Pour des conditions expérimentales données, la dureté d'un métal est d'autant plus grande que la pénétration du corps est plus faible.

Dans des essais de dureté on exerce sur le poinçon une force constante pendant un temps donné.

Plusieurs types d'essais sont couramment utilisés; leur principe est le même, ils ne diffèrent que par la forme du pénétrateur utilisé: nous avons utilisé l'essai VICKERS.

Le pénétrateur est une pyramide en diamant à base carrée dont l'angle au sommet est de 136° ; il détermine dans le métal une empreinte pyramidale de surface latérale S .

La dureté VICKERS est définie par le rapport:

$$H_v = \frac{P}{S}$$

P est exprimé en kg force.

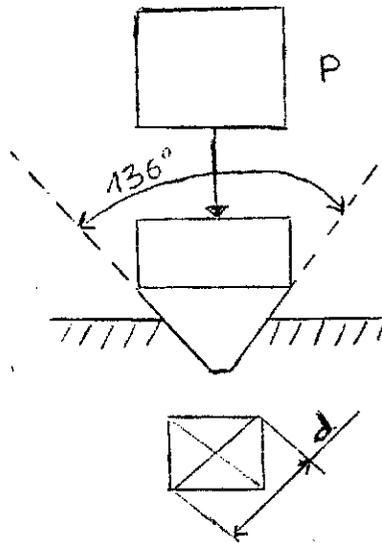
La surface latérale S de l'empreinte peut s'exprimer en fonction de la diagonale d du carré de base de l'empreinte pyramidale lorsque l'on a supprimé la charge.

$$S = \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ}$$

d'où

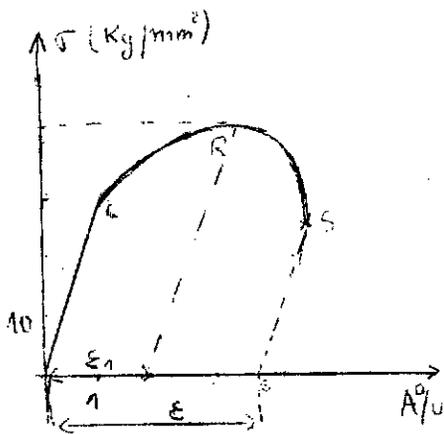
$$H_v = \frac{2 \cdot P \cdot \sin 68^\circ}{d^2} = 1,8544 \times \frac{P}{d^2}$$

La charge est en général comprise entre 5 et 120 kgr

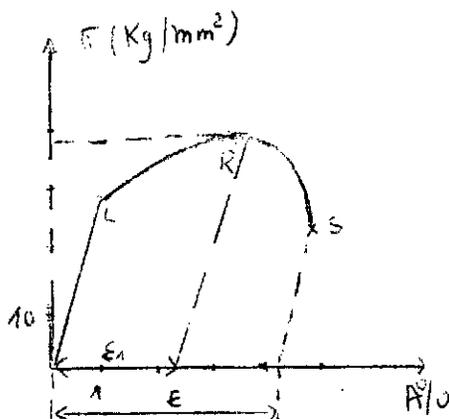


ESSAI DE TRACTION

Acier à vis, brut de tréfilage.
Nuance belge



- Eprovette N°1 :
 - $\phi = 3,88 \text{ mm}$
 - $L_0 = 100 \text{ mm}$
 - $\sigma_L = 31,5 \text{ Kg/mm}^2$
 - $\sigma_R = 43 \text{ Kg/mm}^2$
 - $A\% = 4,5$
 - $Z\% = 70$
 - $\sigma_R - \sigma_L = \text{consolidation} = 12\%$



- Eprovette N°2
 - $\phi = 2,88 \text{ mm}$
 - $L_0 = 100 \text{ mm}$
 - $\sigma_L = 28 \text{ Kg/mm}^2$
 - $\sigma_R = 41 \text{ Kg/mm}^2$
 - $A\% = 4,6$
 - $Z\% = 70$
 - $\sigma_R - \sigma_L = 13\%$

Remarque :

- L'allure des courbes N°1 et 2 est identique.
 - L'allongement réparti (ϵ_1) est un peu plus important pour l'éprouvette N°2.
 - La reproductibilité de l'essai est vérifiée.
 - La consolidation est faible (12%) : Aciers fragiles
- Essai de dureté
- HV50 : 144 points Vickers

Tableau des Essais Mécaniques de Traction et de Dureté

Aciers bruts.

Tableau N° 3

Aciers	A%	Fr (Kg)	ϕ_0, ϕ_f (mm)	S_0, S_f (mm ²)	Z %	σ_r (daN/mm ²)	Hv ₅ P. Vickers
Mu7	1	532					
	2	529	3,89	11,87	80	45	146
	m	530,5	1,72	2,32			
B4	1	492	3,88	11,81			
	2	496	1,64	2,11	82	43	150
	m	492					
B3	1	245	2,85	6,37			
	2	247	1,26	1,24	81	41	125
	M	246					
T0	1	330	2,87	6,46			
	2	330	1,30	1,32	80	52	175
	m	330					

A%: Allongement = $\frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$

F_r = Force de traction à la rupture

ϕ_0 et ϕ_f = Diamètre initial du fil et diamètre après rupture.

S₀ et S_f = Section initiale // et section //

Z% = STRICTION = $\frac{S_0 - S_f}{S_0} \times 100$

Hv₅: Dureté en Points Vickers ; m = Moyenne des essais

Etude comparative sur l'essai de traction
Aciers belges, $\phi = 3,5 \text{ mm}$

TABLERAU N° 4.

Aciers	A%	$Z \frac{S_0 - S_2}{S_0} \times 100$	$\sigma_R \text{ (Kg/mm}^2\text{)}$
B: 3,5 (100%)	6	80	45
B: 3,5 (0%)	4	80	37

NOTATION : B_{3,5} (100%) représente le fil de 3,5 mm qui passe entièrement dans la filière; le rivet est réussi.
B_{3,5} (0%) représente le fil défectueux; le rivet a une tête écrasée et pratiquement pas de partie filee au roulage.

Remarque :

l'allongement bien que faible est pratiquement le même pour les deux aciers, par ^{contre} la charge à la rupture de B_{3,5} (0%) est nettement plus faible que celle de B_{3,5} (100%), on peut déduire le manque de résistance à la déformation de B_{3,5} (0%).

Résultats obtenus:

Les résultats de dureté, notés au tableau N°: 3 page (29), sont les moyennes de plusieurs mesures effectuées en des points suffisamment distants pour ne pas être influencés par l'écroûissage dû à la pénétration du poinçon.

Les résultats obtenus sont conformes à ceux donnés par les normes AFNOR et autres.

Pour l'étude de la structure des aciers nous avons été amené à faire deux essais de métallographie :

- un essai de microdureté
- un essai de micrographie

3.1.2. Microdureté:

Il est possible de faire des mesures de dureté sous de très faibles charges, au microscope métallographique. Elles permettent une étude très localisée de la surface du métal, par exemple, un grain de quelques dizaines de microns de diamètre.

Après avoir amené au centre du champ du microscope, le point de la surface de l'échantillon choisi pour l'essai, on substitue à l'objectif une pièce supportant le pénétrateur, l'axe de la pyramide étant confondu avec l'axe optique du microscope.

La charge est appliquée pendant environ quinze secondes, elle est ensuite éliminée et l'objectif substitué au porte pénétrateur.

Il est alors possible de mesurer la longueur de la diagonale du carré de base de l'empreinte pyramidale faite sur le métal.

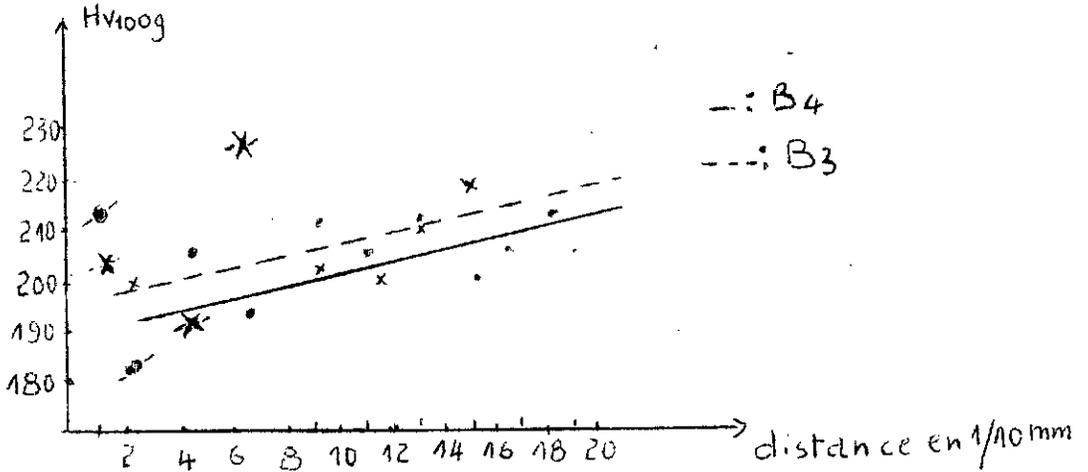
Résultats de la microdureté:

Les mesures sont effectuées dans le sens transversal de la partie étranglée des rivets obtenus à partir de B4 et B3.

Distance du bord externe A en 1/10 de mm	1	2	4	6	9	11	13	15	17	19	20
Hv100g Rivet B4	213	181	206	193	213	206	213	199	206	213	206: centre de B4
Hv100g Rivet B3	206	199	193	228	200	199	213	220: centre de B3			

D'après le tableau on remarque :

- B3 et B4 ont des duretés voisines
- la dureté est un peu plus élevée à coeurs
- une dispersion des valeurs d'œ vraisemblablement au fait que certains points de dureté sont effectués sur des joints, d'autres au centre de grains



3.1.3. Micrographie:

L'étude micrographique des surfaces métalliques se fait par réflexion avec un microscope métallographique inversé.

Les surfaces à examiner doivent être polies, puis attaquées par un réactif approprié. Pour les aciers les réactifs les plus courants sont :

- NITAL $\left\{ \begin{array}{l} \text{HNO}_3 \quad 1 \text{ à } 5 \text{ cm}^3 \\ \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \quad 100 \text{ cm}^3 \end{array} \right.$
- PICRAL (solution d'acide picrique dans l'alcool)

L'examen se fait en lumière naturel ou en lumière polarisée dans le cas des substances anisotropes (exemple: métaux hexagonaux).

Polissage mécanique:

Les échantillons sont passés successivement sur différents papiers abrasifs, dont le grain est de plus en plus petit N°: 220, 320, 400, 600.

Le polissage se fait sur l'eau courante, l'échantillon étant fixe et le papier entraîné par un plateau en rotation.

Polissage à la poudre de diamant:

On termine le polissage mécanique en frottant l'échantillon sur un disque tournant dans un plan horizontal.

Sur le disque est fixé un drap de soie sur lequel on dépose une petite quantité d'une pâte contenant la poudre de diamant.

On utilise successivement , sur les disques différents , des poudres dont la dimension moyenne est de 7μ ou 1μ .

Il est indispensable de bien nettoyer l'échantillon entre les différents stades de polissage (sous eau courante , lubrifiant spécial , nettoyage ultrason) de façon à éliminer les particules solides retenues par le métal surtout lorsque il présente des porosités ou des fissures .

Résultats de la micrographie :

L'observation micrographique met en évidence :

- Une grosseur de grains 96 11 selon la norme AFNOR .

