

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier

recueil de recherches „acier“

PROPRIÉTÉS D'EMPLOI DES ACIERS

**ÉTUDE D'UN CAS INDUSTRIEL
D'ARRACHEMENT LAMELLAIRE**



AVERTISSEMENT

Aux termes de l'article 55, alinéa 2c, 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 privés;

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.

EUR 5330 f

ETUDE D'UN CAS INDUSTRIEL D'ARRACHEMENT LAMELLAIRE

Commission des Communautés Européennes

Direction Générale « Affaires Industrielles et Technologiques », Bruxelles et
Direction Générale « Information Scientifique et Technique et Gestion de l'Information », Luxembourg

Luxembourg, 1975 — 46 pages — FB 125

Ayant eu connaissance de ruptures partielles ou totales survenues par arrachement lamellaire lors de l'assemblage par soudage, des éléments constitutifs de « bras de poussée » en forme de poutre caisson élaborés à partir de produits laminés, et ayant d'autre part obtenu l'accord des constructeurs et de l'élaborateur des matériaux de base, il a été procédé à divers examens et expériences sur les produits en cause, ces travaux s'inscrivant dans le cadre d'une étude alors en cours à l'Institut de Soudure (Etude CECA Convention n° 6210/55/0/11).

EUR 5330 f

**UNTERSUCHUNG EINES IN DER PRAXIS AUFGETRETENEN
TERASSENBRUCHS**

Kommission der Europäischen Gemeinschaften

Generaldirektion „Gewerbliche Wirtschaft und Technologie“, Brüssel und
Generaldirektion „Wissenschaftliche und Technische Information und Informationsmanagement“, Luxemburg

Luxembourg, 1975 — 46 Seiten — FB 125,—

Nachdem wir von partiellen oder totalen Brüchen durch Terrassenbruch beim Schweißen von Teilen von „Stützen“ in Kastenträgerbauweise aus Walzerzeugnissen gehört hatten und im Einverständnis mit den Konstrukteuren und dem Hersteller der Grundstoffe, wurden verschiedene Prüfungen und Versuche an den betreffenden Erzeugnissen durchgeführt. Die Arbeiten fanden im Rahmen einer Studie des Institut de Soudure statt (Forschungsvertrag EGKS Nr. 6210/55/0/11).

EUR 5330 f

STUDY OF AN INDUSTRIAL CASE OF LAMELLAR TEARING

Commission of the European Communities

Directorate General “Industrial and Technological Affairs”, Brussels and
Directorate General “Scientific and Technical Information and Information Management”, Luxembourg

Luxembourg, 1975 — 46 pages — FB 125

As cases had come to light of partial or total fracture by lamellar tearing during the assembly by welding of components making up “thrust arms” in the form of box girders fabricated from rolled products, various investigations and experiments have been carried out on the products concerned, with the agreement of the manufacturers and the producer of the base materials. This work formed part of a study then in progress at the Institut de Soudure (under ECSC contract No 6210/55/0/11).

Cette expérimentation avait un double objet :

1° Recueillir des informations sur un cas industriel.

2° Mettre en œuvre diverses méthodes destructives ou non pour en apprécier l'efficacité sur un métal reconnu défailant en service.

Les expériences effectuées confirment que des essais de traction effectués dans le sens travers court sur échantillons prélevés dans des produits laminés peuvent rendre compte de la tendance plus ou moins prononcée qu'auront ces produits à donner des ruptures d'arrachement lamellaire lors du soudage ou après soudage.

Ces expériences ont également montré que lors des essais de traction effectués dans le sens de l'épaisseur (associés ou non à une opération de soudage), les allongements et strictions sont les deux critères les plus significatifs pour caractériser la sensibilité d'un produit à l'arrachement lamellaire.

Die Experimente verfolgten zwei Ziele:

1. Sammlung von Daten über einen in der Praxis aufgetretenen Fall;

2. Verwendung verschiedener zerstörender oder zerstörungsfreier Verfahren zur Bewertung eines Metalls, von dem bekannt ist, daß es während des Betriebs versagt.

Die Versuche bestätigen, daß Zugversuche an Querproben, die aus Walzwerkserzeugnissen entnommen wurden, Aufschluß über die mehr oder weniger ausgeprägte Neigung dieser Erzeugnisse zu Terrassenbrüchen bei und nach dem Schweißen geben können.

Die Versuche haben ferner gezeigt, daß Dehnungen und Einschnürungen bei Zugversuchen an Querproben (mit oder ohne Schweißarbeit) die wichtigsten Kriterien zur Kennzeichnung der Terrassenbruchempfindlichkeit eines Erzeugnisses darstellen.

The purpose of this work was twofold:

1. To collect data on an industrial case.

2. To use several destructive and non-destructive methods in order to assess their efficiency on a metal known to be defective in service.

The experiments confirm that tensile tests carried out in the short transverse direction on test pieces taken from rolled products can give an idea of the more or less marked tendency to fracture by lamell tearing that will be exhibited by these products during or after welding.

The experiments also showed that in tensile tests carried out in the direction of the thickness of the product (wether or not combined with a welding operation), elongation and reduction in area are the two most significant criteria to indicate the sitivity of a product to lamellar tearing.

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
Direction Générale «Affaires Industrielles et Technologiques»

PROPRIÉTÉS D'EMPLOI DES ACIERS

**ÉTUDE D'UN CAS INDUSTRIEL
D'ARRACHEMENT LAMELLAIRE**

INSTITUT DE SOUDURE
Paris

Convention N° 6210/55/O/11
(1. 9. 1970 – 31. 8. 1973)

RAPPORT TECHNIQUE

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

RÉSUMÉ

Ayant eu connaissance de ruptures partielles ou totales survenues par arrachement lamellaire lors de l'assemblage par soudage, des éléments constitutifs de « bras de poussée » en forme de poutre caisson élaborés à partir de produits laminés, et ayant d'autre part obtenu l'accord des constructeurs et de l'élaborateur des matériaux de base, il a été procédé à divers examens et expériences sur les produits en cause, ces travaux s'inscrivant dans le cadre d'une étude alors en cours à l'Institut de Soudure (Etude CECA Convention n° 6210/55/0/11).

Cette expérimentation avait un double objet :

1° Recueillir des informations sur un cas industriel.

2° Mettre en œuvre diverses méthodes destructives ou non pour en apprécier l'efficacité sur un métal reconnu défaillant en service.

Les expériences effectuées confirment que des essais de traction effectués dans le sens travers court sur échantillons prélevés dans des produits laminés peuvent rendre compte de la tendance plus ou moins prononcée qu'auront ces produits à donner des ruptures d'arrachement lamellaire lors du soudage ou après soudage.

Ces expériences ont également montré que lors des essais de traction effectués dans le sens de l'épaisseur (associés ou non à une opération de soudage), les allongements et strictions sont les deux critères les plus significatifs pour caractériser la sensibilité d'un produit à l'arrachement lamellaire.

Table des matières

I	Généralités	5
II	Caractéristiques et conditions de fabrication	5
	2.1 Forme des pièces - Produits de base	5
	2.2 Conditions de soudage	6
	2.3 Incidents de soudage	6
III	Essais effectués sur place	7
IV	Nature et conduite des essais effectués en laboratoire	8
	4.1 Nature	8
	4.2 Conduite des essais	8
V	Résultats obtenus	10
	5.1 Essais non destructifs	10
	5.2 Essais destructifs	11
VI	Conclusions	16

ETUDE D'UN CAS INDUSTRIEL D'ARRACHEMENT LAMELLAIRE

I - GENERALITES

Ayant eu connaissance de ruptures partielles ou totales survenues par arrachement lamellaire lors de l'assemblage par soudage, des éléments constitutifs de "bras de poussée" en forme de poutre caisson élaborés à partir de produits laminés, et ayant d'autre part obtenu l'accord des constructeurs et de l'élaborateur des matériaux de base, il a été procédé à divers examens et expériences sur les produits en cause, ces travaux s'inscrivant dans le cadre d'une étude alors en cours à l'Institut de Soudure (Etude CECA Convention n° 6210/55/O/11)

Cette expérimentation avait un double objet :

1°/

Recueillir des informations sur un cas industriel.

2°/

Mettre en oeuvre diverses méthodes destructives ou non pour en apprécier l'efficacité sur un métal reconnu défaillant en service.

II - CARACTERISTIQUES ET CONDITIONS DE FABRICATION DES BRAS DE POUSSEE

2.1. Forme des pièces - Produits de base :

Chaque bras de poussée comporte deux éléments de poutre en caisson assemblés l'un à l'autre suivant la forme d'un T (planche n° 1). Les caractéristiques dimensionnelles de la section transversale de la poutre affectée et des éléments assemblés sont consignées sur la coupe a de la planche n° 1 précitée.

Les tôles d'âmes et de semelles sont en acier de nuance ASTM : A 283 Grade C (assimilable à un acier de nuance A 42 C).

Des contre-essais mécaniques effectués après rupture partielle des assemblages ainsi qu'un dosage des éléments susceptibles de favoriser la fissuration ont donné pour l'acier A 283 grade C les résultats suivants :

Re = 210 N/mm ²	P < 0,04 %
Rm = 385 à 455 N/mm ²	S < 0,05 %
A% = 25	Cu < 0,20 %.

Ces résultats permettent de classer l'acier utilisé entre les nuances E 24/2 et E 26/2 de la Norme Française NF A n° A 35.501.

2.2. Conditions de soudage :

Les soudures ont été réalisées sur préparations en J et selon le processus suivant :

a) exécution des passes de fond par le procédé semi-automatique MAG, sous atmosphère gazeuse Argon-CO₂ (ATAL). Diamètre du fil nu: 1,2 mm (Rm = 51 kgf/mm²)

b) remplissage du chanfrein : Arc submergé

Deux solutions ont été utilisées concurremment :

b₁) fil $\varnothing = 4$ mm (UM 36. SAF)
flux en poudre, granulation 12 x 200 (80. SAF)

paramètres de soudage :

- . I = 550 A
- . U = 34 V
- . v = 300 mm/mn.

b₂) fil à très haut rendement avec poudre de fer (type CYSP 600 Commerc).
flux CY25 avec poudre de fer et éléments d'addition).

paramètres de soudage :

- . I = 1 200 A
- . U = 40 V
- . v = 200 mm/mn.

D'après les indications fournies, les énergies de soudage qui ont été atteintes dans les 2 cas sont les suivantes :

«) procédé à Arc submergé : 3,63 kJ/cm

») procédé à Arc submergé et à haut rendement : 14,4 kJ/cm.

2.3. Incidents de soudage :

Lors de l'exécution des soudures, des décohésions se sont produites sous le cordon d'angle.

Il n'a pas été observé de différence de comportement de l'acier entre les deux valeurs d'énergies de soudage mises en oeuvre, la fréquence et l'importance des fissurations se développant dans la zone thermiquement affectée des semelles étant identiques dans les deux cas.

Un étuvage des flux à une température de 250 à 300°C ainsi qu'un préchauffage des pièces vers 100 - 150°C destinés à diminuer l'influence éventuelle de l'hydrogène, ainsi qu'un maintien en forme des bras sous un effort de 16 tonnes et l'exécution alternée des soudures n'ayant eu qu'une influence limitée sur l'importance et le nombre des fissures décelées par ultrasons, il a été procédé par le constructeur à l'examen métallographique d'un coin de tôle de semelle.

Au cours de cet examen, il a été observé une structure en bande à gros grains et de nombreuses inclusions sulfureuses filiformes réparties dans toute l'épaisseur du produit mais dont la concentration augmentait toutefois vers le centre.

Après un essai de retournement des semelles précédé d'un traitement de normalisation de celles-ci qui se révéla infructueux (nouvelles fissurations lors du soudage dans la Z.T.A.) ces dernières furent rebutées. Il nous fut alors demandé de procéder à une série d'essais sur place dans le but défini au paragraphe précédent, puis à une étude en laboratoire sur deux échantillons de tôles (repérés I et II Cf. planche n° 2) prélevés respectivement dans la semelle supérieure et la semelle inférieure de la poutre et qui nous ont été transmis à cette fin par le constructeur.

La planche n° 2 bis indique les positions respectives des portions d'échantillons n° I et II à partir desquelles ont été effectués les prélèvements destinés à l'analyse chimique et aux essais mécaniques.

III - ESSAIS EFFECTUES SUR PLACE -

Ces essais ont été pratiqués suivant la technique décrite dans le n° 3/4 1972 de la Revue Soudage et Techniques Connexes pages 140 à 141 (Cf. document annexé).

Quatre implants ont été soudés "en peau" de la tôle de 620 x 88 mm d'épaisseur de l'une des pièces en des points distants respectivement de 625 - 1820 - 3240 et 4150 mm d'une extrémité du plat de 620 x 88 mm, les trois premiers dans la partie axiale le quatrième au voisinage de l'un des bords.

Les charges unitaires de rupture obtenues en N/mm² sont les suivantes :

530 - 550 - 525 et 495.

Ces valeurs qui sont toutes supérieures aux valeurs nominales correspondant au produit essayé ne rendent pas compte d'une tendance particulière du produit à des ruptures prématurées lorsqu'il est sollicité dans le sens de l'épaisseur

On note cependant que la dernière valeur, plus basse, correspond à l'essai effectué en bordure du plat, donc au voisinage de la zone soudée où les incidents ont été observés (1).

IV - NATURE ET CONDUITE DES ESSAIS EFFECTUES EN LABORATOIRE -

4.1. Nature :

a) Essais non destructifs

- . par ultrasons
- . par aimantation

b) Essais destructifs

- . essais de traction sur éprouvettes "Brodeau" modifiées
- . essais d'arrachement dans la direction de l'épaisseur du produit au moyen du dispositif mis au point par l'Institut de Soudure
- . examen métallographiques.

4.2. Conduite des essais :

4.2.1. Essais non destructifs

a) Examen par ultrasons

Cet examen a été effectué suivant la méthode conventionnelle dite "par réflexions d'impulsions d'ondes longitudinales" au moyen d'une installation de contrôle automatique de la Société des Réalisations Ultrasoniques et constituée :

- d'un appareil à ultrasons du type R7 équipé d'un palpeur d'ondes longitudinales non focalisées, d'une fréquence nominale de 5 MHz
- d'une cuve de contrôle en immersion type CEI remplie d'eau additionnée d'huile soluble et dans laquelle est disposée la tôle
- d'une table enregistreuse XY.

L'étalonnage de la sensibilité d'enregistrement a été fait au moyen d'une éprouvette d'acier de 80 mm d'épaisseur et comportant des trous à fond plat de diamètres 2, 3, 4, 5 et 6 mm.

(1) A l'époque où ces essais ont été effectués la technique opératoire et les conditions d'interprétation n'étaient pas encore au point, c'est ce qui explique sans doute le caractère peu significatif des résultats obtenus :

Il est apparu depuis notamment qu'il était nécessaire :

- de trépaner plus profondément la pièce de base
- d'attacher plus d'importance à la striction et à l'examen de la morphologie de la cassure qu'à la charge unitaire de rupture.

Chacun des échantillons I et II a été successivement examiné à partir de ses 2 faces A et B (Cf. planche n° 2) après arasage complet des portions d'âmes et des soudures de liaison de celles-ci avec la semelle.

b) Examen par aimantation

Cet examen a été exécuté au moyen :

- d'un électro-aimant dont les bobinages sont parcourus par du courant continu

- d'un liquide contenant de la poudre ferromagnétique en suspension (Fluxo n° 3)

Cet examen a été effectué, d'une part sur une coupe transversale des zones initialement soudées A1 et A2 (Cf. planche n° 2) des deux prélèvements et d'autre part, sur les coupes diamétrales (selon l'axe Y) réalisées sur les éprouvettes de traction dans la direction de l'épaisseur (type I.S.) après rupture de celles-ci.

4.2.2. Essais destructifs

a) Essais de traction sur éprouvettes "Brodeau" modifiées (éprouvettes type B).

Les caractéristiques dimensionnelles principales des éprouvettes de résolution type B utilisées ainsi que les symboles désignant leurs caractéristiques dimensionnelles avant et après essai sont consignées respectivement aux figures 1a et 1b de la planche 3 en annexe.

Le nombre et le repérage des éprouvettes ainsi que la position de leur prélèvement suivant les 3 directions du laminage (X), du travers long (Y) et du travers court (Z) sont indiqués à la figure 2 de la planche 3 annexée.

b) Essais d'arrachement dans la direction de l'épaisseur (dispositif I.S.)

