

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE DU CHARBON ET DE L'ACIER

recueil de recherches « acier »

PROPRIÉTÉS D'EMPLOI DES ACIERS

SOUDABILITÉ DES ACIERS

Partie C: Recherches sur la soudabilité
et le soudage des aciers
à haute résistance trempés et revenus



AVERTISSEMENT

Aux termes de l'article 55, alinéa 2 c, du traité instituant la Communauté européenne du charbon et de l'acier, la Commission encourage la recherche intéressant le charbon et l'acier, notamment en accordant des aides financières. La présente brochure rend compte de l'exécution et des résultats de l'un de ces projets de recherche.

En conséquence du traité de fusion du 8 avril 1965, la Commission unique des Communautés européennes exerce les pouvoirs et les compétences dévolus à l'ex-Haute Autorité de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA).

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission des Communautés européennes.

Il est précisé que la Commission des Communautés européennes, ses contractants, ou toute personne agissant en leur nom :

- ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé quelconque décrits dans le présent document ne porte pas atteinte à des droits privatifs ;
- n'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés décrits dans le présent document.

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Direction générale «Affaires industrielles et technologiques»

PROPRIÉTÉS D'EMPLOI DES ACIERS

SOUDABILITE DES ACIERS

**PARTIE C: RECHERCHES SUR LA SOUDABILITÉ ET LE
SOUDAGE DES ACIERS À HAUTE RÉSISTANCE
TREMPÉS ET REVENUS**

INSTITUT DE SOUDURE

Paris

Convention N° 6210-55/3/230

(1.9.1970 - 31.8.1972)

RAPPORT FINAL

Edité par la Direction Générale
Information Scientifique et Technique et Gestion de l'Information

1975

EUR 5305 f
(3ème Vol.)

RÉSUMÉ

Dans le cadre de cette recherche, portant sur un certain nombre d'échantillons d'aciers trempés et revenus faiblement alliés ou non alliés, on a procédé aux investigations suivantes :

- 1) Détermination des diagrammes de transformation au refroidissement continu par analyse « in situ » sur implants.
- 2) Détermination des diagrammes de fissuration à froid sur implants.
- 3) Essais de fissuration sur soudures auto-bridées à l'état normalisé et à l'état trempé et revenu.
- 4) Essais de traction par choc sur implants fissurés.
- 5) Essais de fissuration au réchauffage.

Les essais 1, 2, 3 et 5 ont été pratiqués au moyen de méthodes mises au point à l'occasion d'autres études. L'essai n° 4 de traction par choc sur implant fissuré a été développé à l'occasion de la présente étude.

Les diagrammes de transformation et de fissuration montrent que les aciers trempés et revenus, faiblement alliés, doivent être soudés avec précaution, cependant que les produits relativement minces, qui peuvent être élaborés en aciers non alliés, ne posent pas de problème à cet égard.

L'influence de l'état trempé et revenu sur le risque de fissuration à froid n'a pas pu être complètement élucidé par essais de soudures autobridées, mais il semble qu'à composition chimique identique, l'état trempé et revenu appelle plus de précautions que l'état normalisé.

La mise au point d'une technique d'essais de choc sur implants fissurés a fait apparaître, pour les échantillons expérimentés, une sensibilité assez faible des zones thermiquement affectées à l'amorçage de ruptures au niveau des fissures à froid. Ce résultat devra être vérifié pour d'autres nuances.

Enfin, la sensibilité à la fissuration au réchauffage peut être évaluée, pour des zones thermiquement affectées réelles, au moyen de l'essai de relaxation différentielle sur double implant.

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	5
2. Nuances d'aciers soumis aux essais	6
3. Techniques d'investigation	9
4. Résultats des essais et commentaires	21
5. Résumé et conclusions	34
Annexe I	39
Annexe II	49
Annexe III	61

RECHERCHES SUR LA SOUDABILITE ET LE
SOUDAGE DES ACIERS A HAUTE RESISTANCE
TREMPEES ET REVENUS

1. - INTRODUCTION -

Dans le cadre des recherches organisées par la Communauté sur la soudabilité des aciers, la convention 6210-55/0/11, qui associe le Centre de Recherches Métallurgiques de Liège et l'Institut de Soudure de Paris, concerne d'une part le comportement de l'acier aux sollicitations dans l'épaisseur sous l'effet de liaisons effectuées par soudage, d'autre part la soudabilité et le soudage des aciers à haute résistance trempés et revenus. Le présent rapport concerne la contribution de l'Institut de Soudure à cette dernière recherche, au financement de laquelle le Centre d'Etudes Techniques de la Mécanique (CETIM) s'est associé.

Les aciers trempés et revenus peuvent être, selon leur épaisseur et les propriétés visées, soit des aciers faiblement alliés de manière à être aisément trempants, même en forte épaisseur, soit en acier non allié si l'épaisseur est assez faible pour obtenir une trempe à coeur par refroidissement rapide. Les aciers de la première catégorie, c'est-à-dire les aciers trempants, posent un problème de soudabilité en ce qui concerne le comportement du métal de base, du fait de la trempe et du risque de fissuration à froid associé à la diffusion de l'hydrogène. Les aciers de la deuxième catégorie ne devraient pas être aussi sensibles à ce phénomène, même si on les soude avec une faible énergie, pour éviter un adoucissement excessif au voisinage des joints. Le problème de la transformation due au soudage et de la fissuration associée à la trempe et à l'hydrogène a donc été au centre de la présente recherche. Ces deux aspects ont été abordés par la technique des implants.

De plus, s'agissant d'acier trempé et revenu, il convenait de chercher à savoir si les caractéristiques de traction du métal de base jouent un rôle vis-à-vis de la fissuration à froid. La méthode des implants étant incapable de répondre à cette question, on a mis au programme une campagne d'essais sur éprouvettes auto-bridées du type CTS et TEKKEN.

D'autre part, puisque, du fait de la nature de l'acier, le risque de fissuration à froid est important, on a cherché à apprécier le rôle que peut jouer une fissure en tant qu'amorce de cassure sous l'effet d'une sollicitation de traction. A cet effet, on a poursuivi la mise au point d'une méthode d'essais de rupture sur implants pré-fissurés.

Enfin, le problème de la fissuration au réchauffage ayant été mentionné dans le programme, on a étudié, à ce point de vue, l'un des aciers expérimentés par la méthode de relaxation différentielle sur double implant.

2. - NUANCES D'ACIERS SOUMIS AUX ESSAIS -

On trouvera au Tableau I les analyses chimiques de l'ensemble des nuances qui ont été soumises aux essais. Il convient de noter, à ce propos, que l'on s'est heurté à de grandes difficultés d'approvisionnement, certains échantillons n'ayant été fournis qu'en très petites dimensions, si bien que l'expérimentation a dû être limitée.

Le tableau fait apparaître que la plupart des essais ont concerné des aciers faiblement alliés. Seuls, les échantillons LJ, LX et E 45 sont dépourvus d'éléments d'alliage, ils ont d'ailleurs été livrés en faible épaisseur. A signaler aussi l'acier MA qui est un acier au cuivre à durcissement structural et dont le comportement à la fissuration à froid est d'ailleurs tout à fait remarquable.

L'usage qui a été fait de ces divers échantillons est détaillé au Tableau II et sera commenté dans la rubrique suivante.

.../...

TABLEAU II : Essais effectués sur les diverses nuances

ESSAIS REPÈRES	(1) Courbes TRC et dureté	(2) Fissuration à froid sur implant	(3) Fissuration à froid CIS	(4) Fissuration à froid TEKKE	(5) Choc sur implant fissuré	(6) Fissuration au réchauffage
L H	X	-	-	-	-	-
L I	X	X	X T et R	X T et R	-	X
L J	X	X	-	-	-	-
L K	X	X	-	-	-	-
L W	X	X	X Recuit T et R	X Recuit T et R	-	-
L X	X	X	-	-	-	-
L Y	X	X	-	-	-	-
L Z	X	Résultats trop fragmentaires	-	-	-	-
M A	-	-	-	-	-	-
A 52	-	X	-	-	X	-
E 45	X	X	-	-	X	-

TABLEAU I : Nuances d'acier soumises aux essais.

Repère	Désignation AFNOR	Mn mm	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Cu	Al
L I	14 CND 5	60	0,14	1,04	0,49	0,90	1,34	0,21	-	-	0,16	-
L W	17 MDV 6	30	0,17	1,45	0,08	0,19	0,16	0,43	0,008	0,062	-	-
L H	17 MCND 5	60	0,168	1,35	0,275	0,61	0,62	0,31	-	-	-	0,031
L J	CC 10	10	0,075	1,05	0,285	0,103	-	0,015	0,021	0,025	0,095	0,028
L K	15 MCND 5	27	0,155	1,31	0,39	0,81	0,92	0,23	-	-	0,10	0,042
L X	14 UD 5	15	0,14	1,12	0,34	0,05	-	0,50	-	-	0,55	0,053
L Y	16 CND 4	15	0,16	0,89	0,43	0,50	0,90	0,54	-	-	-	-
L Z	20 NDB 4 †	15	0,20	0,87	0,32	0,97	-	0,35	-	-	-	-
M A		30	0,061	0,93	-	0,93	-	0,24	0,10	-	1,19	-
A 52		30	0,20	1,53	0,33	-	-	-	-	-	-	-
E 45		17	0,19	1,41	0,305	-	-	-	0,032	0,085	-	-

† B = 0,006

3. - TECHNIQUES D'INVESTIGATION -

3.1 - Rappel sur la détermination des diagrammes TRC et des diagrammes de fissuration à froid.

Pour étudier les caractéristiques de transformation des aciers expérimentés, on a poursuivi l'expérimentation de la méthode d'analyse thermique "in situ" par dérivation, dans les mêmes conditions que dans la recherche précédente (cf. rapport final, convention n° 6210-41 "Essais pratiques par la méthode des implants"). Chaque diagramme de transformation a été établi à partir d'implants placés dans des tôles supports de 20 mm d'épaisseur, pour des temps de refroidissement allant jusqu'à 50 secondes, ce qui rend compte, pratiquement, de toutes les conditions de soudage sans préchauffage en ce qui concerne l'énergie, ainsi que de l'effet du préchauffage. Les diagrammes obtenus, qui seront commentés dans le chapitre suivant, peuvent être interprétés en termes d'énergie et de température de préchauffage au moyen des abaques qui les précèdent, dans l'Annexe I.

Chaque détermination du diagramme de transformation au refroidissement continu a été complétée par un examen métallographique et par la mesure de la dureté maximale sous cordon. De la sorte, les diagrammes de transformation présentés dans l'Annexe I sont accompagnés des aspects micrographiques les plus caractéristiques et comportent la courbe dureté maximale de temps de refroidissement.

Les diagrammes de fissuration à froid, exprimés en termes de contrainte de fissuration fonction du temps de refroidissement, ont été aussi établis par la technique déjà utilisée dans la précédente recherche. Pour chacun des aciers dont la courbe est donnée dans l'Annexe II, on a dressé la courbe complète de fissuration à froid jusqu'à des temps de refroidissement de l'ordre de 20 à 25 secondes. Ceci a parfois nécessité la mise en oeuvre de tôles supports de 10 mm d'épaisseur, pour prendre le relais des tôles de 20 mm, sans faire intervenir de préchauffage. Pour certains échantillons, on a aussi déterminé les courbes de rupture car l'écart entre les contraintes de fissuration et de rupture donne une information intéressante sur la fragilité de la zone thermiquement affectée.

Dans tous les cas, on a soudé avec des électrodes enrobées basiques, préalablement traitées à 350°. Pour les aciers LI et LW, on a complété ces informations par quelques points concernant le soudage MAG, c'est-à-dire à l'arc court sous CO₂ ; pour les mêmes aciers, on a fait intervenir aussi un préchauffage à 150°.

Les essais entrepris ayant pour objet de comparer entre eux les aciers expérimentés et non pas de mettre au point le mode opératoire de leur soudage, on a pu déterminer les conditions de température et temps de post-chauffage. D'ailleurs, pour plusieurs nuances, on ne disposait pas de l'échantillonnage nécessaire à une expérimentation très poussée.

3.2 - Essais de soudure auto-bridée.

Comme indiqué dans l'introduction, on peut se demander si, en matière de fissuration à froid, la soudabilité est ou non influencée, à composition chimique égale, par l'état initial du métal de base. Cet état initial (normalisé d'une part et trempé et revenu d'autre part) est, en effet, susceptible, par l'intermédiaire de la limite d'élasticité, d'accroître la contrainte due au bridage, pour une rigidité donnée d'assemblage. Or, les essais de fissuration sur implants, aussi intéressants et quantitatifs qu'ils soient, fournissent une contrainte de fissuration qui ne dépend que de la teneur en hydrogène du métal fondu et de la structure de la zone thermiquement affectée. Autrement dit, une série d'essais sur implants fournit les mêmes résultats, à composition chimique égale, quelque soit l'état initial du métal de base. Pour se faire une opinion sur le problème posé, il faut donc faire appel à des soudures réelles, par exemple, à des essais de soudures auto-bridées.

On a donc, tout au moins pour les aciers LI et LW, mis en oeuvre des essais du type CTS et TEKKEN. Pour l'acier LT, on a expérimenté seulement l'état trempé et revenu, pour mettre les résultats en relation avec ceux des essais sur implants. Quant à l'acier LW, il a été expérimenté au moyen des deux essais CTS et TEKKEN, à l'état normalisé et à l'état trempé et revenu.

.../...

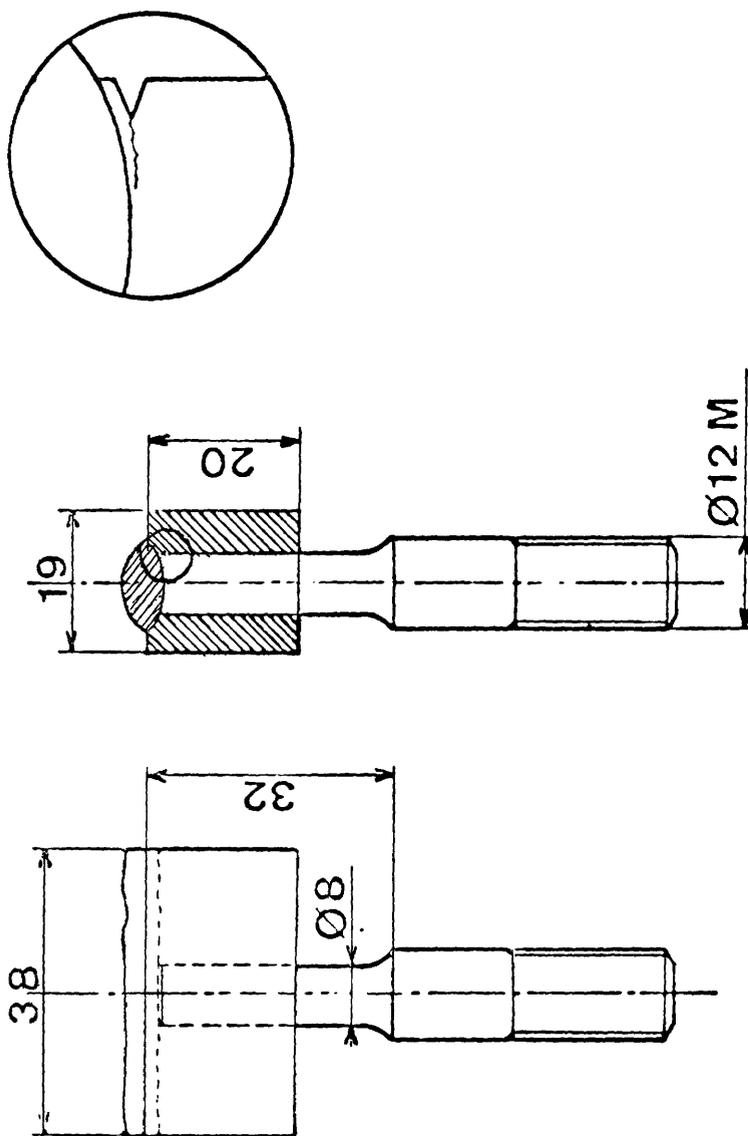
3.3 - Essais de traction par choc sur éprouvettes pré-fissurées -

3.3.1 - Rappel des travaux antérieurs : A l'occasion d'une étude précédente, faite pour le compte de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, on avait entamé une expérimentation tendant à évaluer le rôle joué par les fissures à froid vis-à-vis du risque de rupture. Posé en d'autres termes, le problème consistait à rechercher, par une méthode d'essai appropriée, la nocivité des fissures pré-existantes dans les assemblages soudés, que ces fissures se trouvent dans le contexte structural qui leur a donné naissance (dans une zone thermiquement affectée non transformée) ou qu'elles affectent une zone ultérieurement modifiée (soudure en plusieurs passes ou soudure traitée)

Puisque, par la méthode des implants, on disposait d'un moyen de produire à volonté des fissures, on a cherché à transformer un implant fissuré en éprouvette d'essai de rupture. En raison de la simplicité du dispositif nécessaire, on a commencé par traiter l'implant fissuré comme une éprouvette de traction statique. Malheureusement, on s'est rapidement rendu compte que, si la rupture sur implant fissuré s'amorçait effectivement dans la zone thermiquement affectée, au niveau de l'entaille, elle ne tardait pas à dévier pour progresser dans la zone fondue. Cette succession de phénomènes n'apparaissait pas sur le diagramme de traction, de sorte qu'il n'a pas été possible de tirer des résultats obtenus, une information sur la sensibilité des structures fissurées à froid, à l'amorçage des ruptures au niveau des fissures. Cependant, on a déjà pu constater, lors de cette étude préliminaire, que l'essai de traction provoquait bien souvent une striction de l'implant dans le métal de base, malgré la présence d'une fissure dans la zone thermiquement affectée. Ces résultats constituaient un encouragement à poursuivre l'étude du rôle des fissures ; c'est ce qui a été fait sous la forme d'un essai de traction par choc sur éprouvette pré-fissurée.

3.3.2 - Forme et préparation des éprouvettes : L'éprouvette d'essai de traction par choc après fissuration a la forme décrite par la Figure 1. Il s'agit simplement d'un implant dont la partie

Figure 1



calibrée au diamètre de 8 mm correspond, entaille comprise, à l'implant classique de fissuration à froid. C'est cette partie qui est introduite dans la tôle support, de telle sorte que son extrémité subisse le cycle thermique provoqué par le dépôt d'un cordon de soudeure, l'entaille se trouvant dans la zone thermiquement affectée. Pour permettre la mise en place ultérieure dans le dispositif d'essai de traction par choc, on a ménagé une tête de 12 mm de diamètre, filetée sur une largeur de 20 mm.

Pour préparer une éprouvette fissurée, on procède comme pour un essai habituel de fissuration à froid, en utilisant la machine d'essai illustrée par la Figure 2, dans laquelle l'effort est fourni et contrôlé par un soufflet de dilatation fonctionnant en vérin pneumatique. Connaissant la contrainte de rupture correspondant au temps de refroidissement intervenant lors du soudage, on règle le vérin de cette contrainte et on surveille le processus de fissuration par l'émission acoustique. On sait en effet, d'après les travaux antérieurs, que l'amorçage de la fissure ne se manifeste par aucune émission acoustique sensible, alors que la propagation conduisant à la rupture fournit une émission intense. Il suffit donc, lorsque l'émission a lieu, de relaxer l'effort appliqué à l'implant en supprimant la pression dans le vérin. On est alors sûr de disposer d'une éprouvette fissurée et, avec un peu d'entraînement, on peut obtenir un pourcentage de fissuration pré-déterminé. Pour interpréter les résultats de l'essai de traction par choc, il faut être capable d'apprécier ce pourcentage de fissuration. On peut rendre cette opération possible en procédant, après l'opération qui vient d'être décrite, à un traitement à 250° qui, en même temps qu'il provoque le dégazage, assure une coloration suffisante de la partie fissurée ; cette coloration permettra de mesurer le pourcentage de fissuration sur la cassure, après l'essai de rupture. La Figure 3 donne un exemple d'une telle affirmation.

3.3.3 - Essais de traction par choc : L'éprouvette de traction par choc se présente comme l'indique la Figure 4 ; elle est prélevée par découpage, dans la tôle support d'un parallélépipède de 38 x 19 x e mm, e étant l'épaisseur de la tôle support, fixée à 20 mm dans nos essais. Ces dimensions ont été choisies pour permettre la mise en

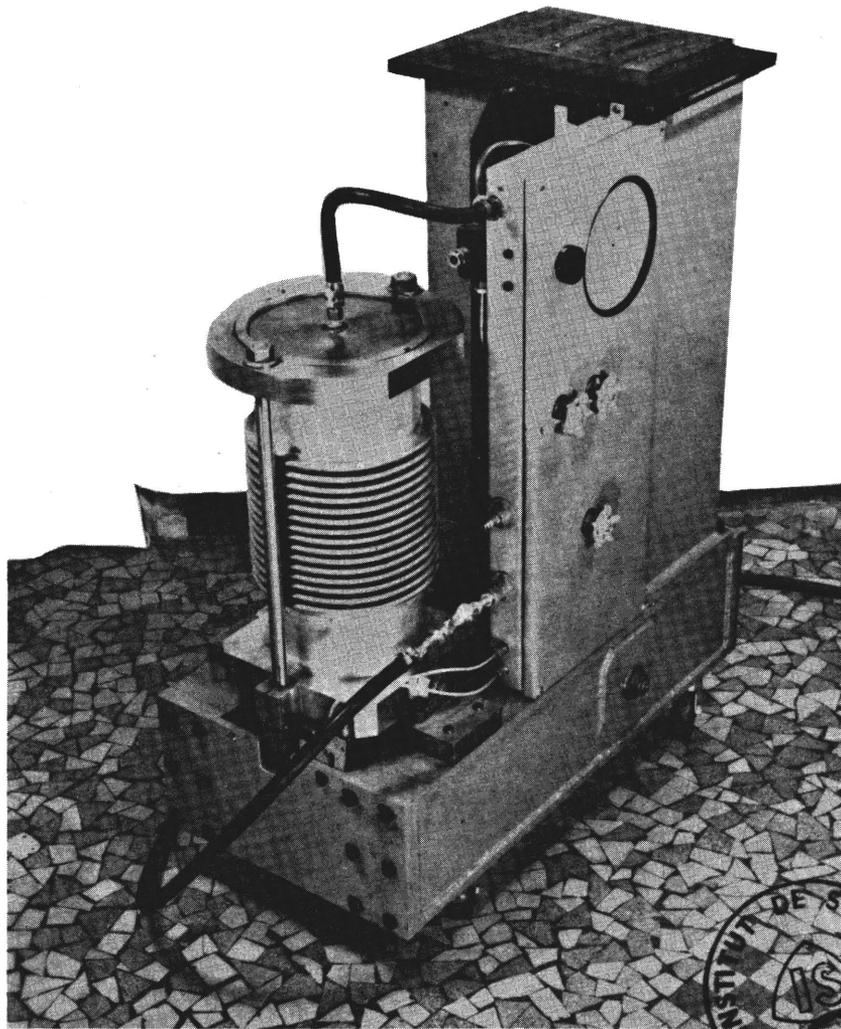
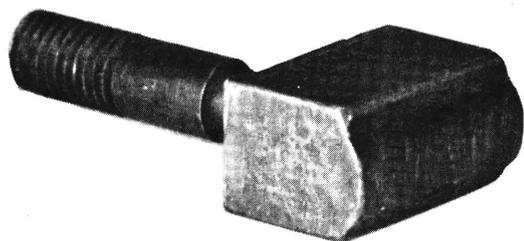
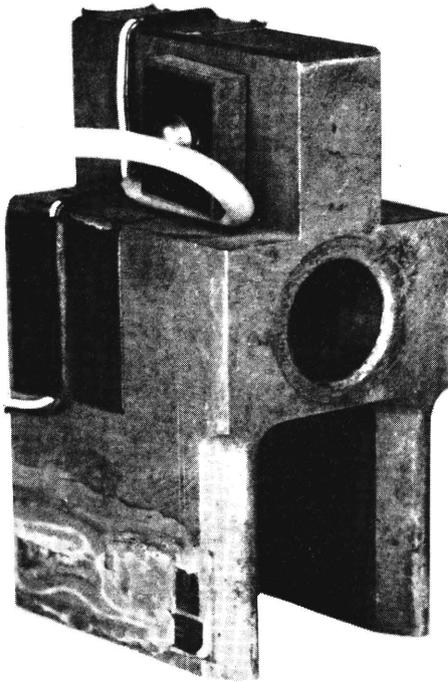


Figure 3



Figure 4



place de l'implant à la partie inférieure de la trajectoire du mouton, ce dernier étant équipé d'un double couteau, muni de jauges de contrainte permettant d'établir, au moment de l'essai, une courbe effort-temps enregistrée sur un oscilloscope à mémoire. La Figure 5 illustre le dispositif ainsi mis en oeuvre.