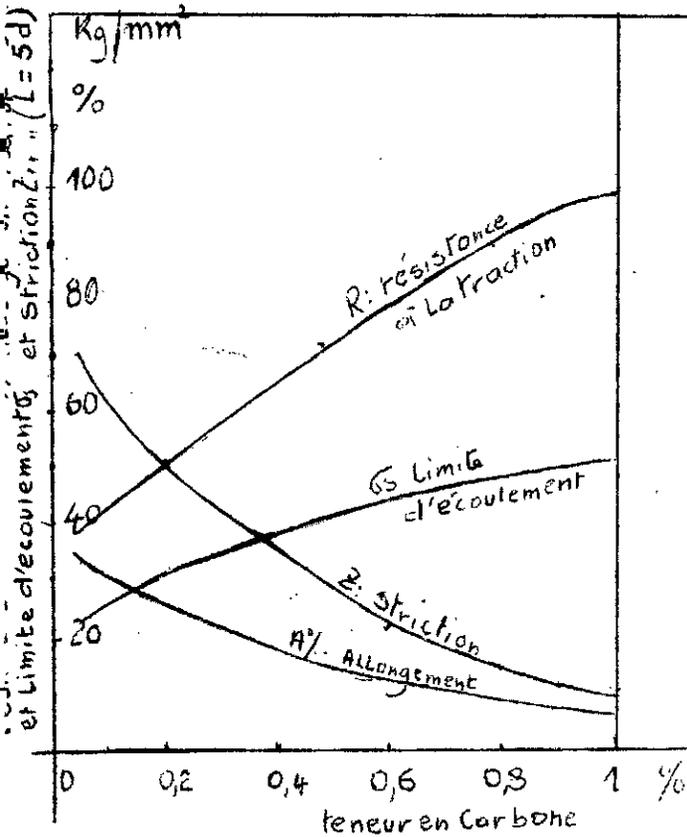
- Une très légère orientation préférentielle des grains dans le sens du fil .

Ces grains ont vraisemblablement recristallisé (géométrie des grains identique) lors d'un autorecuit intervenu au cours de la fabrication .

- Une absence de carbone (teneur inférieure à 0,1 %) ; par contre la teneur en ferrite est très importante .

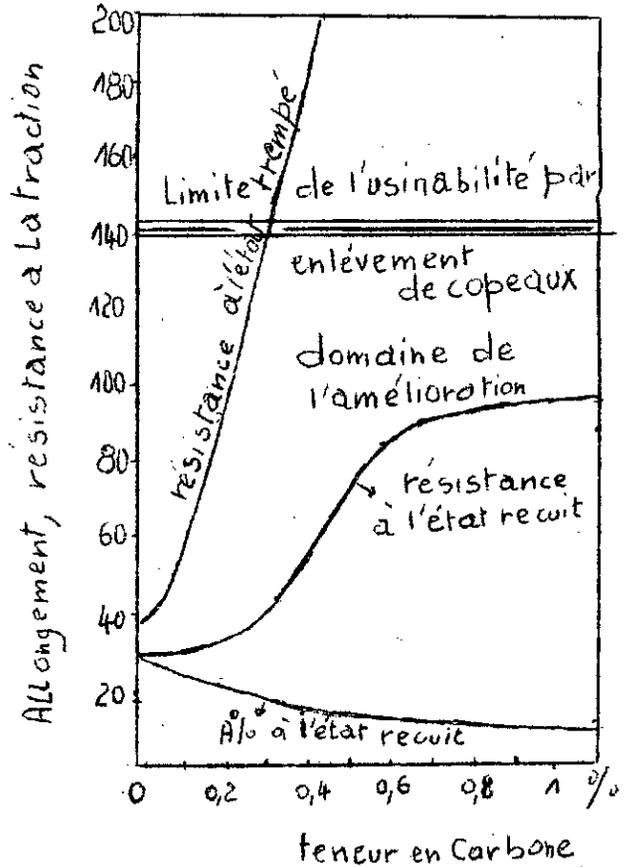
3-2 - ANALYSE CHIMIQUE

- Les aciers utilisés pour la fabrication de la vis à bois sont des aciers au carbone pas ou peu alliés communément appelés acier de construction.
- La norme française AFNOR leur attribue l'appellation : A 35.003 cependant, la mance et l'état de ces aciers ne sont pas bien définis ; c'est pour cela que sauf stipulations contraires, le fournisseur peut indifféremment livrer l'un ou l'autre des acier ADX, A 42.3C.
- Ces aciers s'obtiennent généralement par les procédés Martin, Besmer, ou au convertiseur avec soufflage d'oxygène par le haut. Outre le fer et le carbone qui en sont les éléments essentiels, ces aciers, pour ce mode de fabrication renferment principalement du silicium, du manganèse, du soufre et du phosphore. Il est intéressant d'examiner l'influence des divers corps contenus dans l'acier sur ces propriétés usuelles.
- Le carbone existe dans l'acier recuit à l'état de solution dans la ferrite et surtout sous forme de carbures de fer et de manganèse. Ces carbures, associées intimement à la ferrite constituent la perlite.
- Le carbone est l'élément qui exerce l'influence la plus considérable sur les propriétés du fer, alors que les aciers à même teneur en carbone, mais dont la teneur en manganèse ou en silicium varie de 0,1 à 0,5% ne présentent guère de différence deux aciers à 0,1 et 0,5 de carbone ont des propriétés mécanique nettement différentes .
- Les caractéristiques de résistance (durété H, limite élastique E, résistance à la traction R) croissent avec la teneur en carbone, tandis que les caractéristiques de ductilité (allongement à la traction, striction limite écoulement) décroissent. (voir fig. ci dessous)



Propriétés mécaniques des aciers
du carbone laminés

(Voir N° 12 page 1174)



Variation des propriétés mécaniques
de l'acier au carbone avec le
traitement thermique

- Le silicium: Il existe à l'état de solution dans la ferrite, sa teneur varie généralement entre 0,05 % et 0,3%, S'il n'a pas d'influence sensible sur les propriétés de l'acier il le rend toutefois plus homogène à la coulée en s'opposant grâce à son grand pouvoir à la formation de soufflures. La présence de silicium à teneur élevée est donc la **garantie** d'une désoxydation. Par contre, la forgeabilité et la soudabilité décroissent lorsque la teneur en silicium augmente.
- Le Phosphore: Il existe en solution dans la ferrite. A trop haute teneur (au dessus de 0,07%), il provoque le grossissement des grains, en qui augmente la fragilité (rupture à froid). Par ailleurs, se ségrégeant facilement, il contribue beaucoup à l'hétérogénéité de l'acier. On doit limiter sa teneur à 0,08% au maximum.

- Le soufre: Cet élément qui existe sous forme de sulfures de manganèse et de fer est nuisible car il diminue la forgeabilité de l'acier, surtout sous forme de MnS et au dessus de 0,04%. . froid, le soufre provoque également une diminution importante de la résistance.

Comme le phosphore il a une grande tendance à la ségrégation; donc la teneur limite en soufre doit être inférieure à 0,07%.

et en tout cas inférieure, à un quart (1/4) de la teneur en manganèse.

Cependant, on utilise parfois des aciers pour le décolletage riches en soufre (de 0,12 à 0,25%) pour que cet élément facilite l'usinage aux outils tranchants particulièrement pour l'acier doux.

Dans l'acier de décolletage, on élève en même temps sa teneur en phosphore .
(max. 0,10%)

- Résultat des Analyses Chimiques des Aciers B3 et B3,5

Echantillon	Mn	Si	P	S
B ₃ (100%) 0,45	0,1	0,07	0,12	
B ₃ (0%)	0,46	0,1	0,075	0,089
B _{3,5} (100%)	0,20	0,1	0,08	0,097
B _{3,5} (0%)	0,34	0,1	0,10	0,12

- Il est à noter que ces analyses quantitatives sont faites par simple dosage à la burette et les résultats obtenus sont peu précis (erreur à 0,02%)
- Il est difficile de faire en conséquence une étude comparative sur les aciers mais l'on peut toutefois remarquer la haute teneur du soufre (moyenne 0,10%) et du phosphore (0,8%) qui pourrait expliquer la facilité du travail des aciers par décolletage et sa difficulté par roulage à cause de la fragilité du métal qui en découle.
- On constate que même les aciers B3 (100%) et B3,5 (0%) qui donnent des résultats satisfaisants sur machine, à cause, certainement de leur charge de rupture plus grande que celle des aciers B3 (0%) et B3,5 (100%), se prêtent mal au roulage, car une fois la vis réalisée, la tête de celle-ci se détache souvent quand on la visse (tournevis) sur du bois.
- On pourrait expliquer les résultats satisfaisants sur machines des aciers B3 (100%) et B3,5 (100%) par le fait qu'il ont une charge de rupture à la traction, donc une résistance à la déformation plus grande que celle de B3 (0%) et B3,5 (0%) (voir tableau N°4 Page 30 Etude comparative du B3(100%) et du B3(0%).

Et l'analyse chimique du carbone aurait certainement pu nous confirmer cette thèse, mais faute de moyens, il nous est impossible de la faire à la SONAREM.

Il aurait fallu faire une analyse chimique au centre de Castaing où les résultats auraient été beaucoup plus concluants.

3-3 - Traitement Thermique par Recuit

- Nous avons procédé à des opérations de recuit à températures relativement basses dans le but d'éliminer les contraintes internes et d'adoucir la structure des aciers afin de la rendre favorable à la fabrication.

- Les températures de recuit choisies pour les essais de laboratoire sont 23°C, 400°C, 500°C, et 600°C.

Les temps de chauffe pour chaque température sont de 15 mn, 45 mn, 120 mn, 240 mn et 1000 mn.

- Technique Expérimentale.

- Nous avons utilisé pour nos essais de laboratoire, un four tubulaire à régulation pyrométrique de type "tout ou rien" ; les fluctuations sont environ de 5° à 10°C.

- Les échantillons sont placés dans l'enceinte sous vide secondaire où le vide peut descendre jusqu'à 10^{-5} mm Hg.

- Le vide est réalisé grâce à deux pompes :

- Pompe primaire à palettes ; le vide (10^{-1} - 10^{-2}) est contrôlé par jauge à décharge.

- Pompe secondaire : c'est une pompe à diffusion d'huile déclanchée quand le vide primaire est à 10^{-2} mm Hg.

La mesure du vide (allant jusqu'à 10^{-5} - 10^{-6} mm Hg) est réalisée par jauge à conisation.

- Les aciers bruts de tréfilage ayant un allongement nettement au dessous de celui exigé par les normes (6% au lieu de 20%), nous avons effectués en conséquence des recuits pour augmenter la plasticité des aciers sans toutefois trop diminuer leur dureté .

- Les valeurs expérimentales consignées aux tableaux N° 1, 2, ..., 8 pages 29, 40, .. 51, nous ont permis de tracer les courbes : $A_{\%} = f[\sigma(\theta), t]$ pages 52, 53, 54, 55

$\sigma_{R=h}[\sigma(\theta), t]$: pages 56, .. 59

$H_{R=g}[\sigma(\theta), t]$: pages 61, .. 64

Compte tenu des normes AFNOR et autres, nous avons fixé un seuil de dureté et et d'allongement:

- Allongement supérieur à 15 %
 - Dureté Rockwel (bille 100 kg) supérieure ou égale à 64.
 - Résistance à la rupture supérieure ou égale à 40 kg/mm²
- Les résultats des courbes ont montré qu'il fallait pour rester dans ces restrictions, faire un recuit à 450°C pendant 15 mn.
 - Nous avons alors compte tenu de ce résultat, procédé à un recuit sur four industriel à atmosphère contrôlée à la température 450°C pendant 20 mn; Les échantillons traités dans ce cas là sont des rouleaux d'environ 6 mètres pour permettre un contrôle ^{de} fabrication sur machines à l'usine.
 - Résultats sur machines à l'Usine.

Avant de passer les rouleaux sur les presses mécaniques, nous avons tout d'abord procédé à une vérification des trois paramètres $A_{\%}$, HRB, σ_R pour voir s'il y ' a pas eu changement après traitement sur four industriel. Les résultats consignés au tableau ci-dessous montrent qu'il y ' a pas eu de décarburation et que le seuil imposé est maintenu.

Essais mécaniques:
Aciers traités au four industriel : ~~450°~~ 450° - 20mm

Aciers	S (mm ²)	R = F/S (kg/mm ²)	A%
B4	11,81	41	15
B3 (0%)	6,37	40	15
T0	6,46	51	11
B3,5 (100%)	8,96	43	15
B3,5 (0%)	8,96	36	15
M67	11,87	45	15

- Les résultats sur presses à matrices fermées (roulage) ont été négatifs, c'est à dire que le problème des têtes écrasées se pose encore et cette fois à un degré un peu plus élevé à savoir que la tête écrasée s'arrache facilement par simple pression à la main.
- Ces résultats obtenus sur des aciers recuits et qui notons le, étaient déjà défectueux à l'état brut montrent qu'il faut tenir compte et de beaucoup de la résistance du fil ainsi que de la dureté car qu'il existe un seuil optimal de dureté et d'allongement qu'il faut en tout rigueur respecter. En dehors de ce seuil, le fil n'aura plus les conditions favorable au bon écoulement dans le filière et tous les défauts de filage peuvent alors en découler.