Ces essais ont été effectués à deux niveaux différents de l'épaisseur de chaque échantillon de semelles :

- à 8 mm environ de l'une des faces de la tôle

- sensiblement à mi-épaisseur (zone présentant la concentration maximale en inclusions de grandes dimensions).

Dans chaque cas, le diamètre initial de l'implant est de 18 mm et la profondeur maximale de la saignée circulaire égale à 8 mm (Cette profondeur est sensiblement celle de la section rompue après essai).

c) Examens métallographiques

Ont été effectués d'une part, sur coupes au niveau des zones initialement soudées A1 et A2 (Cf. planche 2) et d'autre part, sur les coupes diamétrales réalisées après rupture dans les éprouvettes d'arrachement dans le sens de l'épaisseur (type I.S.).

V - RESULTATS OBTENUS -

5.1. Essais non destructifs :

5.1.1. Examen par ultrasons

L'examen a mis en évidence sur l'échantillon I (e = 88 mm) quelques défauts de compacité du type doublage (Cf. planches n° 4 et 5), tandis que sur l'échantillon II (e = 112 mm) aucun enregistrement pouvant correspondre à un défaut de compacité n'a été observé (Cf. planches n° 6 et 7).

5.1.2. Examen par aimantation

Les relevés photographiques des spectres magnétiques obtenus lors de l'examen permettant les constatations suivantes :

a) examen des coupes effectuées dans les zones préalablement soudées A1 et A2 des deux prélèvements : (Cf. planche n° 8)

Echantillon n° I

Zone A1 : Une fissure (f) prenant naissance à la racine de la soudure âme-semelle et se développant dans le métal de base de la tôle de semelle sur 15 mm environ, des inclusions (i) éparses isolées, allongées et filiformes concentrées dans une région située approximativement dans le tiers médian de l'épaisseur de la tôle, une inclusion ou un dédoubleage (d) à 15 mm environ de la surface de la semelle opposée à la soudure.

Echantillon n° II

Zone A1 : Des inclusions (i) éparses, isolées, allongées et filiformes concentrées approximativement dans le tiers médian de l'épaisseur du produit.

Zone A2 : Une fissure (f) se développant dans le prolongement du talon de la soudure âme-semelle et n'affectant que le métal fondu (1ère passe), quelques inclusions éparses (i) allongées et filiformes situées dans le tiers médian de l'épaisseur de la tôle, deux inclusions ou dédoubleages situés respectivement à 8 et 12 mm de la surface de la semelle opposée à la soudure.

b) examen des coupes diamétrales parallèles à la direction du travers long (axe Y) effectuées après rupture sur les éprouvettes d'essai d'arrachement dans la direction de l'épaisseur (axe Z)

Les clichés n° 4 des planches n° 11, 13, 16 et 18 permettent d'observer la présence de dépôts de poudre ferromagnétique correspondant à des plans superposés d'inclusions allongées situés approximativement dans le tiers médian de l'épaisseur des échantillons.

5.2. Essais destructifs :

5.2.1. Essais de traction sur éprouvettes "Brodeau" modifiées (type B)

Les valeurs des charges de rupture R (N/mm²), des allongements (A%) et des strictions latérales (Z h%) (les valeurs relatives aux allongements et strictions latérales étant exprimées pour chacune des 2 parties calibrées P1 et P2 des éprouvettes) obtenues sur chaque éprouvette sont consignées au tableau I annexé. Dans ce tableau, apparaissent les moyennes partielles des charges de rupture, allongements et strictions latérales relatives :

a) Echantillon n° I (e = 88 mm)

- aux essais effectués selon la direction de l'épaisseur (Z) et correspondant respectivement à l'une (Z1, Z2, Z3, Z'1, Z'2, et Z'3) et l'autre face (Z4, Z5, Z6, Z'4, Z'5 et Z'6) de l'échantillon.

b) Echantillon n° II (e = 112 mm)

- aux essais effectués selon la direction de l'épaisseur (Z) et correspondant respectivement à l'une (Z1, Z2 et Z3) et l'autre face (Z10, Z11 et Z12) de l'échantillon.

- aux essais effectués selon la direction du travers court (Z) et correspondant à une zone centrale dans l'épaisseur du produit (Z4, Z5, Z6, Z7, Z8 et Z9).

En outre sont consignés dans ce tableau les écarts types correspondant aux séries de 6 essais effectués dans une même région de la tôle (superficielle ou centrale).

Les résultats obtenus permettent les constatations suivantes :

1) Les valeurs de la résistance à la rupture obtenues lors des essais effectués selon les directions X et Y sont sensiblement égales (tableau N° I).

2) Les valeurs de la résistance à la rupture obtenues lors des essais effectués dans le sens "travers court" (Z) sont légèrement inférieures aux valeurs obtenues dans les directions X et Y (Cf. tableau n° II). Toutefois, les différences observées sont en moyenne relativement faibles ($R_2 = 85,6$ à 94 % de R_x) et, comme l'ont déjà remarqué un certain nombre d'auteurs, ne constituent pas un critère significatif de la sensibilité d'un produit à l'arrachement lamellaire.

3) Par contre, et en accord avec les observations déjà effectuées sur des tôles affectées par le phénomène, on constate une diminution très importante des allongements et surtout des strictions dans la direction de l'épaisseur (Z) par rapport aux valeurs correspondantes obtenues dans le sens du laminage (X) ou le sens travers court (Y).

Le tableau n° II, dans lequel apparaissent les rapports de la valeur moyenne des résultats d'essais comparables (effectués dans une même direction et une même zone de la tôle) à la valeur de l'essai effectué dans la même zone mais dans le sens du laminage (X), montre que :

- les allongements dans le sens de l'épaisseur (A_z) sont en moyenne égaux à [40,3 à 61,8 %] de A_x .

On observe donc une chute d'environ 50 %.

- les strictions accusent une diminution encore plus importante puisque les valeurs de strictions obtenues lors des essais effectués dans le sens de l'épaisseur (Z_z) sont en moyenne égales à [22 à 41,8 %] de Z_x .

On observe donc une chute d'environ 68 %.

En outre, les valeurs des résistances, allongements et strictions obtenus lors des essais effectués dans le sens de l'épaisseur et dans la zone centrale de l'échantillon n° II sont dans l'ensemble inférieures aux valeurs correspondantes obtenues au voisinage des faces 1 et 2.

La diminution est encore particulièrement accusée pour les allongements et striction (tableau n° II : comparaison de la moyenne des valeurs de R_z4 à R_z9 , A_z4 à A_z9 et Z_z4 à Z_z9 , aux valeurs correspondantes (R , A et Z_h) obtenues dans le sens du laminage (X) respectivement au voisinage des faces 1 (X_1) et 2 (X_2) de l'échantillon.

Ceci est en accord avec les résultats obtenus lors des essais d'aimantation (Cf. planche n° 8) et des examens métallographiques (Cf. macrographies n° 2) des planches n° 11, 13, 16 et 18), qui ont montré que la partie centrale des échantillons (mi-épaisseur) comportait une densité d'inclusions allongées d'assez grandes dimensions particulièrement élevée.

5.2.2. Essais d'arrachement dans la direction de l'épaisseur des produits laminés (essais I.S.)

Les résultats obtenus et consignés au tableau III annexé permettent les observations suivantes :

- les valeurs des charges de rupture obtenues pour les deux épaisseurs de tôle à proximité de l'une de leur face sont légèrement supérieures à celles qui correspondent aux essais réalisés à mi-épaisseur. Dans ce dernier cas les valeurs obtenus sont respectivement égales à :

- 81 % de la valeur obtenue en peau (tôle de 88 mm:échantillon n° I)

- 79 % de la valeur obtenue en peau (tôle de 112 mm : échantillon n° II).

- Les valeurs des striction diamétrales obtenues à mi-épaisseur sont inférieures aux valeurs résultant des essais réalisés près de la surface. Cette différence est particulièrement sensible pour la tôle de 88 mm d'épaisseur (Echantillon n° I) pour laquelle la striction à mi-épaisseur est égale à 17,2 % de la striction en peau. Pour la tôle de 112 mm d'épaisseur (Echantillon n° II) le pourcentage correspondant est de 79,4 %.

Ces résultats sont en conformité avec l'état inclusionnaire des tôles, la concentration en inclusions étant particulièrement élevée dans le tiers central de l'épaisseur des produits. (Cf. paragraphe ci-après).

L'aspect des fractures relatives aux 4 éprouvettes soumises à l'essai d'arrachement est représenté sur les photographies de la planche n° 9 annexée.

L'examen de celles-ci permet de constater :

- la présence d'une rupture caractéristique par arrachement lamellaire lors de l'essai effectué à mi-épaisseur sur l'échantillon n° I (e = 88 mm).
- l'existence du même phénomène dans les ruptures résultant des essais d'arrachement superficiel et à mi-épaisseur effectués sur l'échantillon n° II (e = 112 mm), mais dans les deux cas son caractère est beaucoup moins accusé que pour l'échantillon n° I.

5.2.3. Examens métallographiques-

(Ces examens sont, en tant que nécessaire, complétés par des examens par aimantation).

a) Examens effectués au droit des zones initialement soudées

A1 et A2

a1 : Echantillon n° I (e = 88 mm)

- Les examens macro et micrographiques de la zone A1 (Cf. planche n° 20) permettent les observations ci-après :

. macrographie n° 1 : une fissure s'amorce à la racine de la soudure, se développe initialement dans la zone de liaison soudure-tôle de semelle, puis se propage dans la semelle uniquement.

. micrographies 2, 2' et 2" : illustrent sous différents grossissements (x25 et x50) l'aspect de la rupture dans un plan de coupe parallèle "à la direction du travers long" (Y). Il est à remarquer que la fissure ne présente pas dans cette direction l'allure caractéristique d'une décohésion par arrachement lamellaire.

. micrographie n° 3 : réalisée à partir d'une coupe effectuée parallèlement à la direction du laminage (X); cette micrographie illustre de façon particulièrement significative l'aspect de la rupture en gradins, caractéristique de l'arrachement lamellaire.

. micrographies n° 4 et 5 : effectuées à partir de la coupe dans le "travers long" de part et d'autre de la fissure mais à proximité de celle-ci. Des inclusions filiformes allongées de sulfures de Manganèse sont mises en évidence.

- L'examen de la zone A2 (Cf. planche n° 21) n'a pas mis de défaut du type fissure en évidence (figure 1). La micrographie de la figure 2 exécutée au voisinage de la soudure côté semelle permet de constater la présence d'inclusions allongées et principalement de sulfures de manganèse dont les extrémités présentent en général une forme arrondie.

a2 : Echantillon n° II (e = 112 mm)

- L'examen de la zone A2 (Cf. planche 22) permet les observations ci-après :

. macrographie de la figure 1 : une fissure n'affectant que le métal fondu se développe parallèlement à la zone de liaison soudure-semelle et dans le prolongement du talon du chanfrein. Cette décohésion se limite à la première passe de métal déposé et ne présente pas à cet endroit l'aspect d'un arrachement lamellaire.

. la micrographie de la figure 2 permet d'apprécier la forme et la densité des inclusions de sulfures de Manganèse dans la région superficielle de la semelle au voisinage de la fissure, mais toutefois en dehors de la zone thermiquement affectée.

b) Examens effectués sur les éprouvettes d'essais d'arrachement après rupture (planches n° 10 à 19)

b1 : Essais d'arrachement superficiels (planche n° 10)

- Echantillon n° I (Les examens effectués à partir d'une coupe diamétrale de la section rompue parallèle à la direction du "travers long" (axe Y) permettent de constater (planche n° 11) :

. la présence d'un très grand nombre de petites inclusions de longueur inférieure au millimètre situées à proximité de la surface de l'échantillon (macrographie n° 3 et micrographie n° 1).

. les micrographies de la planche n° 12 correspondent à un examen effectué à partir d'une coupe diamétrale de la section rompue parallèle à la direction du laminage (axe X). On constate la présence d'un nombre élevé d'inclusions de très petites dimensions dont la plupart sont de forme nodulaire. La forme des inclusions observées ne semble pas favorable à l'initiation de l'arrachement lamellaire en cette zone et l'aspect de la surface rompue correspondante (photo n° 1, planche n° 9) le confirme.

- Echantillon n° II : La planche n° 13 rend compte des résultats obtenus lors des examens effectués à partir d'une coupe diamétrale de la section rompue parallèle à la direction du travers long (axe Y). On observe notamment sur la macrographie n° 3 de très nombreuses petites inclusions concentrées principalement dans la région superficielle de la tôle. La micrographie n° 1 illustre l'aspect nodulaire de ces inclusions qui sont vues selon leurs plus petites dimensions en raison de l'orientation du plan de coupe. La planche n° 14 correspond aux examens effectués parallèlement à la direction du laminage (axe X) à partir d'une coupe diamétrale de la section rompue. Les micrographies correspondantes permettent de constater la présence conjuguée de très petites inclusions de forme nodulaire (non déformables) et d'inclusions filiformes allongées de faible longueur (déformables). La juxtaposition d'inclusions nodulaires et filiformes correspond à une surface rompue (photo n° 3, planche n° 9) qui ne présente que modérément l'aspect d'un arrachement lamellaire. Les plages de décohésions qui ont une orientation parallèle aux faces de l'échantillon sont de petites dimensions et correspondent bien aux faibles dimensions des inclusions filiformes observées.

b2 : Essais d'arrachement à mi-épaisseur (planche n° 15)

- Echantillon n° I

Sur la planche n° 16 correspondant à un examen sur coupe diamétrale parallèle à la direction du travers long (axe Y) on observe une quantité d'inclusions relativement moins importante que précédemment (essais superficiels). Toutefois, ces dernières ont en moyenne des dimensions supérieures à celles des inclusions des zones superficielles.

Les micrographies de la planche n° 17 illustrent l'aspect des inclusions précitées dans le sens du laminage (axe X). On note pour certaines d'entre elles un aspect filiforme allongé et une longueur moyenne supérieure à celle des inclusions observées dans les zones superficielles (Cf. planche n° 12). Le phénomène d'arrachement lamellaire (photo n° 2, planche n° 9) observé lors de la rupture a bien été initié à partir des inclusions filiformes allongées.

- Echantillon n° II

La macrographie n° 3 de la planche n° 18 (coupe parallèle à l'axe Y) met en évidence des inclusions filiformes allongées de petites dimensions ($l < 1 \text{ mm}$) dont certaines présentent un décollement de la matrice qui constitue la phase initiale de l'arrachement lamellaire.

Une comparaison entre les macrographies n° 3 des planches n° 13 et 18 met en relief les différences d'aspect des inclusions présentes ainsi que la distribution et la densité de celles-ci.

Les micrographies de la planche n° 19 ont été effectuées à partir d'une coupe diamétrale parallèle au sens du laminage (axe X). De nombreuses inclusions filiformes allongées y sont observées.

Toutefois, la rupture correspondante (photo n° 4, planche n° 9) ne présente que modérément l'aspect d'un arrachement lamellaire typique.

VI - CONCLUSIONS -

Les résultats obtenus au cours des examens et essais effectués, montrent ou confirment que :

1°) En ce qui concerne les causes de l'arrachement lamellaire observé sur les bras de poussée étudiés, les examens effectués ont montré qu'il était essentiellement la conséquence de la présence d'inclusions allongées superposées (Cf. essais de traction à mi-épaisseur). Toutefois, l'existence d'un grand nombre d'inclusions de forme nodulaire associées ou non à de petites inclusions filiformes peut aussi, mais dans une moindre mesure, favoriser l'apparition du phénomène. Bien entendu la forme des joints et les conditions de soudage sont également à prendre en considération, bien qu'en ce qui concerne ce dernier point, les diverses tentatives évoquées n'aient apporté aucune amélioration.

2°) En l'état actuel, l'examen par ultrasons, même effectué à une fréquence relativement élevée et avec un système de balayage systématique avec enregistrement des résultats, ne permet pas de déceler les inclusions susceptibles de provoquer l'arrachement lamellaire. Ceci résulte :

- de la faible dimension des inclusions
- de leur impédance acoustique certainement très voisine de celle de l'acier
- de la liaison intime de celles-ci avec la matrice en acier.