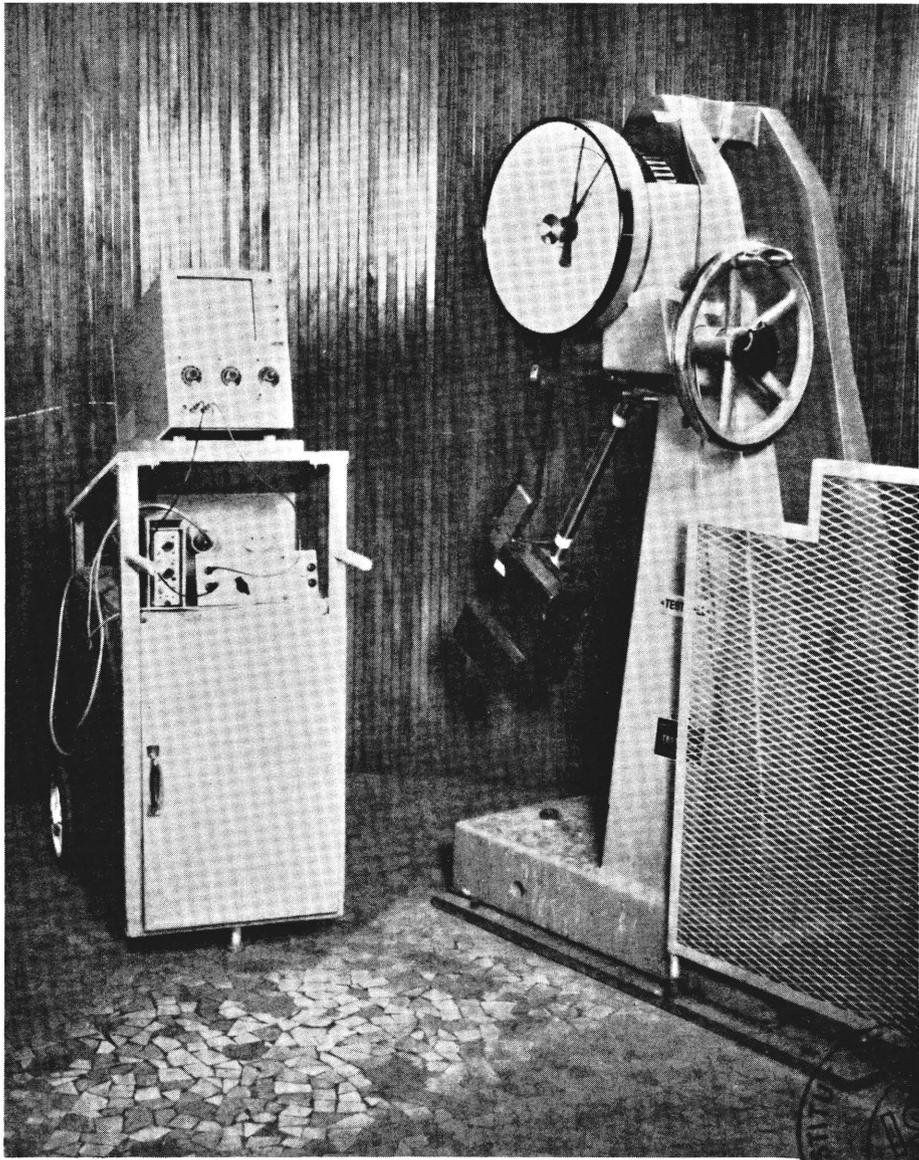
Il a été nécessaire, en effet, de faire appel au mouton instrumenté, car le critère d'énergie ne donnait pas suffisamment de renseignements, soit parce que, comme indiqué plus haut, la fissure déviait dans la zone fondue, soit aussi parce qu'une striction apparaissait dans la queue de l'implant, en plein métal de base. Il fallait donc être capable d'analyser, sur les courbes effort-temps, l'amorçage même de la cassure. L'instrumentation du mouton et son adaptation à l'essai de traction par choc ont été réalisés à l'occasion de la présente étude.

Pour évaluer l'effet des fissures sur ces amorçages, on a opéré, soit sur implant fissuré (mais rappelons-le, entaillé dans la zone thermiquement affectée), soit sur implant non fissuré; on trouvera à la Figure 6 un exemple de diagramme effort-temps enregistré.

3.4 - Essais de fissuration au réchauffage -

Comme indiqué plus haut, on a procédé, pour l'un des aciers expérimentés, à l'essai de fissuration au réchauffage par la méthode de relaxation différentielle sur double implant. L'appareillage correspondant, qui a été mis au point et développé à l'occasion d'autres études, est décrit par les Figures 7 et 8. Le double implant résulte de la nécessité de compenser la dilatation thermique, puisque le principe de la mesure consiste à suivre la déformation de l'implant chargé. Plusieurs déterminations sont nécessaires pour obtenir le résultat recherché, à savoir : la valeur de la contrainte maximale initiale, que l'on peut appliquer à l'implant chargé, avant de lui faire subir le traitement thermique de relaxation. La technique d'essai utilisée permet d'imiter la réalité des phénomènes, en ce sens que la relaxation porte sur une éprouvette composite et non pas sur une éprouvette homogène comme c'est le cas pour les essais sur éprouvettes de simulation.

Figure 5



INDURE
PARIS

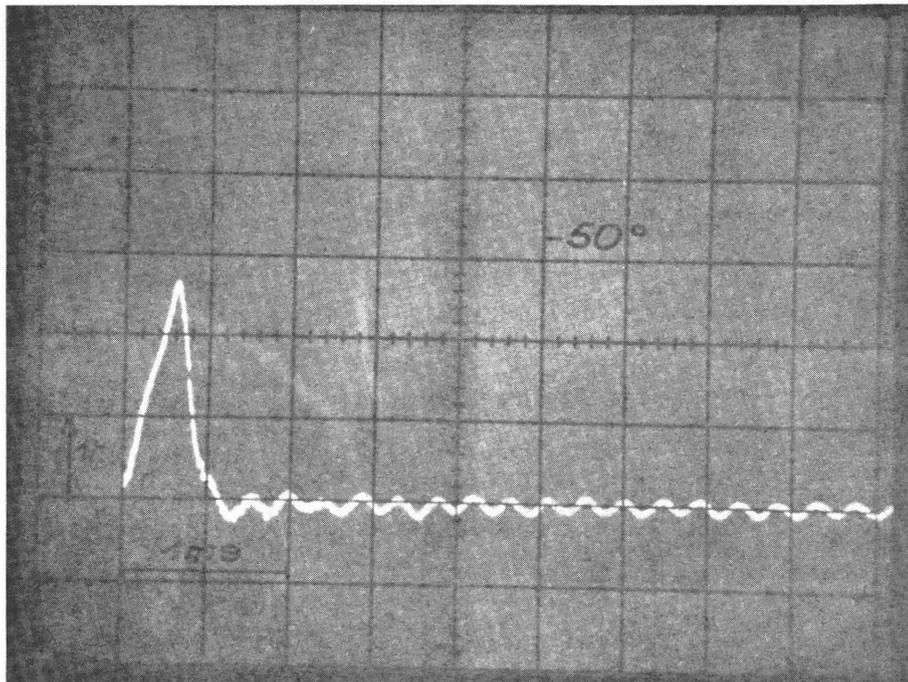
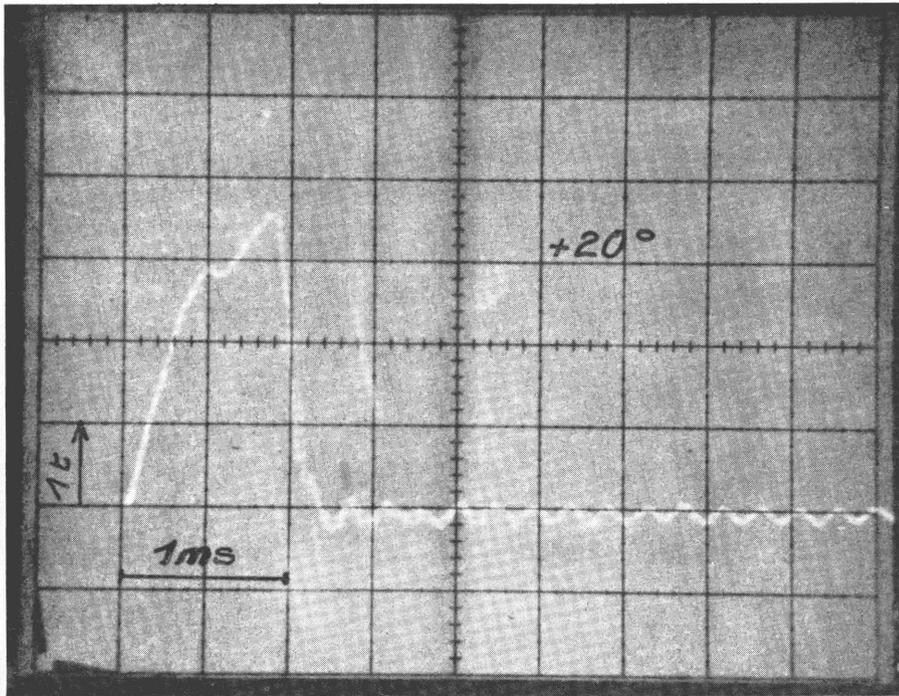


Figure 7

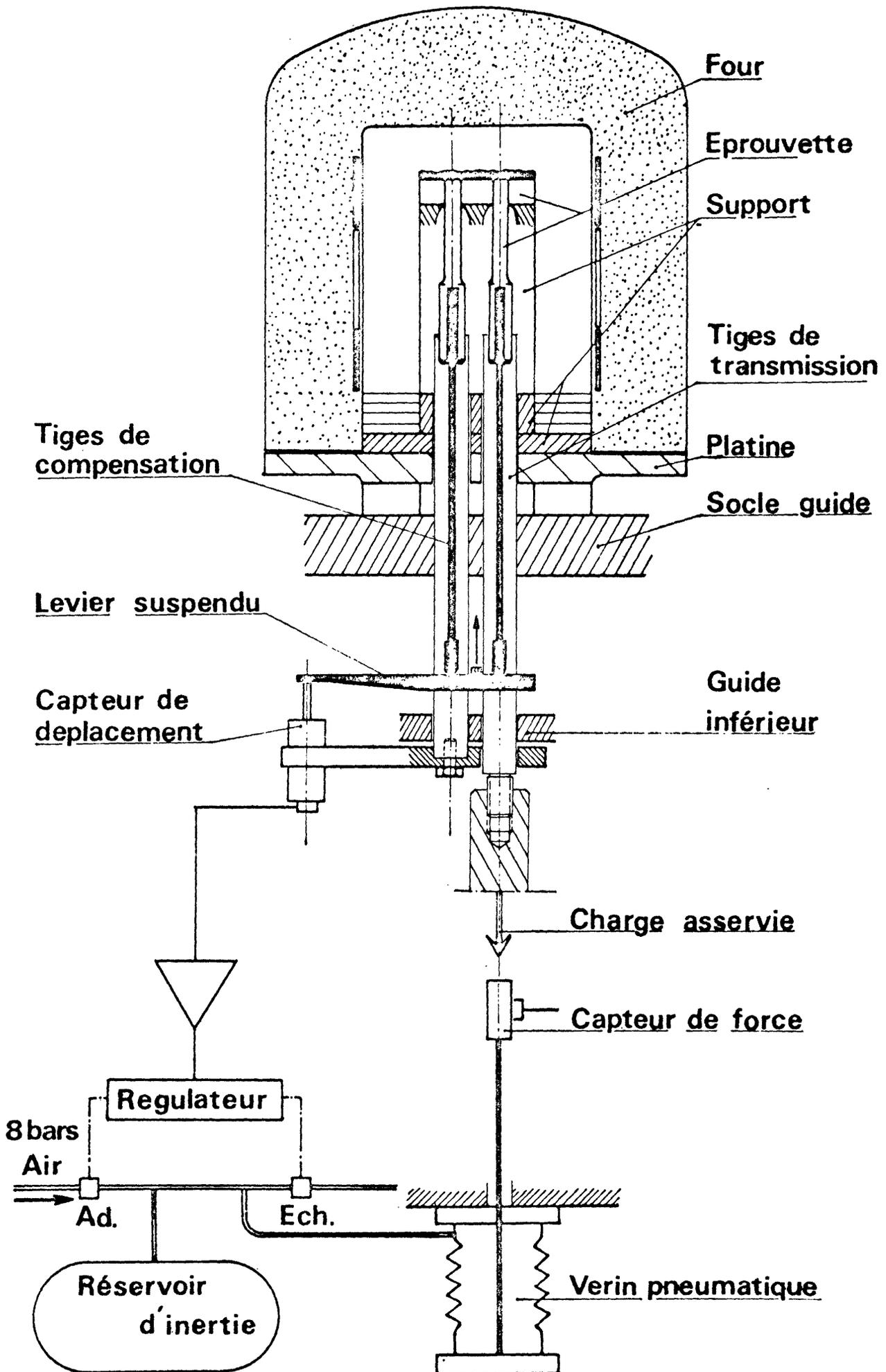
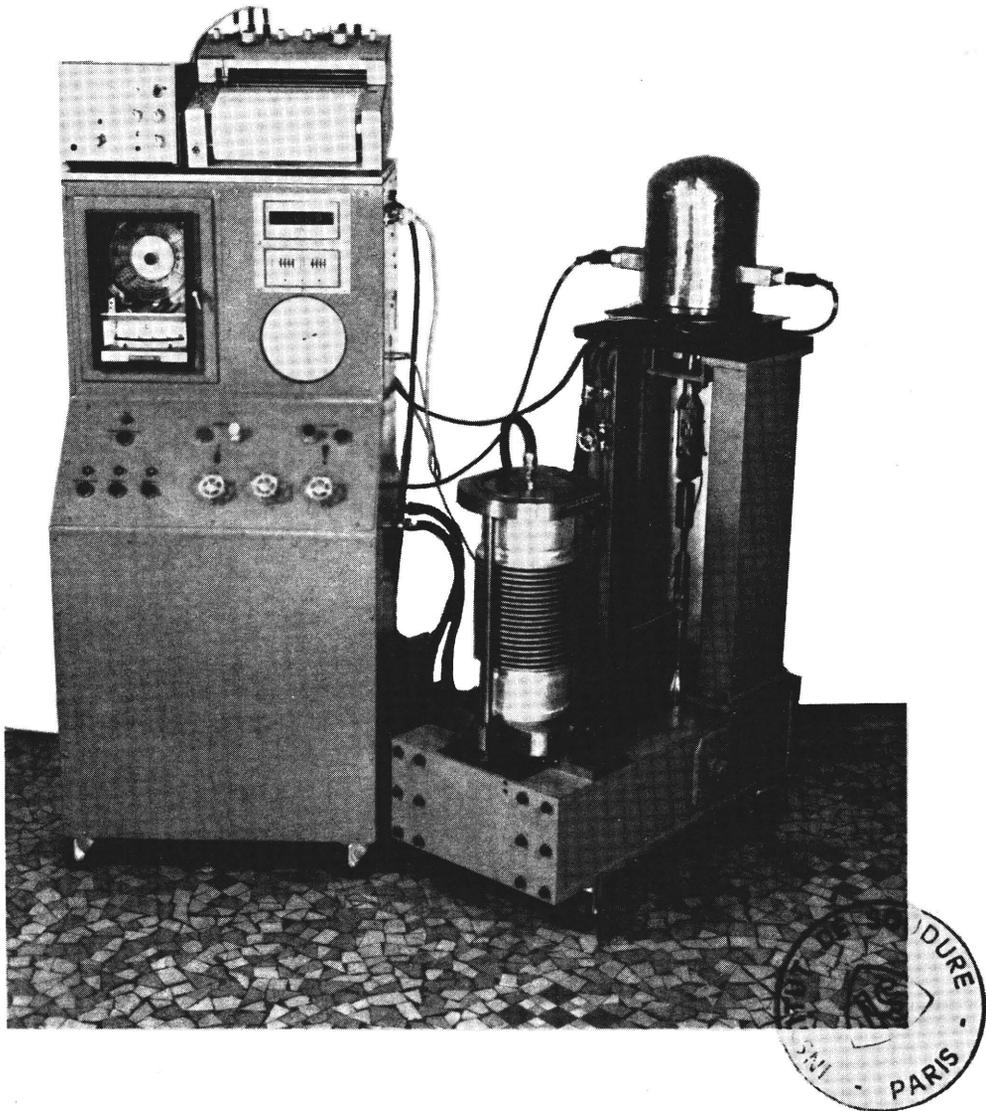


Figure 8



4. - RESULTATS DES ESSAIS ET COMMENTAIRES -

4.1 - Diagrammes de transformation au refroidissement continu et de fissuration à froid -

On trouvera ci-joints, en Annexe I, les diagrammes de transformation au refroidissement continu, qui ont été établis à l'occasion de la présente étude et, en Annexe II, les diagrammes de fissuration à froid.

Comme indiqué plus haut, on n'a disposé que d'une faible quantité d'acier non allié, livré à l'état trempé et revenu. Seuls, les aciers LJ et LX s'apparentent à cette catégorie.

L'acier LJ, expérimenté à l'état brut de trempe, a un diagramme de transformation dépourvu de martensite et une dureté sous cordon faible, ceci grâce à une teneur en carbone très basse. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner, de la position de la courbe de fissuration relative à ces aciers, dans le cas d'un soudage avec électrodes basiques sèches.

Dès que la teneur en carbone augmente, comme c'est le cas pour l'acier LX, qui contient par ailleurs un peu de cuivre et de molybdène, la possibilité d'une transformation martensitique apparaît, jusqu'à un temps de refroidissement de 10 secondes et la dureté maximale sous cordon se trouve affectée. Ceci va de pair avec une réduction de la contrainte de fissuration à froid, mais le comportement de ces aciers est du même ordre que celui d'un acier 52 normalisé. L'acier E 45 n'est, en fait, pas un acier trempé et revenu, mais ses courbes de transformation et de fissuration sont données en Annexe parce qu'il a servi à la mise au point de la technique d'essais de choc sur implants fissurés.

Les autres nuances expérimentées sont plus ou moins trempantes, comme le montre en Annexe I la collection des diagrammes relatifs aux aciers LH, LI, LK, LY, LW et LZ.

Les temps de refroidissement martensitiques s'étendent de 22 secondes pour LZ jusqu'à plus de 30 secondes pour LY. De plus, la transformation devient purement martensitique au dessous de 20 secondes pour LH, LI, LK et LW, au dessous de 15 secondes pour LY et LZ. Cette particularité, associée à une teneur en carbone toujours supérieure

.../...

à 0,14 ou 0,15, explique la sensibilité systématique à la fissuration à froid : les contraintes de fissuration sont toujours inférieures à 100 N/mm^2 .

Pour deux de ces aciers, à savoir LI, LW, on a pu constater que le soudage à l'arc sous CO_2 , avec arc court, améliore la situation puisque la contrainte de fissuration atteint 170 N/mm^2 pour le premier et 220 pour le second, pour des temps de refroidissement de l'ordre de 10 secondes. Il n'en reste pas moins que la sensibilité reste importante et que les aciers de cette nature doivent être soudés avec précaution, en faisant intervenir un préchauffage et un post-chauffage.

L'acier MA, qui n'a été approvisionné qu'à la fin de l'étude, correspond à une autre formule puisque l'élévation des propriétés de traction est due à un effet de durcissement structural. Comme le montre la courbe correspondante, il n'a pas été possible d'obtenir la fissuration à froid lors du soudage avec électrodes basiques. Il y a là une indication très intéressante.

En conclusion, on peut dire que du point de vue de la trempe en soudage et du risque associé de fissuration à froid, trois classes d'acier trempés et revenus peuvent se présenter :

a) - Aciers non alliés qui ne peuvent être obtenus, à l'état trempé et revenu, que sous forme de produits relativement minces et dont la soudabilité, mesurée par essais sur implants, n'apparaît pas différente de celle des aciers de même nuance, livrés à l'état normalisé.

b) - Aciers faiblement alliés, trempants, permettant l'obtention de l'état trempé pour des produits épais : leur comportement en soudage est déterminé par la fragilisation à l'hydrogène de leur martensite. Ils doivent donc être soudés avec les précautions correspondantes.

c) - Les aciers à bas carbone, pour lesquels la dureté est obtenue par un mécanisme de durcissement structural : pour de tels aciers, il ne semble pas y avoir de risque de fissuration à froid.

4.2 - Essais de soudures auto-bridées -

Les essais de soudures auto-bridées CTS et TEKKEN ont été entrepris pour tenter d'apprécier l'influence, à composition égale, de l'état de traitement du métal de base, vis-à-vis de la sensibilité à la fissuration à froid.

Les deux aciers expérimentés ont été mis en oeuvre dans les états suivants :

LI, état trempé et revenu (600°) Rm = 848 N/mm²
Re = 785 N/mm²
A% = 19,5

LW, état A, trempé et revenu (550°) Rm = 1048 N/mm²
Re = 995 N/mm²
A% = 16,15

état B, normalisé à 920° et revenu à 670°
Rm = 753 N/mm²
Re = 625 N/mm²

Les résultats des essais CTS et TEKKEN sont donnés dans les tableaux III, IV et V ci-joints.

Pour ce qui est de l'essai CTS exécuté à froid, on constate que la fissuration se produit, pour les deux états, en zone de transformation pour les énergies les plus élevées et en zone fondue pour les énergies les plus faibles. Si on se réfère aux mesures antérieures relatives à la sévérité de l'essai CTS, effectuées dans le cadre du deuxième programme collectif, on comprend ces résultats ; en particulier, la non fissuration en zone thermiquement affectée pour les petits cordons, s'explique par le faible niveau de contrainte réalisé dans l'essai CTS. En tous cas, l'essai CTS pratiqué à froid ne permet pas d'apprécier l'influence de l'état de traitement du métal de base.

Le Tableau IV, qui fournit les résultats de l'essai CTS avec préchauffage, ne permet pas une meilleure discrimination car on supprime aisément la fissuration par un préchauffage à 80 ou 100° pour l'acier LW, quel que soit l'état de traitement. Il faut d'ailleurs reconnaître que la masse calorifique de l'éprouvette CTS est un peu faible, si bien que le préchauffage a un effet considérable.

TABLEAU III

Résultats d'essais CTS à froid
(Electrode ND 70 e = 30 mm)

	Energie kj/cm	Position	
		ZF	ZTA
Acier LI	10	NF	NF
	17,5	F	F
	35	NF	F
Acier LW état A	10	F	NF
	20	NF	F
	30	NF	F
Acier LW état B	10	F	NF
	15	NF	F
	30	F (peu)	F

TABLEAU IV

Résultats d'essais CTS
avec préchauffage

	Energie kj/cm	Préchauffage minimal	Emplacement	
			ZF	ZTA
Acier LI	15,5	80°	NF	F
	17,1	100°	NF	NF
Acier LW état A	20	80°	NF	NF
Acier LW état B	15	100°	NF	NF
	20	80°	NF	F

TABLFAU V : Résultats d'essais TEKKEK avec
préchauffage et postchauffage (e = 30 mm)

	Energie kJ/cm	Préchauffage (température)	Postchauffage (temps)	ZP	Emplacement ZTA
Acier LI électrode ND 70	17,5	100°	15 mn	NF	F
	17,2	100°	30 mn	NF	F
Acier LM état A électrode OK 42 30	17,6	125°	30 mn	NF	NF
	14,4	100°	30 mn	NF	NF
	14,6	100°	15 mn	F	NF
	13,5	80°	sans	NF	F
Acier LM état B électrode OK 48 30	13,6	100°	30 mn	NF	NF
	13,2	100°	15 mn	NF	NF
	14,5	80°	sans	NF	NF

En ce qui concerne les essais TEKKEN, on n'a pas réussi, quelle que soit l'électrode utilisée, ND 70 à haute résistance ou OK 4830, plus douce, à éviter la fissuration dans la zone fondue, lors du soudage à froid. De ce fait, on ne pouvait pas distinguer l'influence de l'état du métal de base.

