



ÉTABLISSEMENT TECHNIQUE CENTRAL DE L'ARMEMENT
CENTRE DE RECHERCHES ET D'ÉTUDES D'ARCUEIL

DEPARTEMENT PHYSIQUE DES SURFACES

PROCES-VERBAL N° 2053/90 CREA/PS



ÉTABLISSEMENT TECHNIQUE CENTRAL DE L'ARMEMENT
CENTRE DE RECHERCHES ET D'ÉTUDES D'ARCUEIL

N° 2053/89 CREA/PS

ARCUEIL, le 12 juin 1990

Département Physique des Surfaces

Personne concernée : M.

Poste :

P R O C E S - V E R B A L

DESTINATAIRE : Centre National d'Études Spatiales
18, avenue Edouard Belin
31055 TOULOUSE CEDEX

V/Réf : Commande n° 2-89-9554/824 du 5/09/1989

Objet : Expertise d'un engin spatial.

L'Ingénieur Civil M.
Chef du Département Physique des Surfaces

Document comprenant : 36 pages

Diffusion : CNES (2 ex)

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

1- Introduction

A la demande du Centre National d'Etudes Spatiales (C.N.E.S), Centre Spatial de Toulouse, le Centre de Recherches et d'Etudes d'Arcueil de l'Etablissement Technique Central de l'Armement (ETCA) a réalisé une expertise métallurgique d'un débris d'objet spatial, (lettre CNES CT/ES0/SC/SEPRA n°317 du 29 mai 1989, commande ET/E0/SC/SEPRA n ° 2-89-9554/824 du 5 septembre 1989.

Ce débris, qui appartient au COSMOS 1984, a chuté sur le sol français le 21 décembre 1988.

La finalité du travail demandé consiste à appréhender avec le plus de précision possible, la géométrie de l'objet et ses techniques de mise en oeuvre (assemblage, formage, soudage...).

L'expertise comporte :

- la caractérisation géométrique générale de la pièce complétée par une analyse morphologique détaillée des surfaces (après prélèvement),
- plusieurs analyses chimiques afin de déterminer la nature et la composition des matériaux constituant l'objet,
- des observations métallographiques sur coupe des zones d'intérêt. Identification de la structure micrographique des matériaux et mise en évidence des dégradations de surface,
- des essais de microdureté des différents matériaux constituant le débris pour en appréhender les propriétés mécaniques,
- des analyses de surface au moyen de la sonde ionique (SIMS) et de la microsonde électronique d'éventuelles traces de produits de combustion.

2- Contrôle de non-contamination

Avant de procéder aux prélèvements nécessaires, le large fragment métallique a fait l'objet d'un contrôle préliminaire pour détecter une éventuelle contamination.

Avec les détecteurs appropriés, il a été recherché des traces de contamination alpha ou bêta de ^{239}Pu et ^{90}Sr , les satellites COSMOS fonctionnant avec des générateurs d'électricité, utilisant la désintégration de l'un ou l'autre de ces radioéléments.

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

Aucune activité n'a été mise en évidence : la mesure à l'aide d'une chambre d'ionisation, d'une irradiation gamma, est restée de l'ordre du bruit de fond enregistré dans le bâtiment dans lequel était effectué le contrôle.

En conclusion, l'objet contrôlé ne présente aucune trace décelable de contamination.

3- Caractéristiques structurelles et géométriques de la pièce.

3-2 Description macrographique globale

Les planches n°s 1 et 2 présentent chacune des faces, dans leur ensemble, du débris expertisé. Les principales régions d'intérêt, agrandies, sont représentées en superposition, en regard de leur localisation.

La pièce se compose essentiellement de tôles ondulées rayonnantes partant d'une couronne circulaire soudée.

3-2 Prélèvement et conditions de préparation des échantillons métallographiques.

A partir d'un rayon arbitraire de la pièce, schématisé par l'axe 1 représenté sur l'agrandissement A de la planche n°1, sept échantillons métallographiques ont été prélevés selon une coupe radiale ou transverse.

Ces fragments sont enchassés dans une résine époxy puis polis jusqu'à l'état spéculaire et attaqués chimiquement.

La trace des plans d'observation de chacun des échantillons est repérée de 1 à 7 sur les figures de la planche n°1.

3-3 Définition géométrique

Des relevés de côtes effectués à partir de macrographies sur coupe, ou directement sur la pièce, ont permis de réaliser un dessin de définition en coupe radiale du débris de l'objet spatial (cf planche n°3).

Une nomenclature accompagne cette représentation et donne le détail des différents éléments constituant la pièce, ainsi que leurs dimensions (cf tableau n°1).

Par ailleurs, un montage photographique (cf planche n°4) présente une reconstitution artificielle de la pièce, offrant ainsi une vision quasi-complète de celle-ci.

PLANCHE N°1

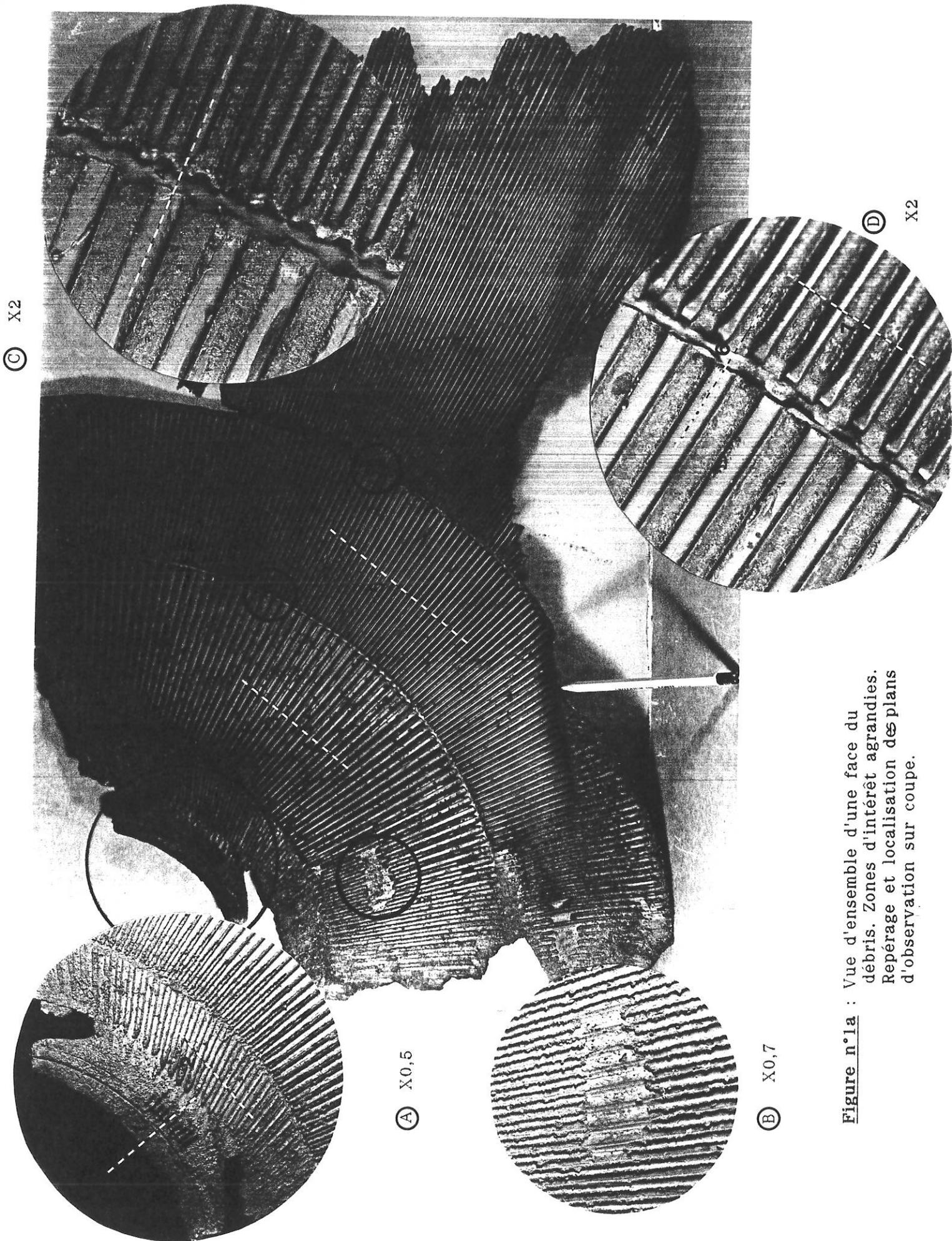
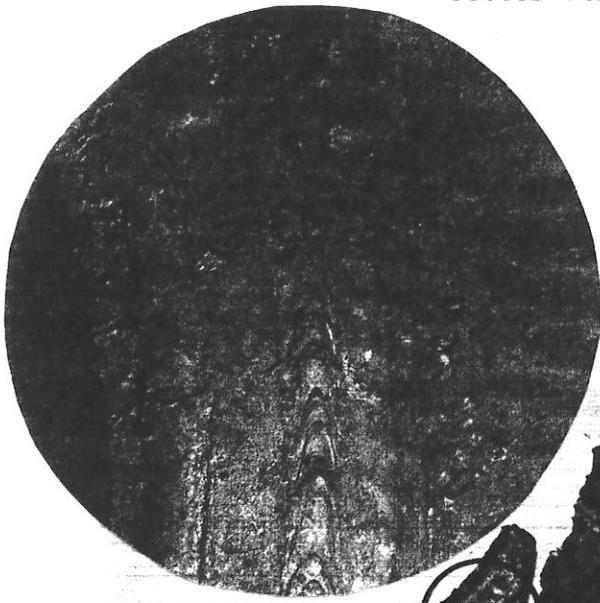


Figure n°1a : Vue d'ensemble d'une face du débris. Zones d'intérêt agrandies. Repérage et localisation des plans d'observation sur coupe.