Cependant les résultats obtenus à ce jour ne permettent pas de conclure de façon définitive que des techniques particulières d'examen par ultrasons ne permettraient pas une détection non destructive des inclusions qui sont les principales responsables de l'arrachement lamellaire.

3°) L'examen par aimantation, effectué sur le chant convenablement poli, de produits laminés peut donner des spectres significatifs de la tendance de ce produit à donner des arrachements lamellaires. Toutefois, l'interprétation est assez délicate et il est vraisemblable que si l'on doit pouvoir arriver à des conclusions nettes dans des cas extrêmes (produits très susceptibles ou pas du tout), dans les cas intermédiaires cet examen ne peut suffire.

Par ailleurs, il convient d'observer que cette technique ne donne d'indications que sur une section limitée et ne constitue donc pas, en ce domaine, un véritable essai non destructif.

4°) Au sujet des essais destructifs, bien qu'il en existe de nombreux types décrits dans la littérature pour caractériser la tendance à l'arrachement lamellaire, les deux qui ont été retenus ici se sont avérés efficaces avec chacun des avantages et inconvénients :

- l'essai Brodeau ne peut être effectué que sur un échantillon prélevé et ne fait pas intervenir de cycle de soudage
- l'essai mis au point par l'Institut de Soudure peut être pratiqué "in situ".

Les expériences effectuées confirment donc que des essais de traction effectués dans le sens travers court sur échantillons prélevés dans des produits laminés peuvent rendre compte de la tendance plus ou moins prononcée qu'auront ces produits à donner des ruptures d'arrachement lamellaire lors du soudage ou après soudage.

Ces expériences ont également montré que lors des essais de traction effectués dans le sens de l'épaisseur (associés ou non à une opération de soudage), les allongements et strictions sont les deux critères les plus significatifs pour caractériser la sensibilité d'un produit à l'arrachement lamellaire.

TABLEAU I : RESULTATS OBTENUS LORS DES ESSAIS DE TRACTION SUR EPROUVETTES BRODEAU TYPE B

Epaisseur de la tôle de base (mm)	Position de l'éprouvette dans l'épaisseur	Repère de l'éprouvette	Résistance maximale à la rupture R (N/mm ²)			Allongement après rupture $A \approx 100 \frac{l_u - l_0}{l_0}$						Striction latérale $Z_h = 100 \frac{h_0 - h_u}{h_0}$															
			Valeurs individuelles	Moyennes partielles (1)	Ecart type (2)	Valeur obtenus sur la partie calibrée P1			Valeur obtenus sur la partie calibrée P2			Valeur obtenus sur la partie calibrée P1			Valeur obtenus sur la partie calibrée P2												
						Valeurs individuelles	Moyennes partielles (1)	Ecart type (2)	Valeurs individuelles	Moyennes partielles (1)	Ecart type (2)	Valeurs individuelles	Moyennes partielles (1)	Ecart type (2)	Valeurs individuelles	Moyennes partielles (1)	Ecart type (2)										
88 (échantillon n° I)	Proximité face 1	x ₁	405			31,6			35			13,6			14												
		y ₁	404			41			39			21,4			21												
		z ₁	355	} 347	} 42,8	17,3	} 17,5	} 3,5	15,3	} 16,8	} 3,7	3,6	} 4,6	} 1,5	6	} 5	} 1,6										
		z ₂	359			19,7			18,6			4,4			4,8												
		z ₃	362			17,3			14,6			6,8			3,2												
		z' ₁	368			16,3			18			3,6			3												
		z' ₂	377			22,6			22,6			6,2			6,4												
		z' ₃	261			12			12			3,2			6,6												
		Proximité face 2	x ₂			401									41					36,6			17			16,4	
	y ₂		400									42,6							41,6			21,5			22		
	z ₄		362			} 345			} 21,8			17			} 16,5			} 3,8	18,6	} 17,7	} 3,1	4,2	} 4,8	} 1,4	4,4	} 3,6	} 1,5
	z ₅		355	19,3	18		3	3,4																			
z ₆	356		20,6	19,3	7,2		6																				
z' ₄	303		10	18,6	5		3,2																				
z' ₅	354	14,6	20	5	2,6																						
z' ₆	341	17,3	11,6	4,2	1,8																						
112 (échantillon N° II)	Proximité face 1	x ₁	398			35,6			37,6			20			17,2												
		y ₁	391			40,3			38,6			25,8			20												
		z ₁	387	} 373	} 22	19	} 22	} 21,8	18,6	} 21,8	} 7,8	5	} 7,8	} 7,2	6,4	} 7,2	} 7,2										
		z ₂	369			23,3			21,6			6,6			6,8												
		z ₃	363			23,7			25,3			11,8			8,4												
	Centre	z ₄	365									21							20			5,4			6,2		
		z ₅	312									14,6							13,3			3,8			3,8		
		z ₆	355	} 346,3	} 20,2	18	} 18,4	} 3,6	20,3	} 17,5	} 3,2	6,8	} 5,5	} 1,8	5,8	} 4,6	} 1,2										
		z ₇	349			19,3			19			7,2			4,8												
		z ₈	363			23,3			18,6			7			4												
	z ₉	334	14			13,6			3			3															
	Proximité face 2	z ₂	376									35,3							36,0			20			14,2		
y ₂		404			37,0			34,0			20			18													
z ₁₀		345	} 354	} 21,2	21,0	} 21,2	} 18,5	14,6	} 18,5	} 6,5	8,8	} 6,5	} 5,3	8,4	} 5,3	} 5,3											
z ₁₁		363			23,3			24,6			6,8			3,8													
z ₁₂		354			19,3			16,3			3,8			3,6													

Tableau n° II

COMPARAISON DES VALEURS DE RESISTANCES, D'ALLONGEMENTS ET DE STRICTIIONS OBTENUES SUCCESSIVEMENT DANS LES DIRECTIONS DU LAMINAGE (X) ET DE L'EPAISSEUR (Z) LORS DES ESSAIS DE TRACTION SUR EPROUVETTES BROUENAU TYPE B

Epaisseur de la tôle de base (mm)	Position des essais dans l'épaisseur (Cf.pl. 3)	Résistance R		Allongements A %		Strictions latérales Zh	
		$\frac{Rz \text{ moy.}}{Rx} \times 100$	$\frac{Az \text{ moy.}}{Ax} \times 100$			$\frac{Zz \text{ moy.}}{Zx} \times 100$	
				Partie calibrée P1	Partie calibrée P2	Partie calibrée P1	Partie calibrée P2
88 (échantillon n° I)	Proximité face 1	$\frac{R \text{ moy. } z_1 \dots z'_3}{Rx_1} \times 100 = 85,6$	$\frac{A \text{ moy. } z_1 \dots z'_3}{Ax_1} \times 100 = 55,4$	= 48	$\frac{Z \text{ moy. } z_1 \dots z'_3}{Zx_1} \times 100 = 33,8$	= 35,6	
	Proximité face 2	$\frac{R \text{ moy. } z_4 \dots z'_6}{Rx_2} \times 100 = 86$	$\frac{A \text{ moy. } z_4 \dots z'_6}{Ax_2} \times 100 = 40,3$	= 48,4	$\frac{Z \text{ moy. } z_4 \dots z'_6}{Zx_2} \times 100 = 28,3$	= 22	
112 (échantillon n° II)	Proximité face 1	$\frac{R \text{ moy. } z_1 \dots z_3}{Rx_1} \times 100 = 94$	$\frac{A \text{ moy. } z_1 \dots z_3}{Ax_1} \times 100 = 61,8$	= 58	$\frac{Z \text{ moy. } z_1 \dots z_3}{Zx_1} \times 100 = 39$	= 41,8	
	Centre par rapport à la face 1 par rapport à la face 2	$\frac{R \text{ moy. } z_4 \dots z_9}{Rx_1} \times 100 = 87$	$\frac{A \text{ moy. } z_4 \dots z_9}{Ax_1} \times 100 = 51,7$	= 46,5	$\frac{Z \text{ moy. } z_4 \dots z_9}{Zx_1} \times 100 = 27,5$	= 26,8	
		$\frac{R \text{ moy. } z_4 \dots z_9}{Rx_2} \times 100 = 92$	$\frac{A \text{ moy. } z_4 \dots z_9}{Ax_2} \times 100 = 52,2$	= 48,6	$\frac{Z \text{ moy. } z_4 \dots z_9}{Zx_2} \times 100 = 27,5$	= 32,5	
	Proximité face 2	$\frac{R \text{ moy. } z_{10} \dots z_{12}}{Rx_2} \times 100 = 94$	$\frac{A \text{ moy. } z_{10} \dots z_{12}}{Ax_2} \times 100 = 60$	= 51,3	$\frac{Z \text{ moy. } z_{10} \dots z_{12}}{Zx_2} \times 100 = 32,5$	= 37,4	

RESULTATS OBTENUS LORS DES ESSAIS D'ARRACHEMENT
DANS LA DIRECTION DE L'EPAISSEUR

Epaisseur de la tôle de base (mm)	Position de l'essai dans l'épaisseur de l'échantillon	Résistance maximale à la rupture R (N/mm ²)	Striction diamétrale (1) $Z_D = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \times 100$	Section rompue correspondante (planche N° 9)
88 (échantillon n° I)	superficielle	535	3,21	photo n° 1
	mi-épaisseur	432	0,55	photo n° 2
112 (échantillon n° II)	superficielle	522	4,94	photo n° 3
	mi-épaisseur	412	3,92	photo n° 4

Nota 1 : D₁ : diamètre de l'implant soudé avant essai

D₂ : diamètre moyen de la section rompue.

BRAS DE POUSSEE

Elément défectueux

a

9040

Environ 3000

COUPE a

Semelle supérieure

620

88

60

60

Ames

620

Semelle inférieure

670

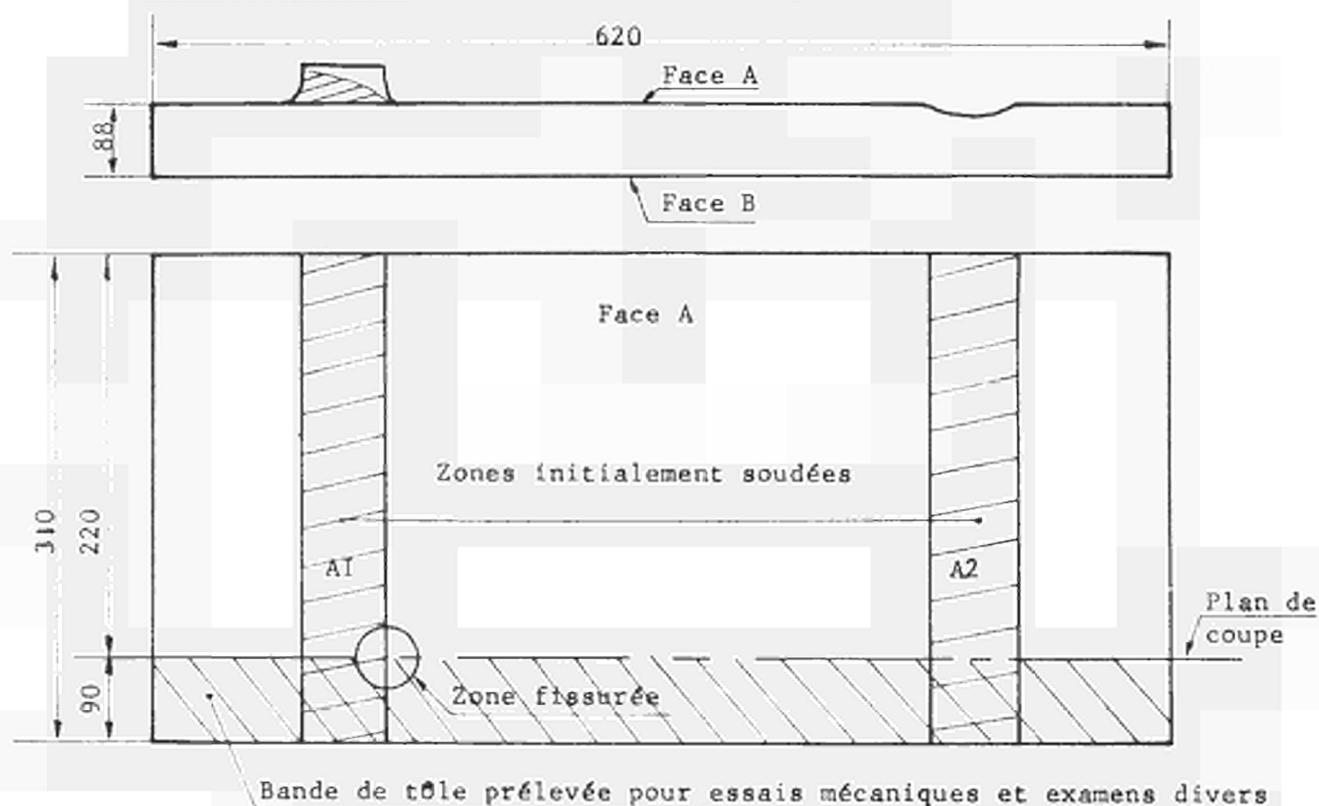
112

☒ : Zones dans lesquelles des fissurations par arrachement lamellaire ont été observées.

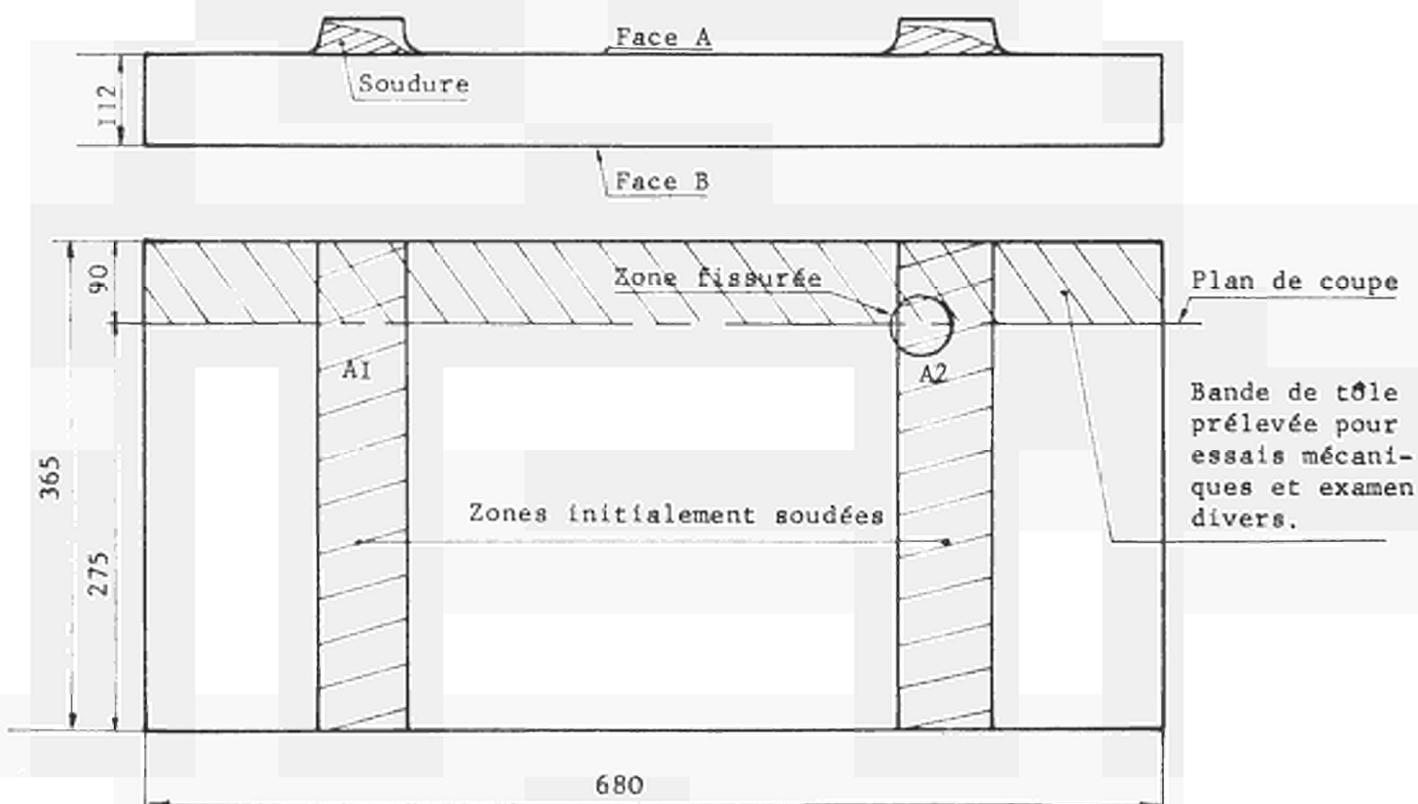
Planche N° 4

FORMES ET DIMENSIONS INITIALES DES 2 PRELEVEMENTS
(Echantillons N° I et N° II)