Lorsqu'on fait intervenir le préchauffage et le post-chauffage, lors de l'essai TEKKEN, on obtient les résultats du Tableau V. On voit que, pour l'acier LI, la fissuration s'est reportée dans la zone thermiquement affectée, pour l'acier LW, on constate un certain avantage en faveur de l'état doux, puisque la non fissuration a été obtenue avec des températures de préchauffage et des temps de post-chauffage inférieurs, à énergie de soudage égale, à ce qui s'est avéré nécessaire pour l'état dur.

La différence de comportement notée, méritera d'être vérifiée sur un plus grand nombre de nuances, car le problème est important : s'il est vrai qu'à composition chimique égale, la sensibilité à la fissuration à froid est plus grande à l'état trempé qu'à l'état recuit, à cause de l'augmentation de contrainte de bridage, cela veut dire que des précautions supplémentaires de soudage doivent être prises lorsqu'on soude un acier trempé et revenu. Malheureusement, cet aspect des problèmes de soudabilité échappe à l'essai sur implants et les essais sur éprouvettes auto-bridées, qui seront nécessaires, demanderont des quantités importantes des produits à essayer.

4.3 - Essais de choc sur implants fissurés -

En fait, les résultats que l'on trouvera sous cette rubrique sont relativement peu abondants car les deux aciers mis en oeuvre, à savoir A 52 et E 45, ont surtout servi à une mise au point méthodologique. Néanmoins certaines indications apparaissent déjà.

L'Annexe III ci-jointe contient, sous forme de planches, les reproductions des enregistrements effort-temps obtenus dans les situations suivantes :

.../...

- Acier A 52 :

- Implant non fissuré,
- Implant faiblement fissuré,
- Implant fortement fissuré.

Dans les trois cas, essais à l'état brut de soudage et à l'état revenu à 600°.

- Acier E 45 :

- Implant non fissuré,
- Implant faiblement fissuré.

Essais à l'état brut de soudage et à l'état revenu à 600°.

Dans ce travail exploratoire, on a expérimenté une seule condition de soudage, à savoir : 20 kJ/cm sur tôle de 20 mm, ce qui correspond à un temps de refroidissement de 9,5 secondes. Entre 800 et 500°, la contrainte de fissuration à froid correspond, relevée sur les diagrammes de fissuration, à 17 kg/mm², pour l'acier A 52 (Structure martensite et bainite, dureté HV 5 445) et 28 kg/mm² pour l'acier E 45 (Structure martensite et bainite, dureté HV 5 390).

Chaque enregistrement a été dépouillé pour en retirer les indications suivantes :

Pourcentage de fissuration (% F), pourcentage de métal fondu dans la cassure (% MF), travail de rupture (W kgm/cm²), contrainte maximale (σ max. kg/mm²).

En ce qui concerne le pourcentage de fissuration, les opérateurs ont appris à maîtriser suffisamment le dispositif d'essais pour être capables d'obtenir, soit une faible fissuration (inférieure à 15%), soit une forte fissuration (autour de 40 à 50%). Il reste cependant une certaine dispersion et il est impossible de comparer des implants présentant exactement le même pourcentage de fissuration. Il est rappelé que le pourcentage de fissuration est lu sur la cassure, grâce à la coloration provoquée par le traitement de dégazage. Les valeurs de travail ou de contrainte mentionnées sur les courbes effort-temps sont rapportées à la section réduite par la fissuration.

La proportion de métal fondu dans la cassure, est une donnée extrêmement importante, car elle présente un sérieux inconvénient de la méthode : alors qu'on souhaite étudier le comportement de la zone thermiquement affectée en présence d'une fissure, on constate que, très souvent, la rupture qui s'amorce au niveau de la fissure pré-existante, dévie vers le métal fondu qu'elle affecte dans une proportion variable. La Figure 9 montre l'aspect micrographique d'un tel parcours. On constate d'ailleurs que ce comportement concerne aussi bien les implants non fissurés que les implants fortement fissurés.

Compte tenu de cette particularité, la mesure du travail de rupture ne présente pas grand intérêt puisque, dans la plupart des cas, on risque de mesurer, sur les enregistrements, le travail cumulé de rupture dans le métal de base puis dans la zone fondue. D'ailleurs, même si la rupture n'affecte pas du tout le métal fondu, comme c'est rarement le cas, la contrainte de rupture est si élevée que le travail enregistré est influencé par la déformation de l'implant dans sa partie calibrée, en dehors de la zone thermiquement affectée. Il faut donc renoncer à tirer parti de l'enregistrement, à cet égard.

La seule possibilité qui reste pour évaluer l'aptitude à l'amorçage de la cassure, au niveau d'une fissure pré-existante, est la mesure de la contrainte maximale, en supposant, à priori, que c'est au moment correspondant que se déclenche la cassure, en provoquant la chute de l'effort.

Pour faciliter l'interprétation, on a reporté aux figures 10, 11, 12 et 13, les charges de rupture ainsi relevées :

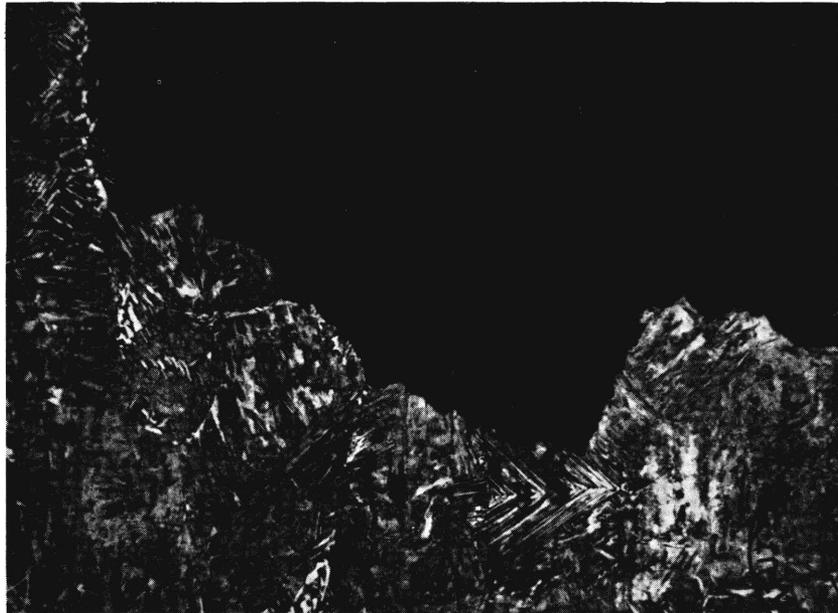
- Figure 10 : acier A 52, implant faiblement, fortement et non fissuré - état brut de soudage.

- Figure 11 : implant fortement, faiblement et non fissuré - état revenu.

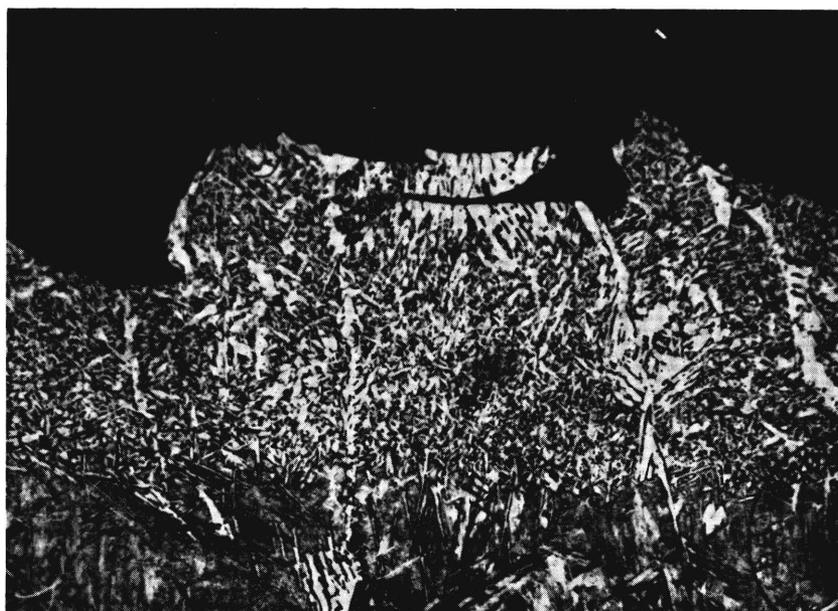
- Figure 12 : acier E 45, implant faiblement fissuré et non fissuré - brut de soudage.

- Figure 13 : acier E 45, implant faiblement fissuré et non fissuré - état revenu.

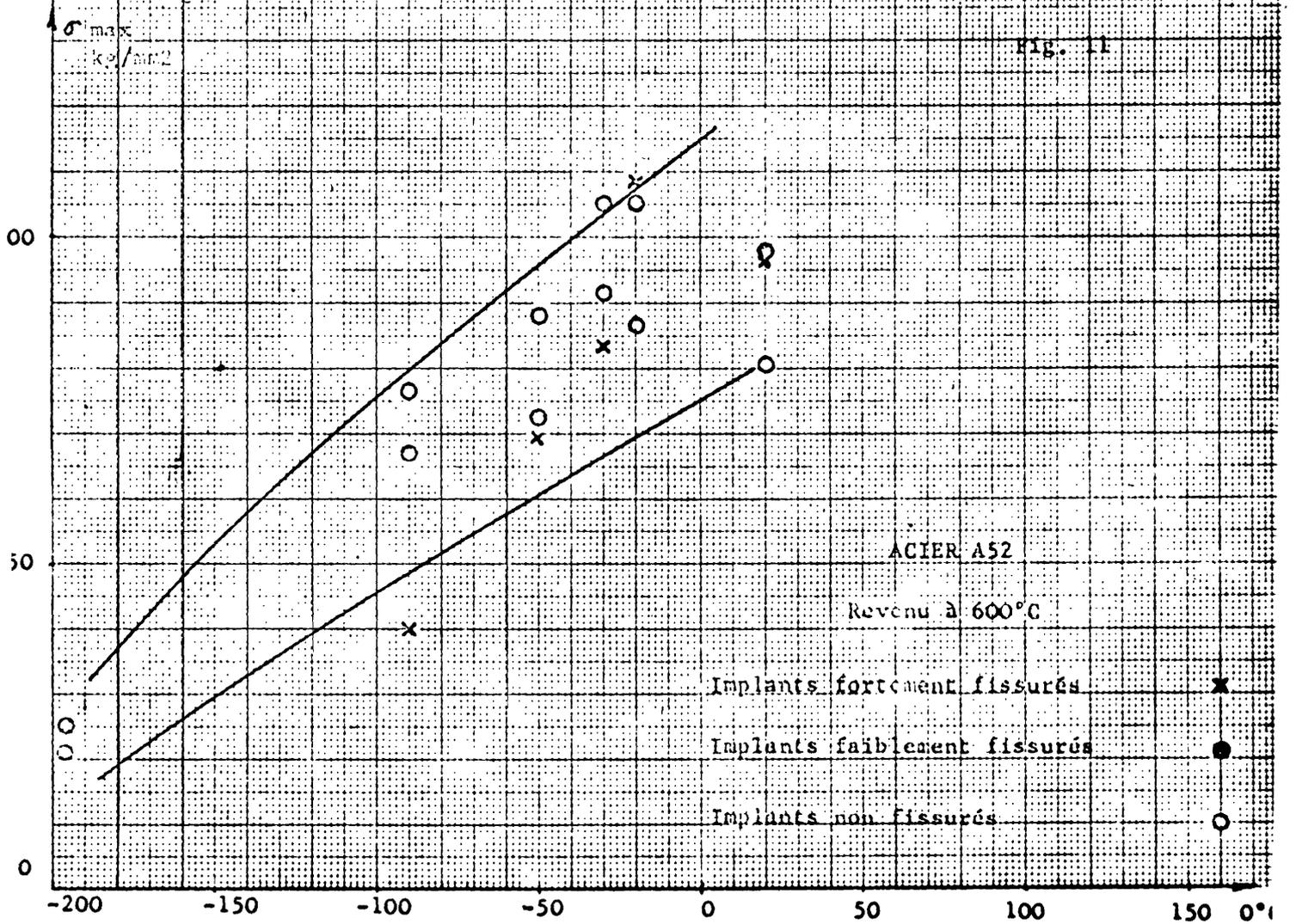
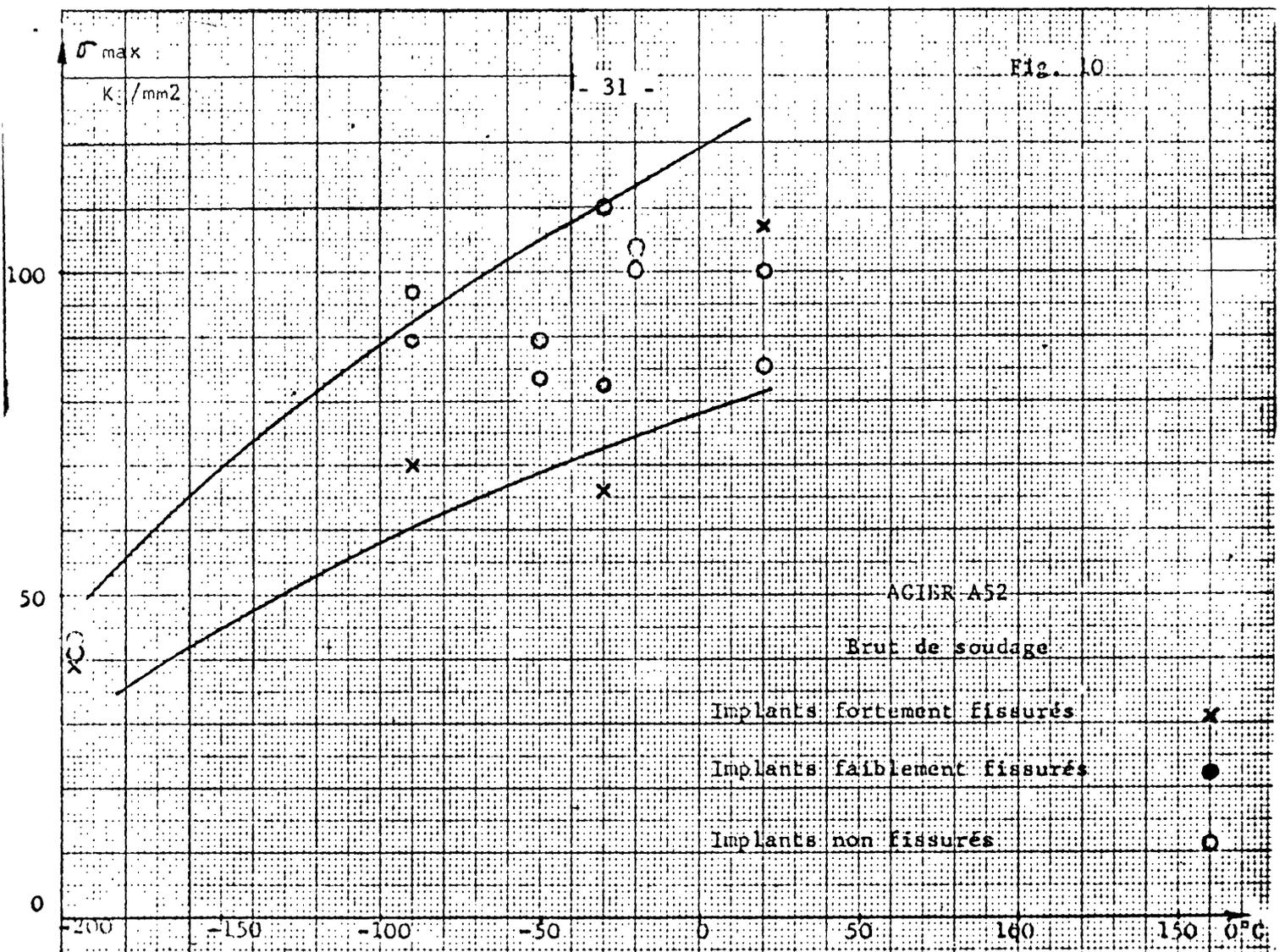
Figure 9

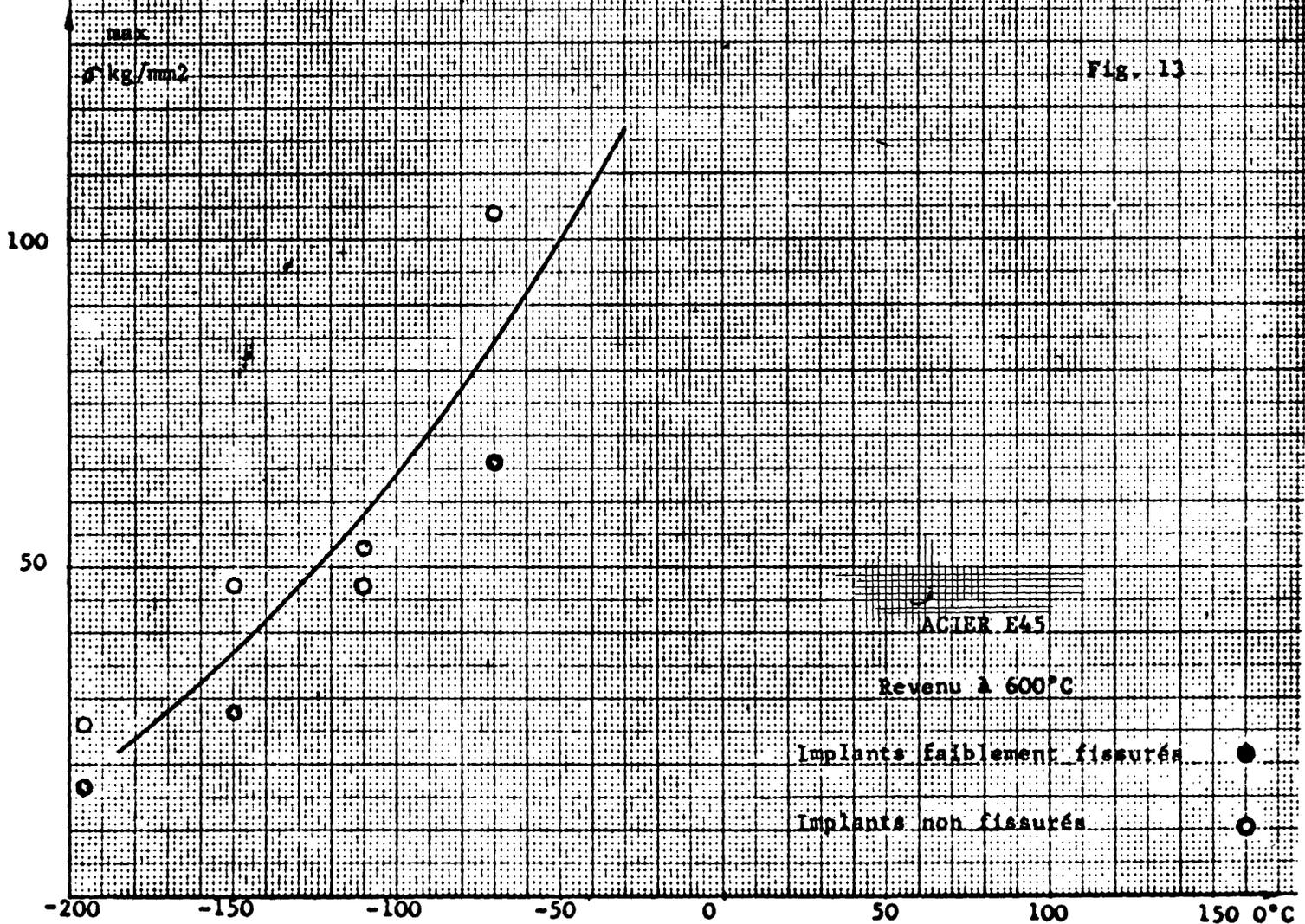
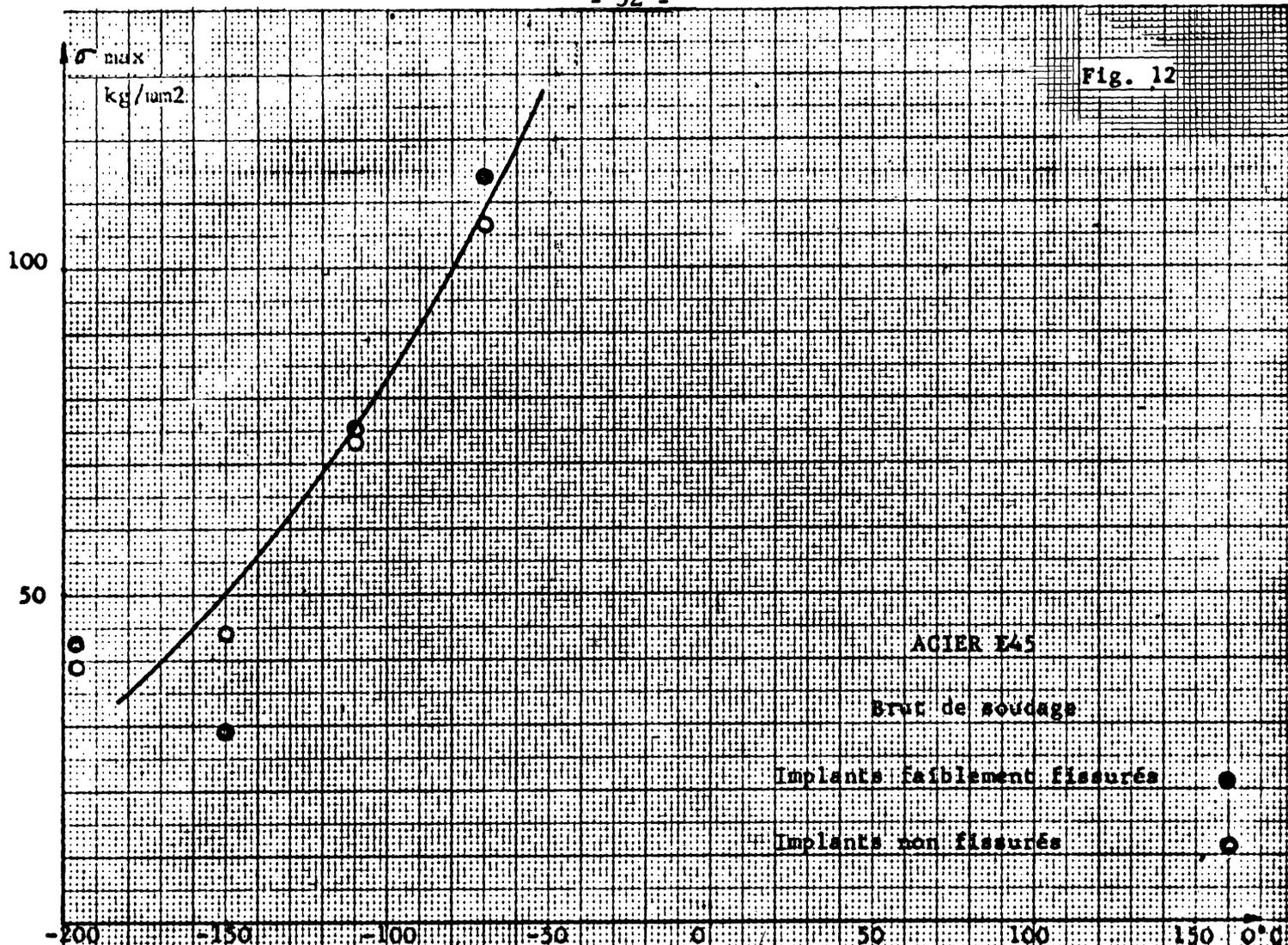


Parcours en zone thermiquement affectée x 400



Parcours en zone fondue x 400





L'examen de ces graphiques montre d'abord qu'il y a relativement peu de différence entre les résultats relatifs aux états fortement et faiblement fissurés, dans la mesure où, comme cela a été fait, la contrainte est calculée en tenant compte de l'incidence de la fissure sur la section.