PLANCHE N° 2

ⓔ XI



ⓔ XI.5



Figure n°1b : Vue d'ensemble de l'autre face avec deux régions d'intérêt agrandies (soudures).

PLANCHE N° 3

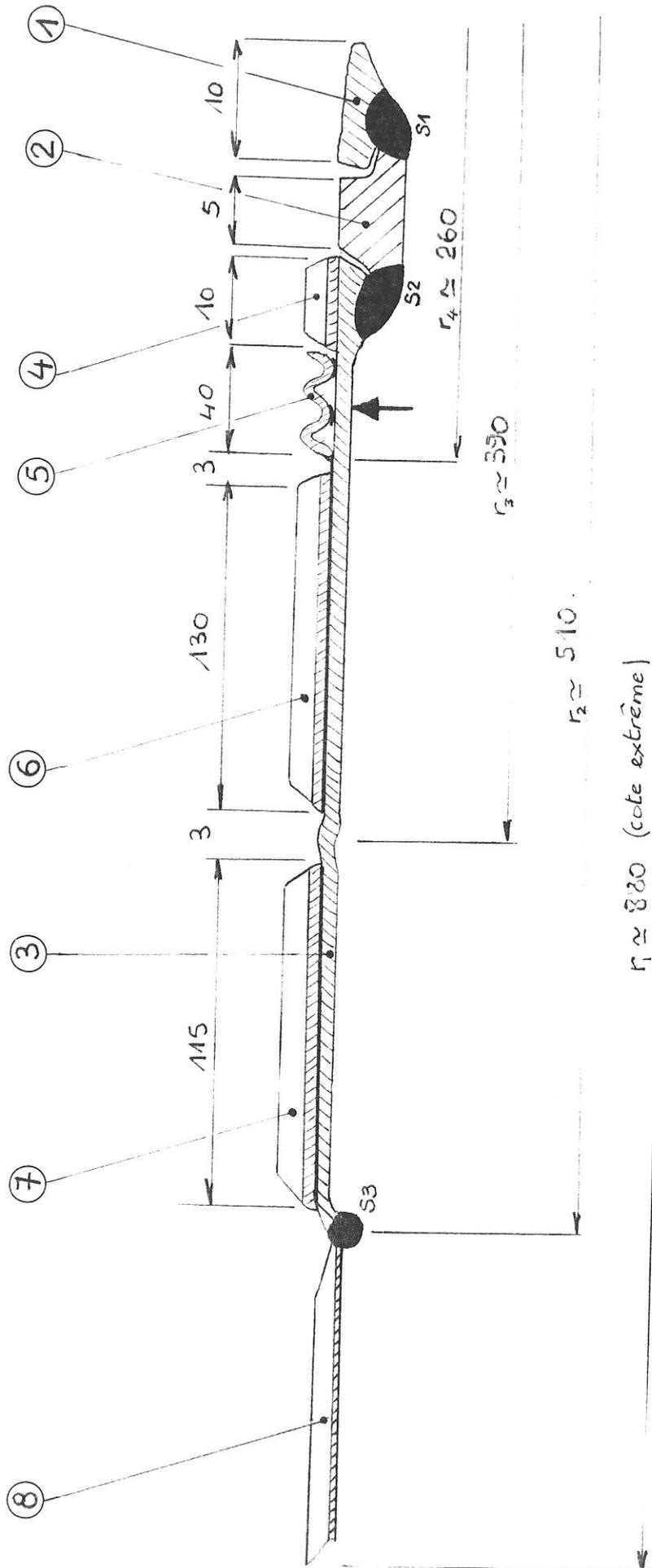


Figure n°10 : Coupe axiale schématique du débris
 -----> localisation des analyses de surface.

S ₃	1	soudure circulaire	--
S ₂	1	soudure circulaire	--
S ₁	1	soudure circulaire	--
8	1	tôle ondulée radial ^t	∅ int ≈ 1020 ondulations h ≈ 2 pas ≈ 4 ∅ ext ≈ 2030 ép ≈ 0,5
7	1	tôle ondulée radial ^t	∅ int ≈ 790 ondulations h ≈ 2 pas ≈ 5 ∅ ext ≈ 1010 ép ≈ 0,5
6	1	tôle ondulée radial ^t	∅ int ≈ 520 ondulations h ≈ 2 pas ≈ 6 ∅ ext ≈ 780 ép ≈ 0,5
5	1	tôle ondulée oblique	∅ int ≈ 440 ondulations h ≈ 2 pas ≈ 5 ∅ ext ≈ 510 ép ≈ 0,5
4	1	tôle ondulée radial ^t	∅ int ≈ 410 ondulations non mesurables ∅ ext ≈ 430 ép ≈ 0,5
3	1	tôle ondulée radial ^t	∅ int ≈ 410 ondulations pas ≈ 4,5 ∅ ext ≈ 1020 ép ≈ 1 mm
2	1	bride	∅ int ≈ 400 ∅ ext ≈ 410 ép ≈ 6 et 3 mm
1	1	couronne intérieure	∅ int ≈ 380 ∅ ext ≈ 400 ép ≈ 4 mm
Repère	nombre	désignation	caractéristiques dimensionnelles approximatives.

Tableau n° 1 : Nomenclature.

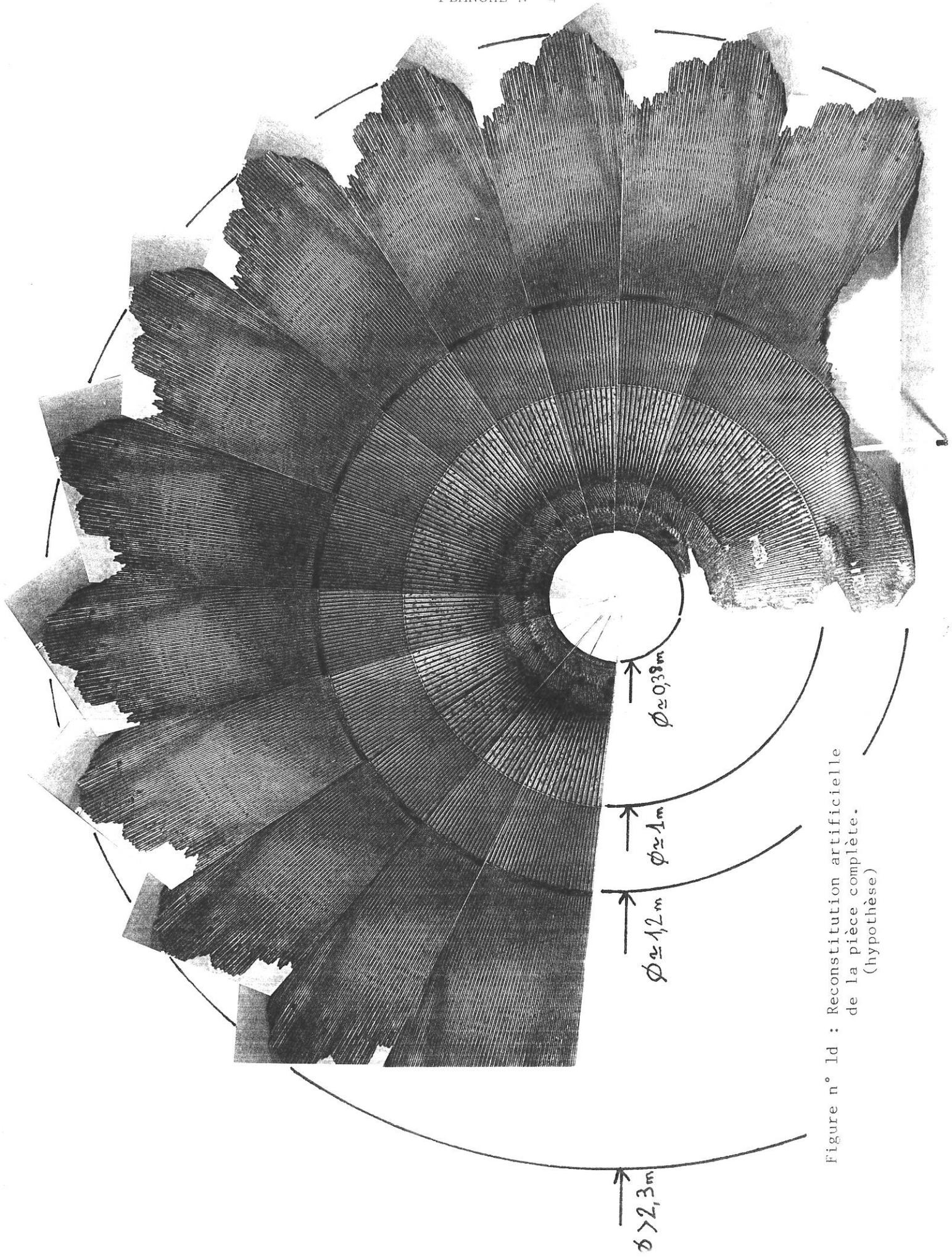


Figure n° 1d : Reconstitution artificielle de la pièce complète. (hypothèse)

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

Cette représentation demeure toutefois purement hypothétique.

À l'issue de cet examen préliminaire, on remarque que la pièce est constituée de cinq tôles fines ondulées, chacune en forme de couronne rayonnante.