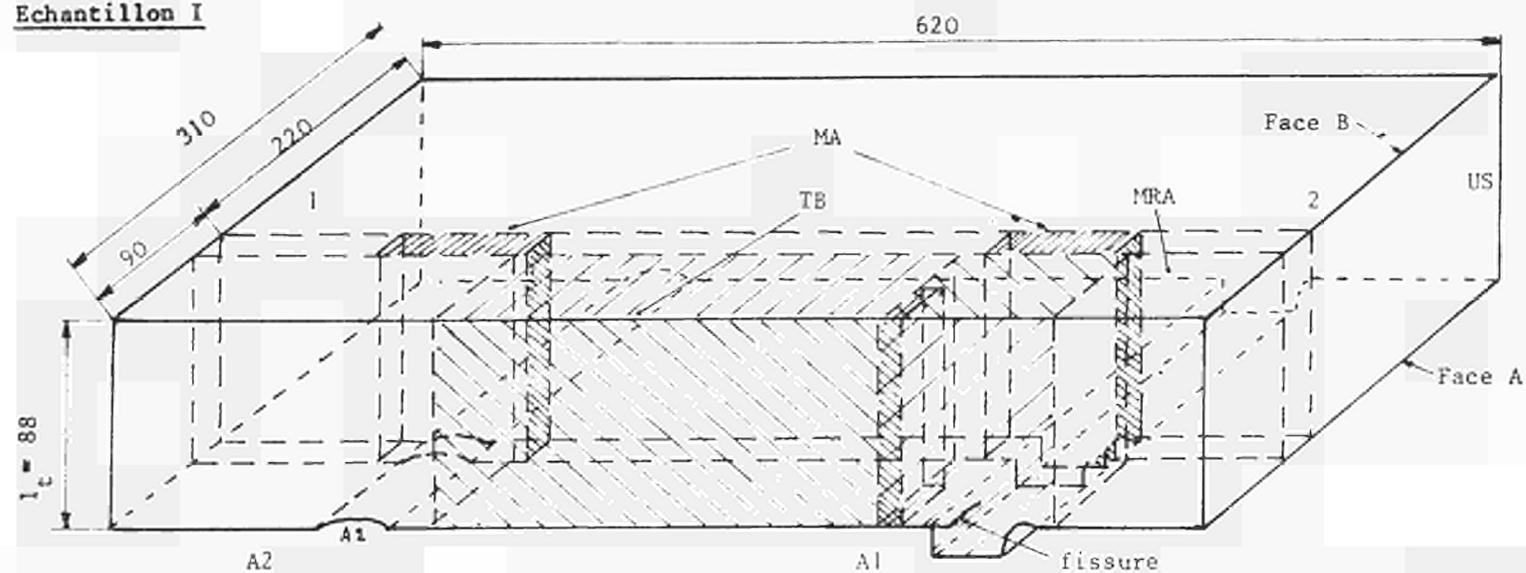
ECHANTILLON N° I ($e = 88 \text{ mm}$) (semelle supérieure)



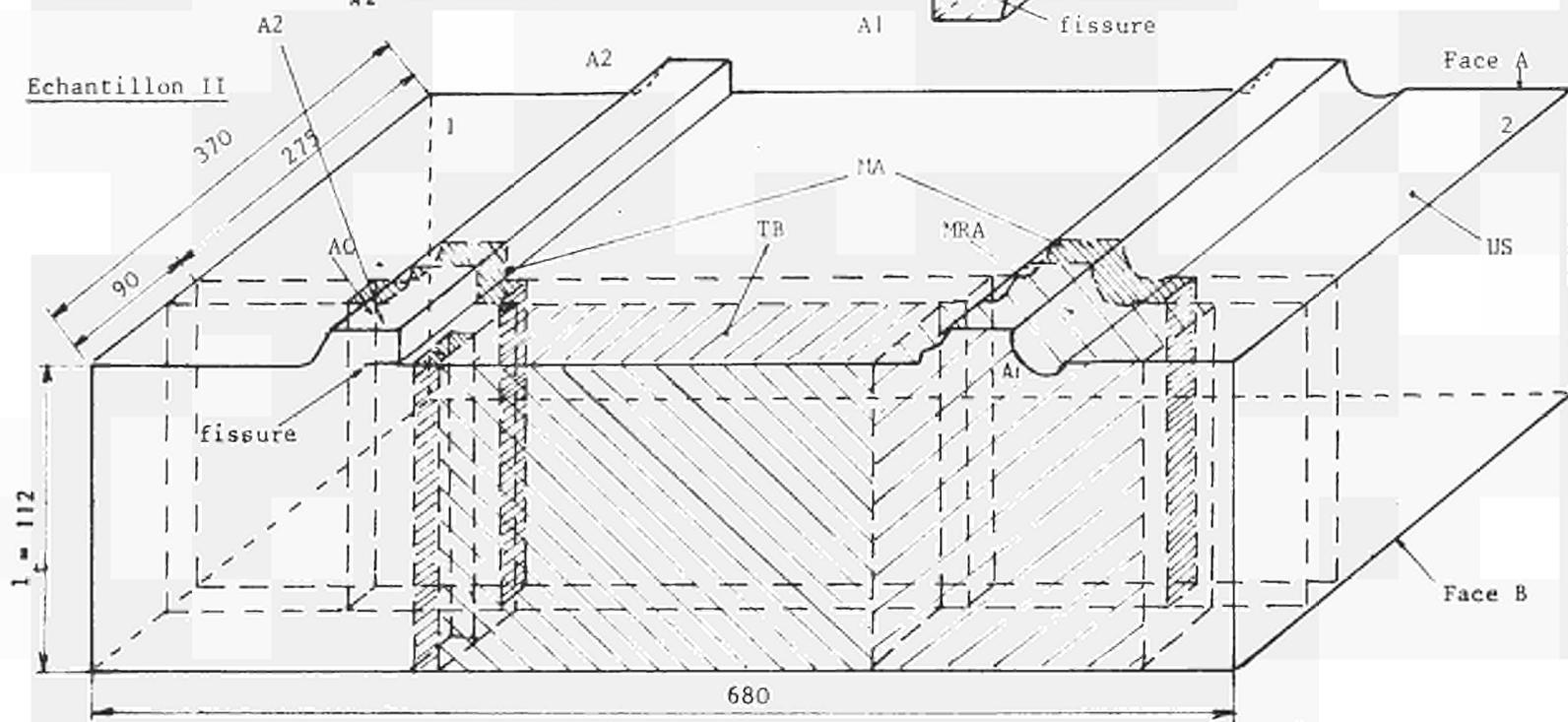
ECHANTILLON N° II ($e = 112 \text{ mm}$) (semelle inférieure)



Echantillon I



Echantillon II



POSITION DES ZONES SOUMISES AUX ESSAIS NON DESTRUCTIFS ET DESTRUCTIFS

US : examen par ultrasons (après arasage des zones A1 et A2)
MA : examens métallographiques et par aimantation
AC : analyse chimique
TB : essais de traction sur éprouvettes Brodeau
MRA : mesure de rupture d'arrachement dans la direction de l'épaisseur

FIGURE I : Caractéristiques dimensionnelles principales des éprouvettes BRODEAU modifiées (type B).

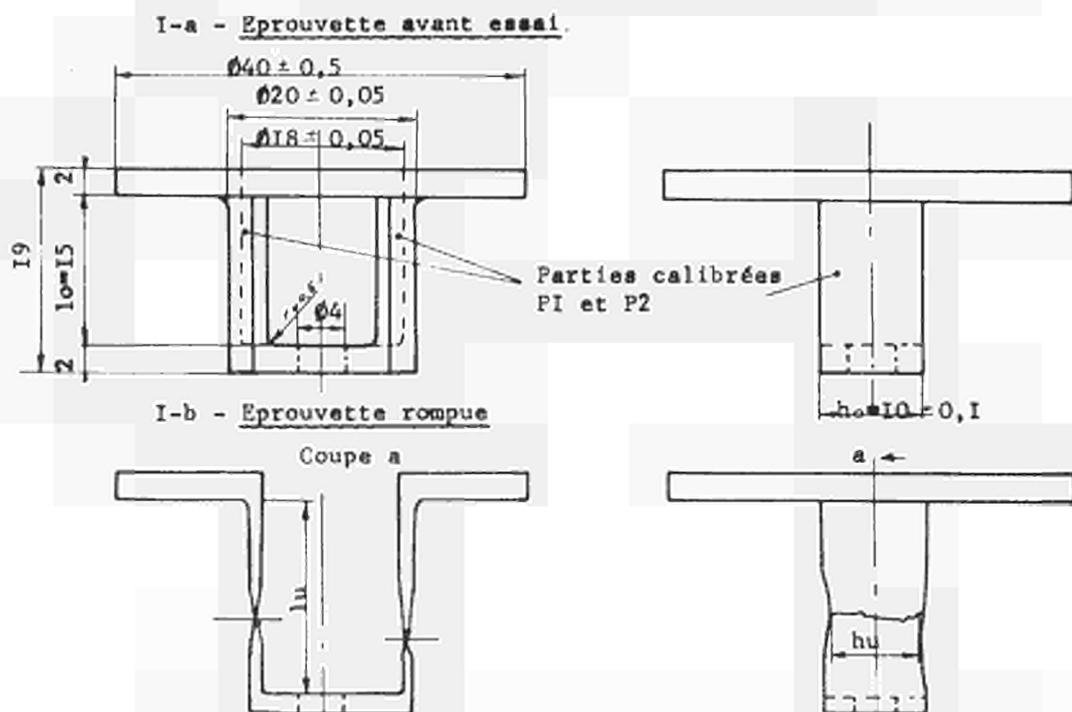
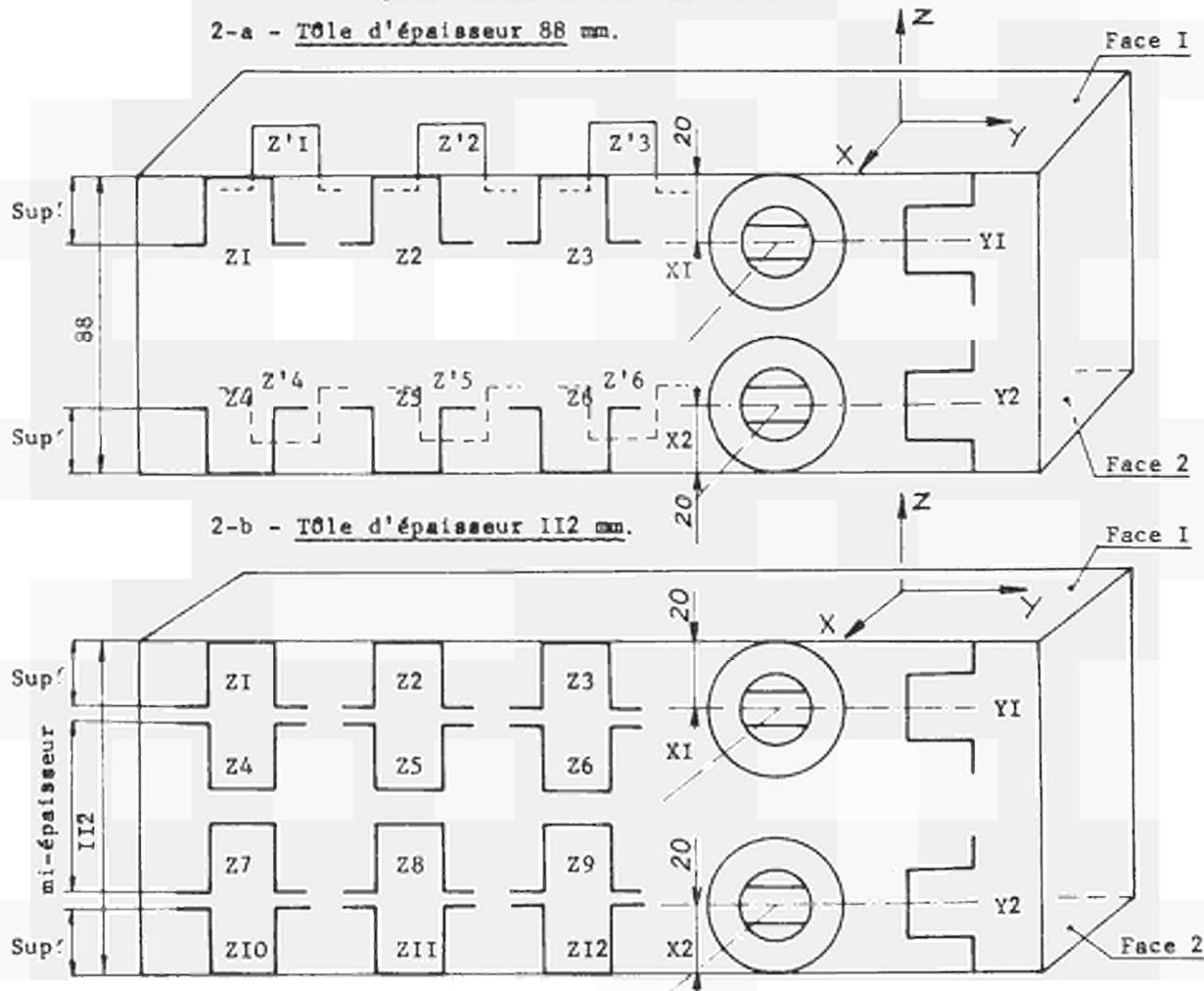


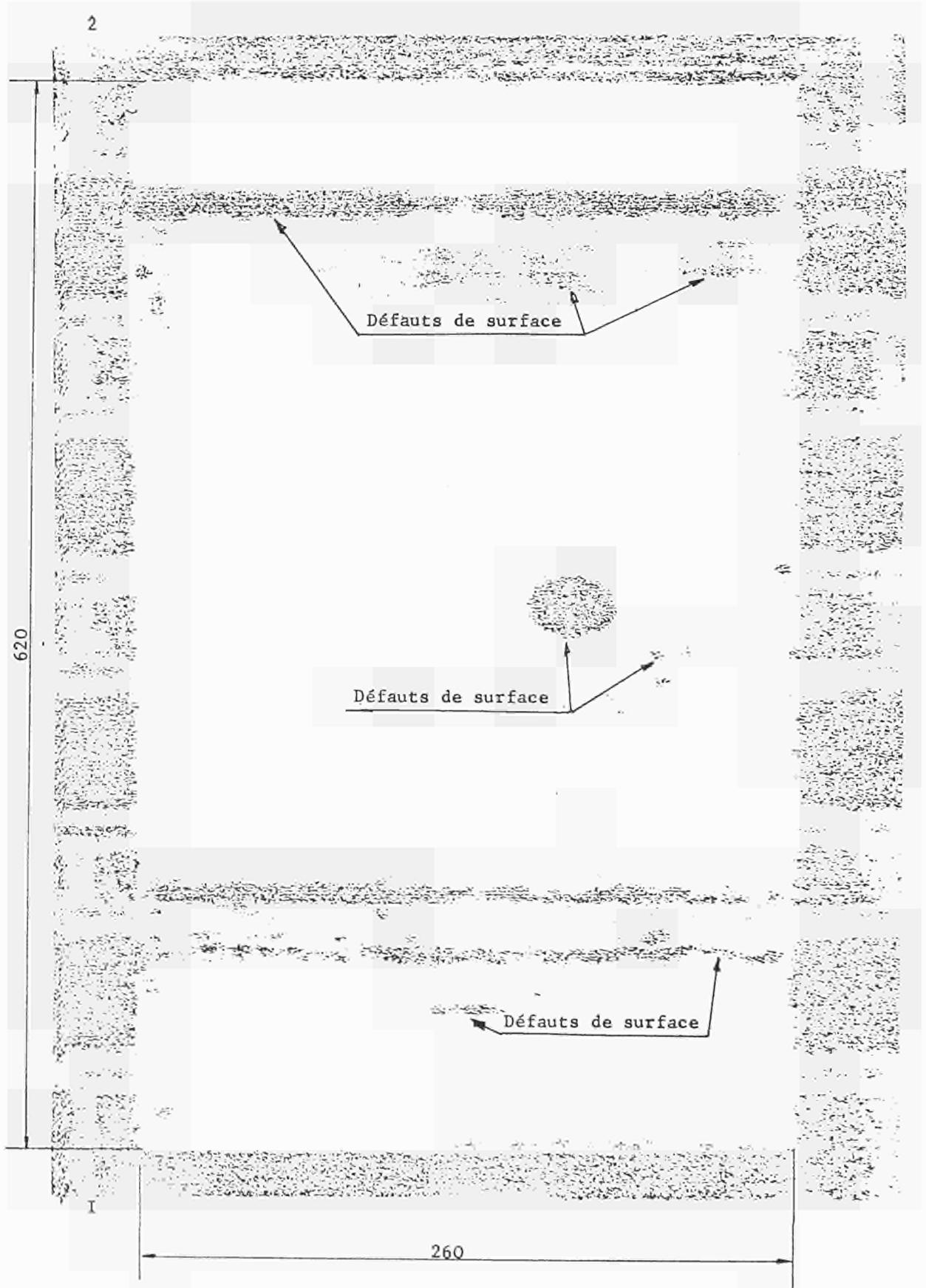
FIGURE 2 : Repérage des éprouvettes suivant les directions de prélèvement de ces dernières.