Tableau des Essais Mécaniques de Traction et de Dureté

Aciers Recuits à 230°C pendant 50 mn

Tableau n° 6

Aciers	A %	Fr (Kg)	ϕ_0, ϕ_f (mm)	S_0, S_f (mm ²) _f	Z %	σ_r daN/mm ²	Hv ₅ P.Vickers
Mu7	1 II	534	3,89	II,87			
	2 11	535	1,72	2,32	80	45	
	m 11	534,5					
B4	1 8,5	502	3,88	11,81			
	2 9,5	504	1,66	2,16	82	43	
	m 9	503					
B3	1 12	262	2,85	6,37			
	2 13	259	1,26	1,24	81	41	
	m 12,5	260					
T ₀	1 6	339					
	2 6	338	2,87	6,46	79	52	
	m 6	338,5	1,32	1,36			



ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET DURETE

ACIERS RECUITS A 230° C PENDANT 100 MINUTES

Tableau n° 7

ACIERS	A (%)	Fr (Kg)	ϕ_o, ϕ_f (mm)	SO, Sf (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 (P.Vickers)
Mu7	1	11	540	3,89	11,87	80	45
	2	11	535	1,74	2,37		
	m	11	537,5				
B4	1	10	500	3,88	11,81	82	43
	2	10	510	1,66	2,16		
	m	10	505				
B3	1	13	260	2,85	6,37	81	40
	2	12	255	1,26	1,24		
	m	12,5	255,5				
T0	1	7	340	2,87	6,46	79	52
	2	7	338	1,32	1,36		
	m	7	339				

TABLEAU DES ESSAIS MECANIQUES DE TRACTION

ET DURETE ACIERS RECUITS A 400° C PENDANT 15 MN

Tab: N°8

ACIERS	A %	Fr (Kg)	ϕ_s, ϕ_f (mm)	So, Sf (mm ²)	Z (%)	σ_r (daN/mm ²)	Hv5 (P. Vickers)
Mu7 m	1 13	534	3,89	11,87	80	45	
	2 13	535	1,76	2,43			
	m 13	534,5					
B4 m	1 14	488	3,88	11,81	80	41	
	2 14	488	1,72	2,32			
	m 14	488					
B3 m	1 13	269	2,85	6,37	78	42	
	2 13	269	1,35	1,43			
	m 13	269					
TO m	1 12	335	2,87	6,46	80	52	
	2 12	335	1,30	1,32			
	m 12	335					



SSAIS MECANIKES DE TRACTION ET DURETE

ACIERS RECUIES A 400° C PENDANT 120 MN

Tab: N° 9

ACIERS	A (%)	Fr (Kg)	ϕ_o, ϕ_f (mm)	S ₀ , S _f (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P.Vickers
Mo7	1	534	3,89	11,87	80	44	133
	2	530	1,74	2,37			
	m	532					
B4	1	470	3,88	11,81	82	40	130
	2	468	1,64	2,11			
	m	469					
B3	1	263	2,85	6,37	81	41	123
	2	255	1,24	1,20			
	m	259					
TO	1	329	2,87	6,46	78	51	160
	2	325	1,34	1,40			
	m	327					

TABLEAU DES ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET
DURETE : ACIERS RECUITS A 400° C PENDANT 1000 MN

Tab: N° 10

ACIERS	A %	Fr (Kg)	σ_0, σ_f (mm)	σ_0, σ_f (mm ²)	ϵ (%)	σ_r (daN/mm ²)	Hv5 P.Vickers
Mo7	1	17,8	512	3,89	11,87	80	43
	2	18	514	1,72	2,32		430
	3	18	512				
	m	18	512				
B4	1	16	456	3,88	11,81	82	
	2	16	458	1,64	2,11		428
	3	16	460				
	m	16	458				
B3	1	17,5	258	2,85	6,37	80	
	2	17,5	256	1,25	1,22		420
	3	17,5	253				
	m	17,5	255,5				
TO	1	14,5	314	2,87	6,46	80	
	2	14	317	1,30	1,32		450
	3	14	320				
	m	14	317				


**TABLEAU DES ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET DE
 DURETE ACIERS RECUITS A 500° C PENDANT 15 MN**

Tableau N° 11

ACIERS	A %	Fr (Kg)	ϕ_o, ϕ_f (mm)	SO, Sf (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P. Vickers
Mo7	1	492	3,89	11,87	80	42	150
	2	498	1,74	2,37			
	3	504					
	m	498					
B4	1	450		11,81	82	39	120
	2	454					
	3	450	3,88	2,06			
	m	451	1,62				
B3	1	256	2,85	6,37	82	41	123
	2	255	1,22	1,17			
	3	256					
	m	256					
T0	1	321	2,87	6,46	80	50	140
	2	321	1,30	1,32			
	3	318					
	m	321					

TABLEAU DES ESSAIS MECANIQUES DE TRACTION ET
 DURETE ACIERS RECUITS A 500° C PENDANT 45 MN

TAB: N° 12

ACIERS	A (%)	Fr (Kg)	ϕ_a, S_f (mm)	S_o, S_f (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P.Vickers
Mo7	1	19	502	3,89	11,87	80	42
	2	18,5	502	1,76	2,43		
	3	19	502				
	m	19	502				
B4	1	18	460	3,88	11,81	82	39
	2	18	460				
	3	18	460	1,64	2,11		
	m	18	460				
B3	1	17	262	2,85	6,37	81	41
	2	16,5	258	1,24	1,20		
	3	17	260				
	m	17	260				
T0	1	15	316	2,87	6,46	79	49
	2	15	317	1,32	1,36		
	3	15	316				
	m	15					


TABLEAU DES ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET DE DURETE ACIERS RECUITS A 500° C PENDANT 120 MN

TAB: N° 13

ACIER	S A (%)	Fr (kg)	σ_o, σ_f (mm)	σ_o, σ_f (mm ²)	$\bar{\epsilon}$ (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P. Vickers	
Mu7	1	20,5	490	3,89	11,87	80	41	425
	2	21	491	1,76	2,43			
	3	21	490					
	m	21	491					
B4	1	21,5	446	3,88	11,81	82	38	447
	2	22	448	1,64	2,11			
	3	22	452					
	m	22	448,5					
B3	1	17,5	248	2,85	6,37	80	39	418
	2	18	247	1,25	1,22			
	3	18	253					
	m	18	249					
TO	1	15,5	310	2,87	6,46	79	48	440
	2	16	312	1,32	1,36			
	3	16	311					
	m	16	311					



TABLEAU DES ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET DE

DURETE : ACIERS RECUITS A 500° C PENDANT 240 MN

TAB : N° 14

ACIERS	A %	Fr (Kg)	ϕ_o, ϕ_f (mm)	S_o, S_f (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P.Vickers	
Mu7	1	23	484	3,89	11,87	80	41	423
	2	22,5	481	1,76	2,43			
	3	23	492					
	m	23	486					
B4	1	19	440	3,88	11,81	82	37	420
	2	19,5	440	1,64	2,11			
	3	19,5	440					
	m	19,5						
B3	1	18,5	246	2,85	6,37	80	38	424
	2	18	242	1,25	1,22			
	3	18,5	242					
	m	18,5	243					
T0	1	14,5	304	2,87	6,46	80	47	430
	2	15	308	1,30	1,32			
	3	15	304					
	m	15	305					



TABLEAU DES ESSAIS MECANIQUES DE TRACTION ET

DURETE ACIERS RECUITS A 500° C PENDANT 1000 MN

TAB. N° 15

ACIERS	A (%)	Fr (Kg)	ϕ_o, ϕ_f (mm)	So, Sf (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P.Vickers	
Mu7	1	20,5	490	3,89	11,87	80	41	125
	2	21	490	1,76	2,43			
	3	21	484					
	m	21	490					
B4	1	21	438	3,88	11,81	82	37	120
	2	20,5	434	1,65	2,13			
	3	21	436	1,65				
	m	21	434					
B3	1	19	234	2,85	6,37	80	37	83
	2	19,5	236	1,25	1,22			
	3	19,5	236					
	m	19,5	236					
TO	1	18	300	2,87	6,46	80	46	153
	2	18	300	1,30	1,32			
	3	17,5	298					
	m	18	300					

**TABLEAU DES ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET DE
DURETE : ACIERS RECUITS A 600° C PENDANT 15 MN**

Tableau N° 16

ACIERS	A %	Fr (Kg)	ϕ_o, ϕ_f (mm)	So, Sf (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P. Vickers
Mu7	1 24	478	3,89	11,87		41	123
	2 25	485					
	3 25	485					
	m 25	483					
B4	1 20,5	398	3,88	11,81		34	107
	2 21	400					
	3 21	400					
	m 21	400					
B3	1 36	185	2,85	6,37		29	115
	2 36	182					
	3 36	184					
	m 36	184					
TO	1 15	251	2,87	6,46		46	143
	2 16	298					
	3 17	301					
	m 16	283					

**TABLEAU DES ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET DE
DURETE RECUITS A 600° C PENDANT 50 MINUTES**

TAB. N° 17

ACIERS	A (%)	Fr (Kg)	ϕ_o, ϕ_f (mm)	So, Sf (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 P.Vick
Mu7	1	24	470	3,89	11,87	40	118
	2	25	475				
	3	26	480				
	m	25	475				
B4	1	32,5	365	3,88	11,81	31	105
	2	33	366				
	3	33	366				
	m	33	366				
B3	1	38	183	2,85	6,37	29	110
	2	37,5	182,5				
	3	38	183				
	m	38	183				
T0	1	22	238	2,87	6,46	37	13
	2	22	238				
	3	21,5	238				
	m	22	238				



ESSAIS MECANQUES DE TRACTION ET DURETE

ACIERS RECUITS A 600° C PENDANT 120 MN

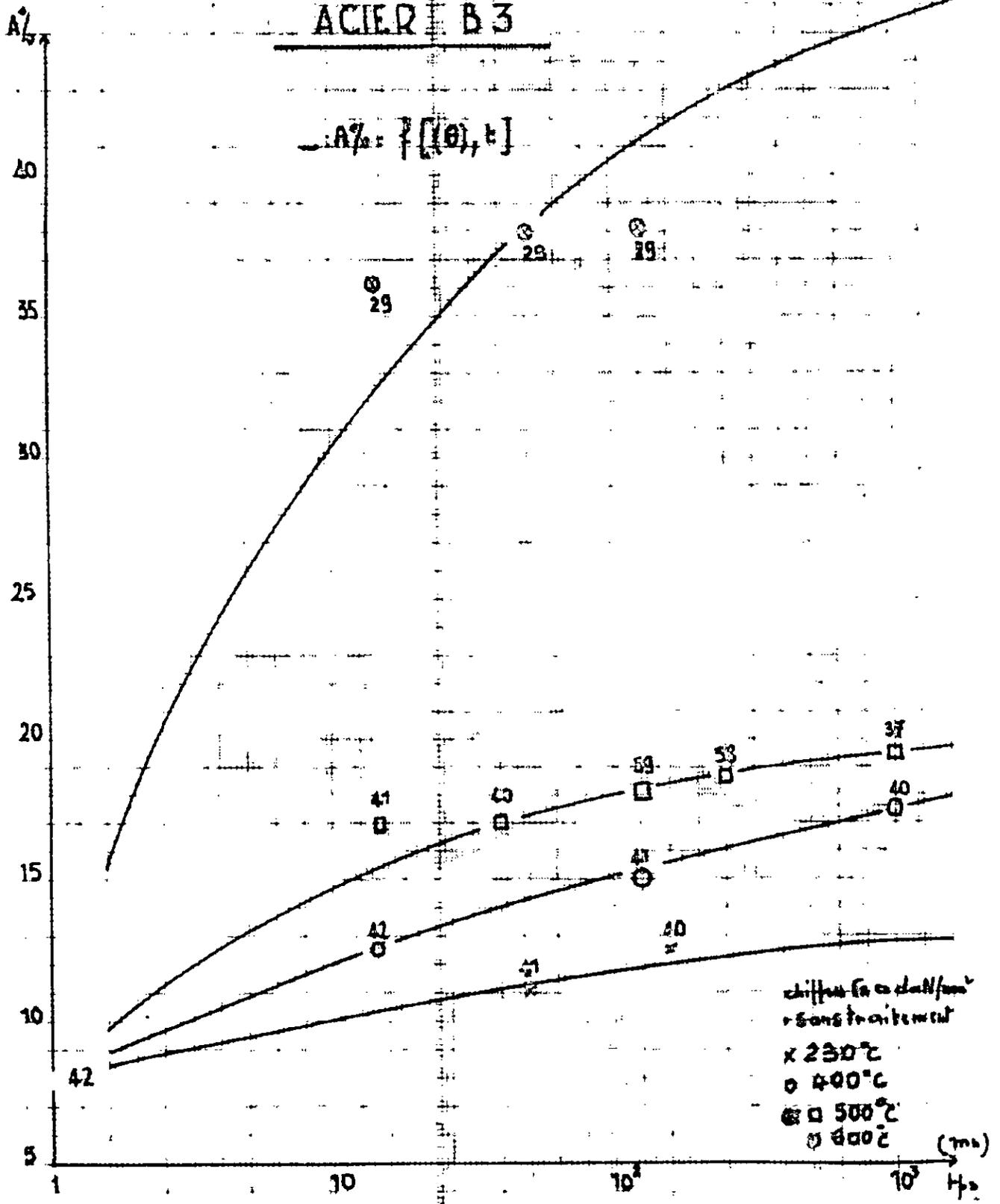
TAB. N° 18

ACIERS	A %	Fr (Kg)	ϕ_o, Sf (mm)	So, Sf (mm ²)	Z (%)	6r (daN/mm ²)	Hv5 (P.Vickers)
Mu7	1	28,5	412	3,89	11,87	35	440
	2	29	415				
	3	29	418				
	m	29	415				
B4	1	38	362	3,88	11,81	31	400
	2	38	365				
	3	37,5	367				
	m		365				
B3	1	36	181	2,85	6,37	29	405
	2	38	183				
	3	40	185				
	m	38	183				
TO	1	29,5	226	2,87	6,46	35	427
	2	30	226				
	3	30	226				
	m	30	226				