Parmi ces tôles, quatre sont soudées sur une tôle plus épaisse, augmentant ainsi la rigidité de l'ensemble. La dernière tôle, la plus extrême est soudée bout-à bout à la tôle épaisse.

Vers l'intérieur de la structure, la tôle épaisse principale est soudée à une partie plus massive constituant la couronne principale.

Le soudage des pièces entre-elles semble toujours réalisé avec métal d'apport.

Enfin, on notera plus particulièrement que les tôles repérées ④ et ⑤ ont été fortement endommagées, et n'existent, le plus souvent, qu'à l'état de traces (échauffements intenses).

4- Nature et composition des différents matériaux

4-1 Examen métallographique sur coupe

Les échantillons repérés 1 à 7 ont permis, après préparation, l'identification de la structure micrographique de chaque élément et la mise en évidence des dégradations superficielles.

En se référant au paragraphe 3.2 et au plan de définition du débris, les précisions suivantes peuvent être apportées quant à la localisation des prélèvements et au repérage des échantillons.

- l'échantillon n°1 correspond à la bride ② à laquelle sont soudées la couronne intérieure ① et la tôle épaisse ③ ; coupe radiale,
- l'échantillon n°2 correspond à la tôle fine ondulée oblique ⑤ soudée sur la tôle épaisse ③ ; coupe tangentielle,
- l'échantillon n°3 correspond à la tôle fine ondulée ⑥ soudée sur la tôle épaisse ③ ; coupe tangentielle,
- l'échantillon n°4 correspond aux tôles fines ondulées ⑥ et ⑦ soudées sur la tôle épaisse ③ ; coupe radiale,

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

- l'échantillon n°5 correspond à la tôle fine ondulée ⑦ soudée sur la tôle épaisse ③; coupe tangentielle.
- l'échantillon n° 6 correspond aux tôles ⑦ et ⑧ soudées à et sur la tôle épaisse ③; coupe radiale,
- l'échantillon n° 7 correspond à la tôle fine ⑧; coupe tangentielle.

4-2 Résultats

Tous les échantillons ont été observés avant et après attaque chimique au moyen du réactif suivant :

5 gr. de chlorure de fer,
50cc d'acide chlorhydrique,
100cc d'eau

Ce réactif est employé pour révéler la structure des aciers inoxydables.

D'une manière générale, les structures révélées sont typiques de celles des aciers inoxydables. La tôle épaisse est caractérisée par une structure biphasée austénito-ferritique, alors que les tôles plus fines sont constituées uniquement de la phase austénitique. Le caractère plus malléable de l'austénite qui appartient au système cubique à faces centrées explique un tel choix pour les tôles ondulées.

* Remarque :

La cinétique d'attaque de la structure monophasée austénitique écrouie est plus lente que celle de la structure biphasée austénito-ferritique. De ce fait, le grain austénitique des tôles fines n'a pu être mis en évidence qu'après une attaque chimique très poussée, dont l'effet masque complètement tous les autres détails micrographiques. Pour cette raison, le grain austénitique n'apparaît donc pas sur les micrographies relatives aux tôles fines.

Comme le montrent les micrographies de la planche 5, le disque ou couronne intérieure ①, la bride ② et la tôle épaisse ③ ont une structure très voisine, à savoir des alignements de grains ferritiques dans une matrice austénitique. Cependant, la couronne présente, surtout vers les bords, une structure surchauffée aciculaire. (cf figure n° 2c).

Les alignements de grains relatifs à la bride sont obliques, alors que ceux des deux autres pièces sont parallèles à la surface extérieure (comparer les figures n°s 2b et 2d).

PLANCHE N°5

①- Bride soudée (coupe radiale)
Couronne intérieure

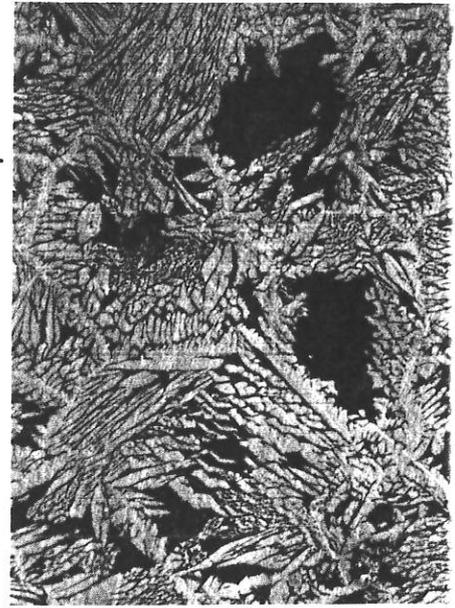


Figure N° 2c X160

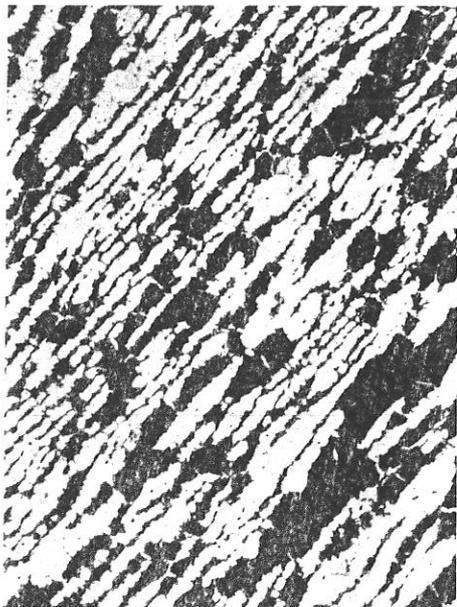
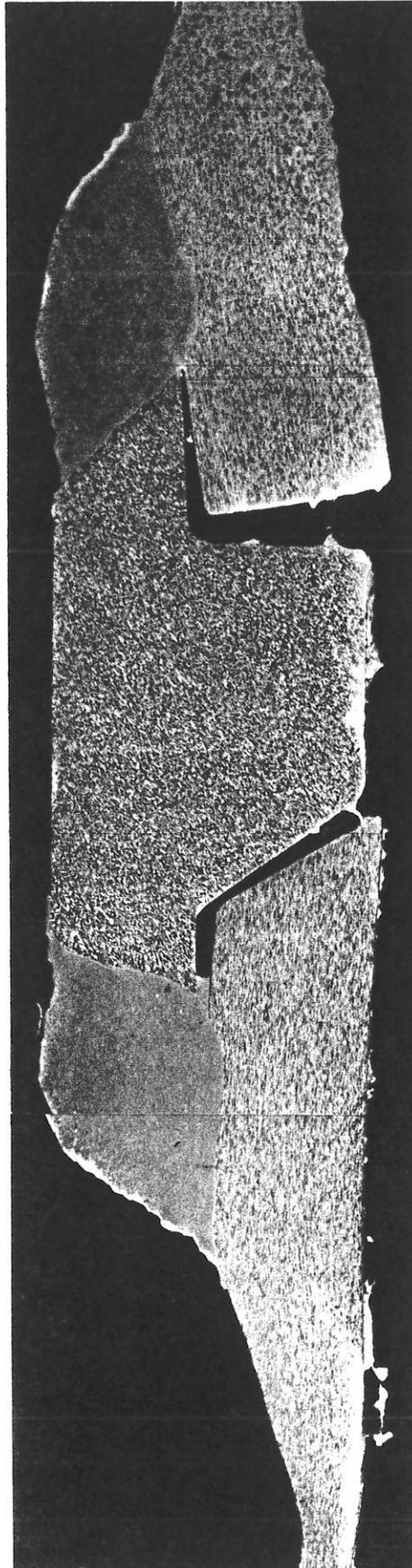


Figure N° 2b X160

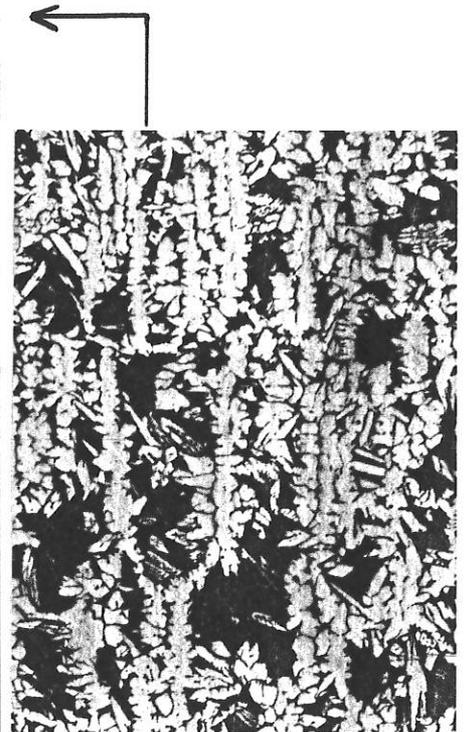


Figure N° 2d X 160

Figure N° 2a
X 7.5

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

A partir de ces observations, les trois pièces semblent être de même nuance et élaborées à partir d'une tôle laminée. La bride a été prélevée d'une façon oblique par rapport à la direction de laminage et la couronne ① a été affectée thermiquement à partir de son diamètre intérieur ; cette anomalie ne semble pas être en relation avec un échauffement en rapport avec le soudage.

Les deux soudures circulaires sont bien visibles sur la vue d'ensemble ; elles ont été réalisées avec apport de métal.