EXAMEN PAR ULTRASONS

Echantillon N° I (e = 88 mm)

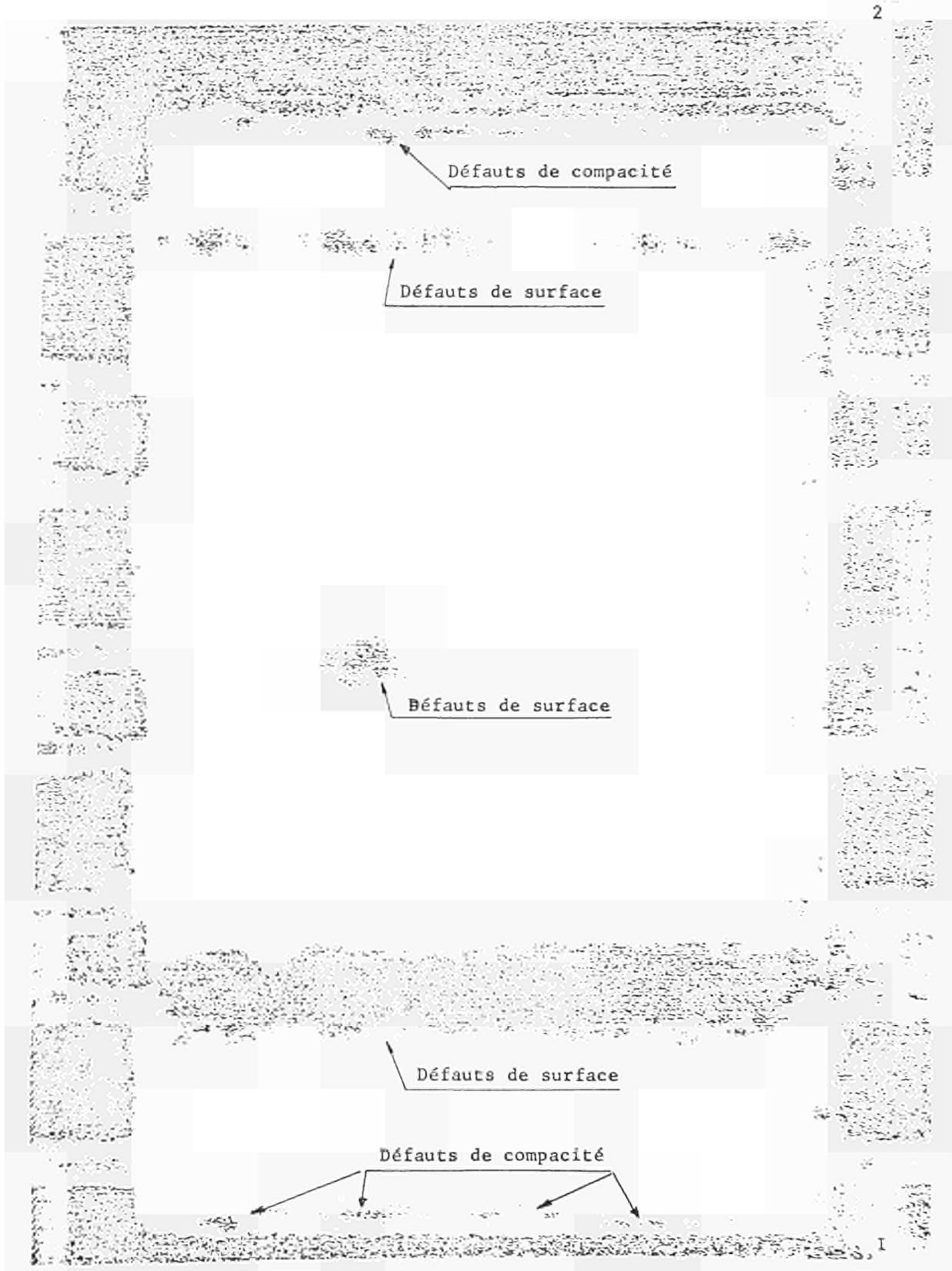
Examen effectué à partir de la face A (Cf planche N° 2)



EXAMEN PAR ULTRASONS

Echantillon N° I (e = 88 mm)

Examen effectué à partir de la face B (Cf planche N° 2)

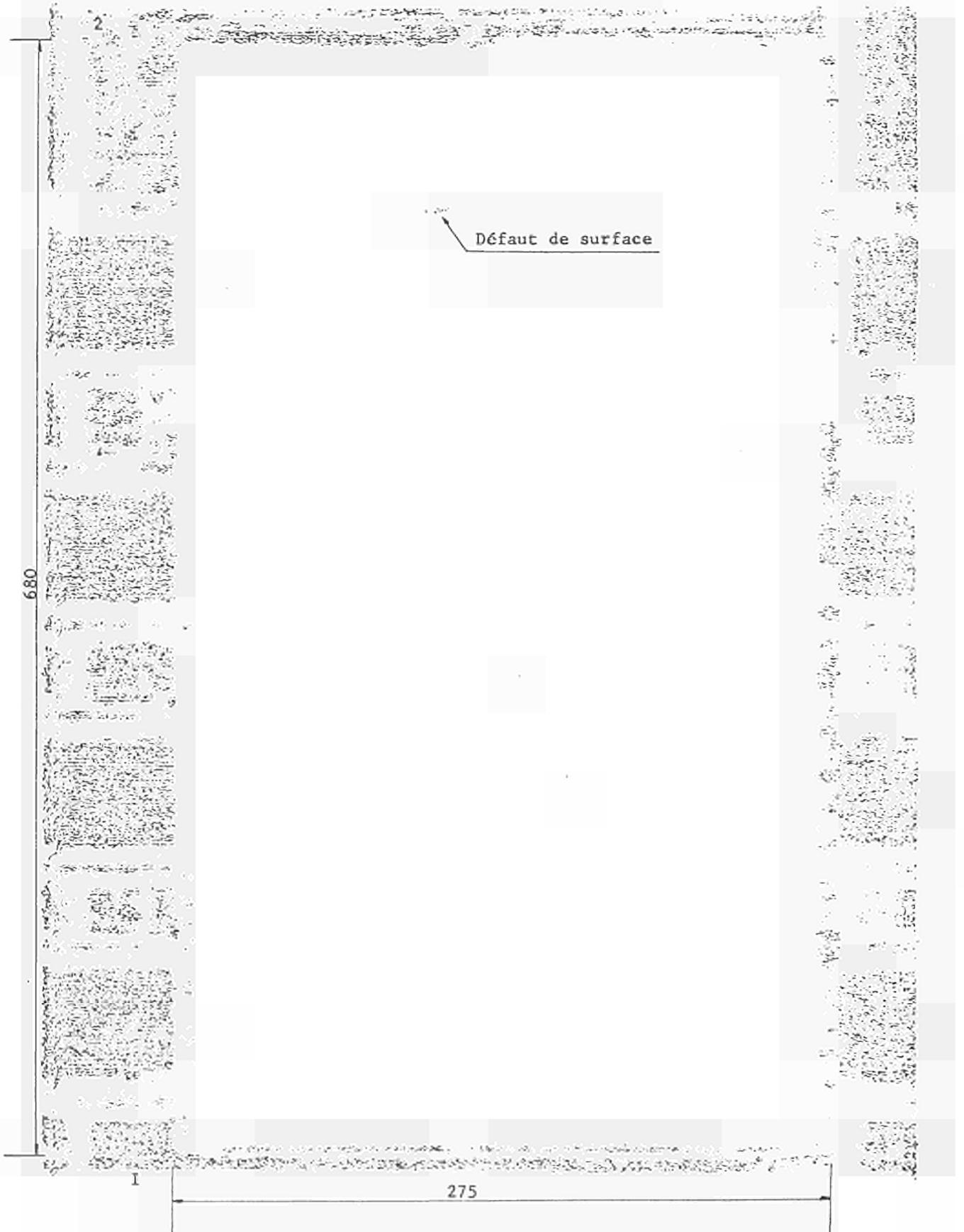


EXAMEN PAR ULTRASONS

Planche N° 6

Echantillon N° II (e = 112 mm)

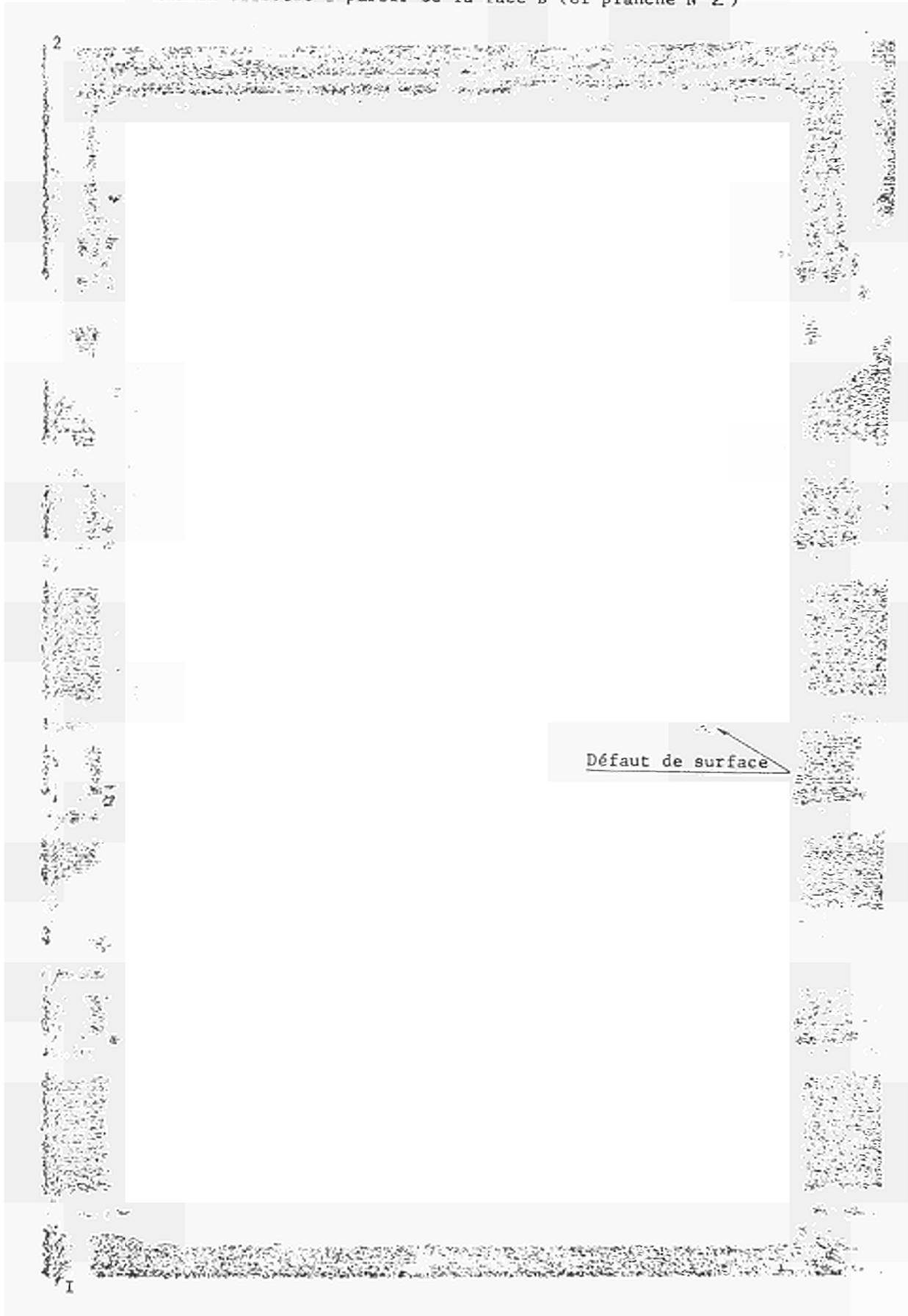
Examen effectué à partir de la face A (Cf planche N° 2)



EXAMEN PAR ULTRASONS

Echantillon N° II (e = 112 mm)

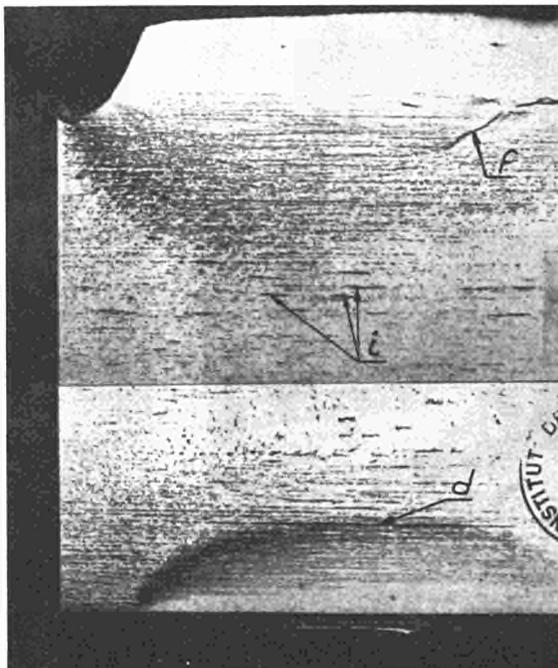
Examen effectué à partir de la face B (Cf planche N° 2)



EXAMEN PAR AIMANTATION

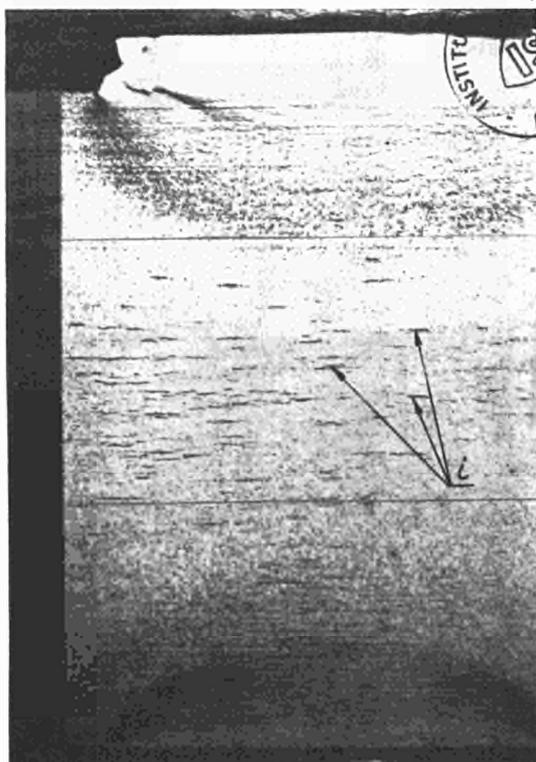
Examen des zones initialement soudées effectué dans un plan parallèle à l'axe Y

ECHANTILLON N° I



Zone AI (Cf planche N°2)