N. B. : L'essai mécanique de traction et dureté pour les aciers recuits à 600° C pendant 1000 mn n'a pas été réalisé à cause d'une panne du four sous vide.

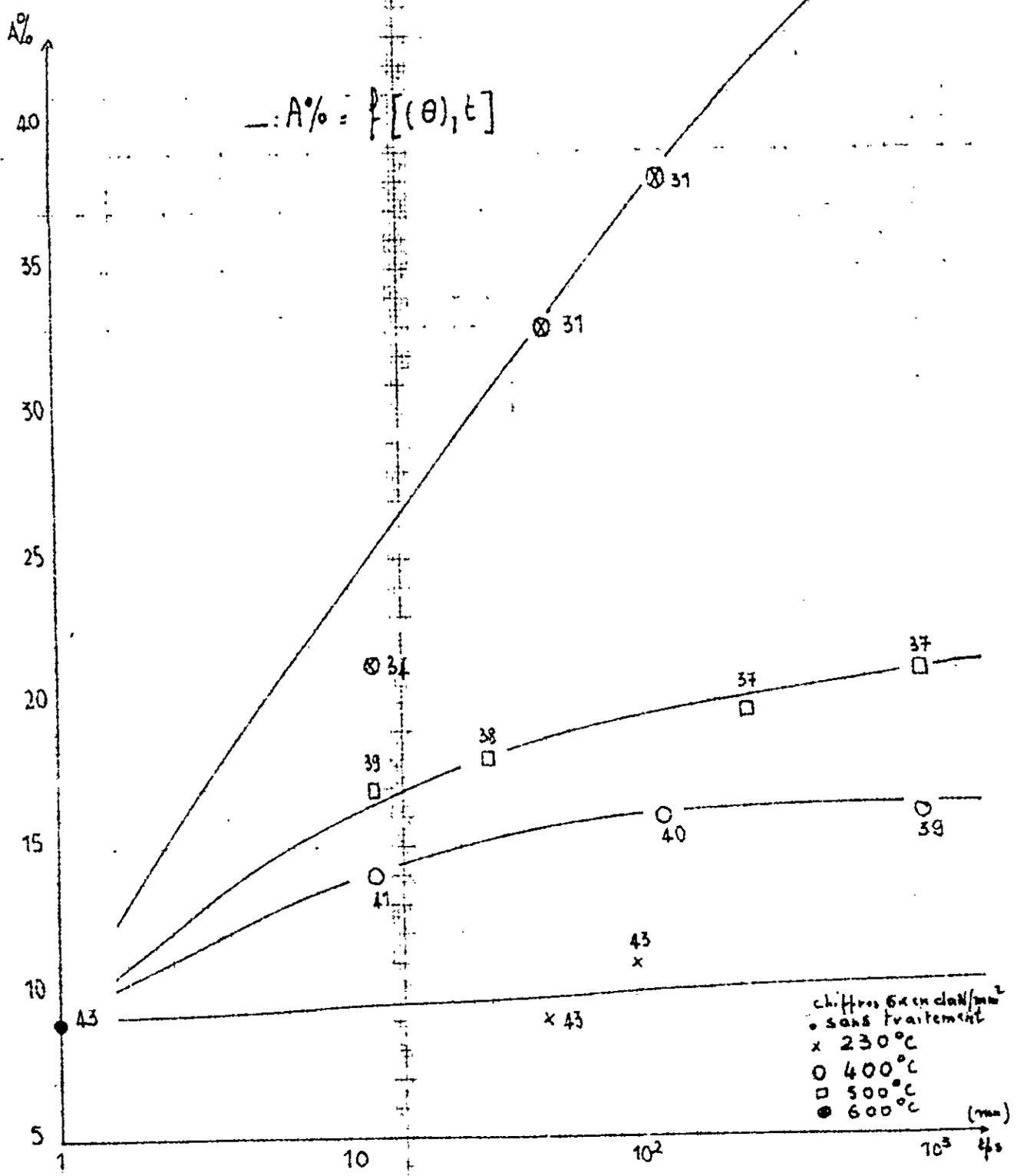
ACIER B 3

$$A\% = f(t, t)$$



ACIER B 4

$$A\% = f[(\theta), t]$$

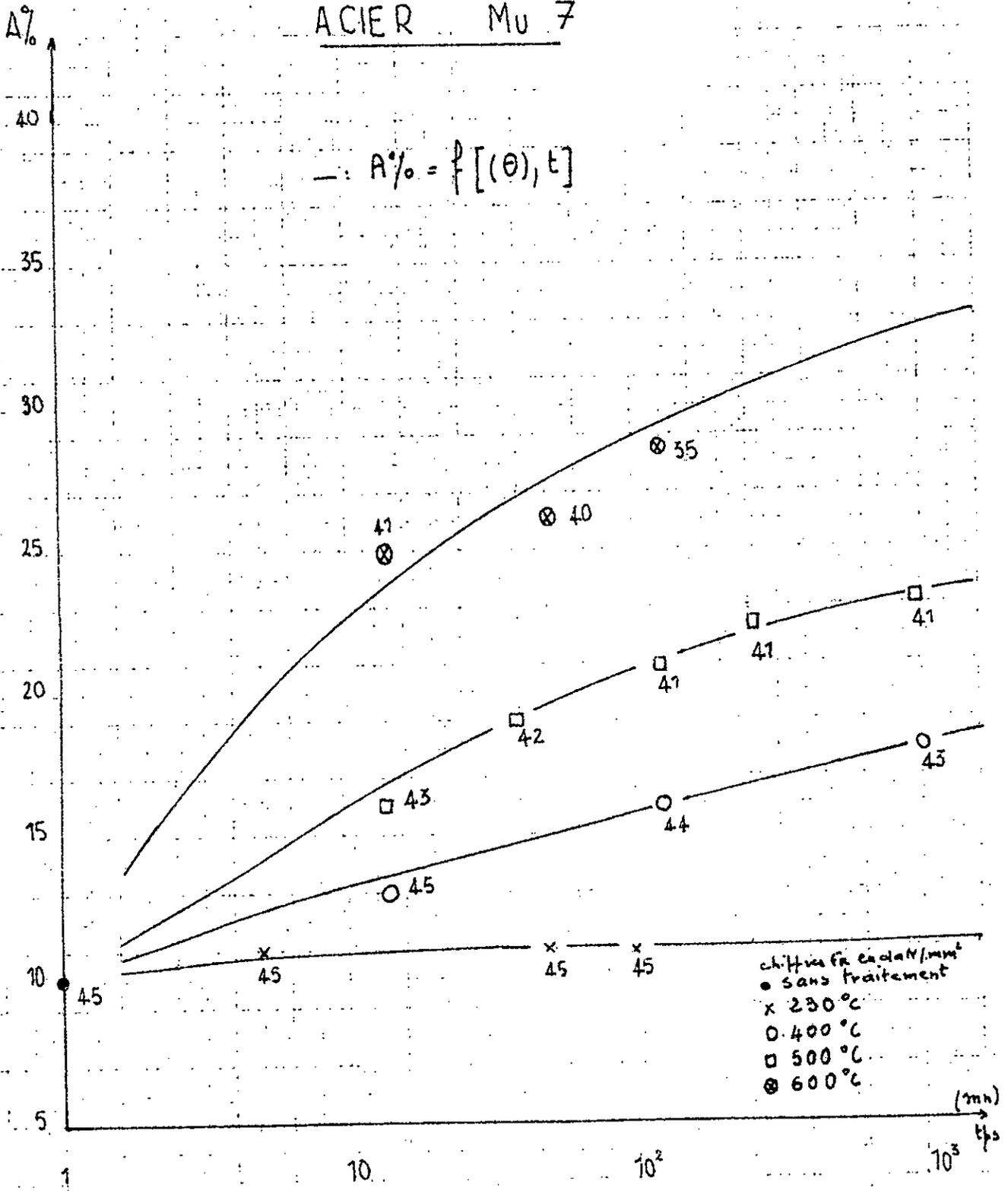


chiffres en daN/mm^2
 • sans traitement
 x 230°C
 ○ 400°C
 □ 500°C
 ● 600°C

ESSAI DE TRACTION

ACIER MU 7

$$A\% = f[(\theta), t]$$