- L'échantillon n° 2 a été prélevé dans une région fortement endommagée, comme en témoignent les micrographies de la planche n° 6; les ondulations obliques de la tôle fine rep ⑤ sont toutes écrêtées. Micrographiquement, ce type de dégradations s'apparente à une fusion accompagnée d'une oxydation. Le détail des zones fondues (figure n° 3c) et l'interface (figure n° 3d) des tôles rep ⑤ et rep ③ présentent des textures très voisines, où l'on relève la présence de microretassures. L'assemblage des 2 tôles est réalisé par soudage radial, avec apport de métal au contact des 2 tôles,
- l'échantillon n° 3 présente un endommagement réduit en crête des ondulations de la tôle fine, centré sur leur axe médian. La tôle fine de cet échantillon est micrographiquement de même nature que celle de l'échantillon n° 2.

On notera également la présence d'une "couche blanche" sur les 2 faces de la tôle fine ainsi que sur la face interne de la tôle épaisse (figure n° 4b). Des analyses au microscope électronique à balayage permettront de mieux identifier ces couches.

Le soudage de la tôle fine sur la tôle épaisse semble réalisé avec métal d'apport,

- l'échantillon n° 4 permet de constater que les tôles fines rep ⑦ et rep ⑥ sont micrographiquement identiques. Les figures n° 5a et 5b présentent les 2 tôles fines sur la tôle épaisse, en coupe radiale et en creux d'ondulation.

Sur chacune des tôles, on remarque en surface; un petit dépôt de soudure.

A l'aide de l'échantillon n° 5, (figure n° 6a) on s'aperçoit que le mode de soudage adopté pour lier la tôle fine rep ⑦ à la tôle épaisse rep ③ est le même que celui visible sur l'échantillon n°3, à savoir : dépôt de métal d'apport de part et d'autre du contact linéaire, entre les deux tôles (figures n°s 6a et 6b).