ECHANTILLON N° II



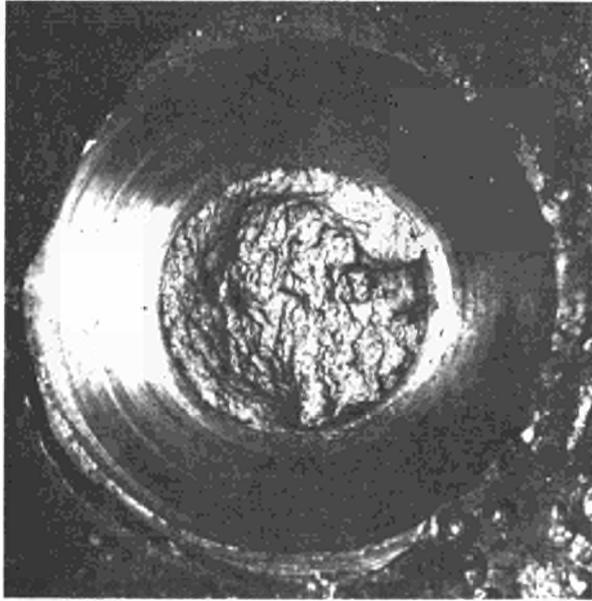
Zone AI (Cf planche N° 2)



Zone A2 (Cf planche N° 2)

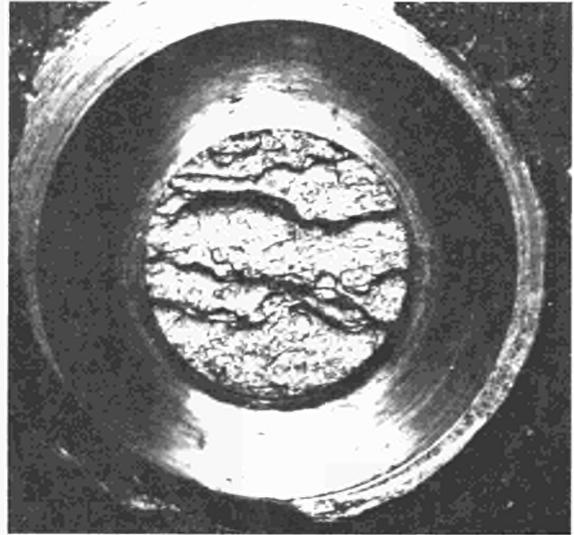
ESSAI D'ARRACHEMENT DANS LA
DIRECTION DE L'ÉPAISSEUR
Aspect des surfaces rompues

ECHANTILLON N° I (e = 88 mm)



Essai superficiel

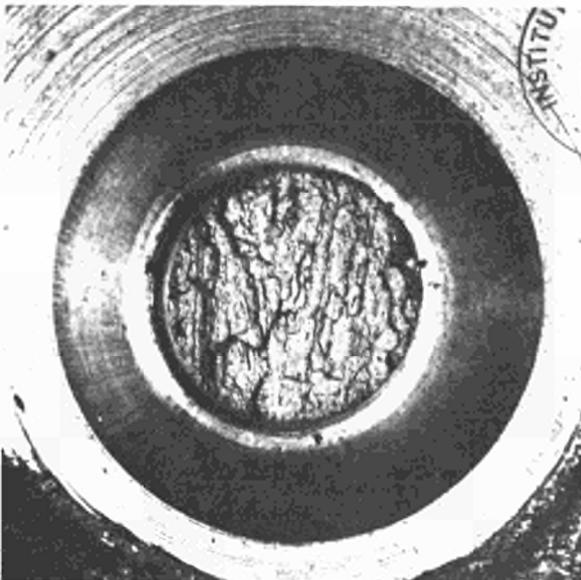
1



Essai à mi - épaisseur

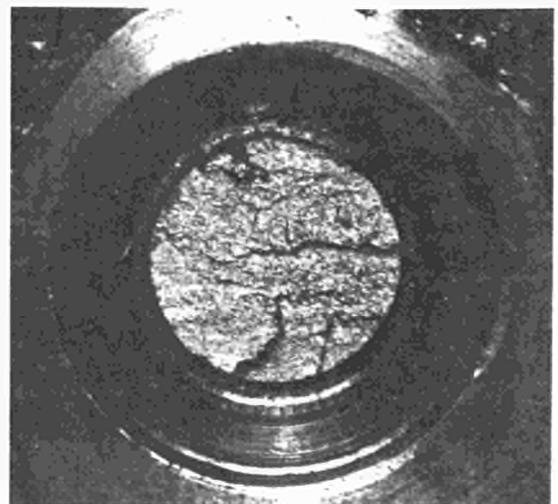
2

ECHANTILLON N° II (e = 112 mm)



Essai superficiel

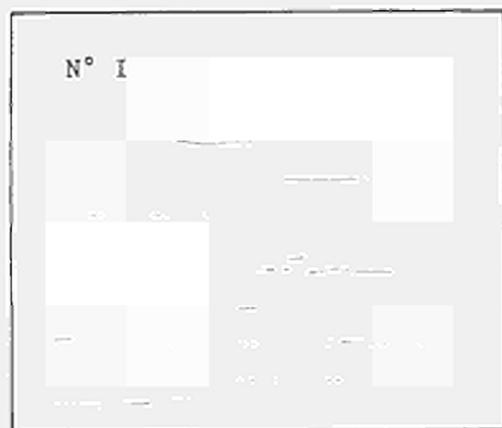
3



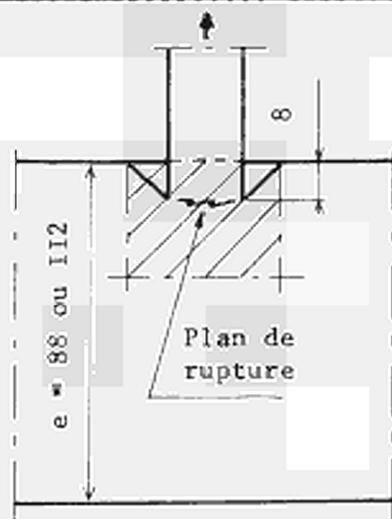
Essai à mi - épaisseur

4

ESSAI D'ARRACHEMENT SUPERFICIEL (Cf planches N°11 à N°14)



Micrographie ($\times 25$) de la zone sous-jacente à la rupture (sans attaque)



Direction du champ magnétique

Examen par aimantation de la zone sous-jacente à la rupture



Coupe macrographique ($\times 2$) de la zone sous-jacente à la section rompue (avec attaque)



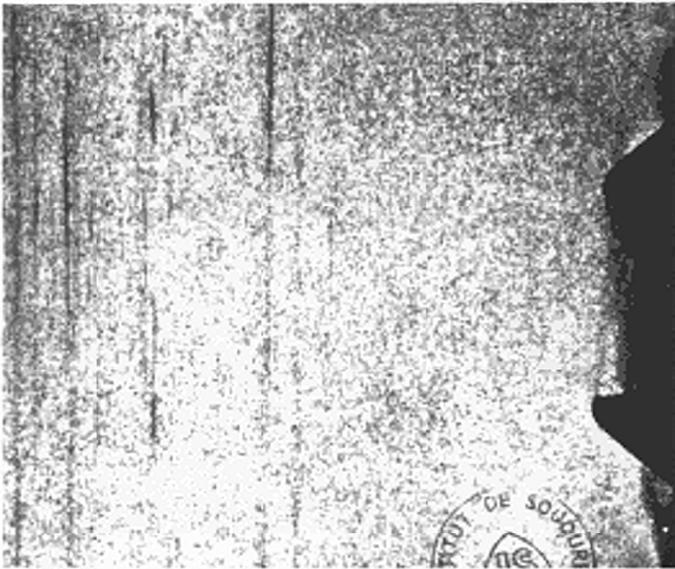
Coupe diamétrale de la section rompue ($\times 12,5$) (sans attaque)

ESSAI D'ARRACHEMENT SUPERFICIEL.
Echantillon N° I (épaisseur 88 mm)
(examen suivant coupe parallèle à l'axe Y)

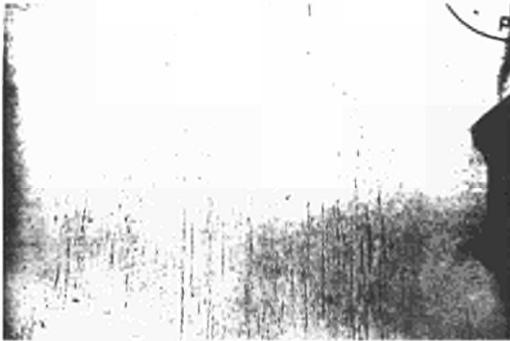
N° 1



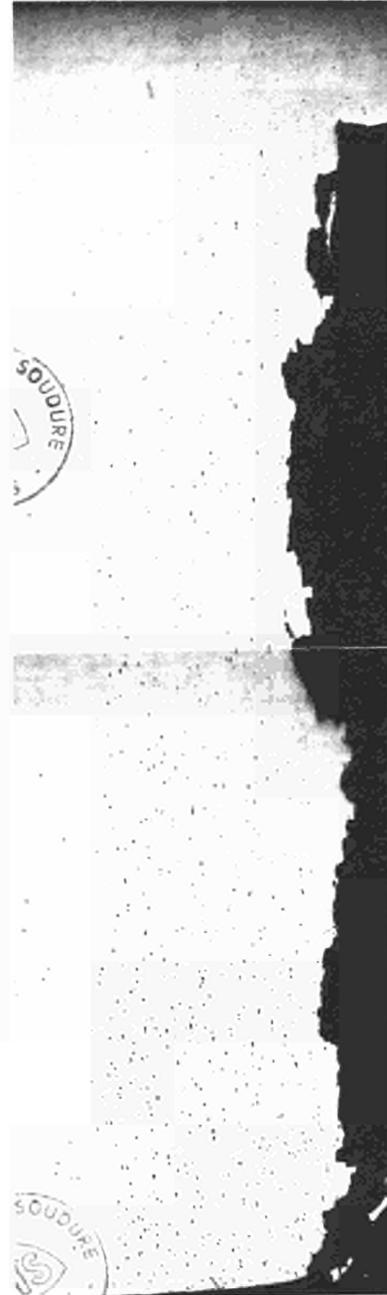
N° 2



N° 4



N° 3



ESSAI D'ARRACHEMENT SUPERFICIEL
Echantillon N° I (épaisseur 88 mm)

(examen suivant coupe parallèle à l'axe X)



x 25



x 100



x 100

ESSAI D'ARRACHEMENT SUPERFICIEL
Echantillon N° II (épaisseur 112 mm)
(examen suivant coupe parallèle à l'axe Y)

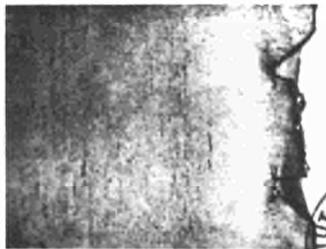
N° 1



N° 2



N° 4



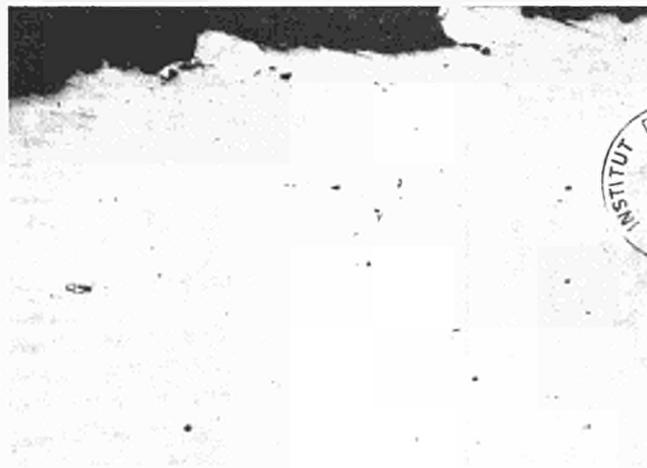
N° 3



ESSAI D'ARRACHEMENT SUPERFICIEL
Echantillon N° II (épaisseur 112 mm)
(examen suivant coupe parallèle à l'axe X)



x25

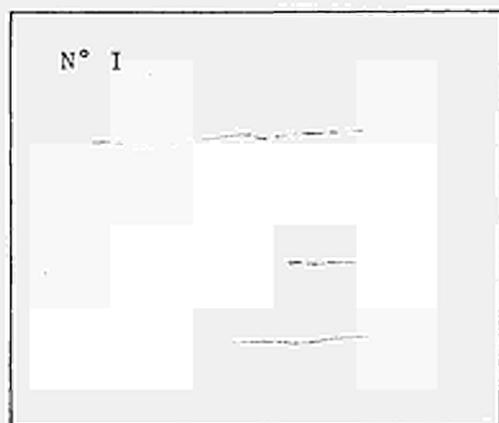


x 100

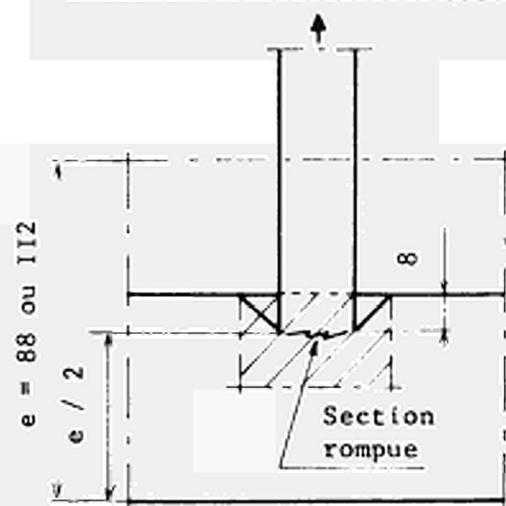


x100

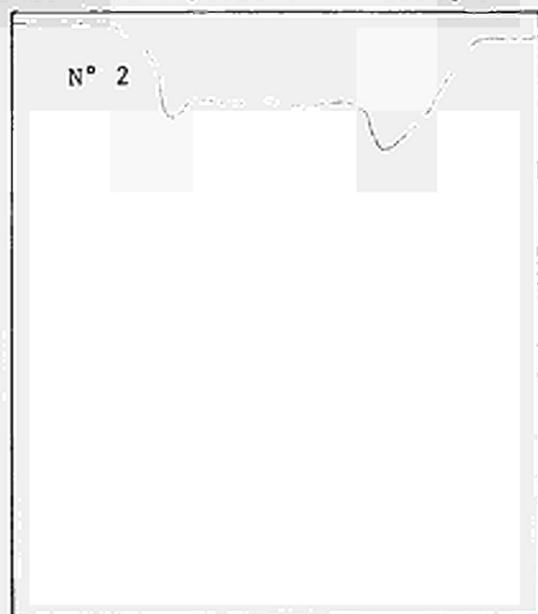
ESSAI D'ARRACHEMENT A MI - EPAISSEUR (Cf planches N° 16 à N° 19)



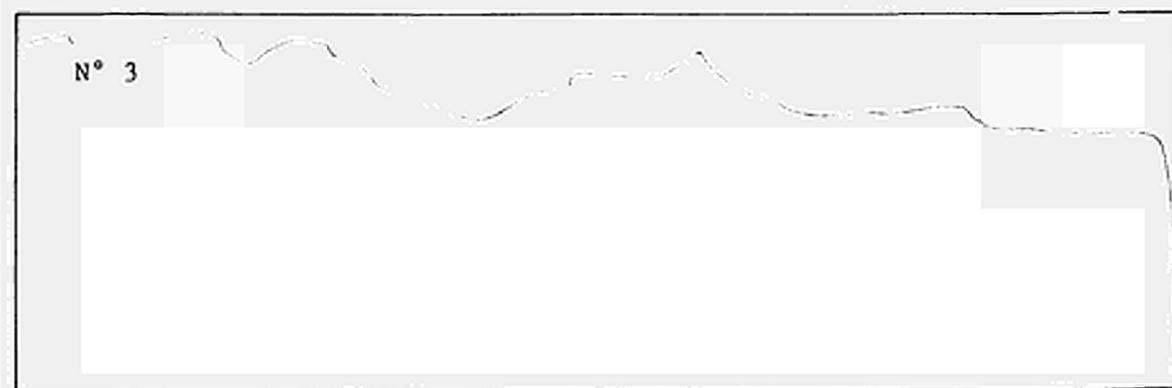
Micrographie ($\times 25$) de la zone sous-jacente à la rupture (sans attaque)