ACIER 10

$A\% = f[(\theta), t]$

A%

35

30

25

20

15

10

5

1

2

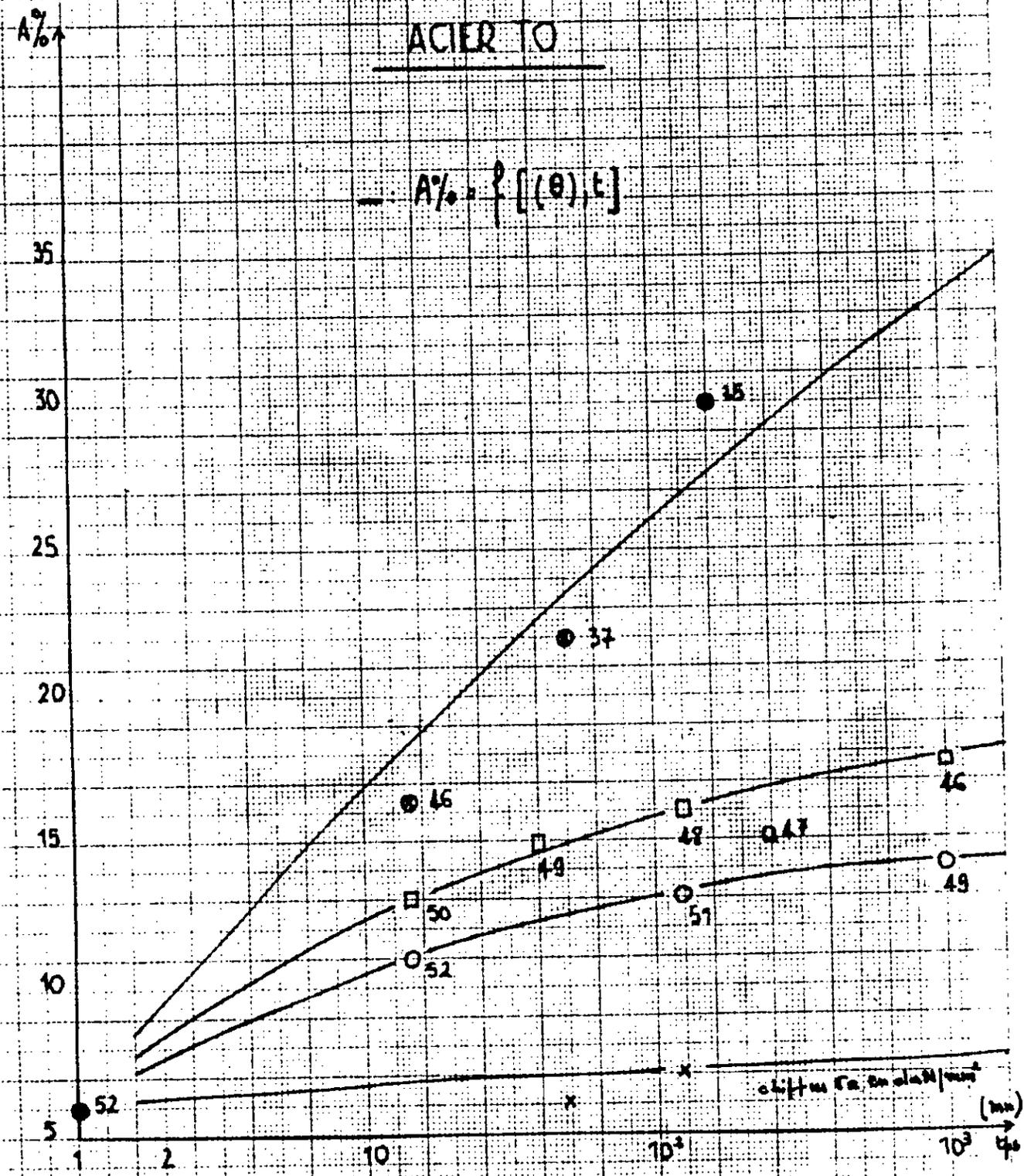
10

10²

10³

(min)
t₀

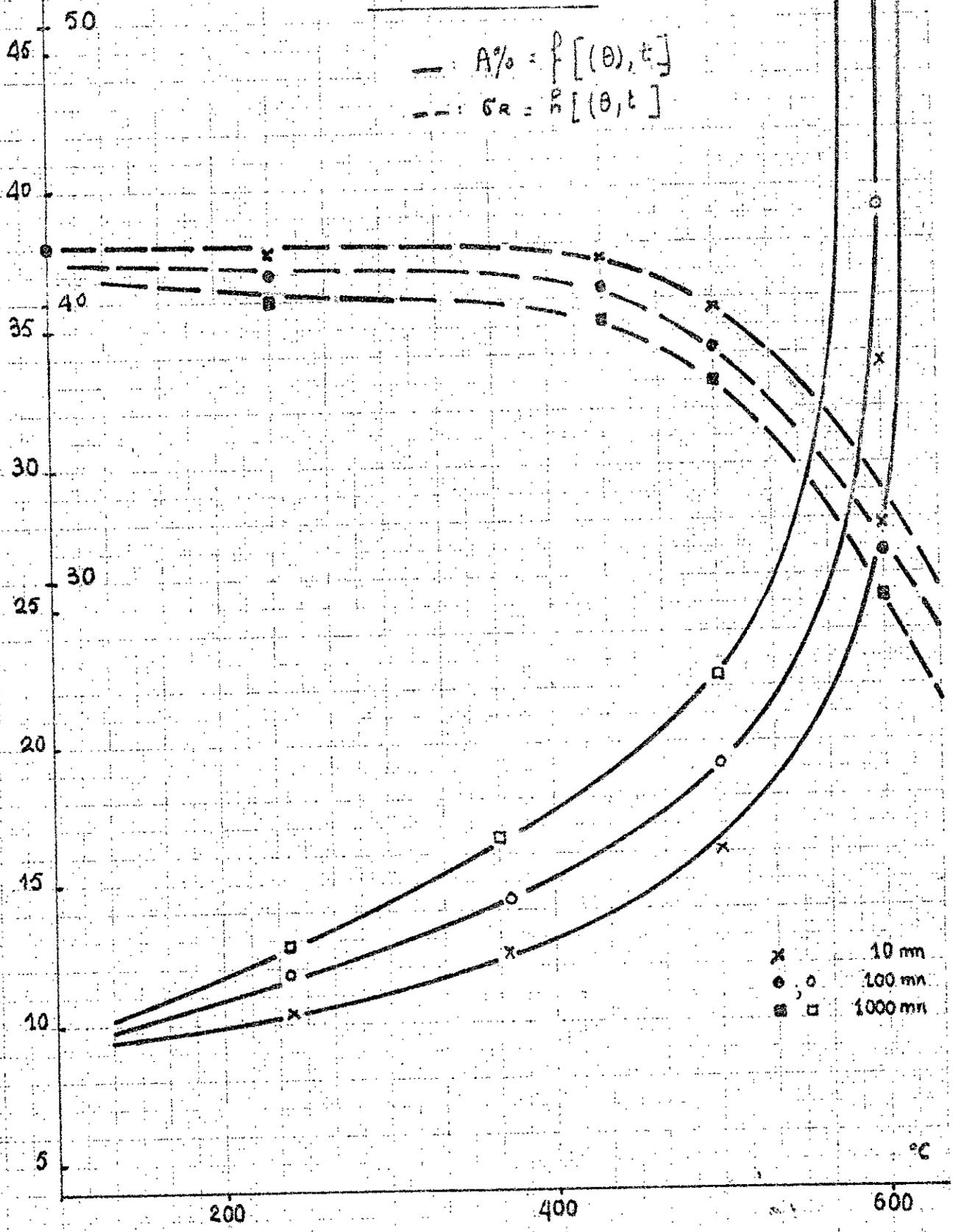
chiffre de diffusion



A (%) σ_R (daN/mm²)

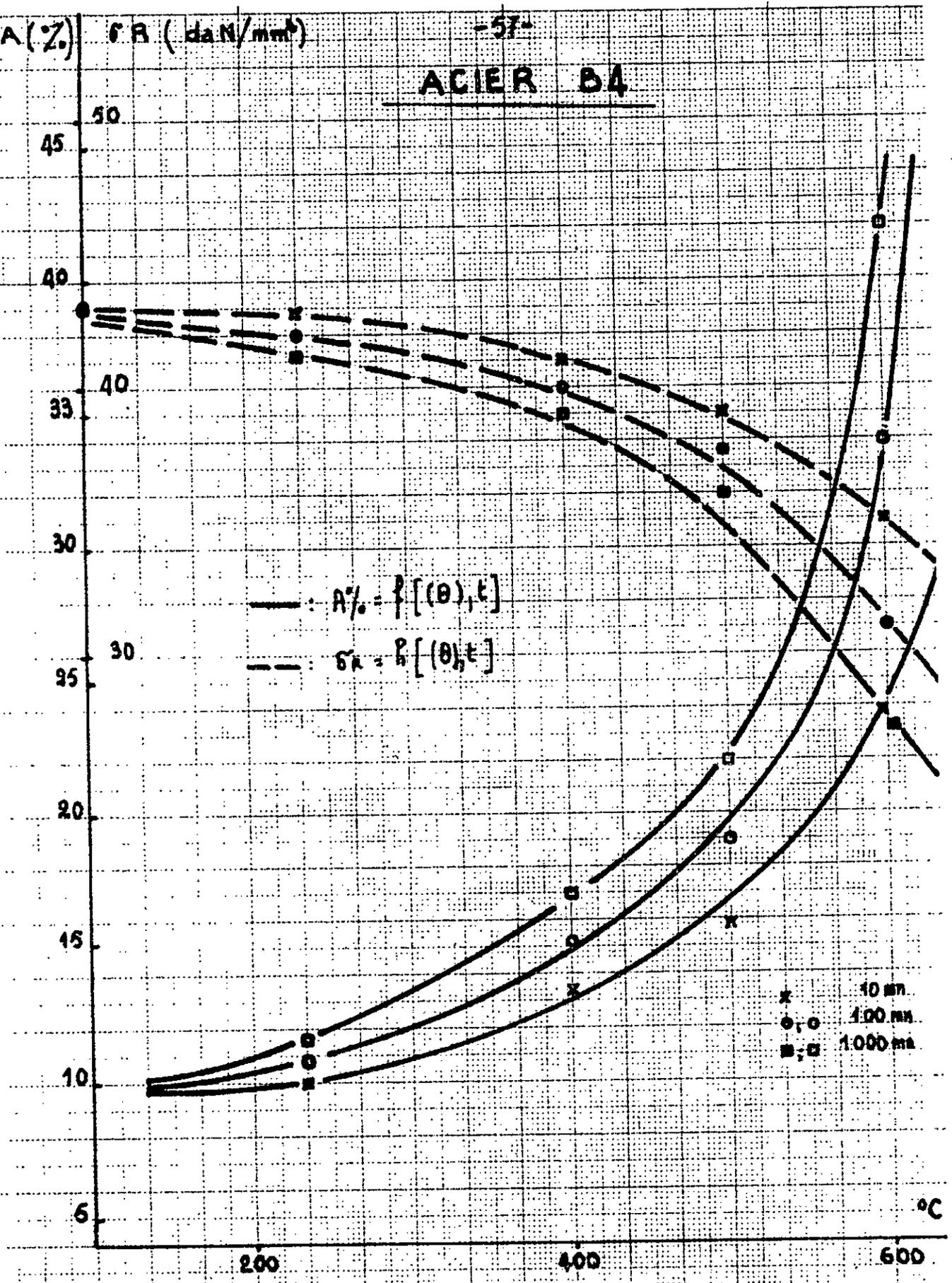
ACIER B3

— : $A\% = f[(\theta), t]$
- - : $\sigma_R = f[(\theta), t]$



x 10 mm
o 100 mm
□ 1000 mm

ACIER B4

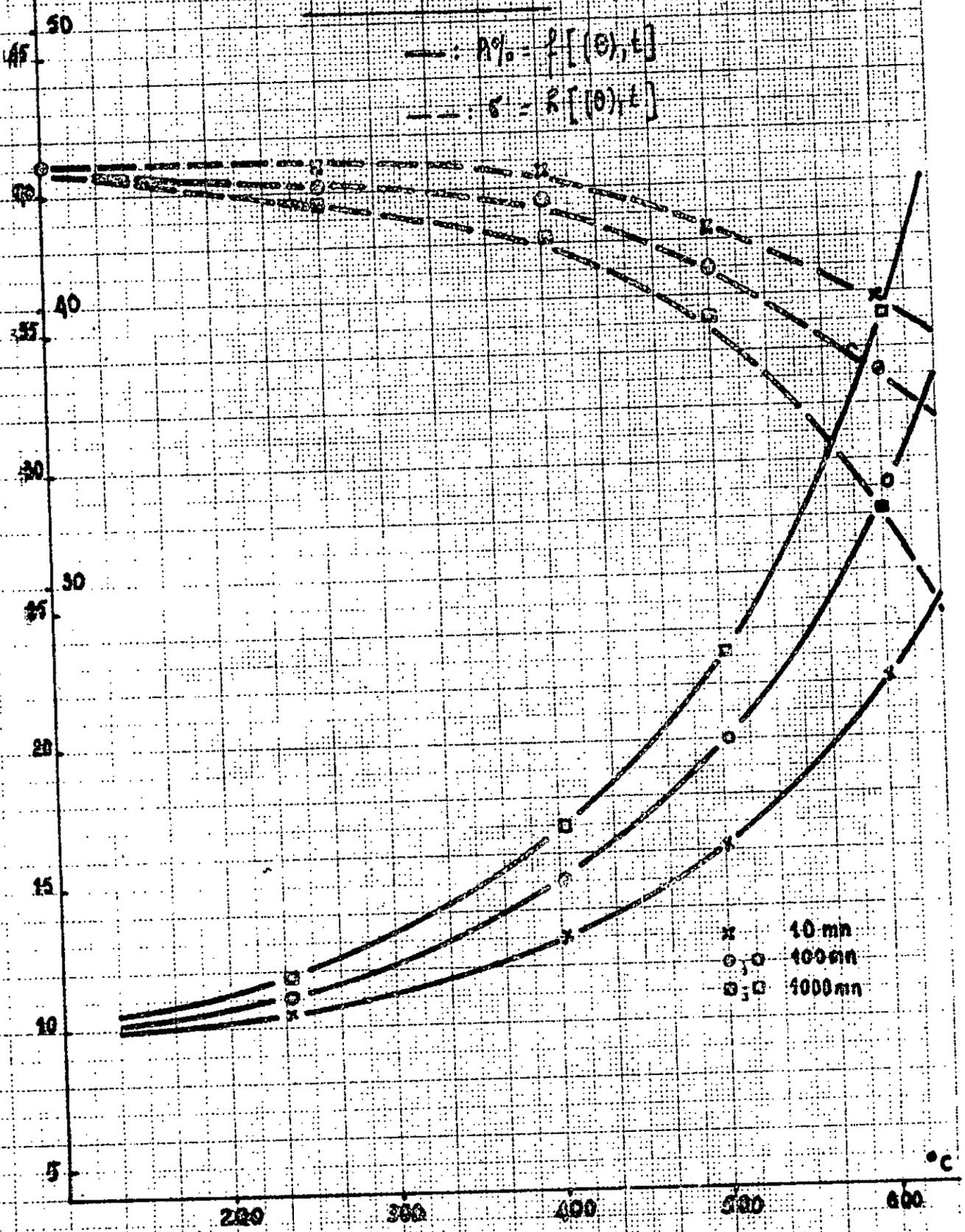


A(Z) CR (daN/cm²)