PLANCHE N° 6
Echantillon n° 2

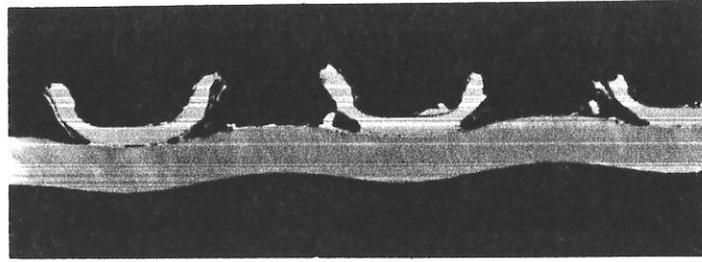


Figure N° 3a

X6

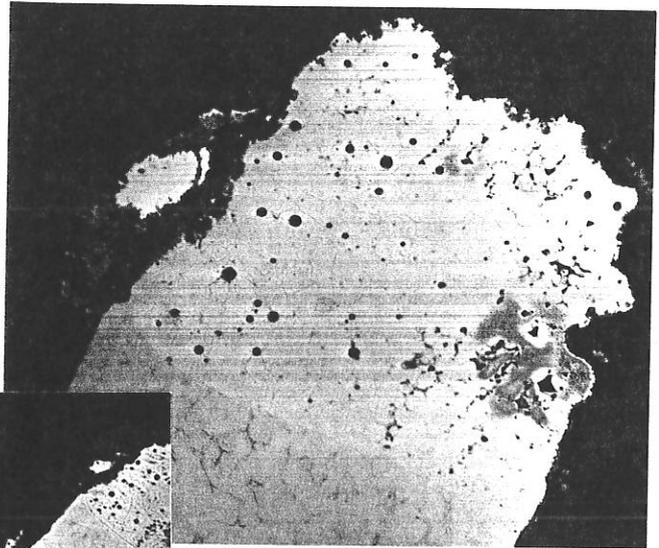


Figure N° 3c

x130

Détail zone fondue

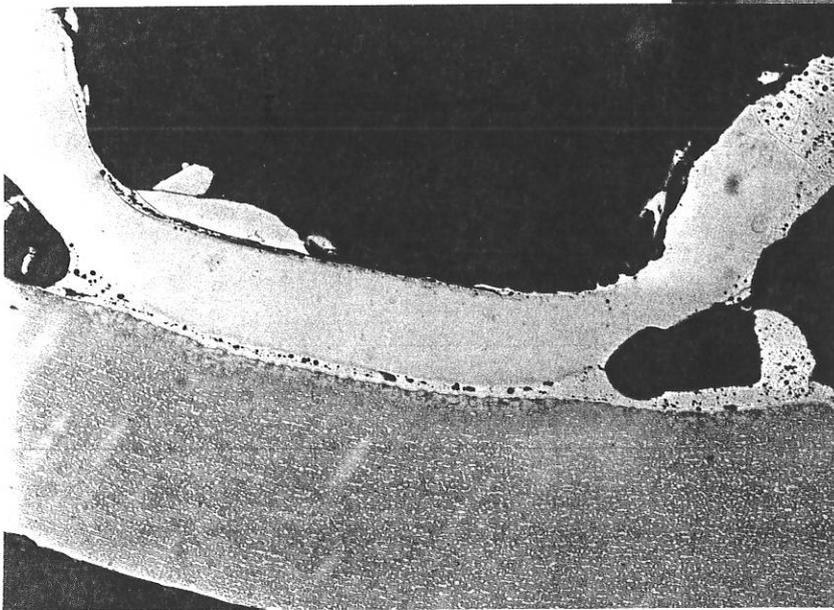


Figure N° 3b : Détail mode jonction
endommagé

X32

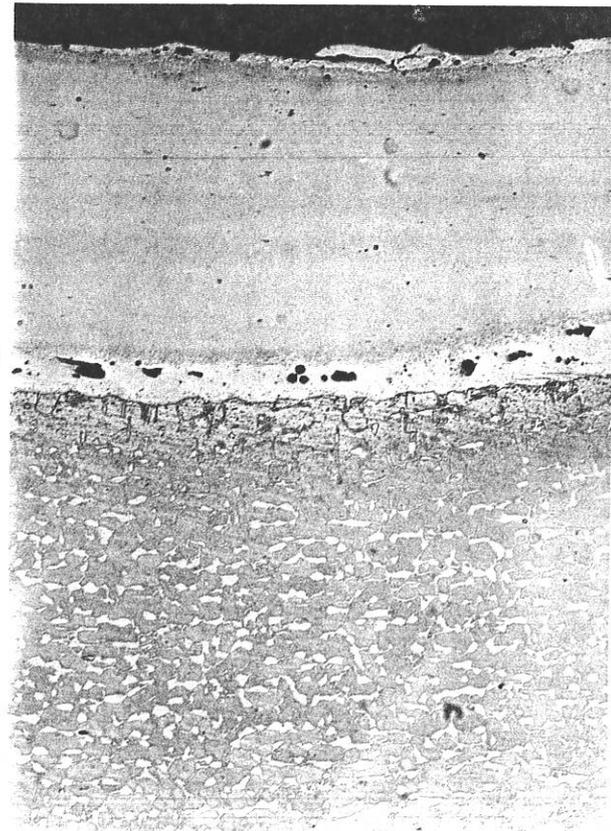


Figure N° 3d : Détail interface X100

PLANCHE N° 7

Echantillon n° 3

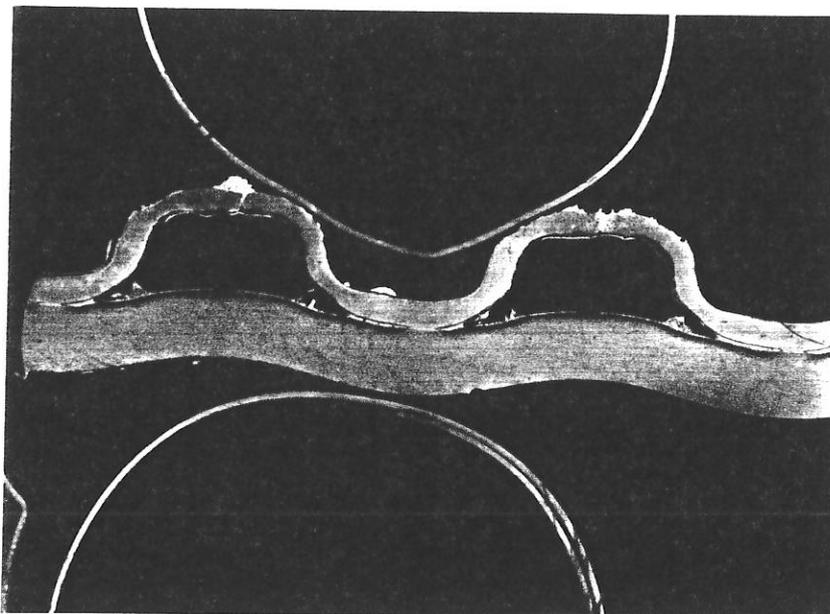


Figure N° 4a

X 9

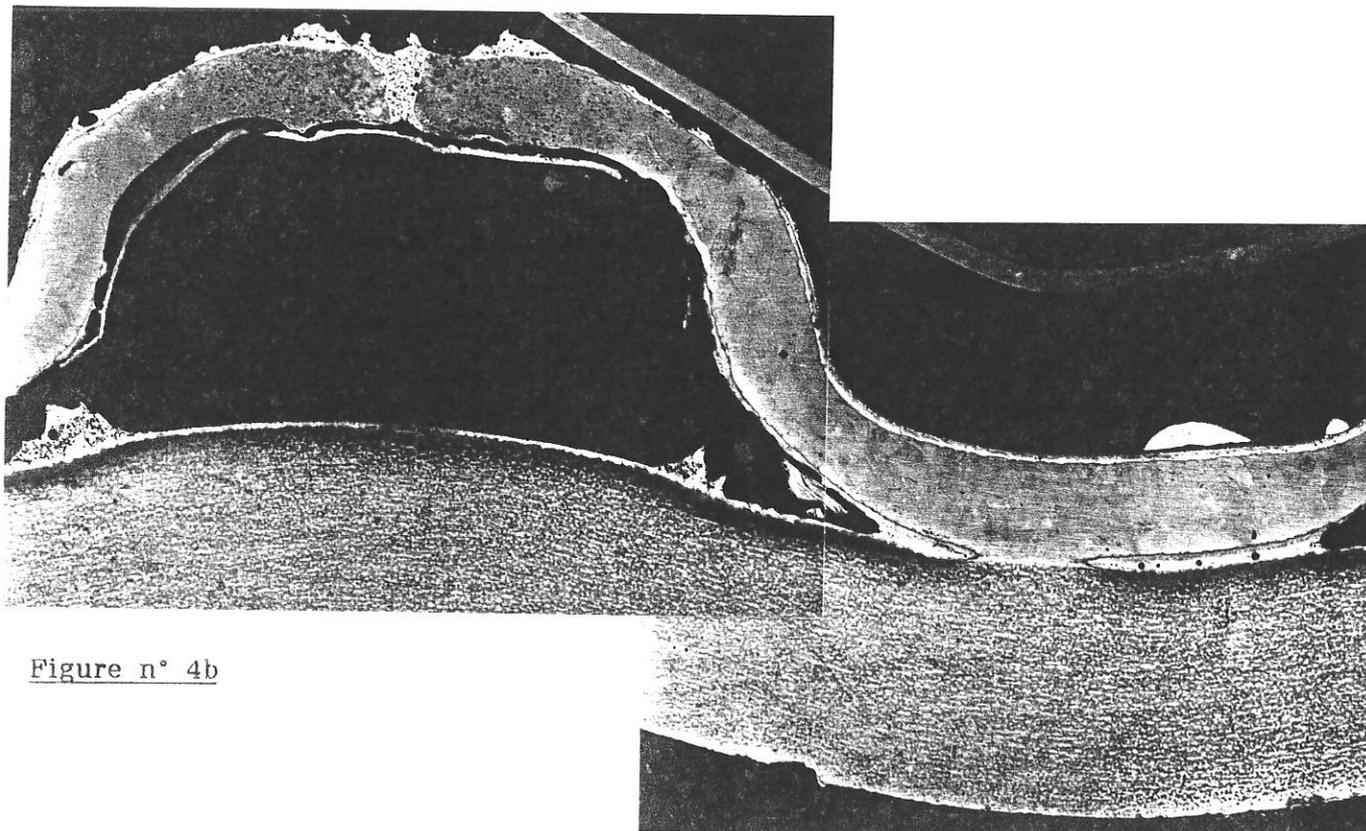
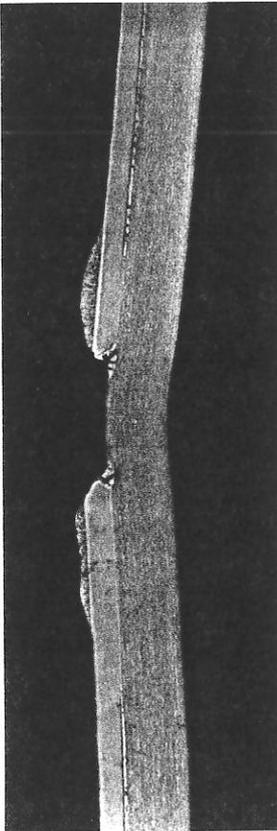


Figure n° 4b

X32

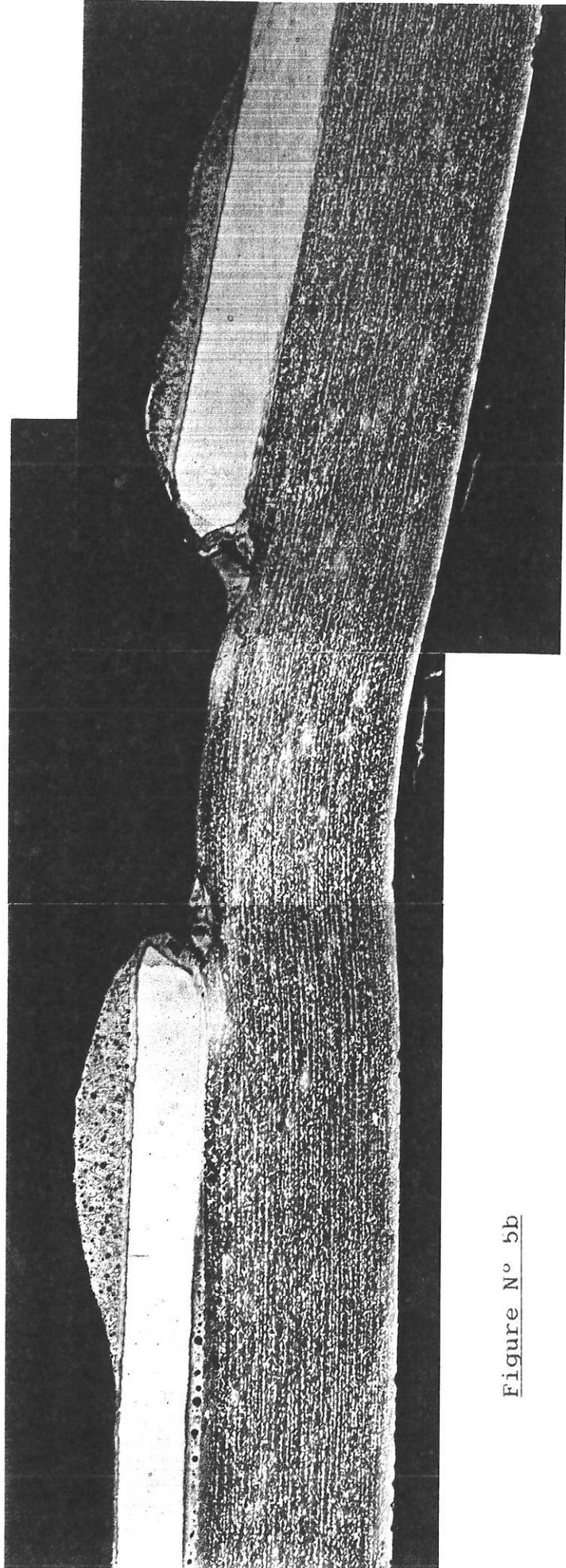
PLANCHE N° 8

Echantillon N° 4



X 8

Figure N° 5a

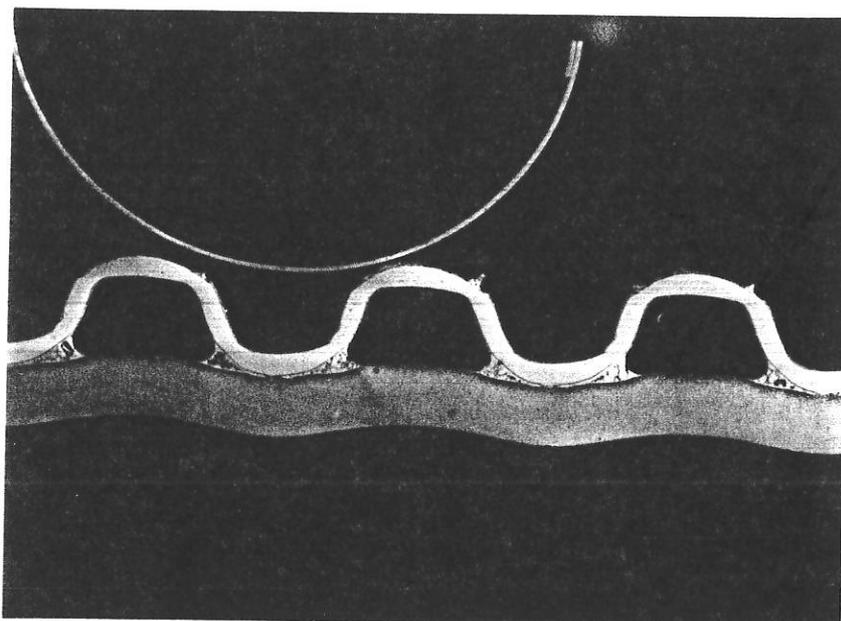


X32

Figure N° 5b

PLANCHE N° 9

Echantillon N° 5



Epaisseur :