On voit, d'autre part, et cela paraît surprenant, que le comportement des implants non fissurés n'est pas différent de celui des implants fissurés, ce qui semble indiquer que les zones thermiquement affectées, que l'on a expérimentées, sont relativement peu sensibles à l'acuité des défauts qui localisent la cassure. Cependant, pour trois températures (20, - 20 et - 30°), les implants non fissurés, en acier A 52, ne se sont pas rompus.

En ce qui concerne le traitement de revenu, il ne semble pas apporter de grandes modifications dans le cas de l'acier A 52. Pour l'acier E 45, il semble abaisser la contrainte de rupture, tout au moins pour les implants fissurés.

Enfin, on peut remarquer que la variation de la contrainte de rupture, en fonction de l'abaissement de la température, est continue : il n'apparaît pas de transition.

Peut-être est-il prématuré de tenter de tirer des conclusions d'essais trop fragmentaires. Cependant, on a l'impression que les zones thermiquement affectées expérimentées se sont révélées peu fragiles. De nouveaux essais sont en cours pour expérimenter d'autres nuances d'acier et voir si une chute de la contrainte de rupture, en fonction de la température, révèle une plus grande fragilité. On est aussi en train de procéder à des essais sur éprouvettes pré-fissurées recuites, soit au four, soit sous l'effet de passes ultérieures de soudage.

En conclusion de cette partie du programme, on peut dire que la mise au point de l'essai de traction par choc sur implants fissurés a été achevée. Les premiers résultats ont montré une assez faible sensibilité des zones thermiquement affectées des aciers expérimentés, ils ont montré, d'autre part, que la rupture dans la zone fondue constituait un inconvénient de la méthode, inconvénient conduisant à prendre, comme critère de sensibilité à l'amorçage, la contrainte maximale lue sur les enregistrements.

4.4 - Fissuration au réchauffage -

L'essai de fissuration au réchauffage sur double implant n'a été pratiqué, pour des raisons d'échantillonnage, que sur l'acier LI. On trouvera, au Tableau VI, les résultats des essais pratiqués, afin de déterminer la contrainte minimale qui peut être appliquée à l'implant, sans qu'une fissuration se produise au cours du réchauffage. Le Tableau VII illustre le résultat obtenu, comparé avec ceux que donnent d'autres aciers expérimentés au titre d'autres études. Dans ce Tableau, l'acier qui nous intéresse porte le repère J. Comme on le voit, la contrainte minimale de non fissuration est de l'ordre de 18 kg par mm^2 , c'est-à-dire qu'elle est très basse par rapport à la limite d'élasticité de l'acier expérimenté. Ce comportement pourrait s'associer à la présence d'éléments carburigènes, tels que le chrome et le molybdène.

Les aciers trempés et revenus faiblement alliés, soudables, doivent donc être examinés, non seulement du point de vue de la fissuration à froid et de la fragilisation de la zone affectée, mais aussi de celui de la fissuration au réchauffage. Ceci est d'autant plus vrai que la limite d'élasticité élevée, que confère à ces aciers l'état trempé et revenu, augmente la contrainte initiale, c'est-à-dire la contrainte résiduelle, au moment où l'on va commencer le réchauffage en vue de la relaxation de ces contraintes. L'échantillonnage limité, dont nous disposons pour les quelques aciers non alliés que nous avons pu expérimenter, n'a pas permis l'exécution d'essais de fissuration au réchauffage. Cependant, les résultats obtenus par ailleurs, permettent de penser que le problème de la fissuration au réchauffage ne se pose pas, qu'il s'agisse d'acier au carbone manganèse ou d'acier au carbone manganèse micro-allié.

5. - RESUME ET CONCLUSIONS -

Dans le cadre de la présente recherche, portant sur un certain nombre d'échantillons d'aciers trempés et revenus faiblement alliés ou non alliés, on a procédé aux investigations suivantes:

1) - Détermination des diagrammes de transformation au refroidissement continu par analyse "in situ" sur implants.

2) - Détermination des diagrammes de fissuration à froid sur implants.

ESSAIS DE FISSURATION AU RECHAUFFAGE

Tableau VI

Acier L I

Re : 800 N/mm²

Soudage avec électrodes ND 70 Ø 4 - sur 15 mm - sans préchauffage - avec postchauffage 150° 3 heures

Traitement thermique

Vitesse de montée 200°/heure

Palier 600° - 10 heures

Vitesse de descente 200°/heure

Repère d'essai	Energie J./cm	Contrainte initiale de l'essai N/mm ²	Taux de relaxation après 1 h de palier	Contrainte après 10 h de palier	Résultats - Observations
LI 1	16.500	310	83 %	37	Fissuration 35 % de la section
LI 2	15.000	260	82 %	33	Fissuration 30 %
LI 3	14.500	180	86 %	22	Fissuration 4 %
LI 4	14.700	160	84 %	22	N.F.
LI 5	14.500	160	71 %	31	N.F.
LI 6	14.600	160	70 %	31	N.F.

Tableau 7

ACIERS A HAUTE LIMITE D'ELASTICITE											
Rep.	G	H	I	J	K	L	M				
Acier	T.R. C:0.14 V:0.003 Mn:1.14 Si:0.38 Cr:0.20 S:0.011	E460 Norm. C:0.19 V:0.18 Mn:1.47 Si:0.35 Ni:0.33 S:0.015	T.R. C:0.15 Mn:1.30 Si:0.26 Ni:0.68 S:0.015	T.R. C:0.14 Mn:1.04 Mo:1.34 Ni:0.9 Cu:0.16 Cr:1.34 S:0.017	T.R. C:0.21 V:0.040 Mn:0.94 Mo:0.19 Cr:0.49 S:0.027	14N16 T.R. C:0.14 Mn:0.46 Mo:0.27 Ni:4.3 Cr:0.30 S:0.018	15CDV6 Recuit C:0.16 V:0.28 Mn:0.86 Mo:0.80 Ni:0.14 Cr:1.36 S:0.016				
Re	519	512	500	800	700	713	450				
	600°C			600°C			625°C				
	Re								Re		
				F							
						F					F

3) - Essais de fissuration sur soudures auto-bridées à l'état normalisé et à l'état trempé et revenu.

4) - Essais de traction par choc sur implants fissurés.

5) - Essais de fissuration au réchauffage.

Les essais 1, 2, 3 et 5 ont été pratiqués au moyen de méthodes mises au point à l'occasion d'autres études. L'essai n° 4 de traction par choc sur implant fissuré a été développé à l'occasion de la présente étude.

Les diagrammes de transformation et de fissuration montrent que les aciers trempés et revenus, faiblement alliés, doivent être soudés avec précaution, cependant que les produits relativement minces, qui peuvent être élaborés en aciers non alliés, ne posent pas de problèmes à cet égard.

L'influence de l'état trempé et revenu sur le risque de fissuration à froid n'a pas pu être complètement élucidé par essais de soudures auto-bridées, mais il semble qu'à composition chimique identique, l'état trempé et revenu appelle plus de précautions que l'état normalisé.

La mise au point d'une technique d'essais de choc sur implants fissurés a fait apparaître, pour les échantillons expérimentés, une sensibilité assez faible des zones thermiquement affectées à l'amorçage de ruptures au niveau des fissures à froid. Ce résultat devra être vérifié pour d'autres nuances.

Enfin, la sensibilité à la fissuration au réchauffage peut être évaluée, pour des zones thermiquement affectées réelles, au moyen de l'essai de relaxation différentielle sur double implant.

PARIS, le 15 Juillet 1974



ANNEXE I

INSTITUT DE SOUDURE

L H

32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

*Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:*

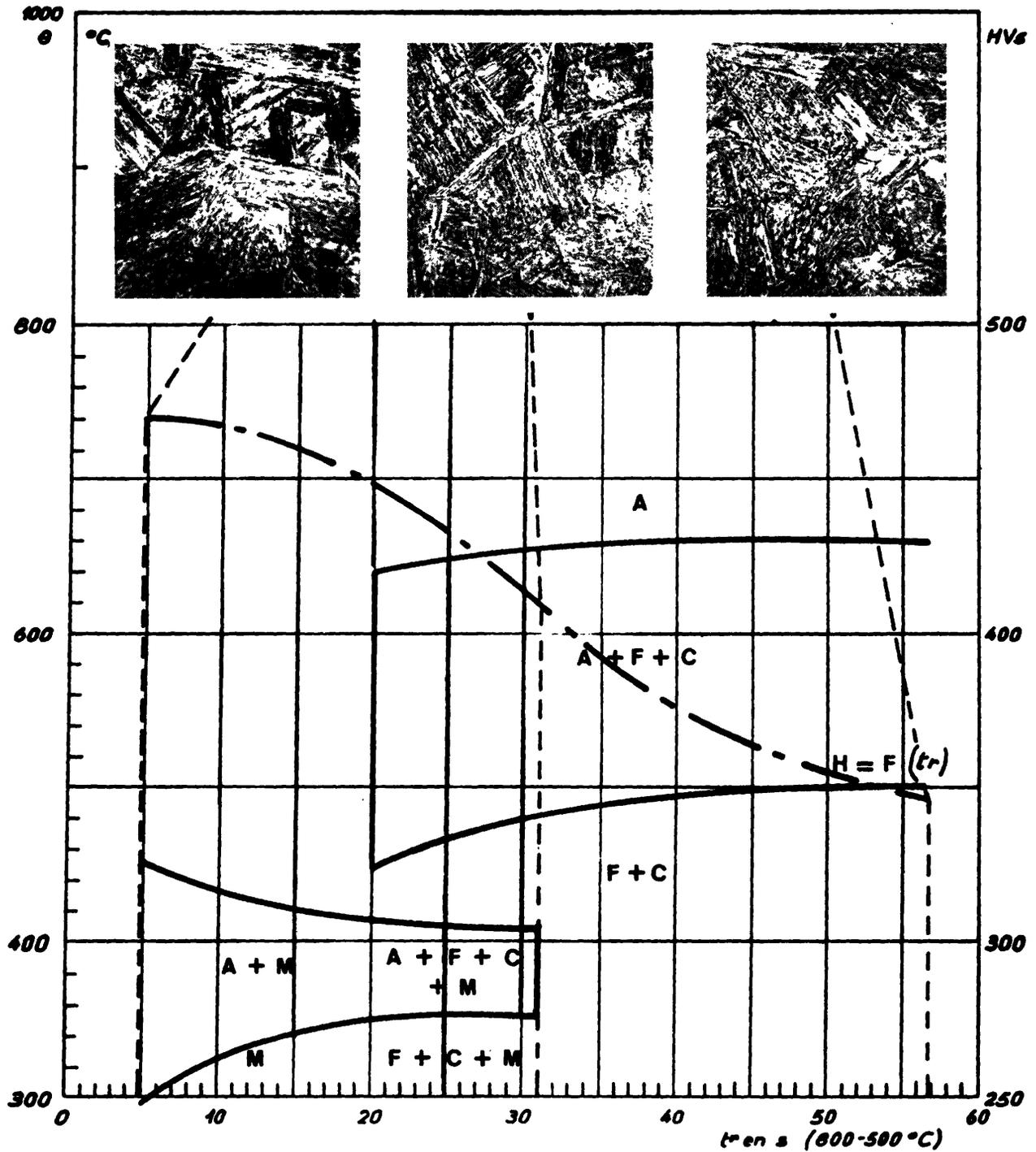
17 MCND 5

Etabli à la demande de la

CECA

Composition chimique % sur produit

C	Mn	Si	Cr	Al	S	P	Ni	V	Mo	Cu
0,168	1,35	0,275	0,62	0,031	0,009	0,012	0,61		0,31	



INSTITUT DE SOUDURE

32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:

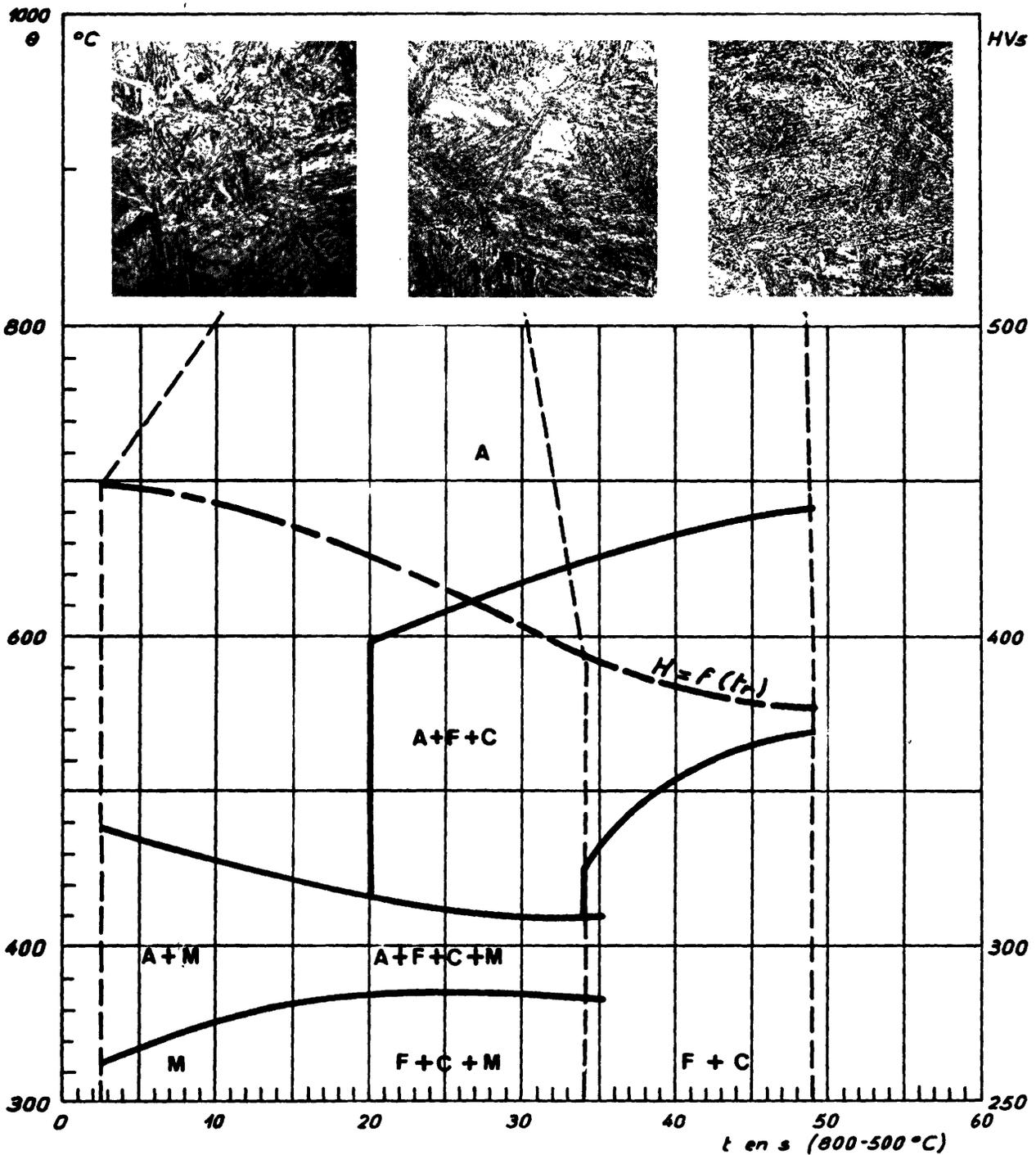
14 CND 5

Etabli à la demande de la

CECA

Composition
chimique en %
sur produit

C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P	Ni	V	Nb	Cu	Al
0,14	1,04	0,49	1,34	0,21			0,90			0,16	



INSTITUT DE SOUDURE

L J

32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

*Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:*

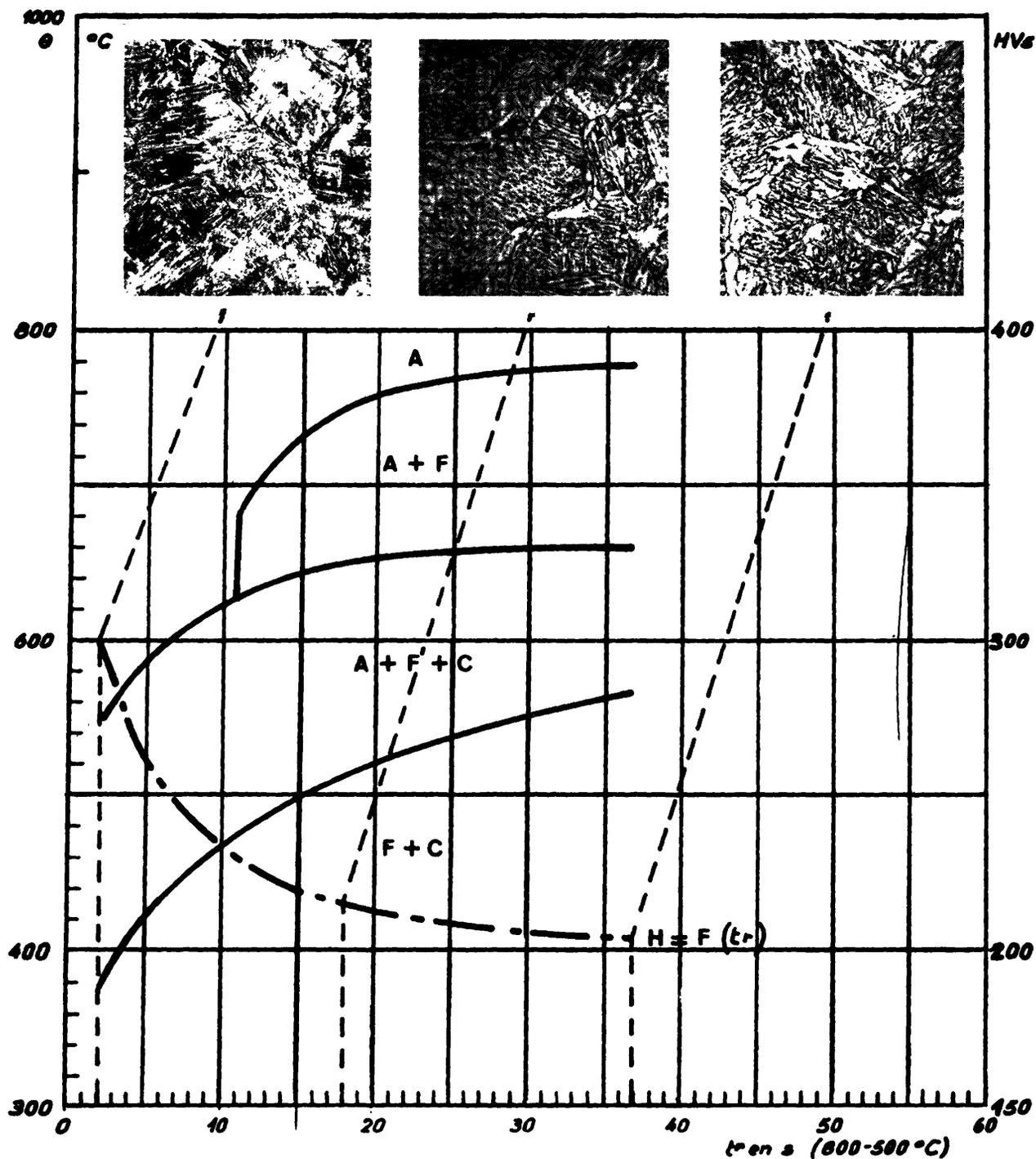
CC 10

Etabli à la demande de la

CECA

Composition chimique % sur produit

C	Mn	Si	Cr	Al	S	P	Ni	V	Nb	Cu	Mo	Sn
0,075	1,05	0,285	0,04	0,028	0,016	0,013	0,105	0,025	0,021	0,095	0,015	0,017



INSTITUT DE SOUDURE

L K

32, Bd DE LA CHAPELLE · PARIS (XVIII^e)

*Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:*

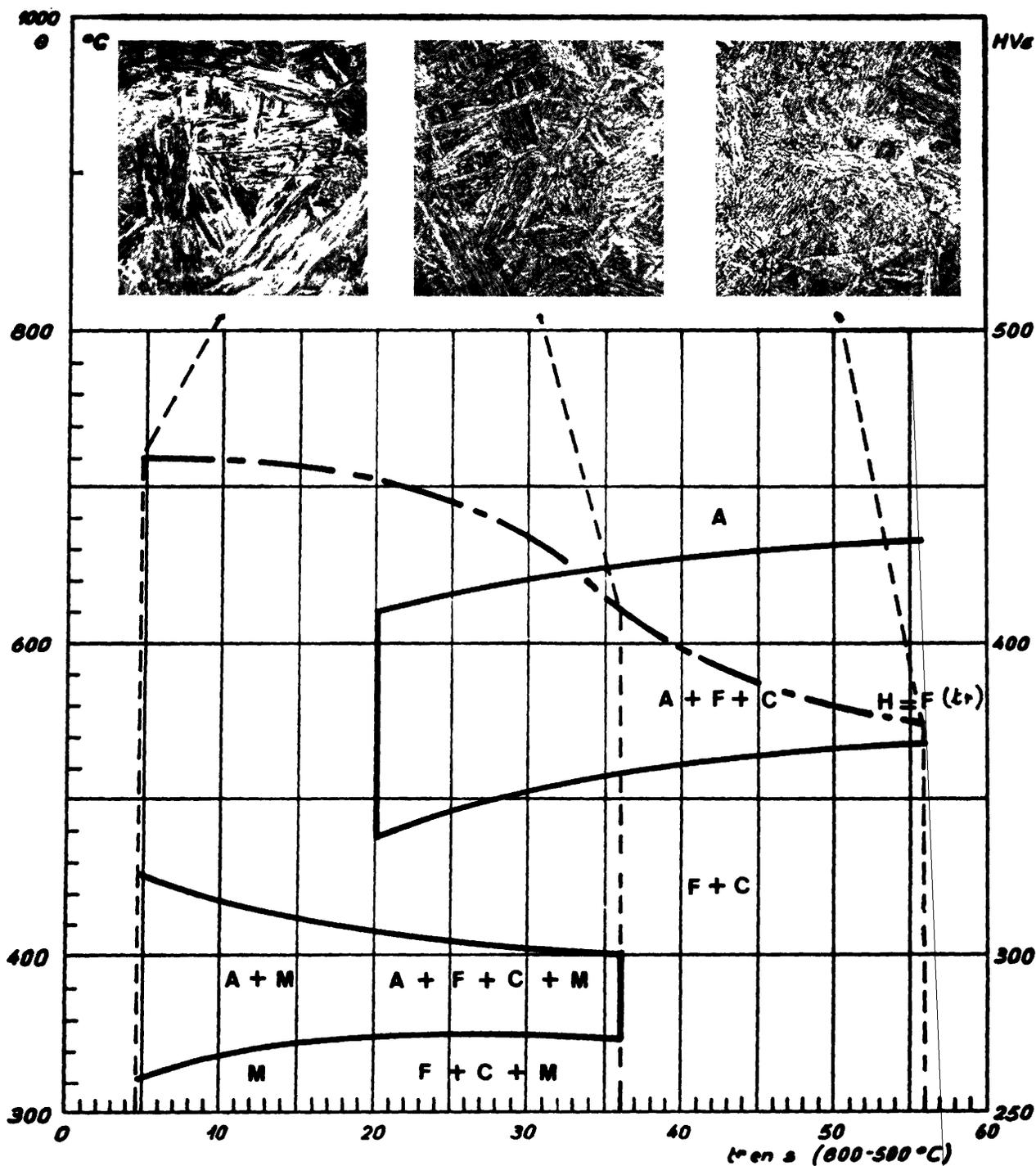
15 MCND 5

Etabli à la demande de la

CECA

Composition
chimique %
sur produit

C	Mn	Si	Cr	Al	S	P	Ni	Mo	Sn	Cu
0,155	1,31	0,39	0,92	0,042	0,005	0,010	0,81	0,23	0,012	0,100