-55-

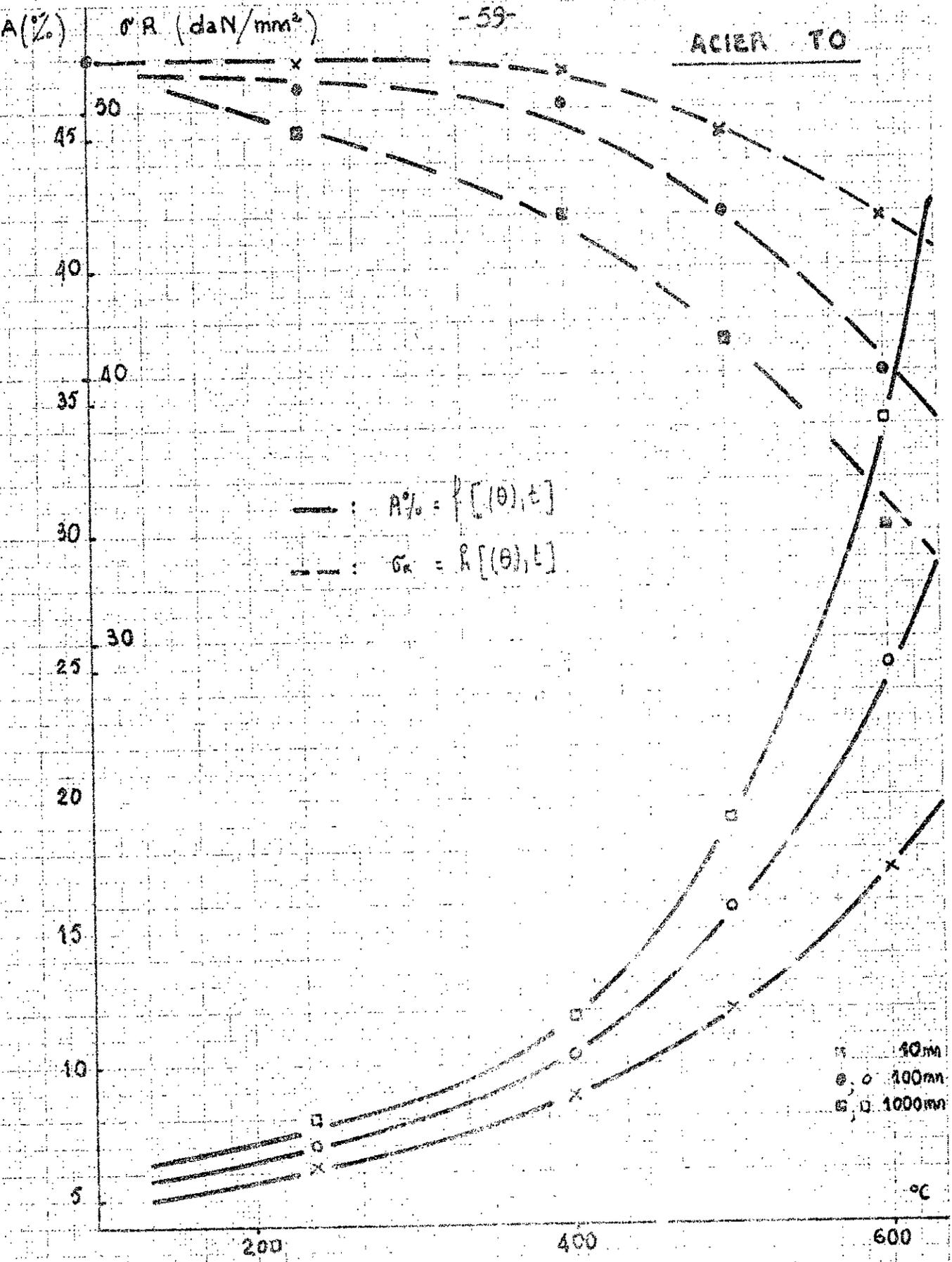
ACIER No 7

--- : $\rho\% = f[(\theta), t]$
--- : $\delta = R[(\theta), t]$



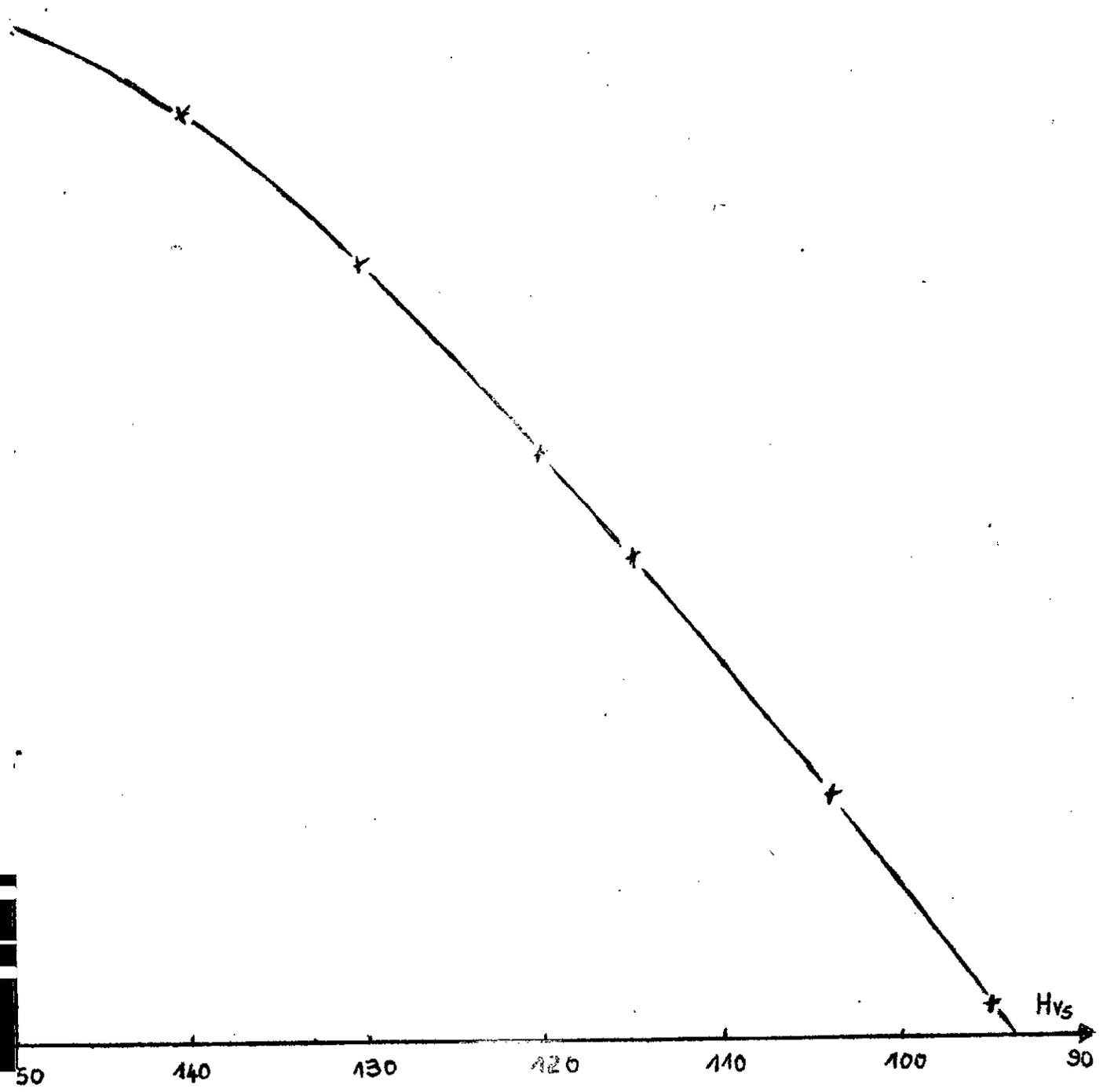
x 10 mn
o 100 mn
□ 400 mn

ACIER TO



HR (bille 100Kg)

Correspondance entre dureté Rockwel et dureté Vickers



(%) HR (bille de 100 kg)

-54-

ACIER B.3

— : $A\% = f[(\theta), t]$

- - - : HR = g[(\theta), t]