Examen par aimantation de la zone sous-jacente à la rupture



Coupe macrographique ($\times 2$) de la zone sous-jacente à la section rompue (avec attaque)

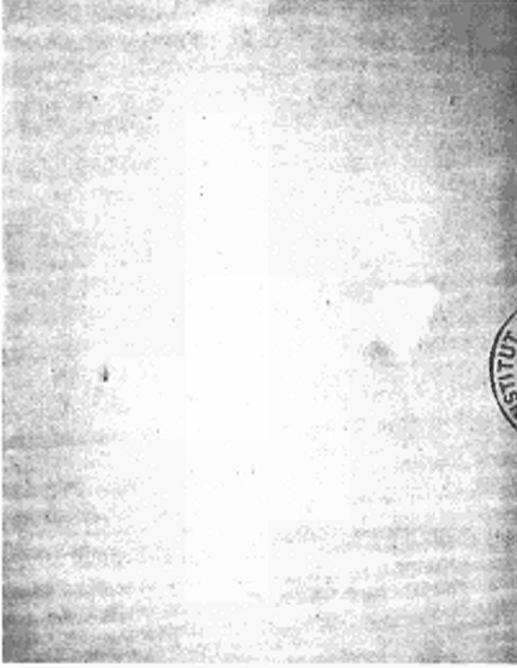


Coupe diamétrale de la section rompue ($\times 12,5$) (sans attaque)

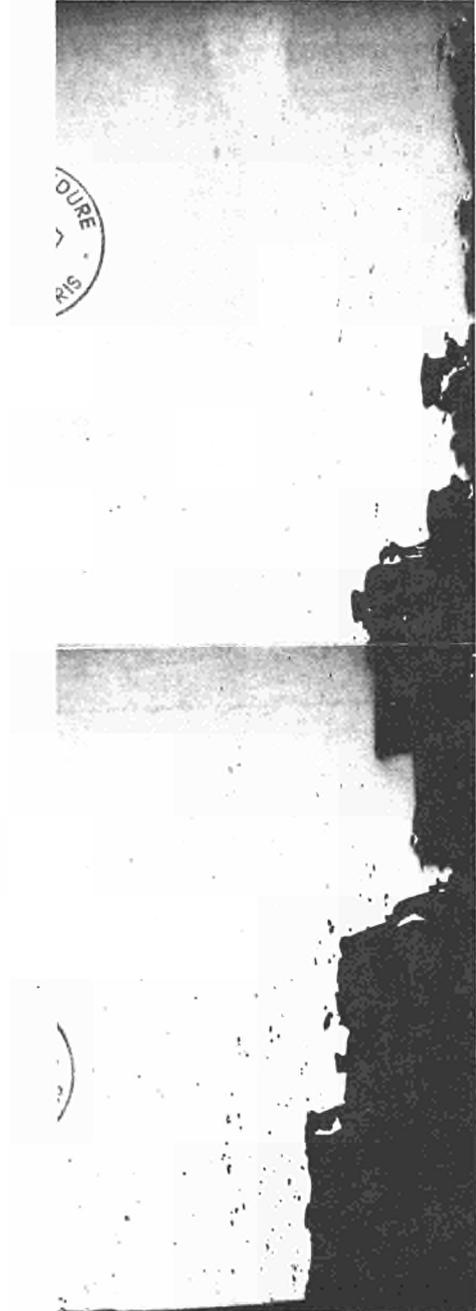
Planche N° 15

ESSAI D'ARRACHEMENT A MI - EPAISSEUR
Echantillon N° 1 (épaisseur 88 mm)
(examen sur coupe parallèle à l'axe Y)

N° 1



N° 3



N° 2

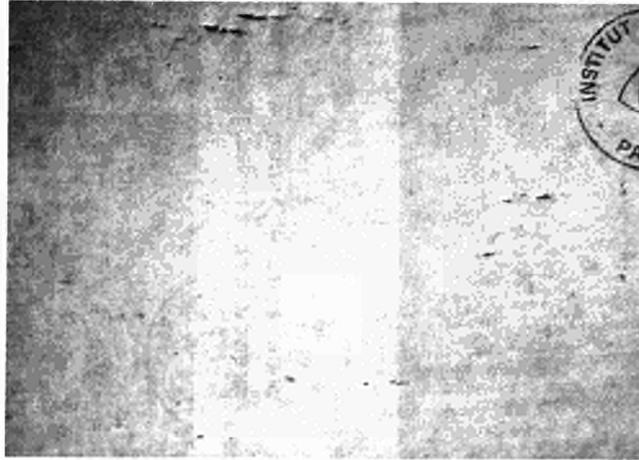


N° 4



ESSAI D'ARRACHEMENT A MI - EPAISSEUR
Echantillon N° I (épaisseur 88 mm)

(examen suivant coupe parallèle à l'axe X)



x 25



Face rompue

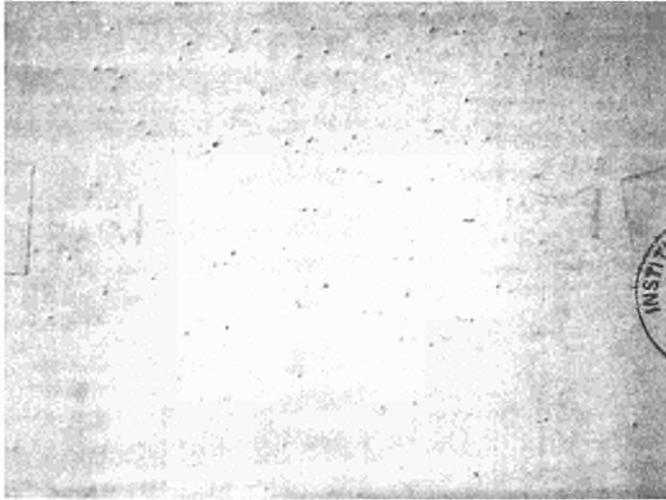
x 100



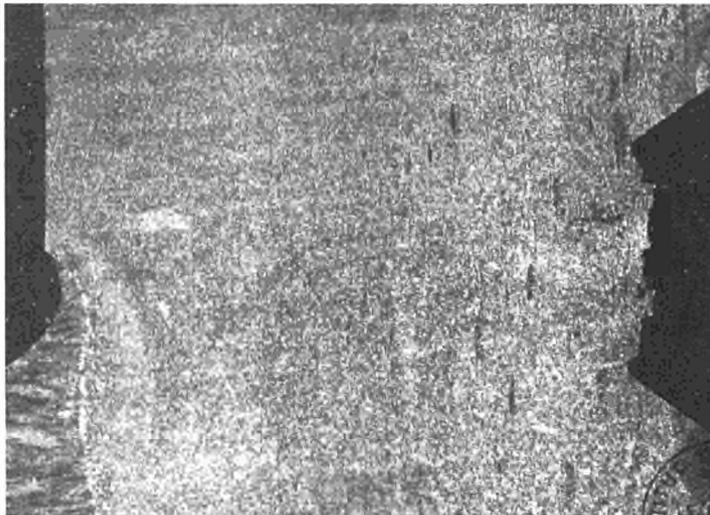
x 100

ESSAI D'ARRACHEMENT A MI - EPAISSEUR
Echantillon N° II (épaisseur 112 mm)
(examen suivant coupe parallèle à l'axe Y)

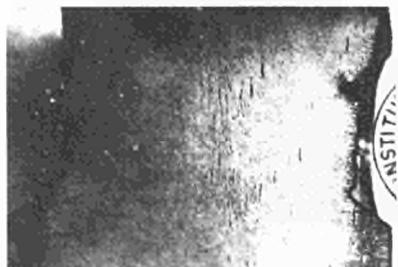
N° 1



N° 2



N° 4

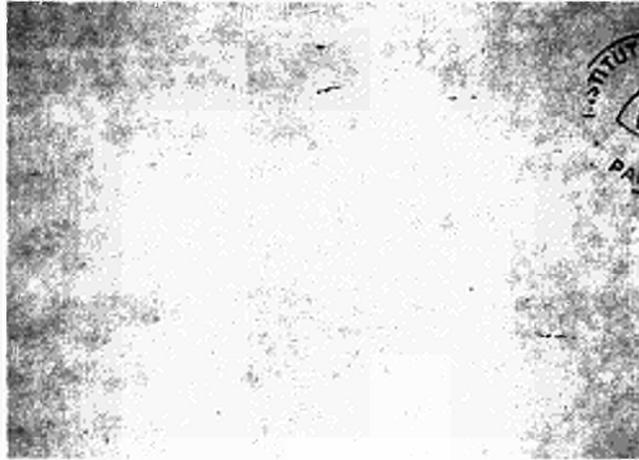


N° 3

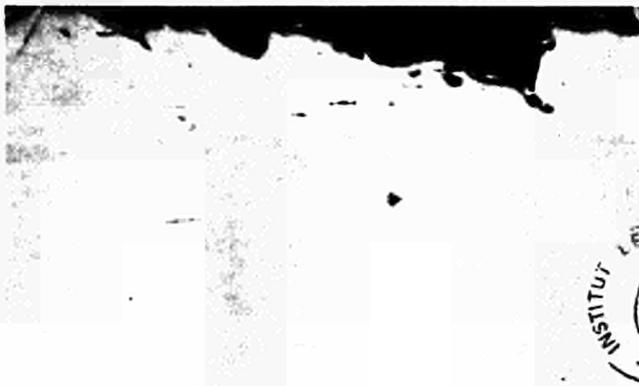


ESSAI D'ARRACHEMENT A MI - EPAISSEUR
Echantillon N° II (épaisseur 112 mm)

(examen suivant coupe parallèle à l'axe X)



x 25



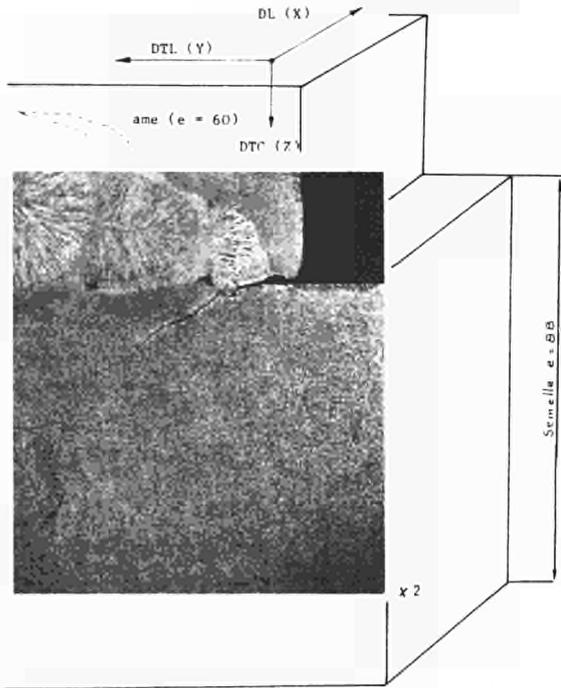
← Face rompue

x 100

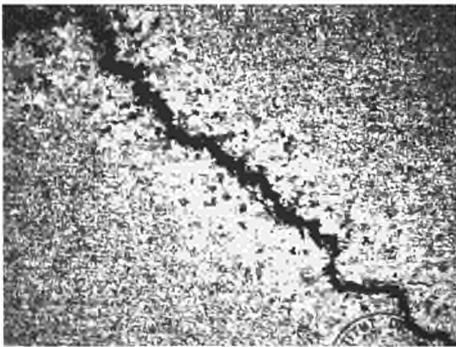


x 100

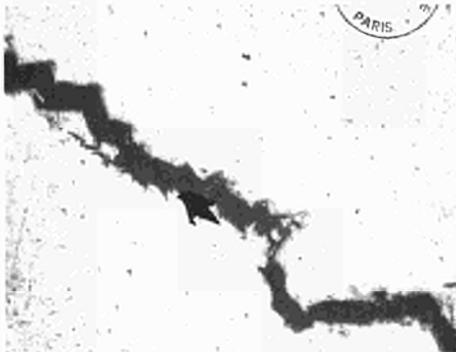
ECHANTILLON N° 1
Examen de la zone A1



DL : Direction du laminage
DTL : Direction du "travert long"



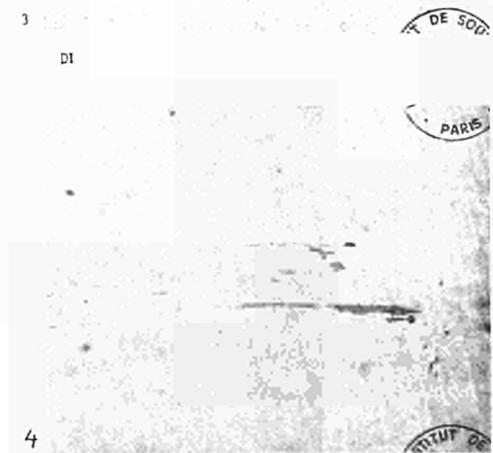
x 25



x 50



x 50



x 400



x 400



x 25

Rapport N° 5550
Planche N° 20

ECHANTILLON N° I
Examen de la zone A2

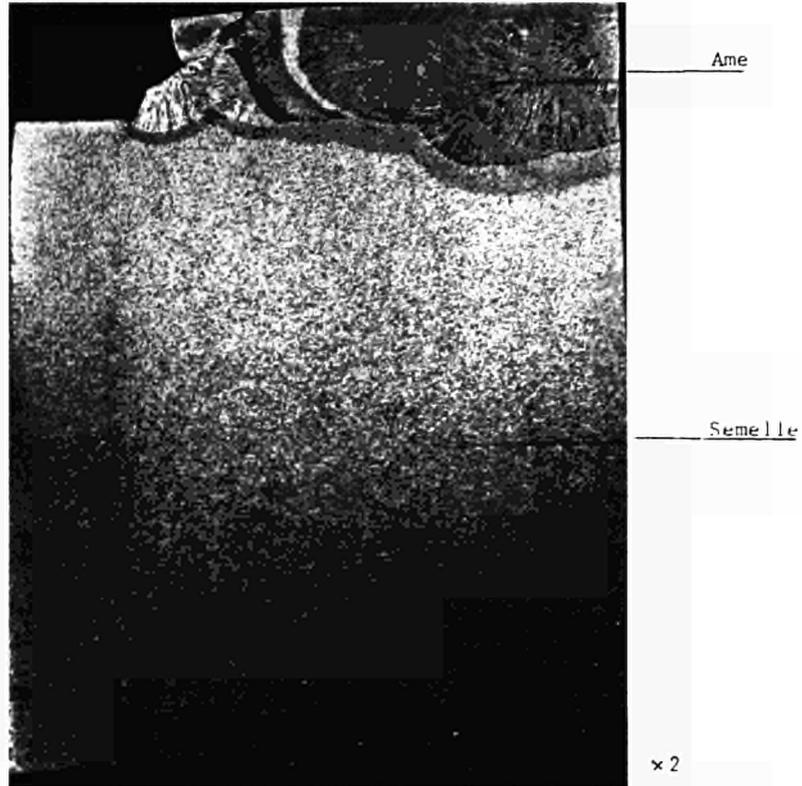


Figure 1 : Macrographie de la racine de la soudure ame - semelle.



Figure 2 : Micrographie d'une zone de la semelle située au voisinage de la soudure.