INSTITUT DE SOUDURE

LW

32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

*Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:*

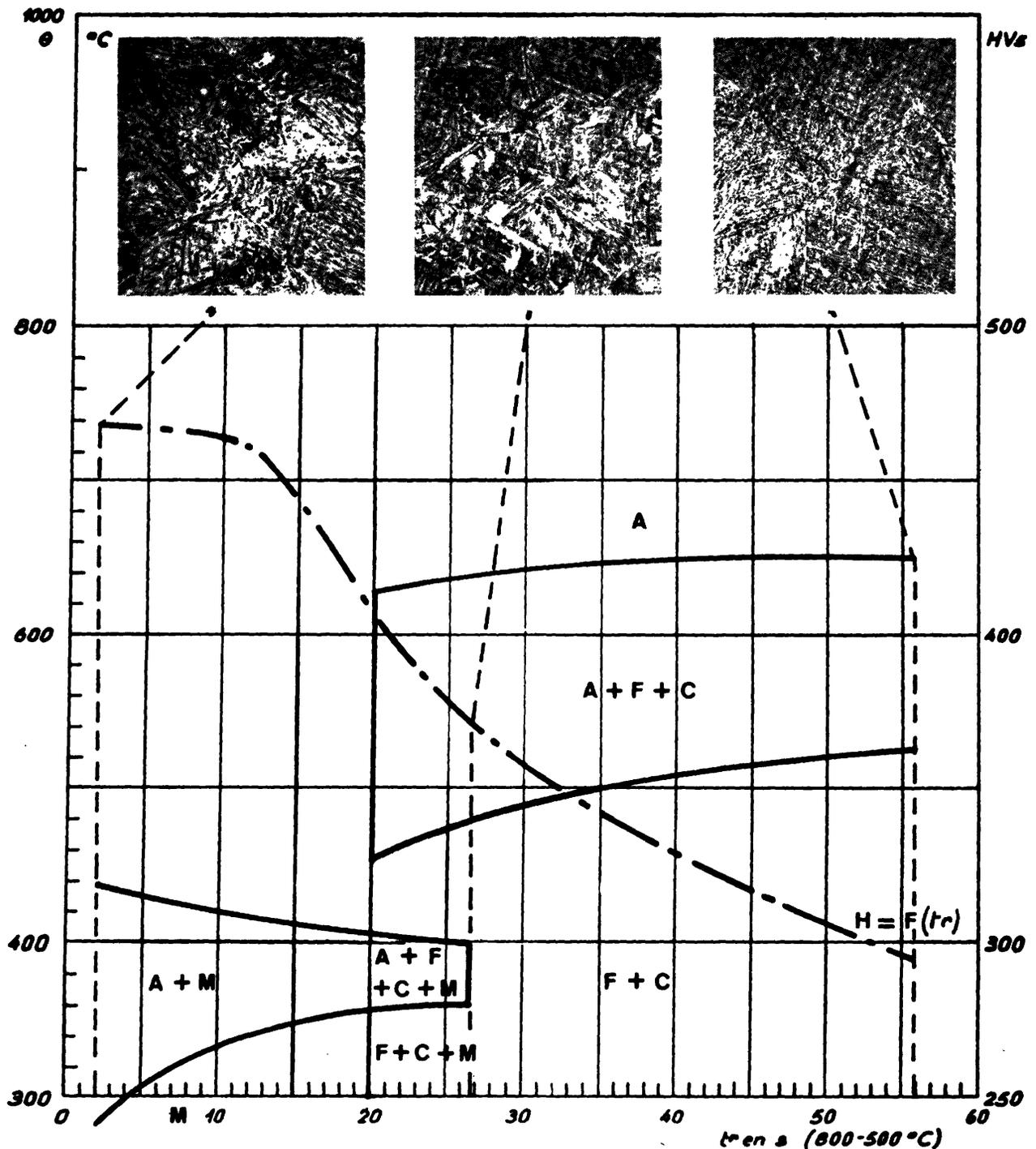
17 MDV 6

Etabli à la demande de la

CECA

Composition chimique % sur produit

C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P	Ni	V	N	Cu
0,17	1,45	0,08	0,16	0,43	0,011	0,012	0,19	0,062	0,008	



INSTITUT DE SOUDURE

32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

L X

*Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:*

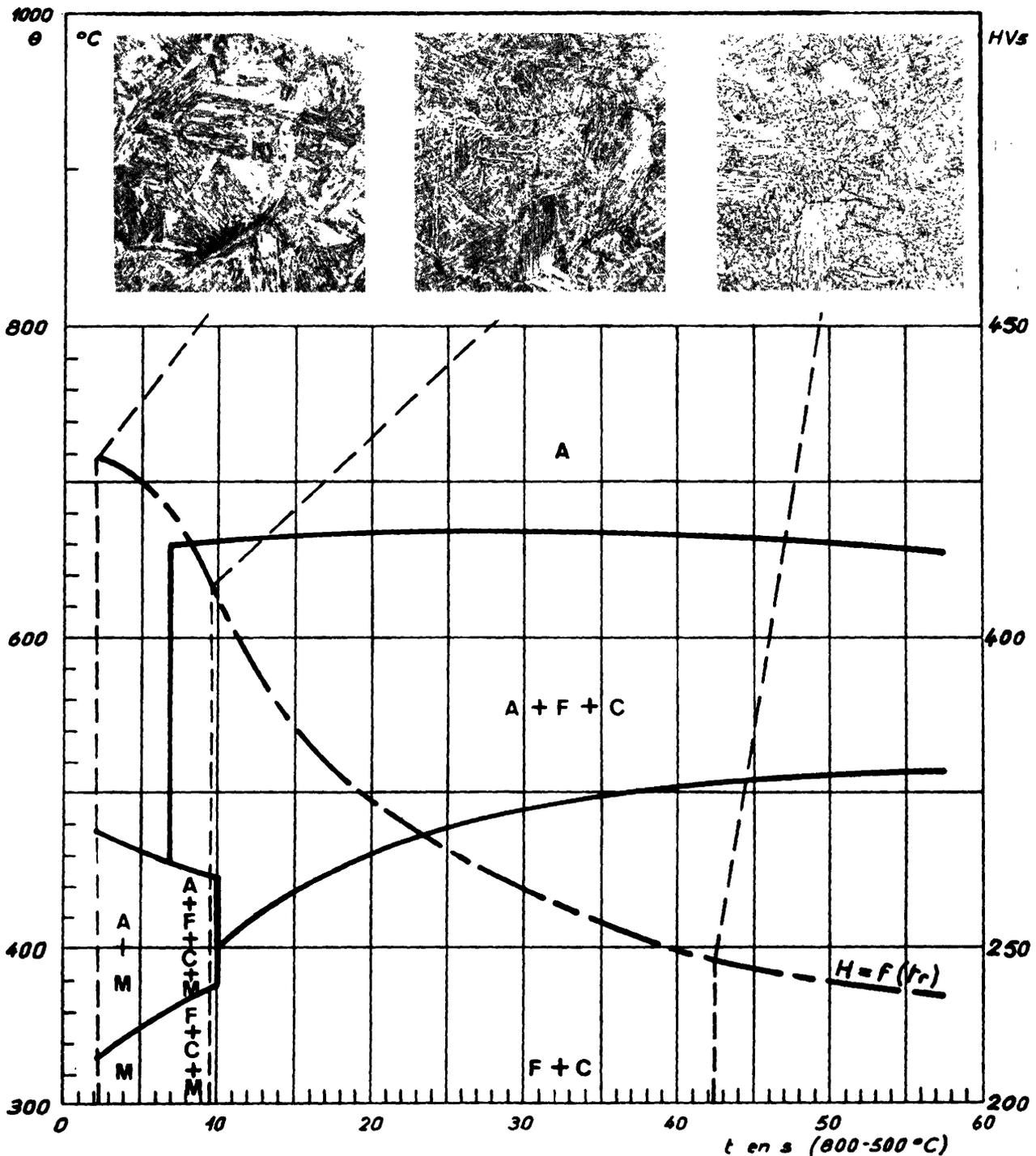
1 4 U D 5

Etabli à la demande de la

C E C A

Composition chimique % sur produit

C	Mn	Si	Cr	Nb	S	P	Ni	Cu	Al	Mo
0,14	1,12	0,34	0,05		0,02	0,01	0,05	0,55	0,053	0,50



INSTITUT DE SOUDURE

LY

32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:

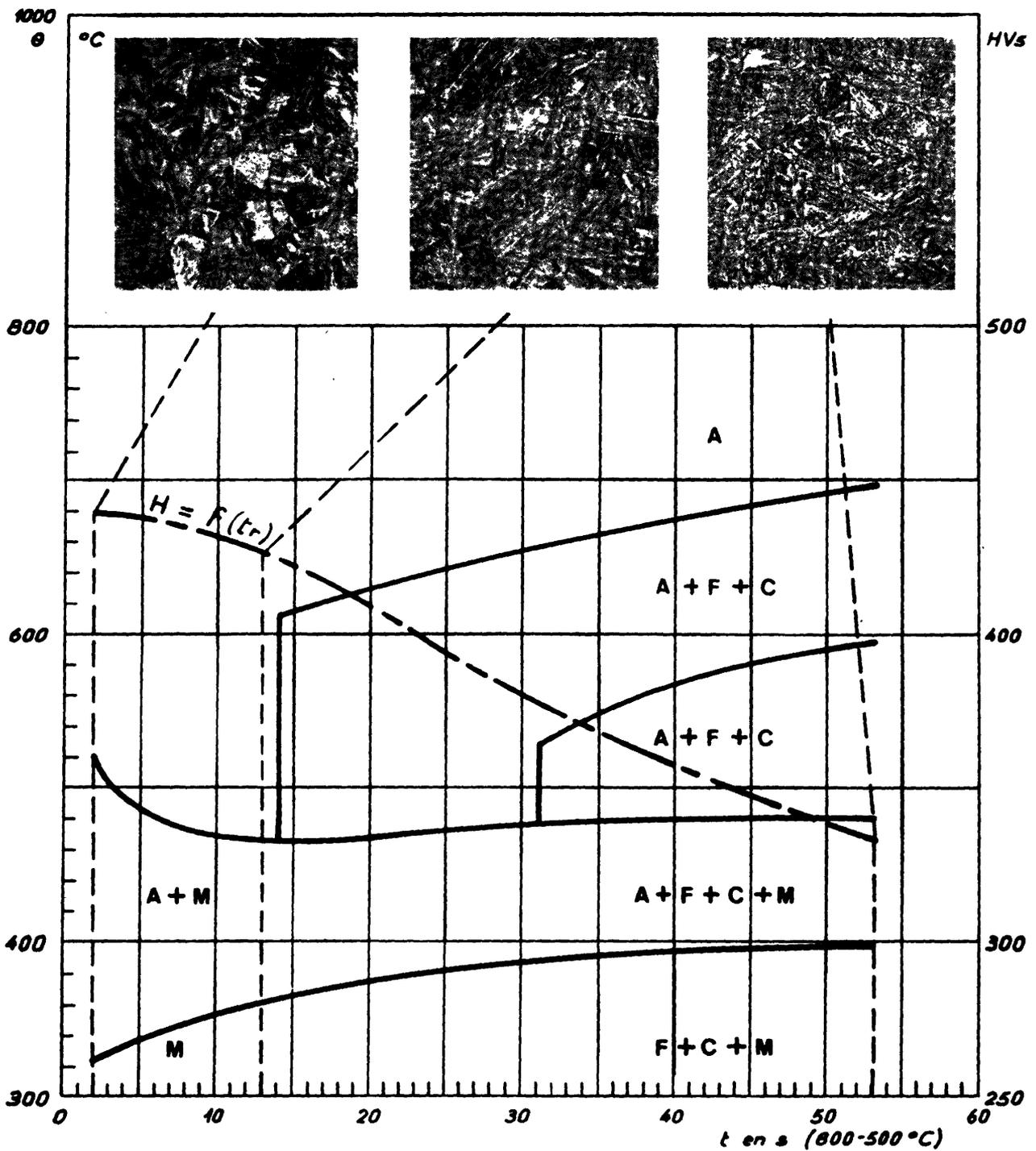
1 6 C N D 4

Etabli à la demande de la

C E C A

Composition chimique % sur produit

C	Mn	Si	Cr	Nb	S	P	Ni	Cu	Al	Mo
0,16	0,89	0,43	0,90				0,50	0,03		0,54



INSTITUT DE SOUDURE

LZ

32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

*Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:*

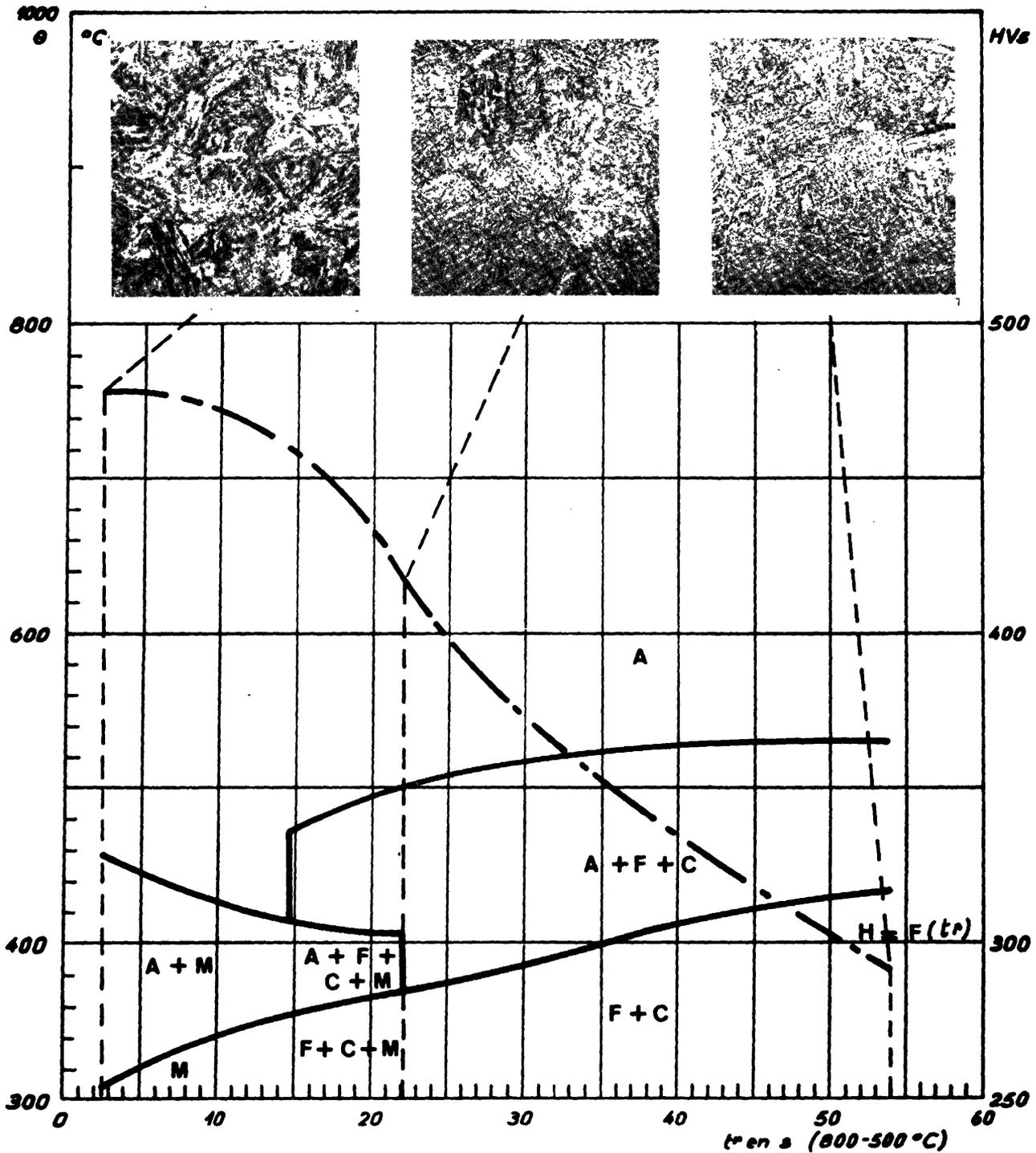
20 N D B 4

Etabli à la demande de la

C E C A

Composition chimique % sur produit

C	Mn	Si	Cr	Nb	S	B	Ni	Cu	Al	Mo
0,20	0,87	0,32	0,05			0,206	0,97	0,02		0,35



INSTITUT DE SOUDURE

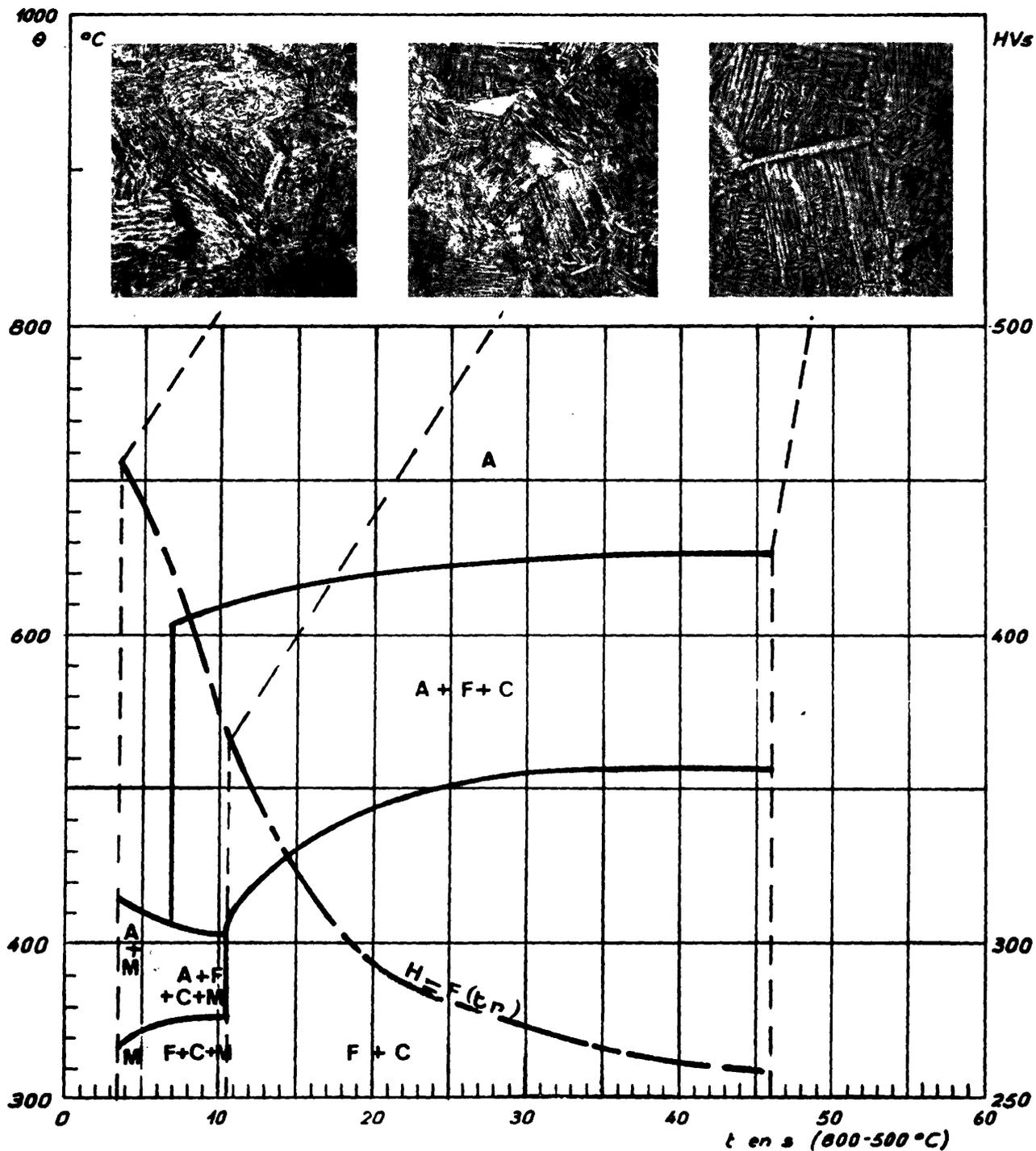
32, Bd DE LA CHAPELLE - PARIS (XVIII^e)

*Diagramme de transformation au refroidissement continu
lors du soudage de l'acier:*

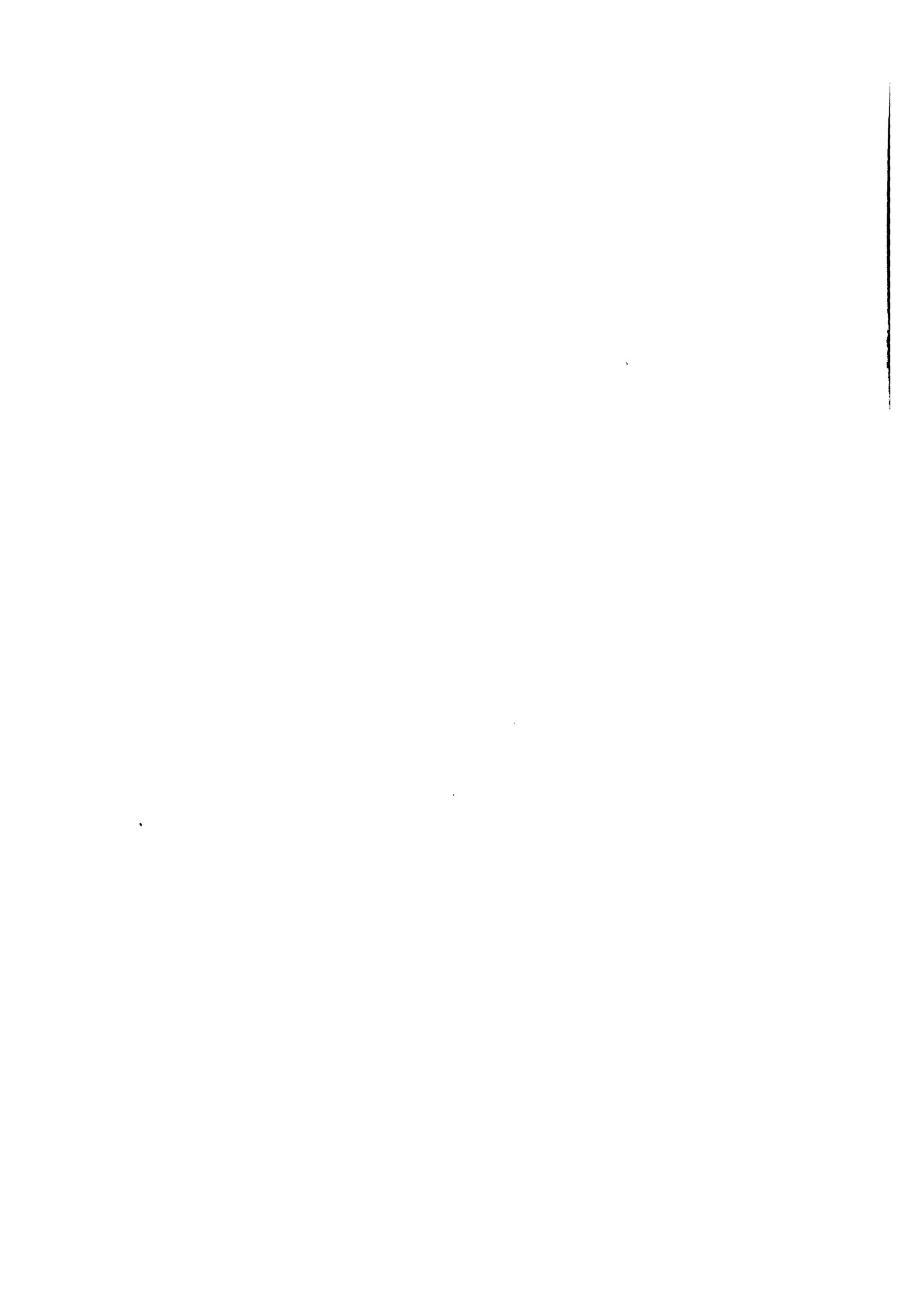
E 45

Composition

C	Mn	Si	Cr	Mo	S	P	Ni	V	Nb	Cu	AL
0,19	1,41	0,305			0,018	0,017		0,085	0,032		0,043