90
45
80
40
70
36
60
30
50
25
40
20
15
10
5

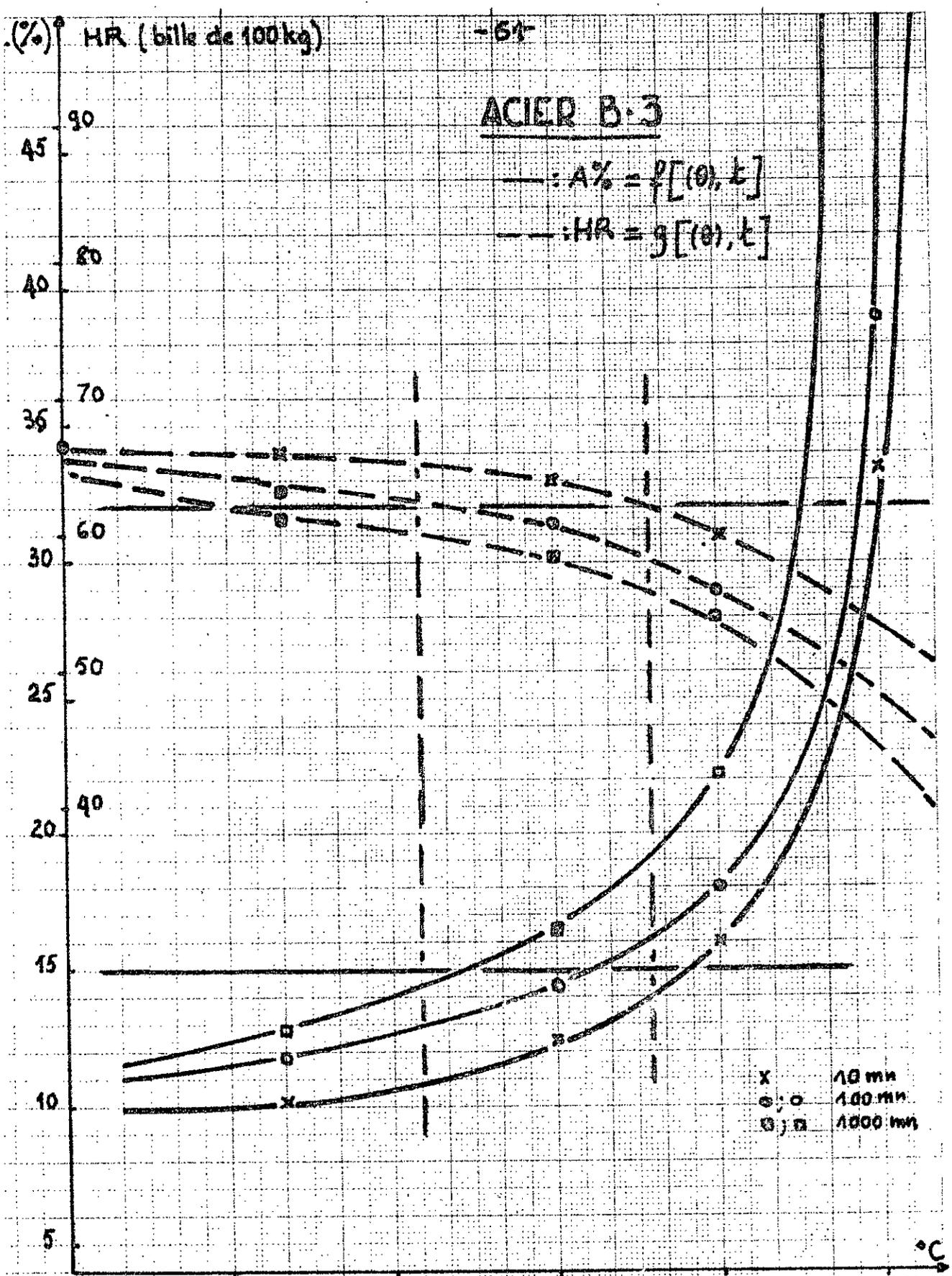
200

400

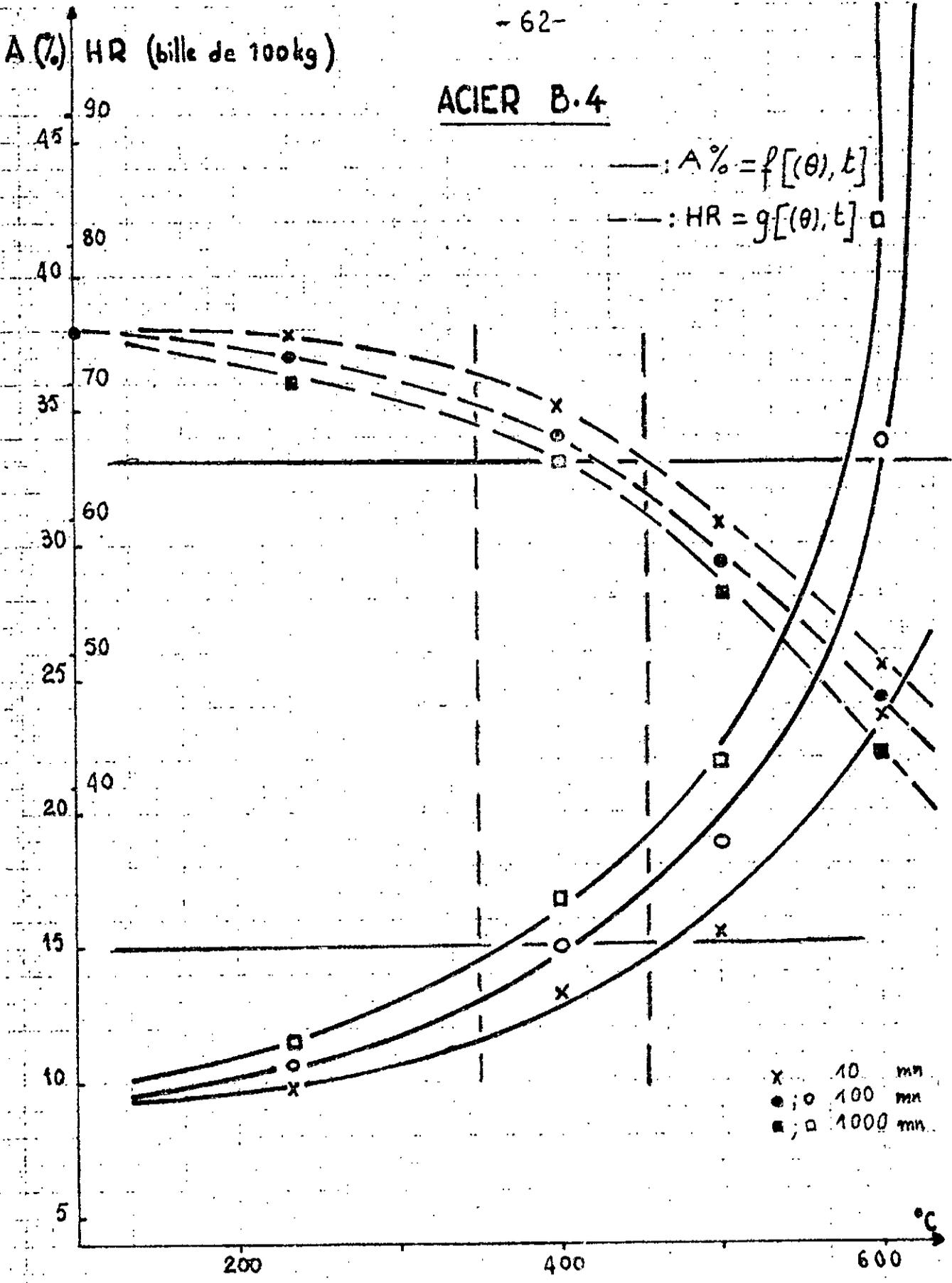
600

°C

x 10 mm
o; O 100 mm
B; B 1000 mm

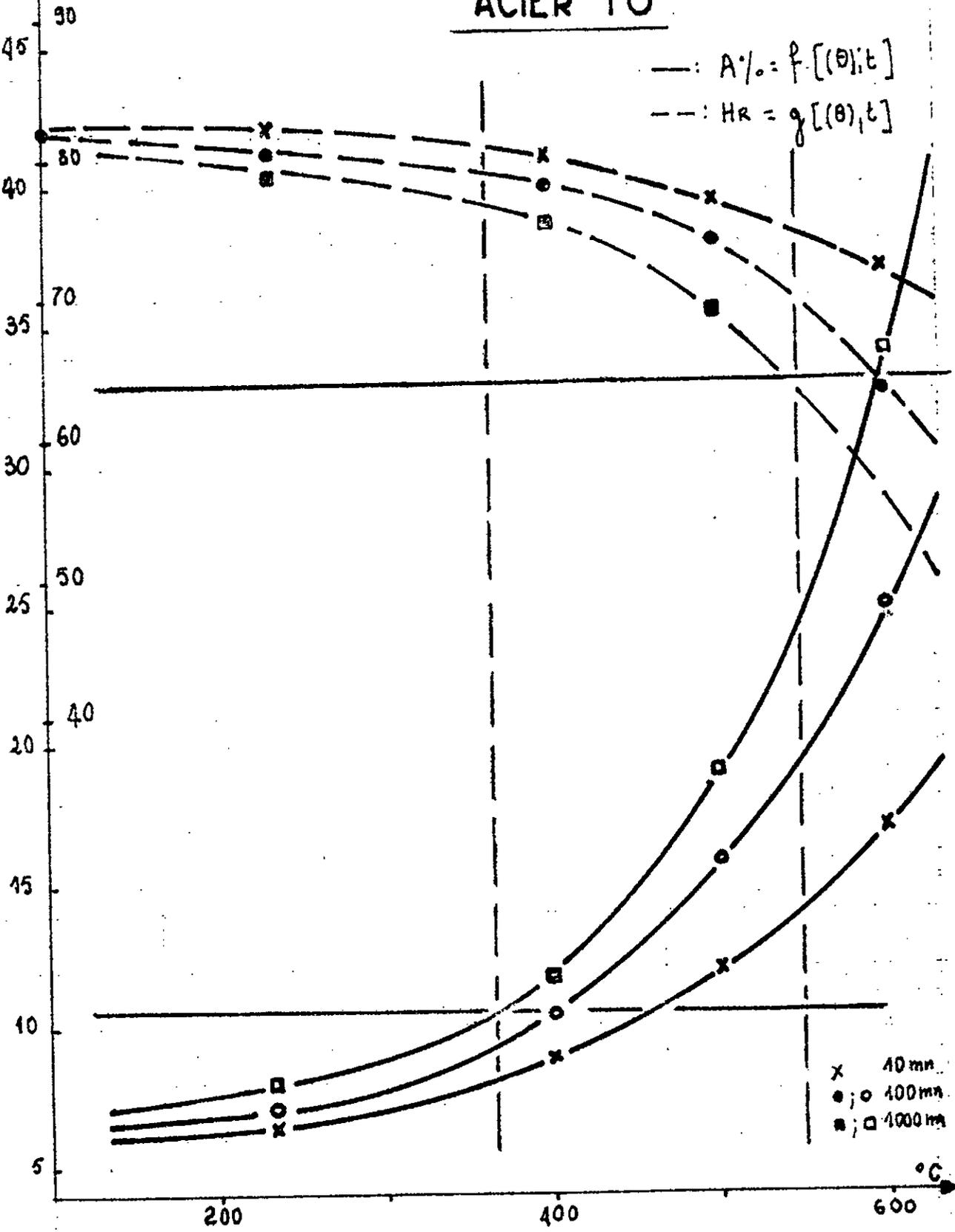


ACIER B.4



A(%) HR (bille de 100kg)

ACIER TO



TYPE DE L'ESSAI		ECHANTILLON		TECHNIQUE	RESULTAT	OBSERVATION	
		NATURE	DIAMETRE OU SECTION (mm)				LONGUEUR (mm)
ESSAI MECHANIQUE	RUPTURE PAR TRACTION	TRONÇONS DE FILS D'ACIERS	3, 3,5; 4	150	ESSAI SUR MACHINE DE TRACTION	$A\% = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$ $\sigma_R = \frac{F}{S_0}$ $\epsilon = \frac{S_0 - S_f}{S_0}$	σ_R et ϵ sont conformes aux normes. $A\%$ faible: caractère de plasticité.
	DURETE	VIS ET BOUTS DE FILS	3; 3,5; 4	25, 30 et 150	MICROSCOPE METALLOGRAPHIQUE	DURETE VICKERS HV 5 kg.	CONFORME
	PLIAGE	VIS	3; 3,5; 4	30, 40 mm $L > 8d$	ANGLE DES BRANCHES = 120°	POUR DECELER LES CRIOQUES ET RUPTURES	NON CONCLUANT
	ECRASUREMENT	TRONÇONS DE FILS	3; 3,5; 4	TOUTES VALEURS	MARTEAU PILON	APPRECIATION DE LA PLASTICITE	NON CONCLUANT
ANALYSE ESSAI DE CHIMIE METALLOGRAPHIE	MICRODURETE	RIVETS DE B4 et B3	3; 3,5; 4	TOUTES VALEURS < 40	MICROSCOPE METALLOGRAPHIQUE	HV 100 g.	RIVET PLUS DUR A CŒUR
	MICROGRAPHIE	ACIERS BRUTS ET TRAITES	3; 3,5; 4	< 40	POLISSAGE, ATTAQUE PUIS ETUDE AU MICROSCOPE METALLOGRAPHIQUE	FORMES ET DIMENSION DES GRAINS - PHASES	Dimension grains 9-11 conformes. Teneur en C < 0,1%. Ferrite: très élevée.
TRAITEMENT THERMIQUE	TENEUR EN: C, Mn, Si, S et P.	POUDRES D'ACIERS	3; 3,5; 4	—	DOSAGES CHIMIQUES QUANTITATIFS	TENEUR EN C, S, Si, P.	% Mn, % Si conformes. % P et S: élevés. → aciers fragiles (bons pour décollage).
	RECUIT à 230° " " 400° " " 500° " " 600°	TRONÇONS DE FILS D'ACIERS	3; 3,5; 4	150	FOUR SOUS VIDE DE LABORATOIRE FOUR INDUSTRIEL A ATMOSPHERE CONTROLEE	RECUIT D'ADOUCCISSEMENT ET ELIMINATION DES CONTRAINTES	CONFORME AUX RESULTATS ET STRUCTURES ATTENDUS

Tableau récapitulatif des essais effectués.

INTERPRETATION DES RESULTATS GERERAUX DES ESSAIS EFFECTUES

I) Essais de traction: Nous prendrons uniquement les aciers sur les aciers Belges

CARACTERISTIQUES MECANIQUES				ANALYSES CHIMIQUES					
ACIERS	R (kg/mm ²)	E (kg/mm ²)	A%	Z%	C%	Mn %	Si %	S %	P %
B ₃ (100%)	42-50	31	8	80	0,1	0,42	0,1	0,12	0,07
B ₃ (50%) à Zones	38-42	31	8	80	0,1	-	0,1	-	-
B ₃ (0%)	34-37	28	6	70	0,1	0,46	0,1	0,075	0,089
B ₃₅ (100%)	40-45	30	6	80	0,1	0,24	0,1	0,097	0,08
B _{3,5} (50%) à Zones	-	-	-	-	0,1	-	0,1	-	-
B _{3,5} (0%)	34-37	31	4	70	0,1	0,39	0,1%	0,12	0,10
B ₄ (100%)	37-45	30	9	80	0,1				
B ₄ (50%)	-	-	-	-					
B ₄ (0%)	35-40	-	5	70	0,4				

- L'intervalle donnée par la charge de rupture est établie suite de nombreux essais de traction pour chaque acier.