Tôle fine : 4/10° mm

Tôle épaisse : 1,07 mm
pas de l'ondulation de la tôle
fine = 4,8 mm

Figure n° 6a

X 7,5

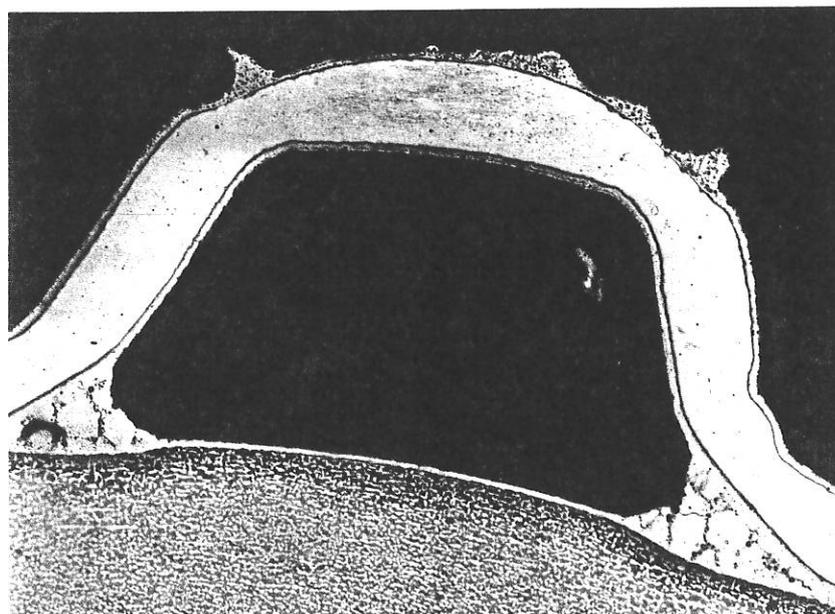


Figure n° 6b

X 32

PLANCHE N° 10

Echantillon n° 6

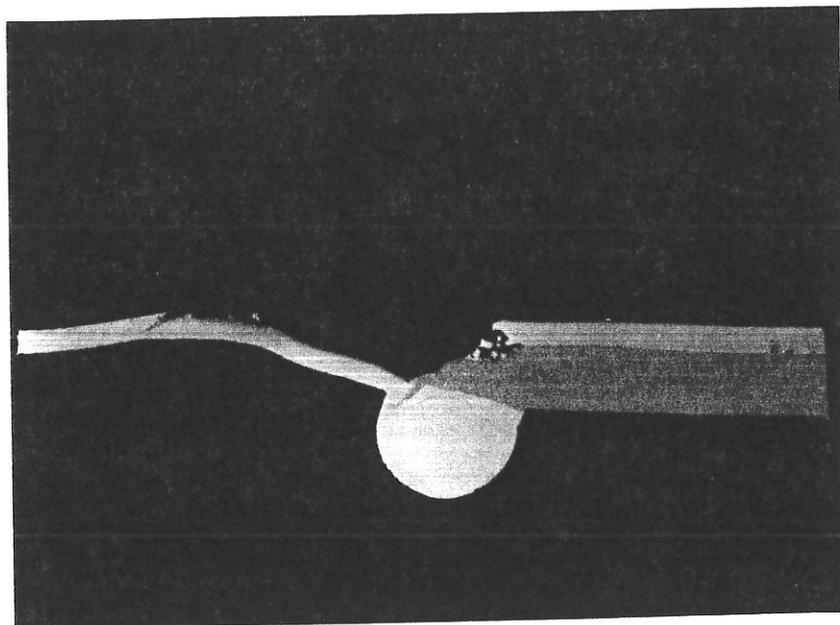
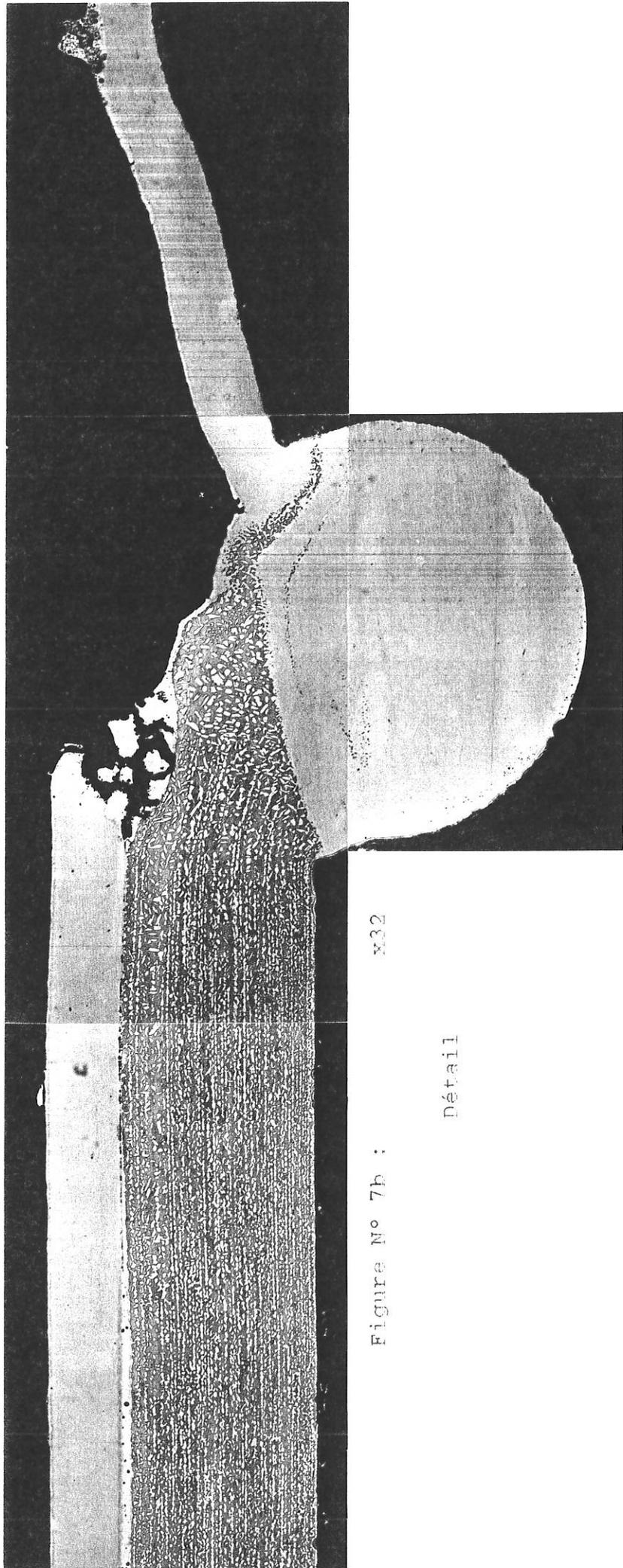


Figure N° 7a

X 8

PLANCHE N° 11



x32

Figure N° 7b :

Détail

PLANCHE N° 12

Echantillon N° 7

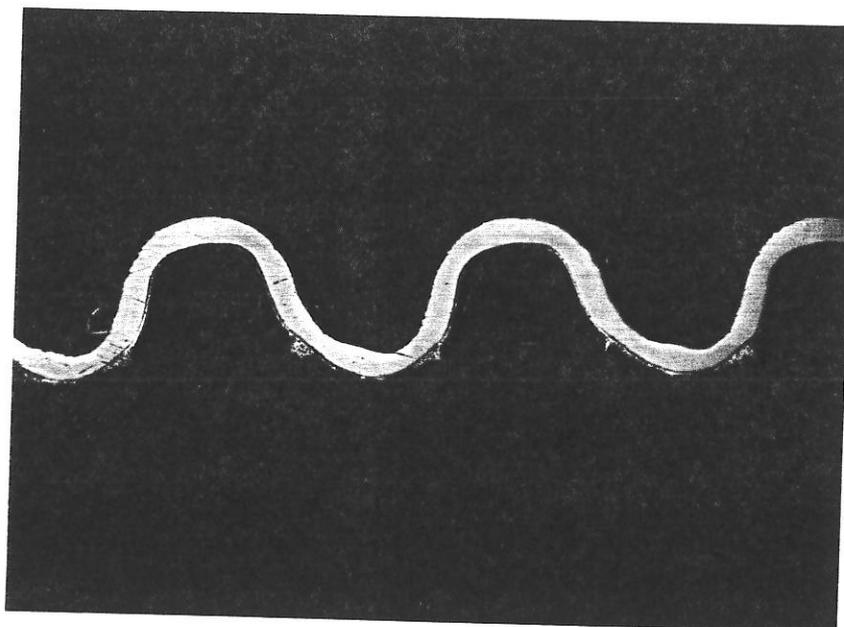


Figure N° 8a :

G = 10

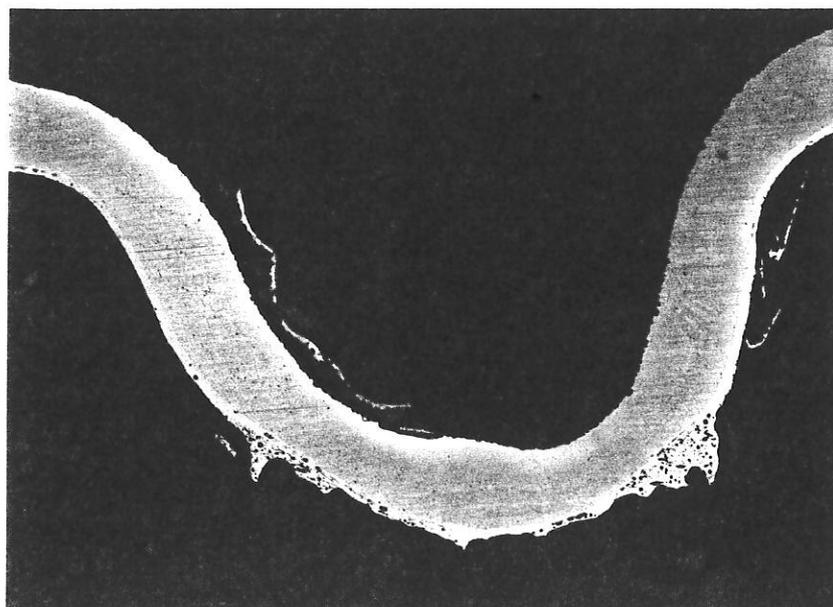


Figure N°8b

X32

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

On constate également la présence des trois couches blanches superficielles relatives aux 2 faces de la tôle fine et à la face intérieure de la tôle épaisse,

- l'échantillon n° 6 (figure n° 7a) permet de mettre en évidence la soudure circulaire qui lie la tôle fine rep ⑧ à la tôle épaisse, réalisée avec métal d'apport,
- l'échantillon n° 7 (planche n° 12) présente le profil de la tôle fine ondulée en coupe tangentielle.