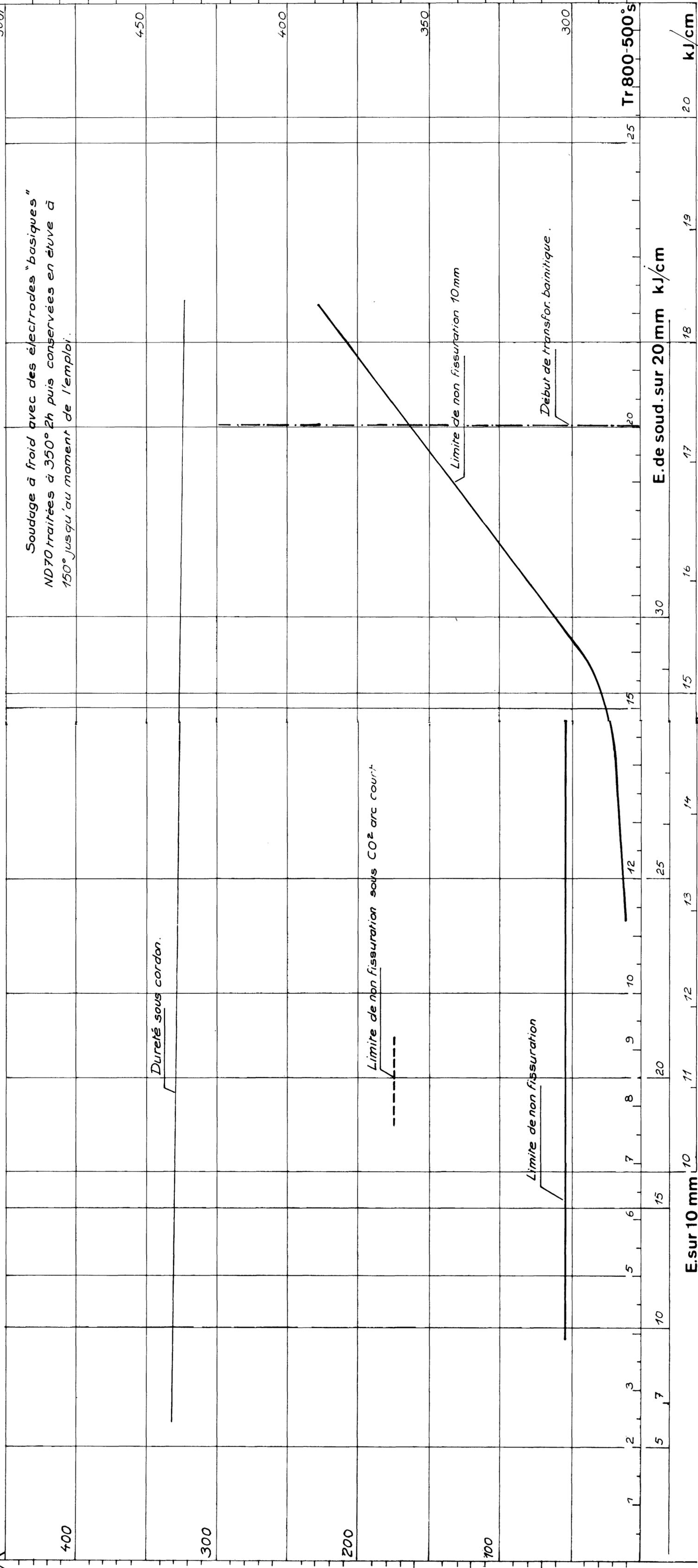
A N N E X E I I



LI - 1,6 FDO Tr. Rev. 72.731 - 60mm. C: 0,14 - Mn: 1,04 - Cr: 1,34 - Ni: 0,90 - Mo: 0,21 - Cu: 0,16

Rm: 865 N/mm² - Re: 800 N/mm² - A% 19,5

HV5
500



Soudage à froid avec des électrodes "basiques"
ND70 traitées à 350° 2h puis conservées en étuve à
150° jusqu'au moment de l'emploi.

450

400

350

300

20 kJ/cm

E.de soud. sur 20 mm kJ/cm

30

15

25

10

8

15

10

5

2

20 kJ/cm

19

18

17

16

15

14

13

12

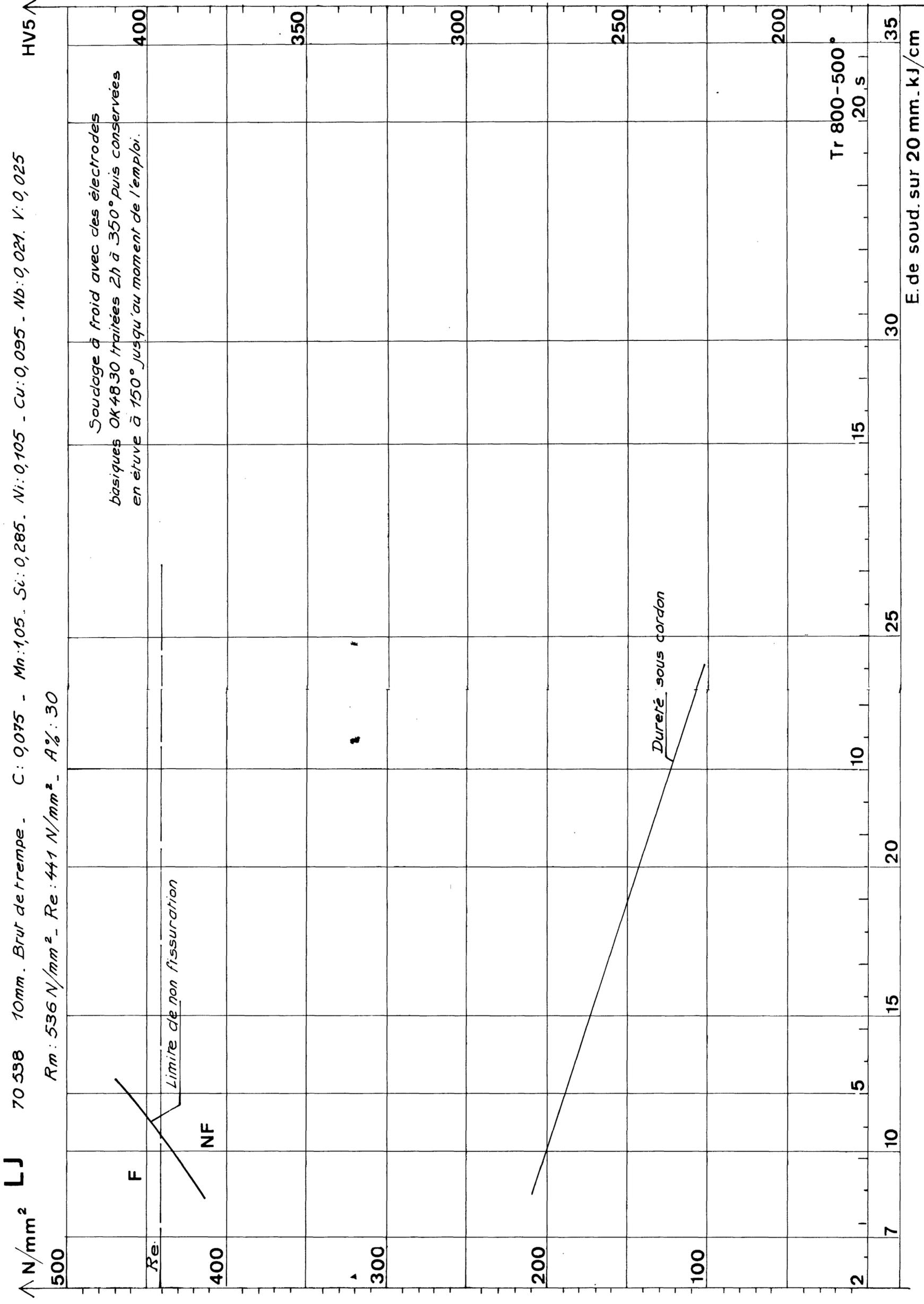
11

10

7

3

1



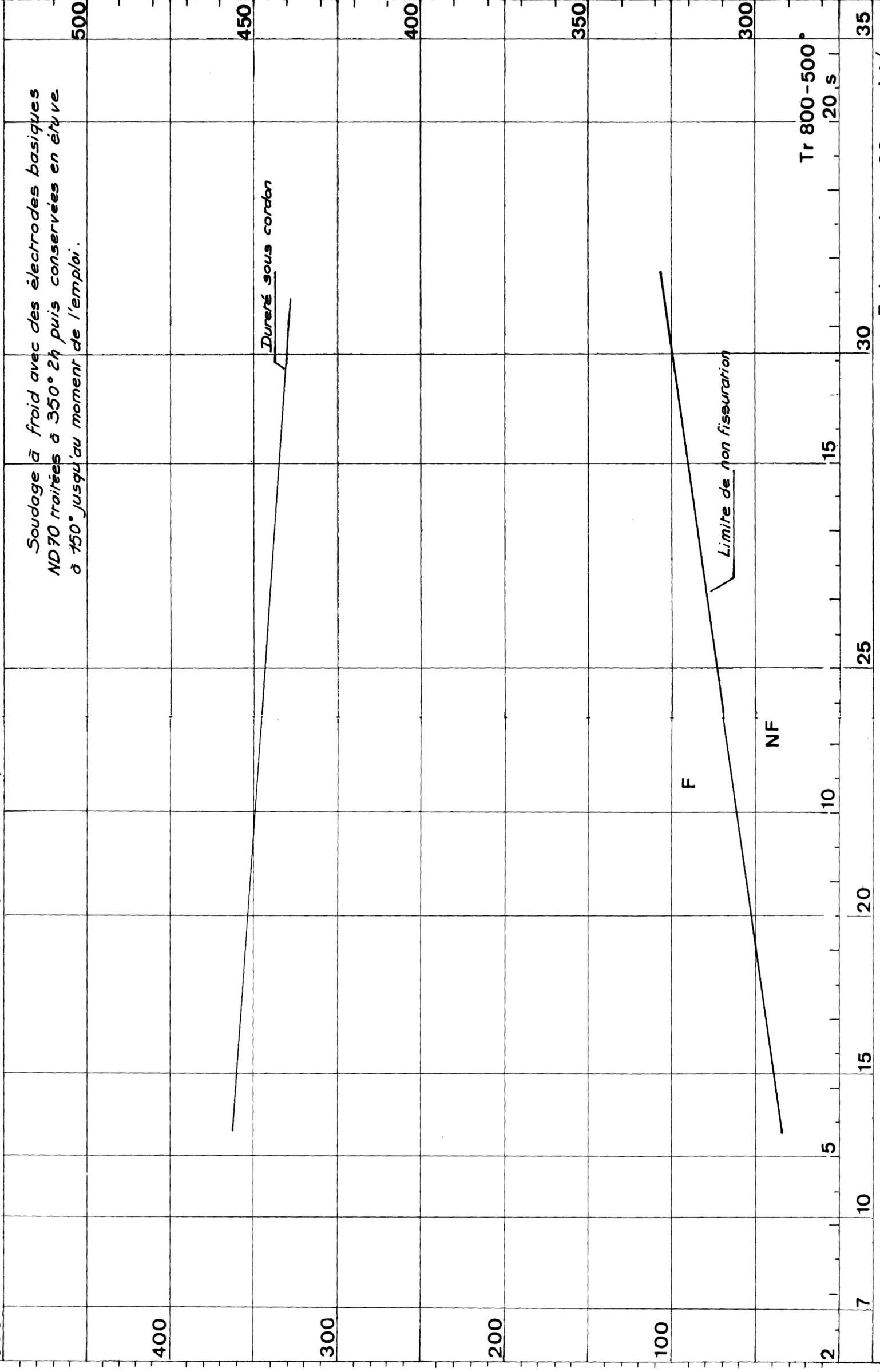
LK

63175 27 mm

C: 0,155 - Mn: 1,31 - Si: 0,39 - Ni: 0,01 - Cr: 0,92 - Mo: 0,23

Tf. Rev. Rm: 824 N/mm² - Re: 721 N/mm² - A%: 20,8

HV5 ↗



Soudage à froid avec des électrodes basiques ND70 traitées à 350° 2h puis conservées en étuve à 150° jusqu'au moment de l'emploi.

Dureté sous cordon

Limite de non fissuration

F

NF

Tr 800-500°
20 s

E.de soud. sur 20 mm.kJ/cm

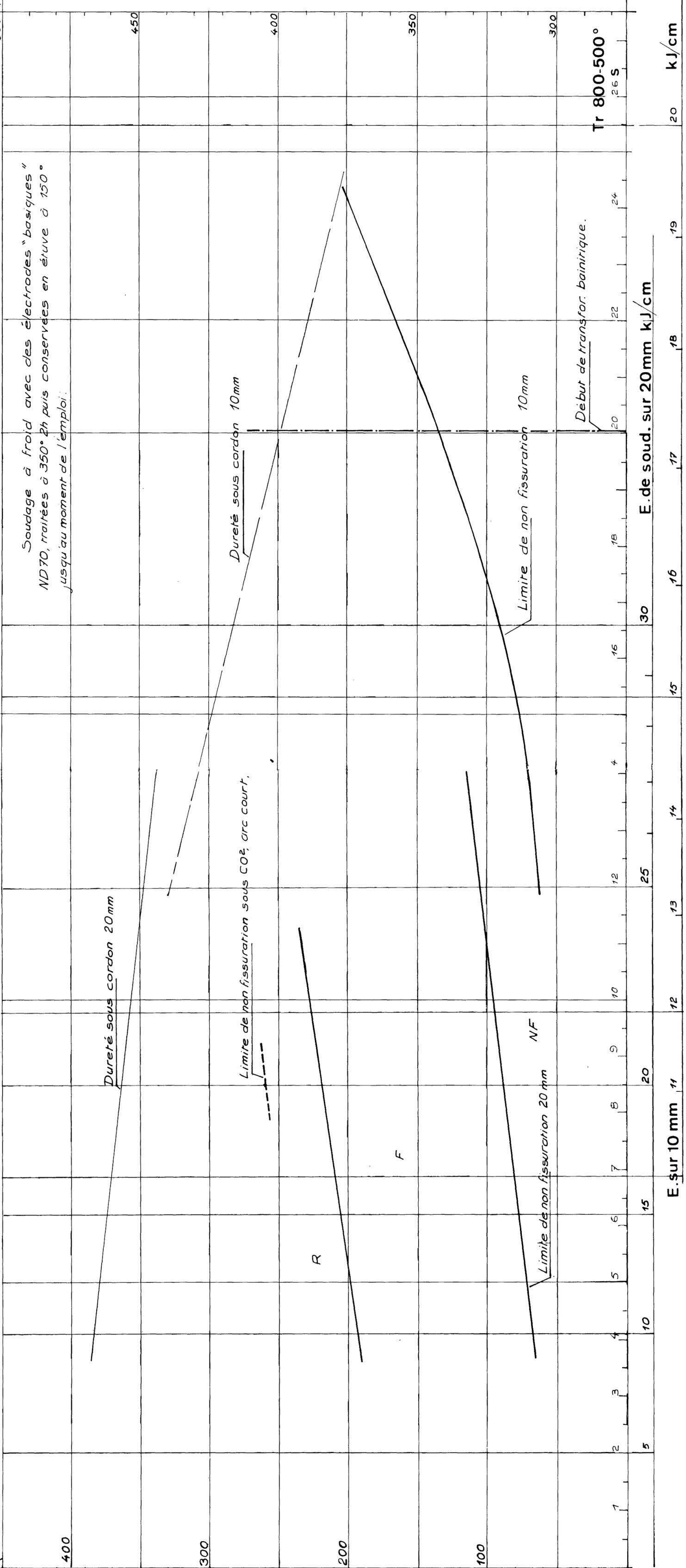
LW - PM 24

Normalisé 920° - Rev. 670°

Rm 774 N/mm² - Re: 651 N/mm² - A%: 17,5

C: 0,17 - Mn: 1,45 Si: 0,08 - Cr: 0,16 - Mo: 0,43 - Ni: 0,19 V: 0,062

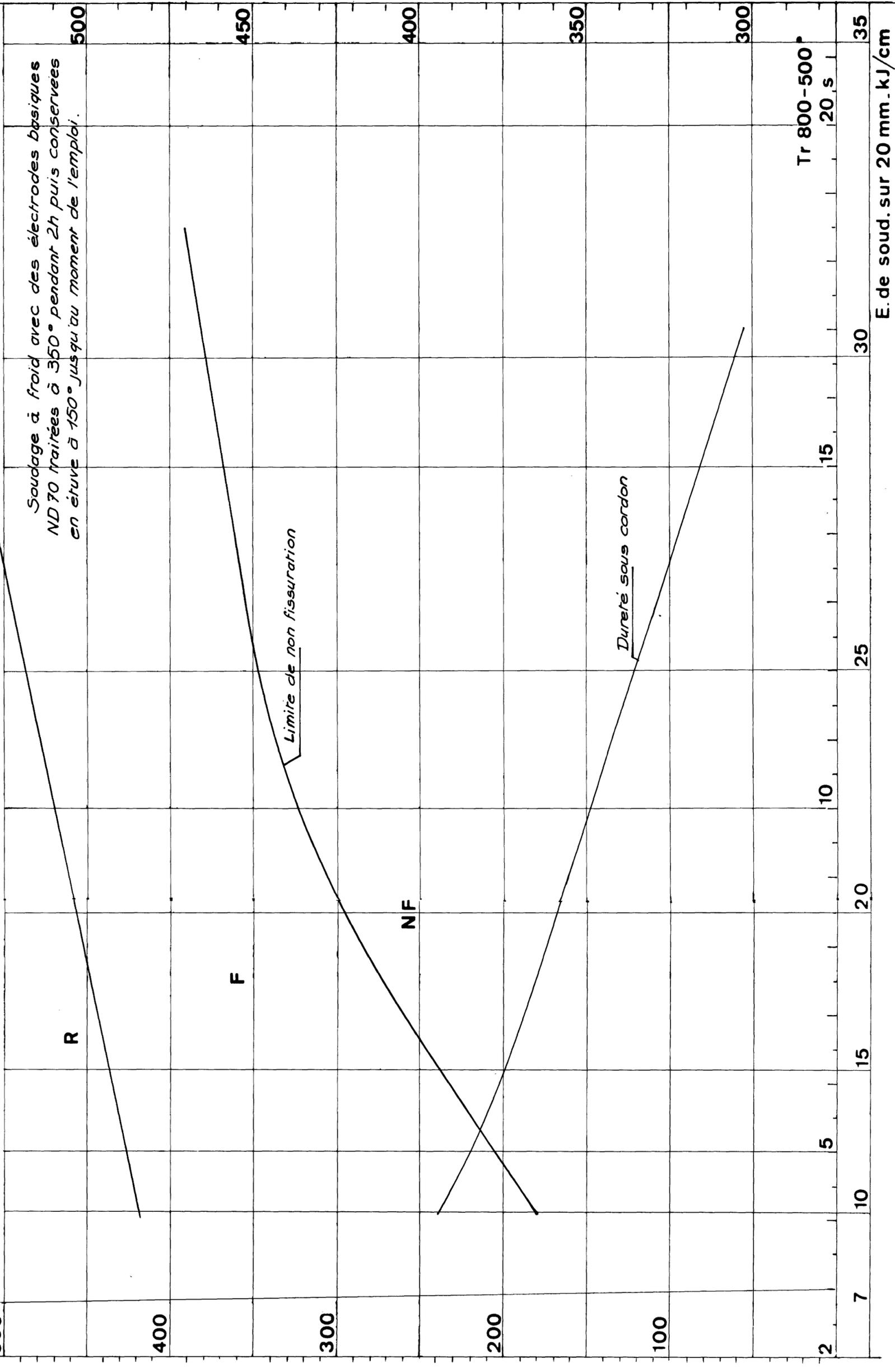
HV5
500



E. sur 10 mm 11 12 13 14 15 15 16 17 18 19 20 kJ/cm

E. de soud. sur 20mm kJ/cm

LX Echantillon forgé 260x60x15 C: 0,14 - Mn: 1,12 - Si: 0,34 - Cu: 0,55 - Mo: 0,50 - Al: 0,053 S: 0,020
 N° 369 - Tr. eau 920° - Rev 600° Rm: 707 N/mm² - A%: 20,3

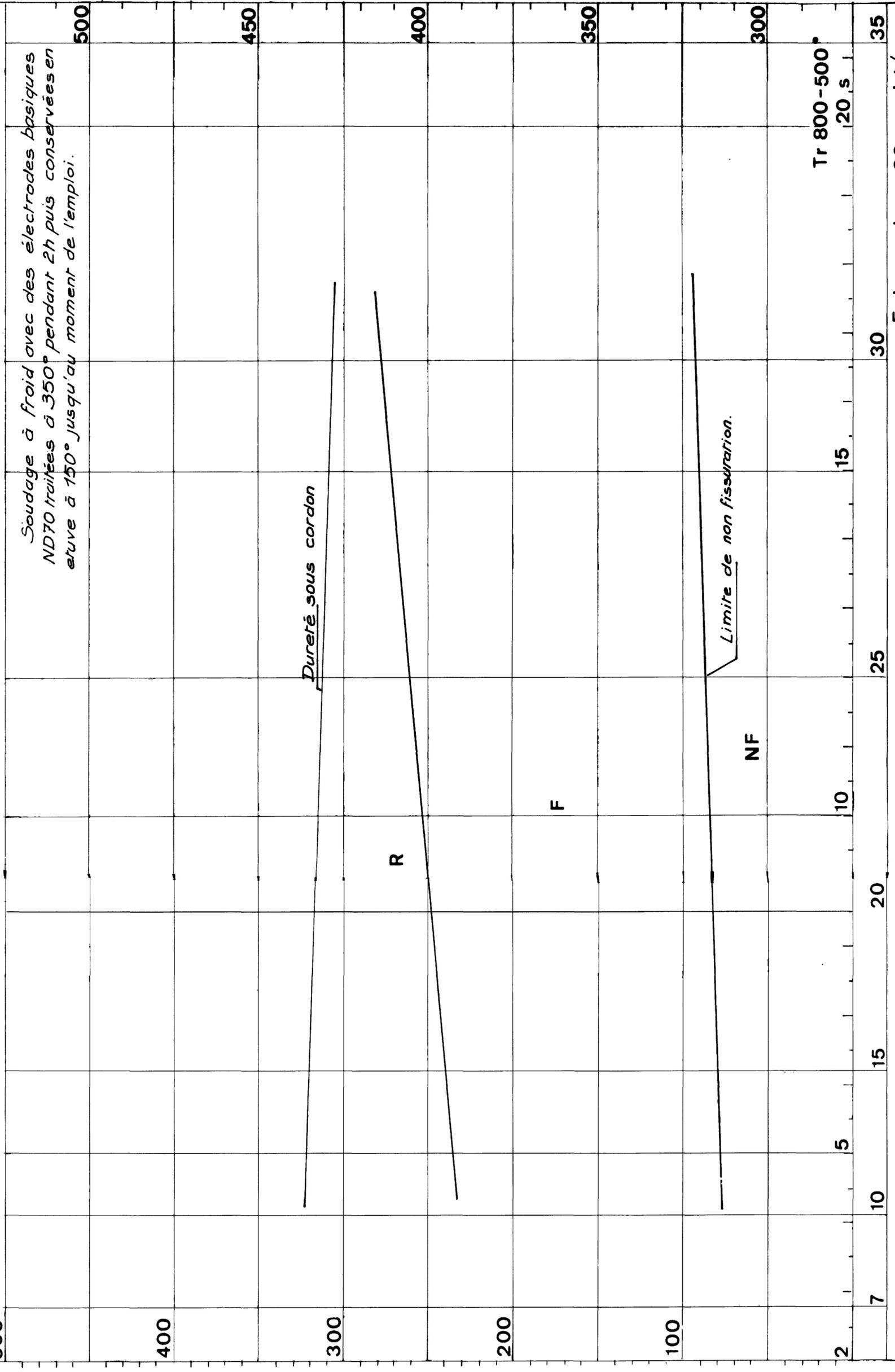


E. de soud. sur 20 mm.kJ/cm

↑ **N/mm² LY** Echantillon forgé 260x60x15
 N° 422 - Treau 920° - Rev 600° - Rm: 846 N/mm² - A%: 20,3