Caractéristiques des aciers pour boulons et vis à bois conseillés par la
Norme Italienne:

		CARACTERISTIQUES MECANIQUES			ANALYSES CHIMIQUES				
Aciers		R	A%	E	C	Mn	Si	S	P
UNI 4365		(Kg/mm ²)		(Kg/mm ²)	%	%	%	%	%
Décolletage	C 8	35-42	26	24	0,06-0,10	0,30-0,45	Traces	0,040	0,040
	C 10	37-45	26	24	0,06-0,13	0,3-0,7	0,35	0,035	0,035
Roulage	C 21	42-50	24	24	0,18-0,24	0,3-0,96	0,10	0,040	0,040

NOTA: Nous remarquons que les aciers B(0%) pour les trois diamètres 3; 3,5; 4 ont une charge de rupture inférieure à 40 kg/mm².

Remarque:- Les aciers défectueux B" (0%), B_{3,5} (0%) et B₄ (0%) ont en moyenne une charge de rupture inférieure à 37 kg/mm², valeur au dessous de la charge de rupture du C8 Uni 4365.

- Les aciers satisfaisants à la fabrication B₃(100%), B_{3,5} (100%), et B₄ (100%) ont eux C8, C10, C21 Uni 4365.

Mais dans les deux cas, c'est à dire aussi bien pour les aciers défectueux que pour ceux répondant à la fabrication. Nous notons un faible allongement (en moyenne 8% ou bien de 24%)

De plus, on remarque que les aciers Belges ont une faible consolidation : $\sigma_R - \sigma_E < 15$ dans la plupart des cas pour les aciers B(100%) et inférieure à 11% pour les aciers défectueux.

~~Les analyses chimiques montrent que dans les cas la teneur en phosphore~~
et en soufre dépasse de loin la teneur exigée (en moyenne 0,08 au lieu
de 0,04).

- Les résultats de dureté et microdureté répondent aux normes AFNOR, mais les microdureté a montré une très faible teneur en carbone, un pourcentage élevé en ferrite et la présente d'inclusions de MnS.

- Il est donc nécessaire au départ que le fil puisse répondre par ses caractéristiques mécaniques liées intimement, d'ailleurs à sa composition chimique (résistance à la déformation k_f , plasticité $A\%$, charge à la rupture R , dureté, ...) aux conditions de fabrication aussi bien sur le plan machine que sur le plan caractéristiques attendues du produit fini.

- Sur le plan machine il faut souligner la force de frappe du poinçon variable avec le type de machine utilisée, ainsi que la déformation imposée par le filière.

- Sur le plan produit fini il faut noter la variation de la charge la charge de rupture du fil en fonction du diamètre de la vis finie.

la charge de rupture du fil est plus grande pour une vis de 3 mm de diamètre que pour celle de 4 mm.

Ces résultats nous incitent à une étude sur les conditions d'écoulement de la matière qui, notons le, dépend de certains paramètres tels que:

- Déformation imposée à la matière
- Résistance à la déformation de celle - ci
- Vitesse de déformation qui influe généralement peu dans le façonnage à froid

Tableau d'après courbes d'écoulement page 16.

Aciers	Diamètre initial du fil (mm)	Diamètre de surface d'étranglement (mm)	Reduction de surface (%)	Déformation $\psi = 100 \ln \frac{S_0}{S_1}$	Résistance à la Déformation (kg/mm ²)
B3	2,88	2,30	20,5	23	48
B _{3,5}	3,3	2,65	21,6	24	49
B ₄	3,88	3,20	17,5	19	45

Ces résultats nous montrent bien que pour la réduction de surface et le déformation subit lors du refoulement, les aciers ont une résistance à la déformation très proche de leur charge de rupture à la traction, ce qui ne peut engendrer que des défauts de filage.

En effet, rappelons le, l'écoulement d'après (N°5, 640 - 3) imposé la condition suivante :

$K_f \gg 2$ fois la charge de rupture à la compression ou K_f supérieur du moins à 1,5 fois charge de rupture par traction.

L'écoulement de la matière est relié directement à sa déformation plastique qu'elle même dépend du nombre de plans et de direction de glissement.

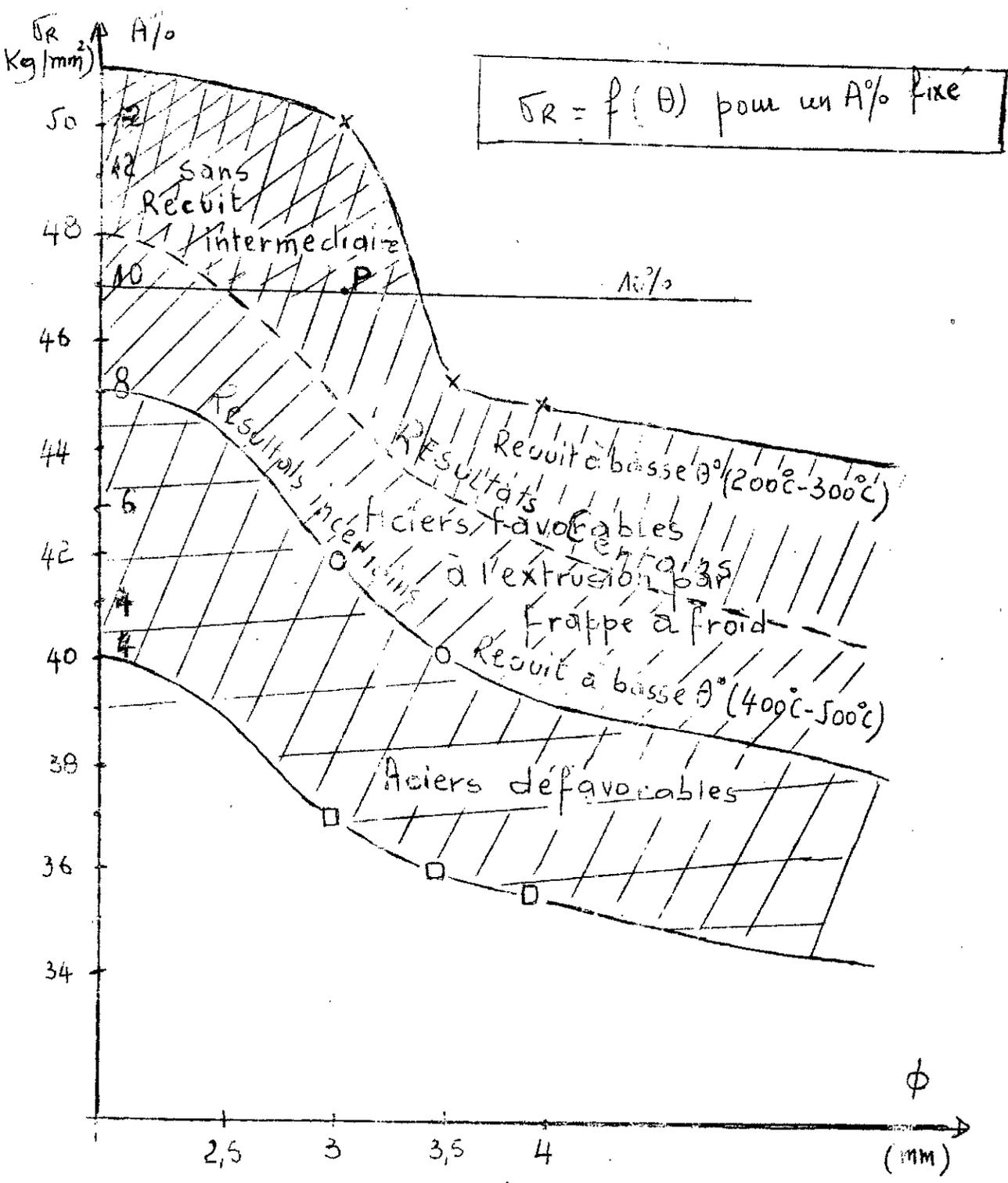
Le glissement, d'après les idées actuelles, résulte du déplacement de dislocations dans le cristal, les obstacles au déplacement de dislocations sont créés par toutes sortes de défauts de structure du réseau (joints de grain et de blocs, impuretés) ainsi que les additions qui se trouvent dans la solution solide et les dislocation elle même.

Il a remarquer que l'augmentation de déformation accroît le nombre de dislocations et ralentit ainsi le déplacement.

La notion d'écoulement du métal, est basée plutôt sur sa résistance à la déformation et par conséquent sur la teneur en carbone, que sur sa ductilité (A%)

C'est pour cela que compte tenu des résultats obtenues, et des résultats conseillés nous avons établi des courbes de résistance à la rupture en fonction des diamètres des aciers.

Il est certain que, plus le diamètre diminue, plus le taux d'écroutissage augmente et plus la matière doit avoir une charge rupture élevée pour un allongement fixé, afin de résister aux déformations imposées lors de son façonnage.



- x : aciers belges à 100% favorables
- o : " " à 50% : Rouleaux à zones
- : " " à 0% : Rouleaux defectueux

Exemple : P: représente un acier B3 (100%), avec A/o = 10 et $\sigma_R = 47 \text{ Kg/mm}^2$, sans recuit pour l'extrusion à la presse.

CONCLUSION GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE

Le matériel dont nous avons disposé pour faire nos essais, est souvent peu commode et imprécis pour ce genre d'étude, où la précision est de rigueur ; il aurait fallu à titre d'exemple utiliser une machine de traction à déformations imposées, un four sous vide n'entraînant aucun risque de décarburation, des dosages chimiques très précis, faits de préférence au centre de Castaing.

Néanmoins, nous pensons, que certains résultats obtenus d'après les essais mécaniques, métallographiques, analyse chimique et ~~autres~~ ^{autres} nous amènent à conclure sur l'état des aciers Belges de la façon suivante:

1°) - Les aciers Belges (B3, B3,5, B4) utilisés à l'usine Siméa de Béjaïa manque de :

- Consolidation.: ($R - \sigma_E = 13 \text{ kg/mm}^2$ au lieu de 24 kg/mm^2)
- De résistance à la déformation : Pour la réduction de surface (23,24%) et la déformation (18-20%) imposées, la résistance à la déformation des aciers ($48-50 \text{ kg/mm}^2$) est voisine de leur charge de rupture à la traction ($37-42 \text{ kg/mm}^2$)
- D'allongement à la rupture : (6% au lieu de 24%)
- Les trois cas ci-dessus (consolidation, résistance à la déformation, et allongement) sont directement liés à la plasticité du métal, donc à son état de structure (contraintes internes, dislocations, joints de grains, impuretés ...), à ses éléments d'alliages particulièrement, ce carbone, et aux conditions de tréfilage (température de tréfilage et vitesse de tréfilage sont des paramètres fondamentaux pouvant jouer un rôle primordial dans l'écrouissage du fil)

- Nous sommes persuadés qu'une augmentation de la teneur en carbone (jusqu'à 0,13%) lors de l'élaboration du métal et un recuit de normalisation approprié au tréfilage donneraient de meilleurs résultats pour les trois cas cités ci-dessus.

2°) De plus par la teneur trop élevée en soufre (jusqu'à 0,12%)

et en phosphore : (jusqu'à 0,09%), il est certain que les aciers Belges sont plus aptes à la déformation par décolléage (ce qui est vérifié à l'usine) qu'à la déformation par extrusion à froid;

ces éléments comme nous le savons favorisent beaucoup le phénomène de ségrégation, nuisible particulièrement à la plasticité du métal.

Il serait donc même intéressant de revoir les conditions d'affinage des aciers et de faire une étude métallographique très approfondie des défauts par Ultrasons, Radiographie, Attaque Macrographique,, Magnetoscopie et, autres....

En résumé compte tenu des contraintes ci-dessus, nous proposons un acier du type C10 au C21 UNI 4365 d'après les normes Italiennes (pages 20-21) et un contrôle des lots d'aciers, fait d'après les courbes expérimentales (page)

Nous pouvons dire, afin de clore cette conclusion, que cette étude a été très riche car elle nous a mis en face d'un problème de fabrication où souvent les divergences entre la théorie et la pratique sont fort nombreuses ; il serait bon de préciser enfin, qu'une telle étude mérite, pour la compléter, d'être suivie avec beaucoup de soins et à l'aide de moyens matériels adéquats.