ECHANTILLON N° II
Examen de la zone A2

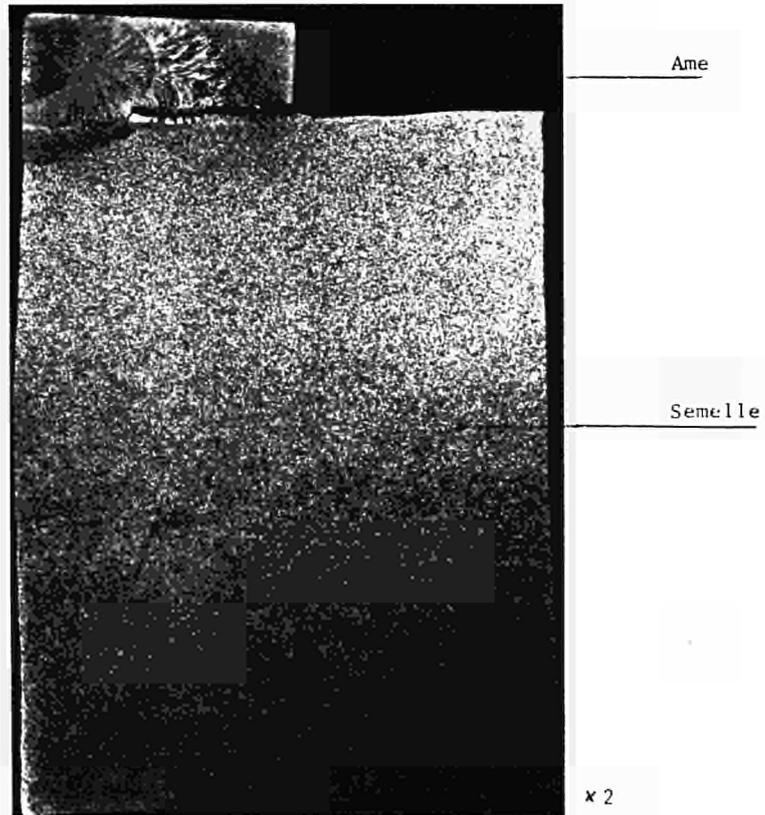


Figure 1 : Macrographie de la racine de la soudure ame - semelle.

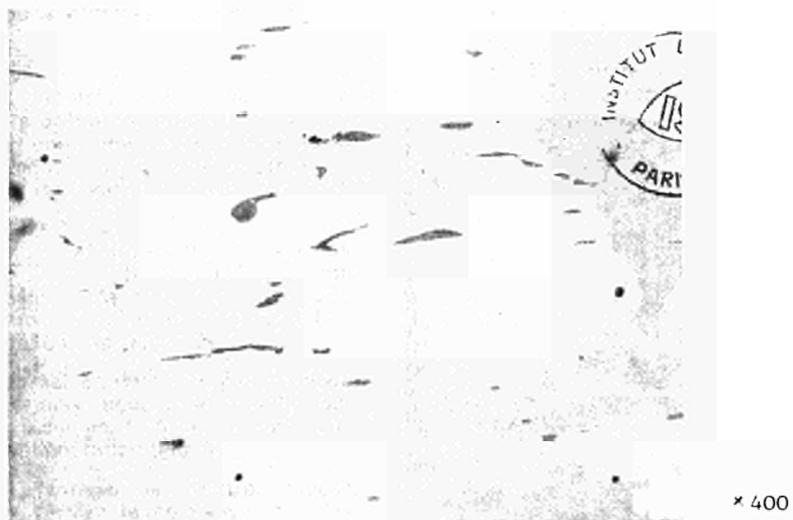


Figure 2 : Micrographie d'une zone de la semelle située au voisinage de la partie défectueuse de la soudure.

Communiqué technique

Appareillage pour mesure de la rupture dans le sens travers mince de produits laminés

par H. GERBEAUX, P. BERTHET, A. MICHEL

Institut de Soudure

I. — BUT.

Le présent appareillage est destiné à la mesure de la charge de rupture dans le sens travers mince de produits laminés. Il permet, en outre, le repérage du sens du laminage.

II. — DOMAINE D'APPLICATION.

Pour un appareillage portable, l'utilisation peut être totalement manuelle avec fonctionnement assuré en toutes positions. L'essai peut être aussi bien appliqué à la réception des produits qu'au contrôle « in situ » d'une pièce ou d'un ouvrage, à l'endroit même et sur la face où des attaches sur peau devront exercer ultérieurement leur traction.

L'épaisseur minimale du produit à contrôler est de l'ordre de 15 mm.

III. — PRINCIPE.

Le schéma du principe de l'appareillage est représenté figure 1.

Une tige d'épreuve (3) de section « s » constituant implant est préalablement soudée à la pièce (1) selon le procédé approprié (Fig. 2). La section à essayer (2) du laminé est dégagée ensuite par un moyen convenable de trépanation (Fig. 3), jusqu'à la profondeur qu'il est jugé nécessaire d'expérimenter (Fig. 4).

L'ensemble est enfin sollicité en traction à l'aide d'un vérin à trou central (4) alimenté par une pompe (5). La pression à la rupture est indiquée par l'index à maximum d'un manomètre (6) initialement étalonné avec le vérin (Fig. 5).

L'application de l'essai ne détériore pas la pièce dont la forme antérieure peut être rétablie par rechargement, puis meulage, la forme donnée à la trépanation facilitant l'opération (Fig. 6).

Ce procédé a l'avantage sur d'autres modes d'essais de pouvoir vérifier le comportement des couches les plus superficielles, après les avoir sou-

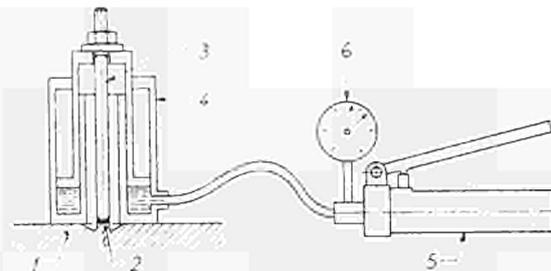
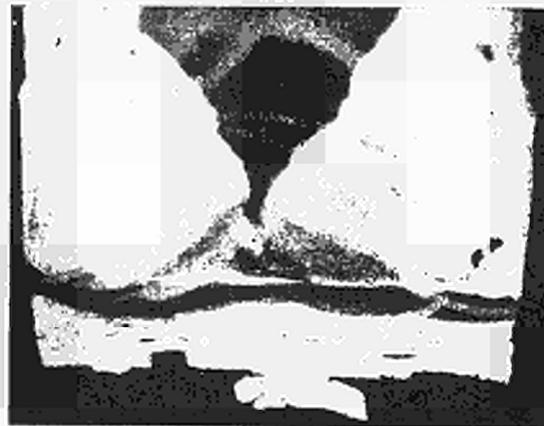


Fig. 1. — Schéma de principe de l'appareillage.

mises à un régime thermique de soudage, ce qui représente au mieux les conditions rencontrées au soudage.

La méthode et l'appareillage font l'objet d'un brevet.

Fig. 7. — Macrographie transversale de l'extrémité de la tige d'épreuve avec la zone rompue ($\times 3,5$).



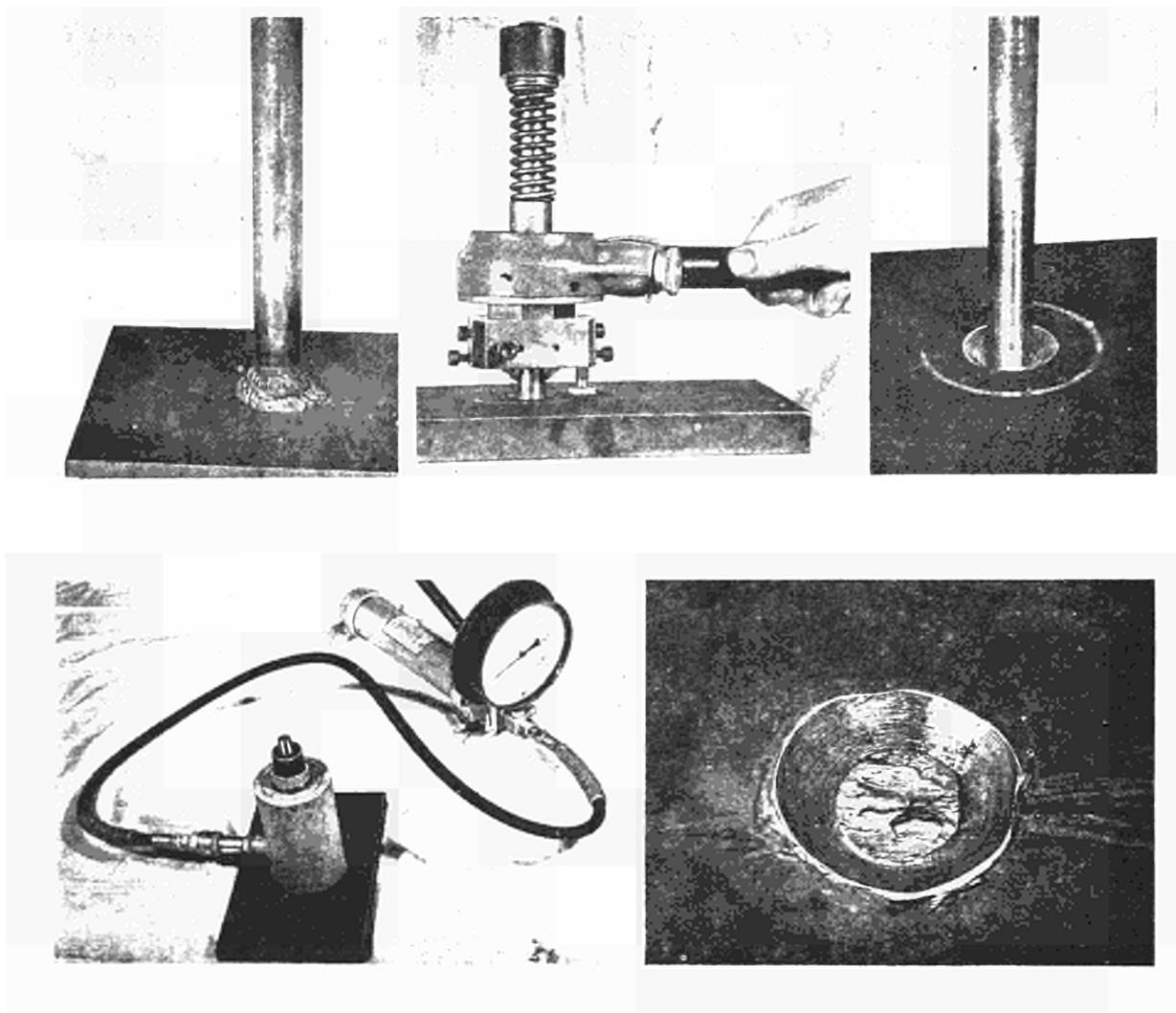


Fig. 2 à 6. — De gauche à droite et de haut en bas.

Fig. 2. — Tige d'épreuve soudée sur la peau du laminé.

Fig. 3. — Usinage par trépanation manuelle.

Fig. 4. — Aspect de l'usinage avant essai.

Fig. 5. — Essai de traction.

Fig. 6. — Faciès de rupture du laminé.

BUREAUX DE VENTE

Les documents publiés par la Commission des Communautés européennes sont vendus par l'Office des publications officielles aux adresses ci-après et au prix indiqué en dernière page de couverture. Lors de la commande, bien indiquer la référence exacte et le titre du document.

BELGIQUE — BELGIE

Moniteur belge — Belgisch Staatsblad
Rue de Louvain, 40-42 — Leuvenseweg 40-42
1000 Bruxelles — 1000 Brussel. — Tél. 512 00 26
CCP 000-2005502-27 — Postrekening 000-2005502-27
Sous-dépôt — Agentschap
Librairie européenne — Europese Boekhandel
Rue de la Loi, 244 — Wetstraat 244
1049 Bruxelles — 1049 Brussel

DANMARK

J.H. Schultz — Boghandel
Montergade 19
1116 København K — Tel. 14 11 95

DEUTSCHLAND (BR)

Verlag Bundesanzeiger
5 Köln 1 - Breite Straße
Postfach 108 006 — Tel. (0221) 21 03 48
(Fernschreiber : Anzeiger Bonn 08 882 595)
Postscheckkonto 834 00 Köln

FRANCE

*Service de vente en France des publications
des Communautés européennes — Journal officiel*
26, rue Desaix — 75 732 Paris - Cedex 15
Tél. (1) 578 61 39 — CCP Paris 23-96

IRELAND

Stationery Office — The Controller
Beggars Bush — Dublin 4
Tel. 76 54 01

ITALIA

Libreria dello Stato
Piazza G. Verdi 10
00198 Roma — Tel. (6) 85 08
CCP 1/2640

Agenzie

00187 Roma	— Via del Tritone 61/A e 61/B
00187 Roma	— Via XX Settembre (Palazzo Ministero delle finanze)
20121 Milano	— Galleria Vittorio Emanuele 3
80121 Napoli	— Via Chiaia 5
50129 Firenze	— Via Cavour 46/R
16121 Genova	— Via XII Ottobre 172
40125 Bologna	— Strada Maggiore 23/A

GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG

*Office des publications officielles
des Communautés européennes*
Boîte postale 1003 — Luxembourg
Tél. 49 00 81 — CCP 191-90
Compte courant bancaire : BIL 8-109/6003/300

NEDERLAND

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf
Christoffel Plantijnstraat, s'-Gravenhage
Tel. (070) 81 45 11 — Postgiro 42 53 00

UNITED KINGDOM

H.M. Stationery Office
P.O. Box 569
London S.E. 19 N H — Tel. 01-928 6977, ext. 365

UNITED STATES OF AMERICA

European Community Information Service
2100 M Street, N.W. — Suite 707
Washington, D.C. 20 037 — Tel. 296 51 31

SCHWEIZ — SUISSE — SVIZZERA

Librairie Payot
6, rue Grenus — 1211 Genève
CCP 12-236 Genève — Tél. 31 89 50

SVERIGE

Librairie C.E. Fritze
2, Fredsgatan — Stockholm 16
Post Giro 193 — Bank Giro 73/4015

ESPANA

Libreria Mundi-Prensa
Castelló 37 — Madrid 1
Tel. 275 46 55

AUTRES PAYS

*Office des publications officielles
des Communautés européennes*
Boîte postale 1003 — Luxembourg
Tél. 49 00 81 — CCP 191-90
Compte courant bancaire : BIL 8-109/6003/300

**Publications technico-économiques
de la Commission des Communautés européennes
dans le domaine des « Propriétés d'emploi des aciers »**

Doc. n°	Titre	Langues	Année	Prix
EUR 4626	Soudabilité	F	1972	FB 60,—
EUR 4648	Fatigue et constructions types	D, F	1972	FB 70,—
EUR 4649	Aciers pour emploi à chaud	D, F, I	1972	FB 85,—
EUR 4650	Aciers pour traitements thermiques	D, F	1973	FB 60,—
EUR 4919	Sensibilité à la rupture fragile de l'acier	D, F	1973	FB 50,—
EUR 5128	Ricerche sulla corrosione dell'acciaio al carbonio, a contatto con soluzioni saline calde concentrate	I	1974	FB 150,—
EUR 5132	Zerspanbarkeit der Stähle	D	1974	FB 85,—
EUR 5139	La température, un facteur de dispersion des résultats d'essais de rupture par fluage	F	1974	FB 40,—
EUR 5150	Aptitude à la déformation des assemblages soudés; conjugaison des effets de forme, de la nuance des aciers et des conditions de soudage	F	1974	FB 60,—
EUR 5151	Studio dell'origine delle perdite anomali nei lamierini magnetici	I	1974	FB 165,—
EUR 5166	Essais pratiques par la méthode des implants	F	1974	FB 100,—
EUR 5179	Das Verhalten von Baustählen höherer Festigkeit nach dem Feuerverzinken bei dynamischer Beanspruchung	D	1974	FB 50,—
EUR 5185	Aciers de constructions métalliques - soudabilité des aciers	F	1974	FB 150,—
EUR 5191	Einfluß der Lichtbogen-Schweiß-Atmosphäre auf die Schweißbarkeit von Stählen mit erhöhter Streckgrenze	D	1974	FB 150,—
EUR 5192 A	Examen critique des critères de soudabilité des aciers à dispersoïdes	F	1974	FB 85,—
EUR 5192 B	Etude des propriétés de la zone affectée par la chaleur de soudage des aciers à dispersoïdes	F	1974	FB 150,—
EUR 5192 C-D	Etude des propriétés du métal fondu	E	1974	FB 70,—
EUR 5192 E	Etude du postchauffage des assemblages soudés en aciers à haute limite d'élasticité	F	1974	FB 100,—
EUR 5237 i	Influenza del trattamento termico sull'estrudibilità di acciai al carbonio e legati	I	1975	FB 240,—
EUR 5245 d	Tiefziehbarkeit von Feiblech	D	1975	FB 230,—
EUR 5249 f	Corrosion atmosphérique des aciers de construction	F	1975	FB 105,—
EUR 5264 i	Studio delle proprietà di tenacità della zone termicamente alterata di acciai trattati	I	1975	FB 350,—

Prix : FB 125,—

CDNA05330FRC