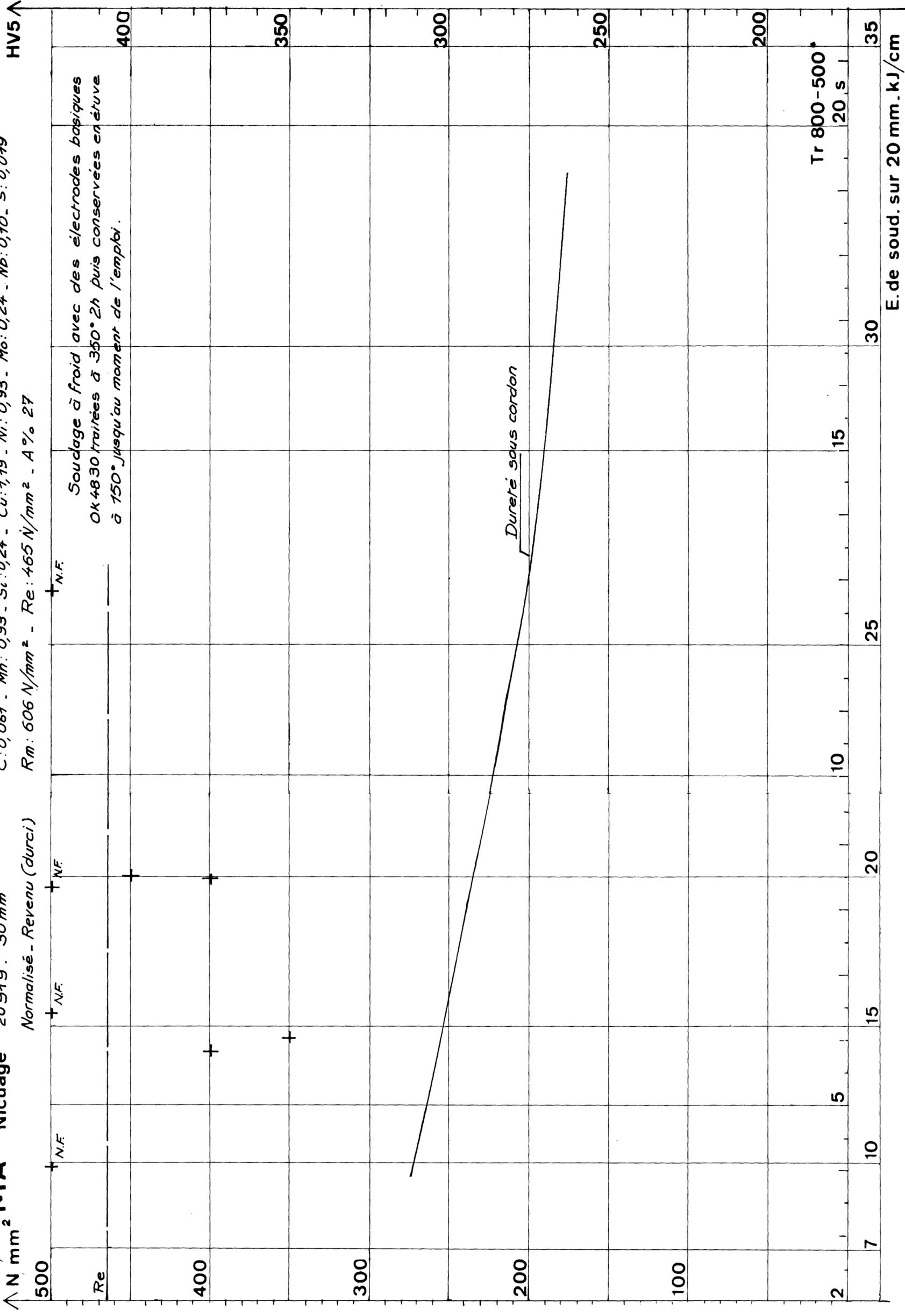
C: 0,16 - Mn: 0,89 - Si: 0,43 - Cr: 0,90 - Ni: 0,50 - Mo: 0,54 - B: 0,004.
 Soudage à froid avec des électrodes basiques
 ND70 traitées à 350° pendant 2h puis conservées en
 étuve à 150° jusqu'au moment de l'emploi.

HV5 ↑



E.de soud. sur 20 mm.kJ/cm

MA Nicuage 20919 . 30 mm C: 0,061 . Mn: 0,93 . Si: 0,24 . Cu: 1,19 . Ni: 0,93 . Mo: 0,24 . Nb: 0,10 . S: 0,019
 Normalisé - Revenu (durci) Rm: 606 N/mm² - Re: 465 N/mm² - A% 27

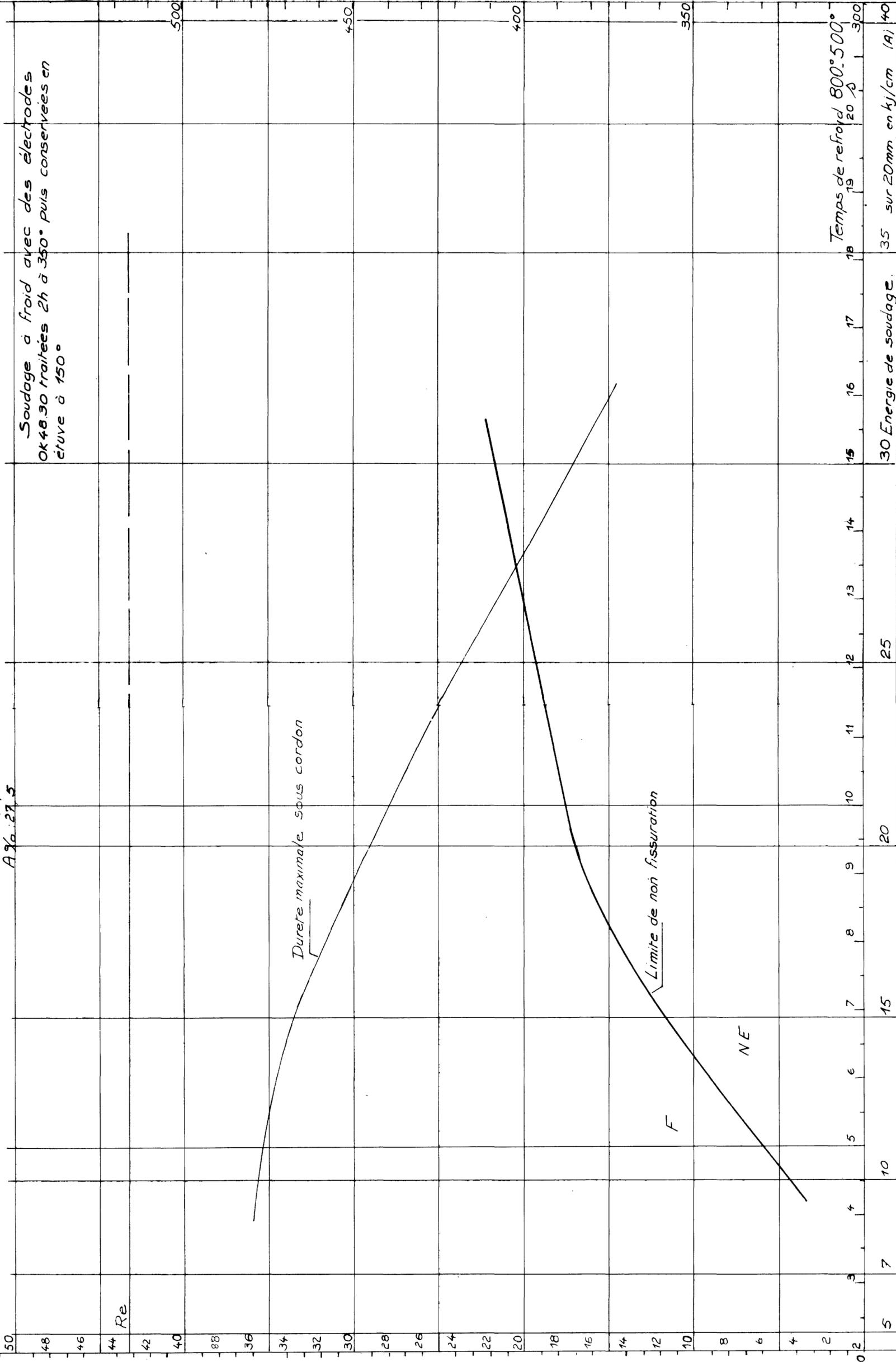


E.de soud. sur 20 mm.kJ/cm

A kgf/mm² A52

Rm : 62,7 kgf/mm² C : 0,22 - Mn : 1,58 - Si : 0,44
Re : 43,2
A% : 27,5

HVS



Soudage a froid avec des electrodes
OK 48.30 traitées 2h à 350° puis conservées en
étuve à 150°

Temps de refroidissement 800°-500°

35 sur 20mm en kJ/cm (A) 140

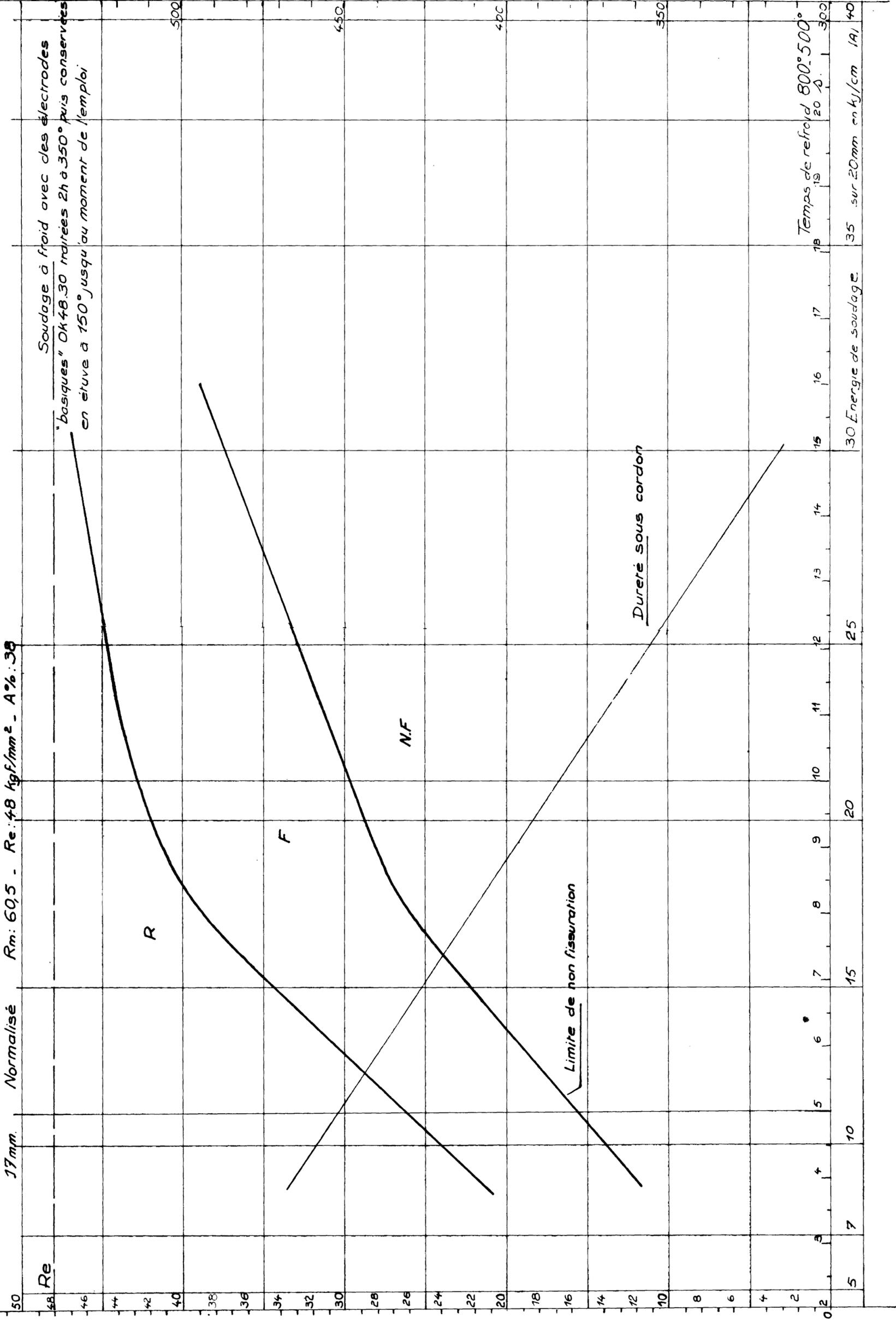
η kgf/mm²

E 45

- 59 -

C: 0,19 - Mn: 1,41 - Si: 0,30 - Nb: 0,032 - V: 0,085

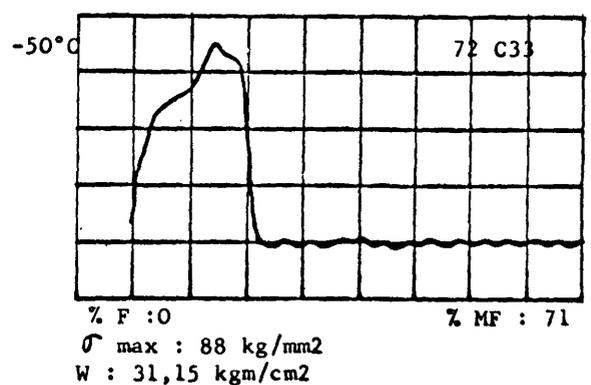
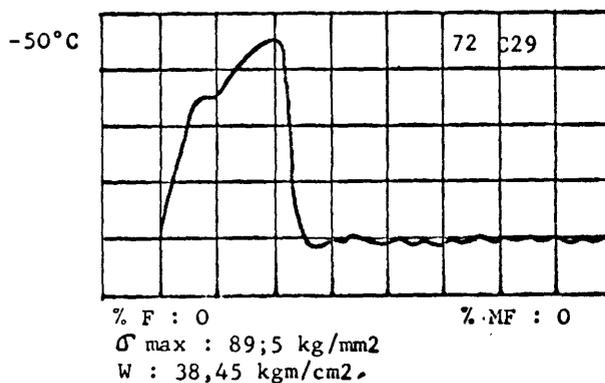
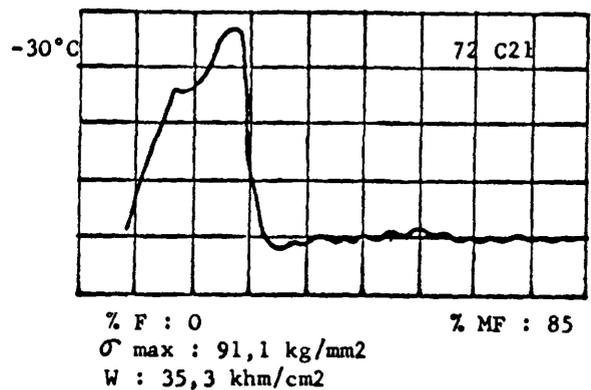
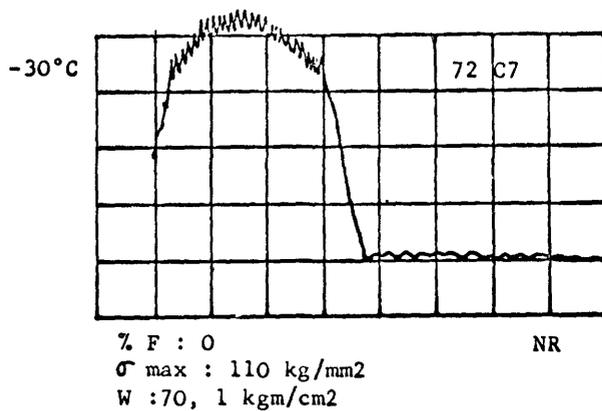
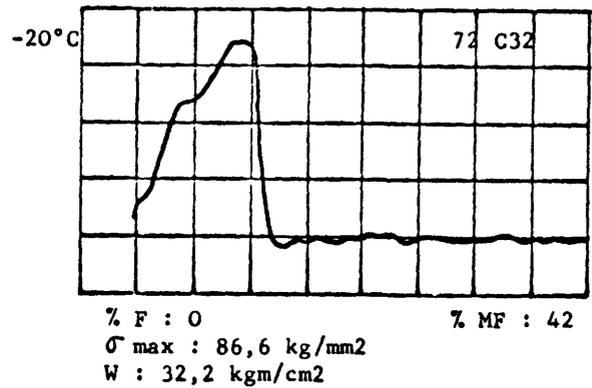
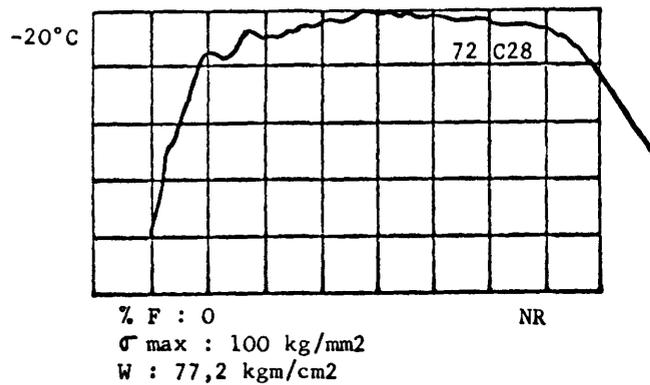
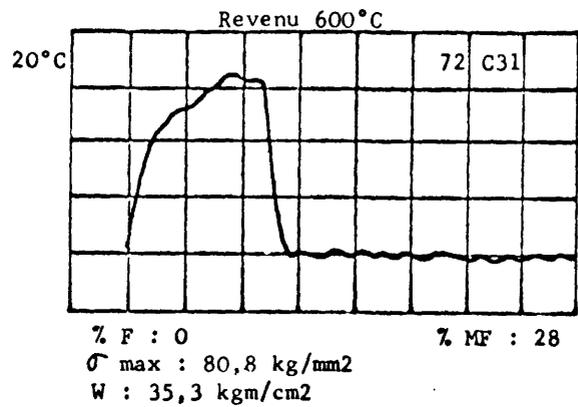
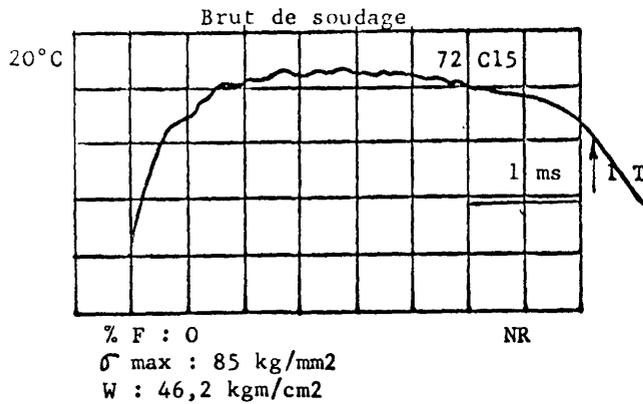
HVS



A N N E X E I I I

ACIER A 52
IMPLANTS NON FISSURES

Annexe III
Planche 1

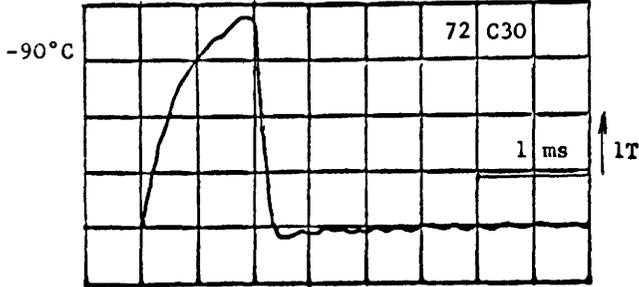


ACIER A 52
IMPLANTS NON FISSURES (suite)

Annexe III

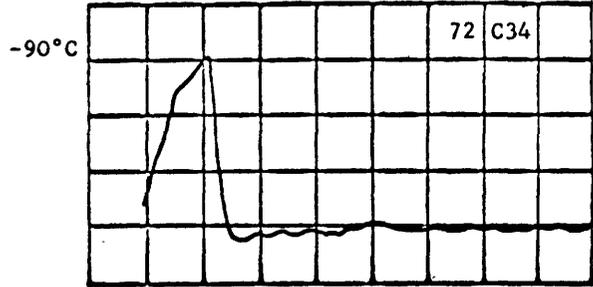
Planche 2

Brut de soudage



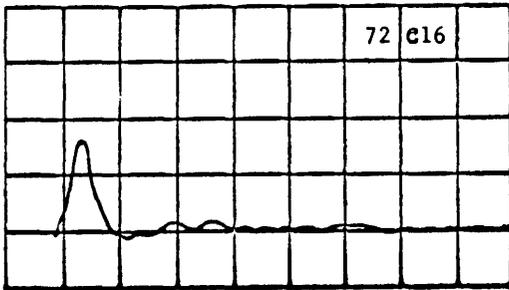
% F : 0 % MF : 14
 σ_{max} : 97 kg/mm²
X : 36,35 kgm/cm²

Revenu 600°C



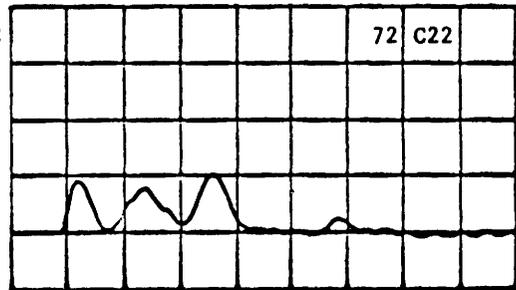
% F : 0 % MF : 57
 σ_{max} : 76,5 kg/mm²
W : 21,3 kgm/cm²