5- Essais de microdureté

Afin d'appréhender les propriétés mécaniques des différents matériaux et les corréler aux structures micrographiques, des essais de microdureté ont été réalisés à coeur de chaque élément.

Ces essais ont été effectués sur un microduremètre "OPL" à platine inversée, au moyen d'un pénétrateur diamant vickers. La moyenne obtenue est issue d'une série de 10 mesures et l'écart type ($\bar{\sigma}$) est pondéré à n-1 degrés de liberté. La charge employée est de 1 kgp.

Les résultats, consignés ci-après montrent des niveaux de dureté plutôt faibles, en rapport avec les types de structures observées et correspondant à ceux que l'on peut attendre sur des aciers inoxydables à l'état recuit.

- bride rep ②	$\bar{M} = 227HV_1$	$\bar{\sigma} = 5$
- tôle épaisse rep ③	207	$\bar{\sigma} = 14$
- tôle fine rep ⑧	139	$\bar{\sigma} = 5$

6- Analyses chimiques semi quantitatives

Un analyseur dispersif en énergie TRACOR associé à un microscope électronique à balayage JEOL 840 a été utilisé pour les analyses semi quantitatives locales réalisées à coeur des éléments.

Cette technique d'analyse permet d'approcher la composition des alliages mais ne peut identifier les éléments légers dont le numéro atomique est inférieur à 11.

6-1 Mode opératoire

Les échantillons enrobés ont été rendus conducteurs par dépôt de carbone.

Chaque région à analyser a fait l'objet d'une série de 5 analyses en des points différents.

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

Dans tous les cas, la tension accélératrice est de 25 KV. Le programme d'analyse utilisé est le "SSQ".

6-2 Résultats

L'ensemble des comptages réalisés figure sur les tableaux 2 à 5.

Chaque région analysée se compose toujours des mêmes éléments, à savoir : Si-Mo-Ti-Cr-Mn-Fe et Ni. Mais leur concentration varie suivant les échantillons et les régions.

Avant de conclure quant à la nuance relative à chaque pièce, il est nécessaire d'apporter les précisions techniques suivantes :

- 1°) Les résultats obtenus sur le molybdène (Mo) sont à prendre avec prudence, car tous les autres éléments ont été identifiés suivant leur raie K, alors que Mo a été identifié suivant sa raie L.

Le même raisonnement est à tenir pour le manganèse Mn dans les faibles teneurs, car ses raies K se confondent avec les raies K du chrome (Cr) et du fer (Fe) (cf planche n° 13).

- 2°) Les traces de chlore (Cl) mises en évidence sur la couronne intérieure ① et sur la soudure S₁ peuvent provenir d'une pollution due au réactif chimique d'attaque.
- 3°) L'astérisque (*) indique que l'élément considéré n'est pas présent sur l'ensemble des 5 comptages effectués. En tenant compte de ces considérations, les résultats appellent les réflexions suivantes :

- sur l'échantillon n° 1

- . La couronne intérieure ① la bride ② et la tôle épaisse ③ sont de nature très voisine. Ceci confirme les observations micrographiques.

Il s'agit effectivement d'un acier dit inoxydable, austénito-ferritique, dont la composition normalisée pourrait s'écrire : Z.. CN 18 - 6. La teneur en carbone ne peut être exprimée par cette méthode d'analyse, mais tout porte à croire qu'elle est relativement faible (≈ 0,1 à 0,2 %). Cette nuance contient environ 20% de chrome et 6% de nickel. Elle est soudable et peut contenir en plus faibles proportions du titane (Ti) qui ségrège sous forme de particules de carbures ou carbonitrures.

- . La soudure S₁ comporte davantage de nickel (Ni)

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

- sur l'échantillon n°2

La tôle fine ⑤ peut être apparentée à un acier du type Z.. CN 18 . 10. La plus forte teneur en nickel explique le caractère austénitique de la structure micrographique.

- sur les échantillons n° 5 et n° 7

Les tôles ⑦ et ⑧ sont de même nature que la tôle ⑤ ($\approx 18\% \text{ Cr} \approx 10\% \text{ Ni}$).

Les couches blanches identifiées lors de l'examen métallographique ne sont pas de même nature.

Les fortes teneurs en manganèse sont à rapprocher de celle de la soudure S1. Cet élément entre probablement dans la composition de la soudure (ou brasure) inter-tôle.

7- Analyses superficielles

Des analyses de surface ont été effectuées pour tenter de déceler d'éventuelles traces de produits de combustion.

Trois types d'analyses ont permis de recouper les résultats :

- EPMA : microsonde électronique de Castaing
- SIMS : sonde ionique
- MEB : détecteur Si - Li associé au microscope électronique à balayage.

Les examens ont été réalisés sur la surface très oxydée de la tôle épaisse ③, à l'opposé de la tôle ondulée oblique (cf planche n°3).

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux (cf pages suivantes).

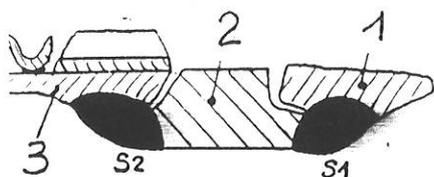


Tableau n° 2 à 5

Echantillon N° 1	Si	Mo	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
couronne intérieure ①	0,34	*0,14	0,31	21,31	*0,09	72,31	5,49
tôle épaisse ③	0,20	0,06	0,44	21,26	0,23	72,54	5,27
bride ②	0,62	*0,07	0,43	21,11	*0,03	72,61	5,14
Soudure S ₁	0,55	0,14	0,12	20,44	4,06	65,98	8,66

Traces de Cl sur la tôle 1 et sur la soudure (réactif ?)

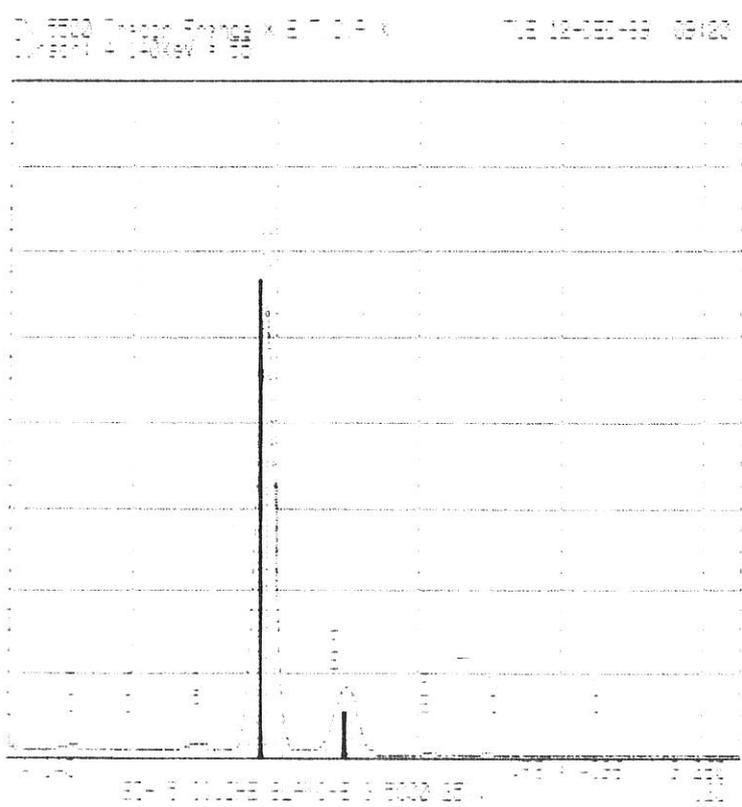
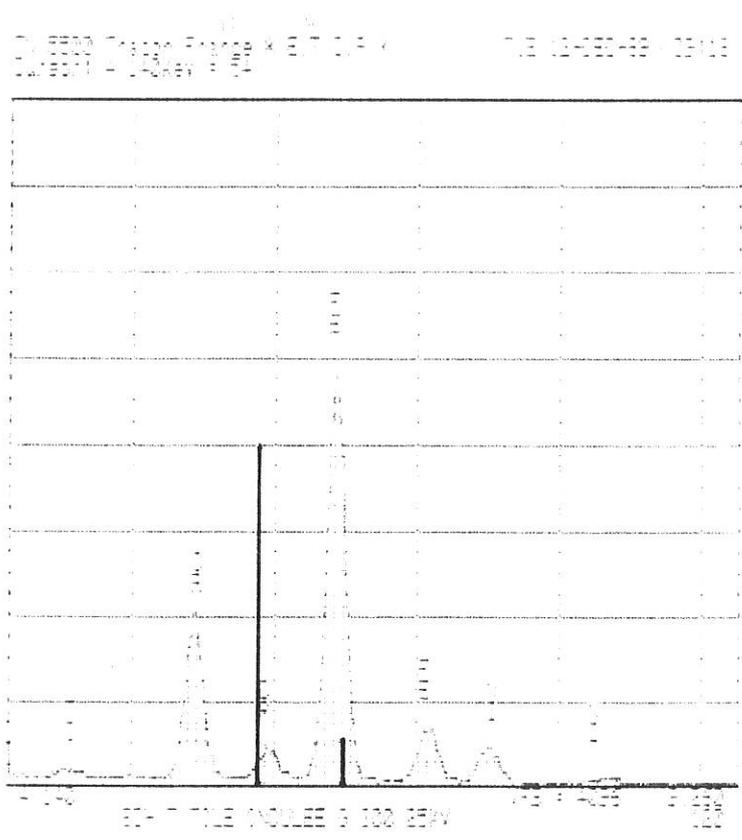
Echantillon N° 2	Si	Mo	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
	0,26	0,19	0,64	17,86	1,61	70,32	9,13