-196°C



% F : 0 % MF : 25
 σ_{max} : 41 kg/mm²
W : 7,01 kgm/cm²

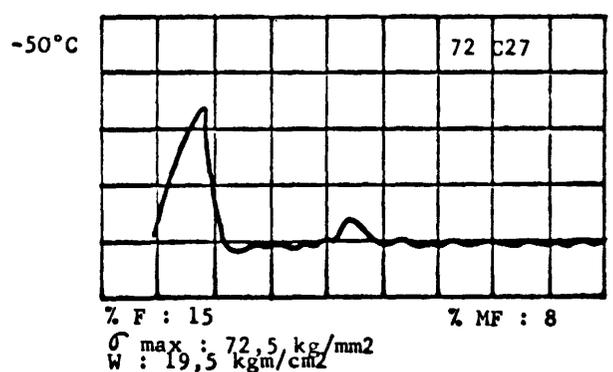
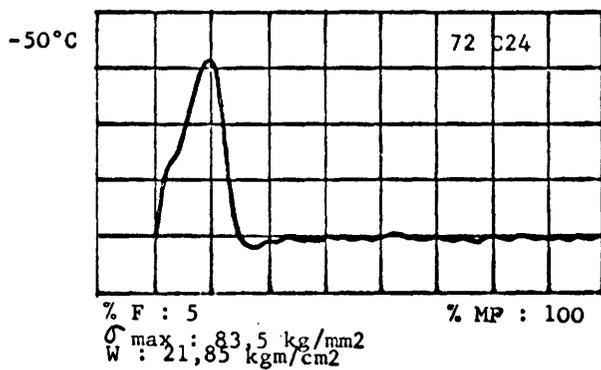
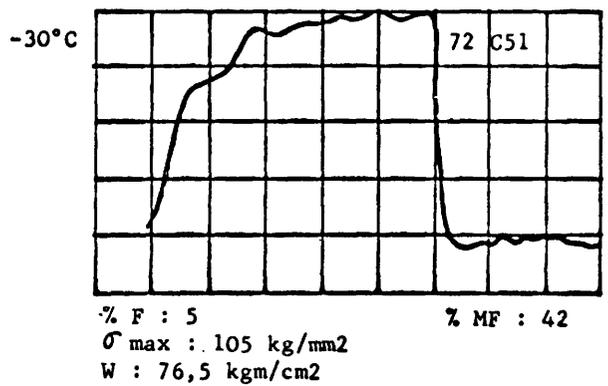
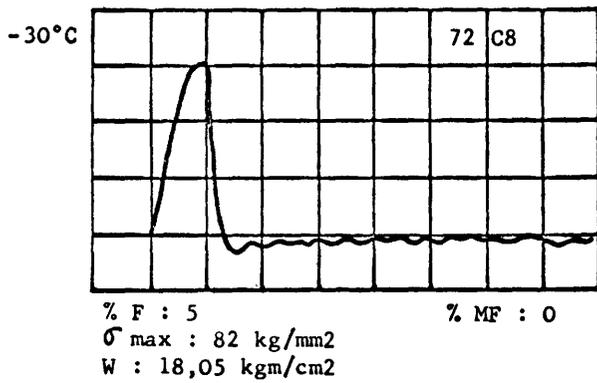
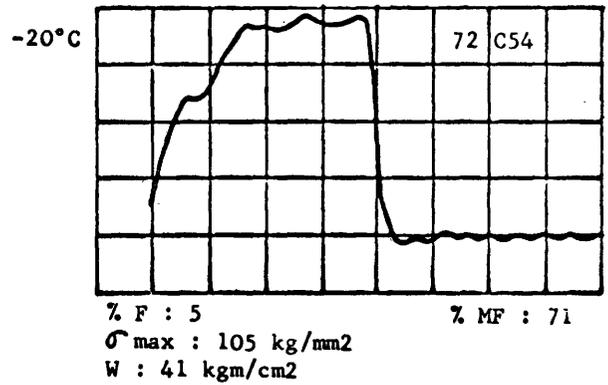
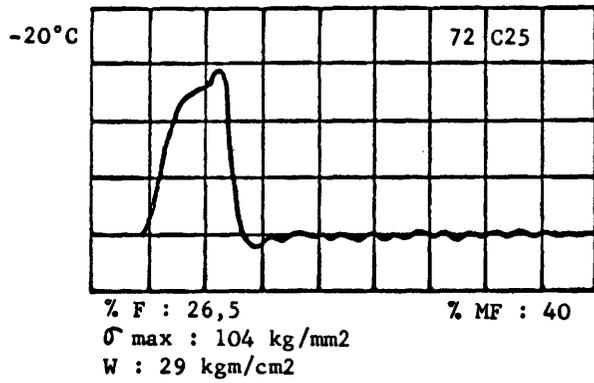
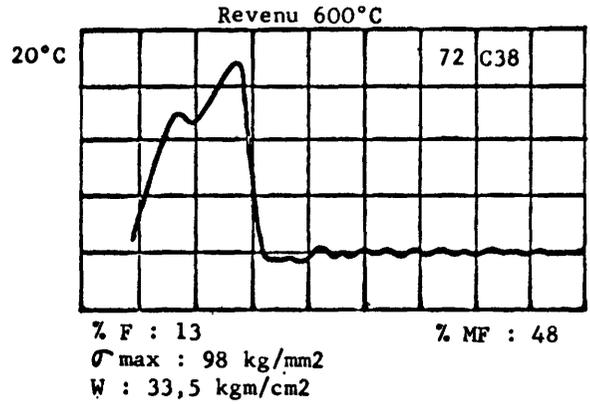
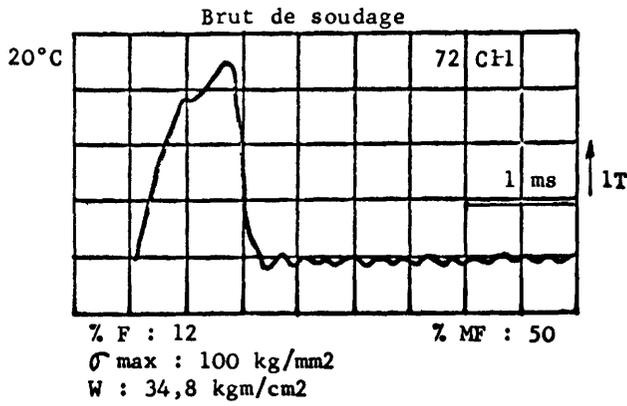
-196°C



% F : 0 % MF : 57
 σ_{max} : 25 kg/mm²
W : 11,68 kgm/cm²

ACIER A 52
IMPLANTS FAIBLEMENT FISSURES

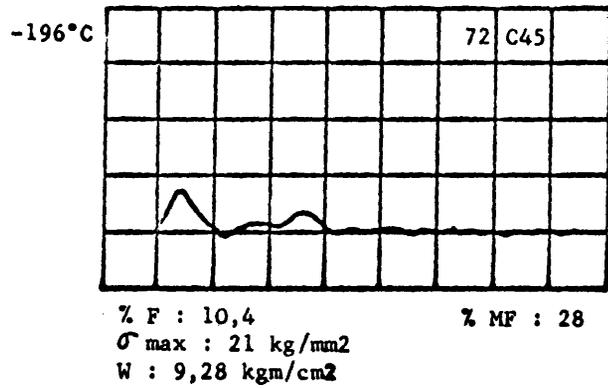
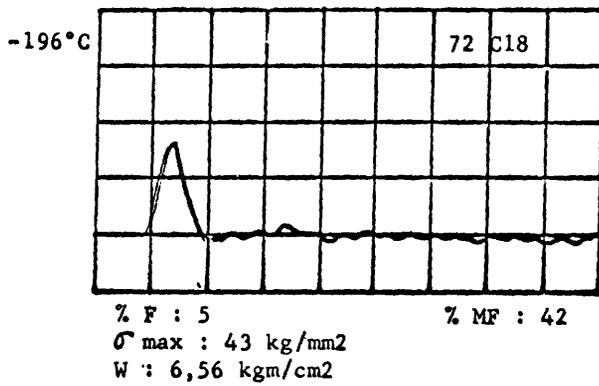
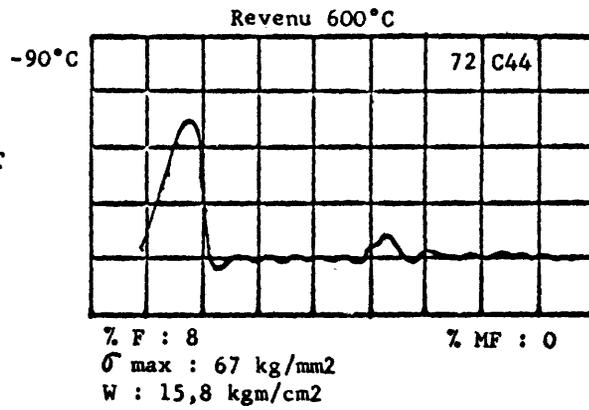
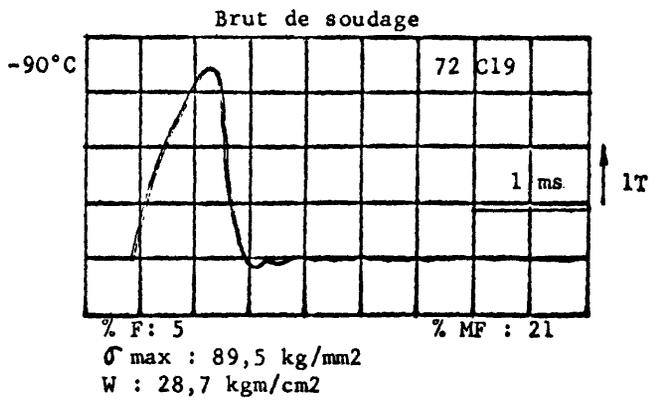
Annexe III
Planche 3



ACIER A 52
IMPLANTS FAIBLEMENT FISSURES (suite)

Annexe III

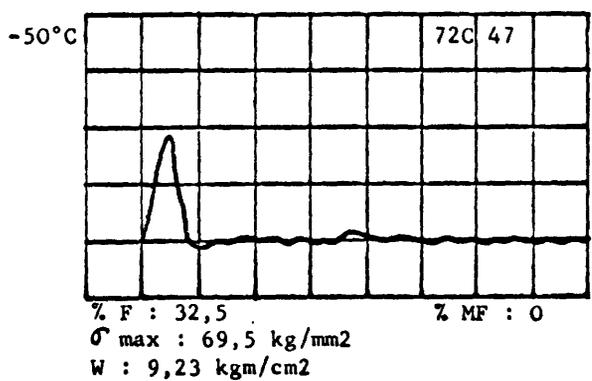
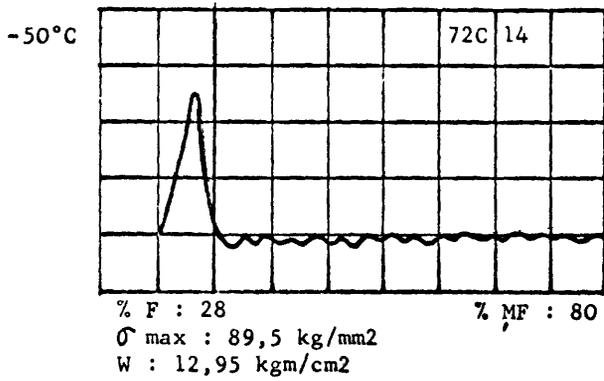
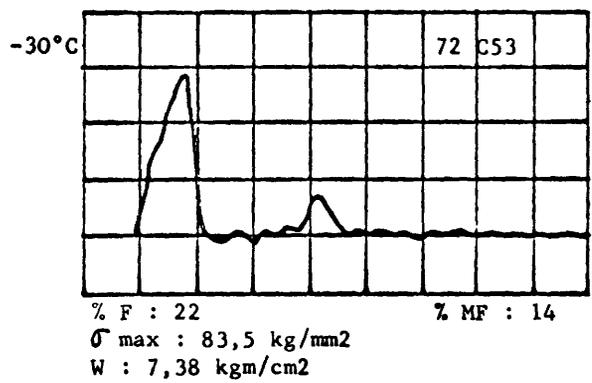
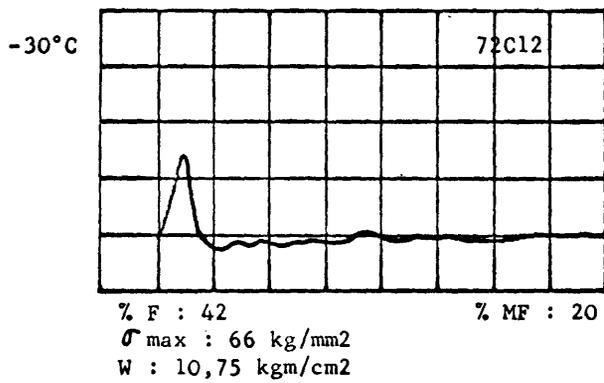
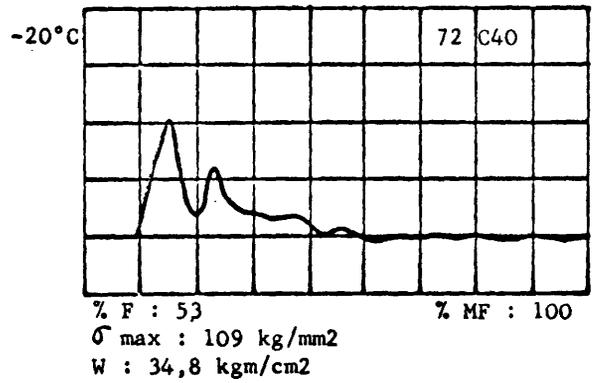
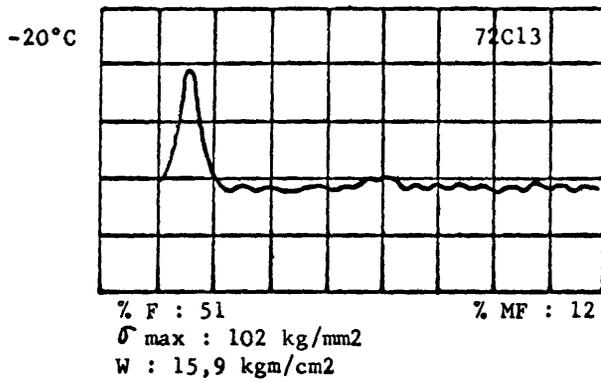
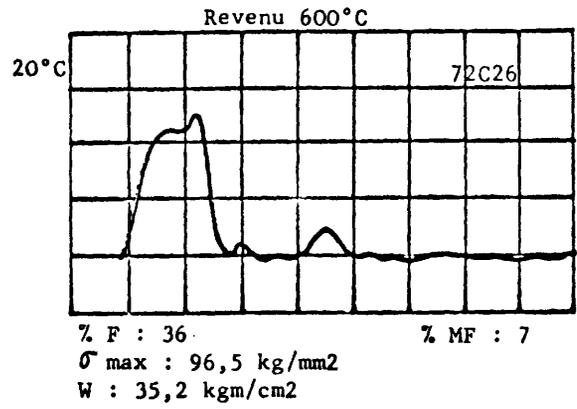
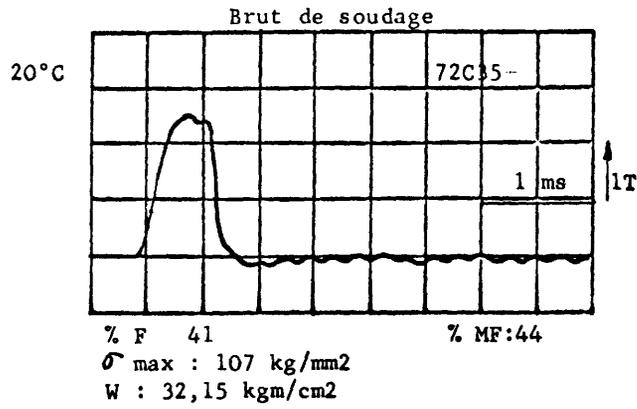
Planche 4



ACIER A 52
IMPLANTS FORTEMENT FISSURES

Annexe III

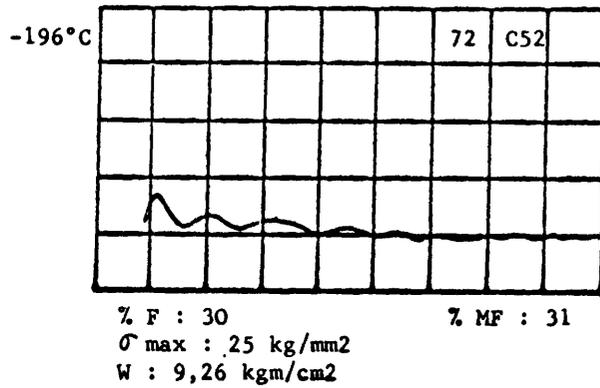
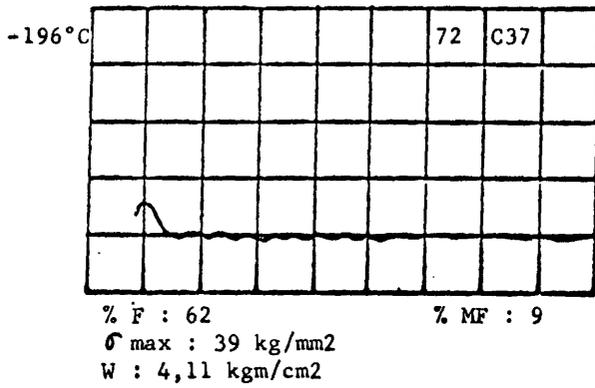
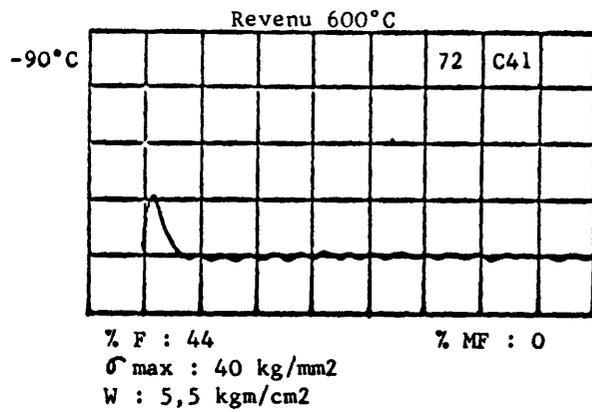
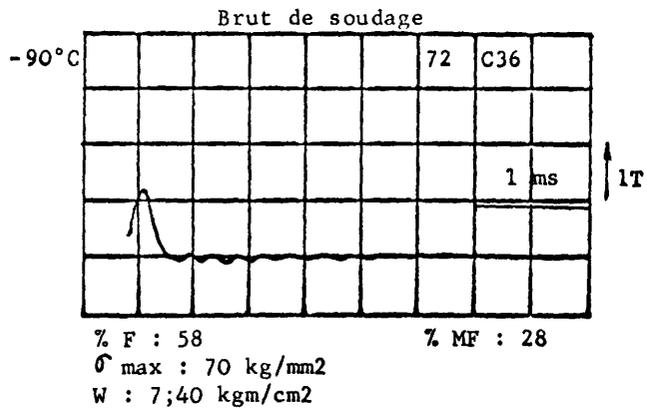
Planche 5



ACIER A 52
IMPLANTS FORTEMENT FISSURES (suite)

Annexe III

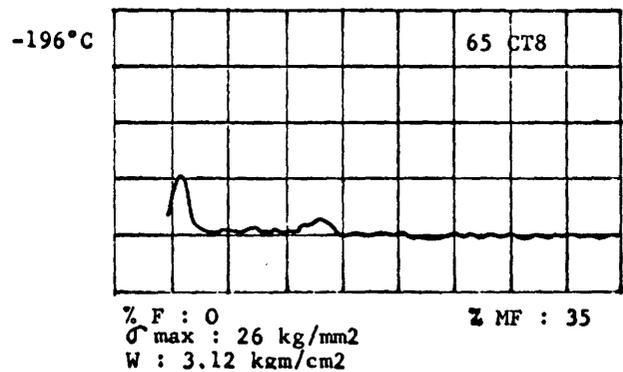
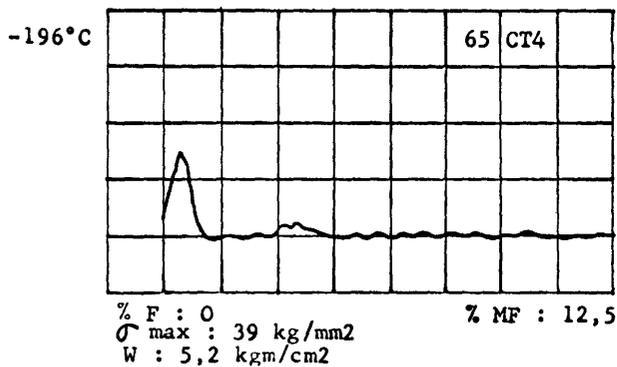
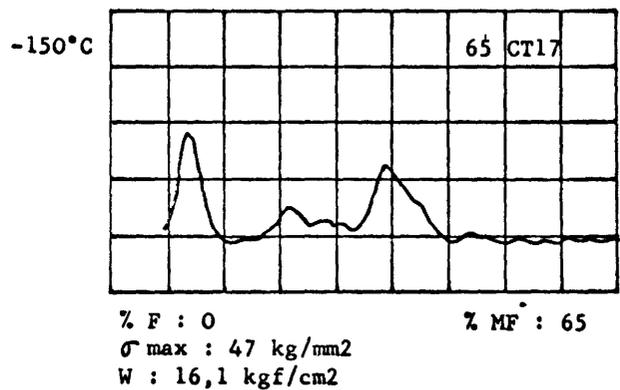
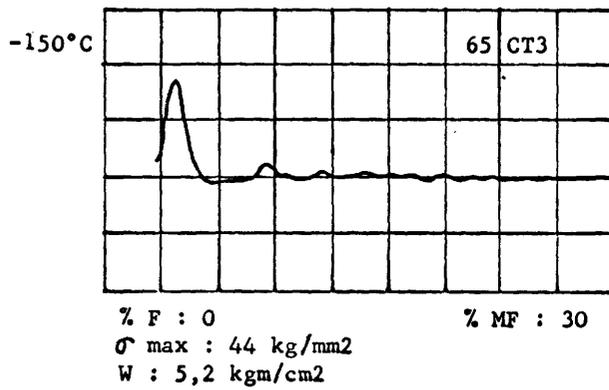
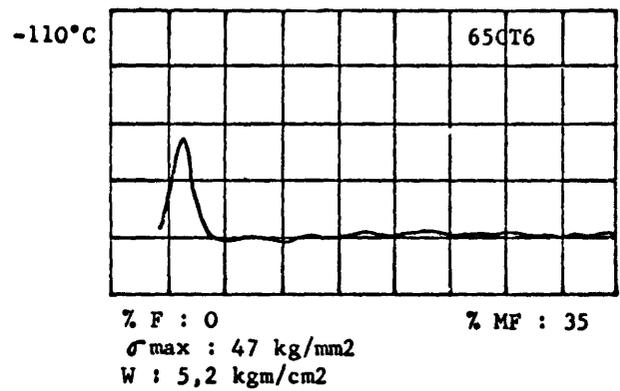
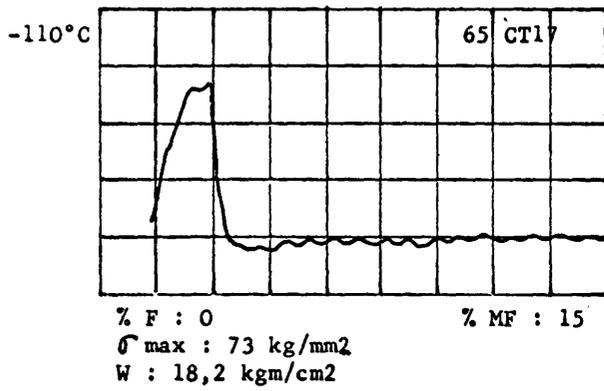
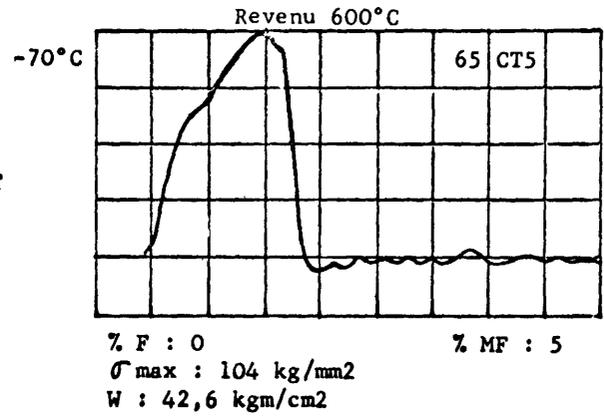
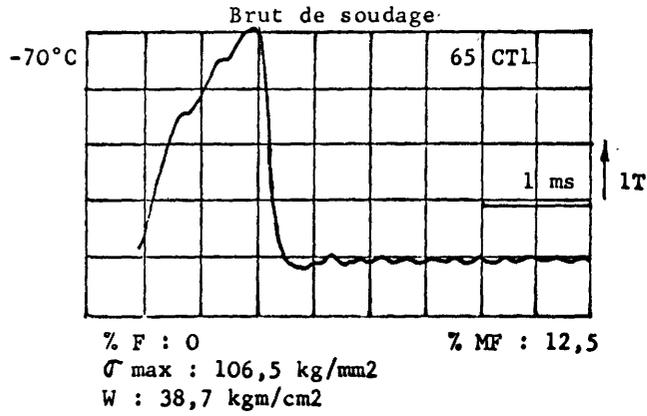
Planche 6



ACIER E 45
IMPLANTS NON FISSURES

Annexe III

Planche 7



ACIER E 45
IMPLANTS FAIBLEMENT FISSURES

Annexe III
Planche 8