Echantillon N° 5	Cl	Si	Mo	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
tôle fine ondulée ⑦		0,65	*0,07	0,62	18,85	0,86	69,48	9,47
soudure		0,40	*0,09	0,12	11,42	38,46	31,71	17,87
couche blanche 1	*0,20	2,01	*0,04	1,23	3,18	84,96	7,22	1,14
couche blanche 2	*0,03	0,48	*0,02	0,15	12,93	26,63	47,77	11,99
couche blanche 3	*0,04	1,83	*0,02	*0,05	11,66	32,90	42,83	10,67

Echantillon N° 7	Si	Mo	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni
tôle ondulée ⑧	0,28	*0,13	0,57	17,82	1,16	70,82	9,22

PLANCHE N° 13



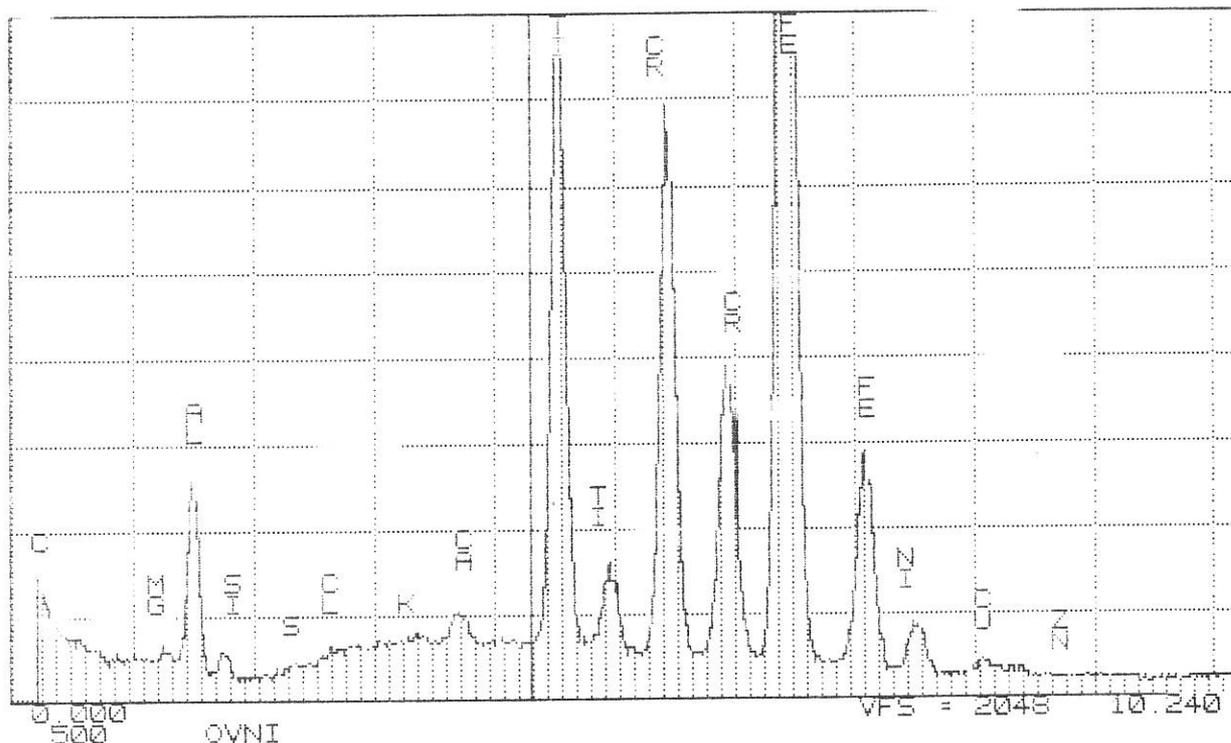
Au feutre sont indiqués les pics théoriques du Manganèse

PLANCHE N° 14

Analyse qualitative au Microscope
Electronique à Balayage (MEB)

IN 5500 Tracor France * E.T.C.A *
Cursor: 4.300keV = 171

THU 18-JAN-90 13:45



QUALITATIVE ELEMENT IDENTIFICATION

SAMPLE ID:OVNI

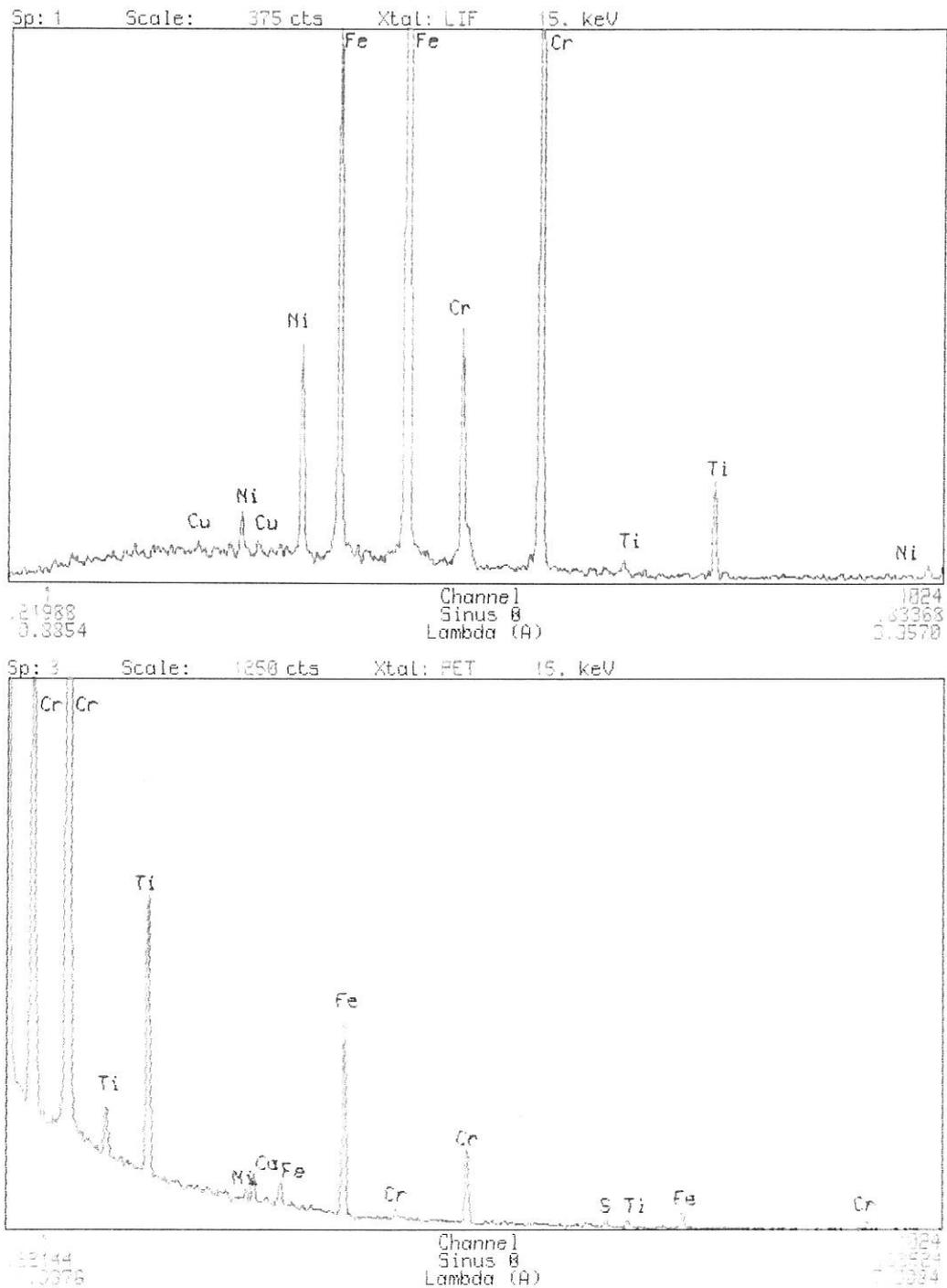
POSSIBLE IDENTIFICATION

- FE KA KB
- TI KA KB
- CR KA KB OR PM LA LB
- AL KA
- C KA
- NI KA
- CA KA
- SI KA
- CU KA

PEAK LISTING

	ENERGY	AREA	EL. AND LINE
1	0.266	3464	C KA
2	1.490	7799	AL KA
3	1.765	764	SI KA
4	3.701	1542	CA KA
5	4.532	29052	TI KA
6	4.956	3979	TI KB
7	5.437	25692	CR KA
8	5.932	13759	CR KB
9	6.429	73848	FE KA
10	7.085	10379	FE KB
11	7.509	2517	NI KA
12	8.062	618	CU KA

PLANCHE N° 15

Analyse qualitative à la Microsonde Electronique (EPMA)

Conditions opératoires : Tension accélératrice 15 KeV
courant = 100 nA

Cristaux utilisés = LIF - PET - TAP - ODPB

Résultats : Eléments Majeurs : Fe - Cr - Ni - Al - Si - Ti - O - C
Eléments en Traces : Cu - Mg - P - Na - Ca - S

PLANCHE N° 16

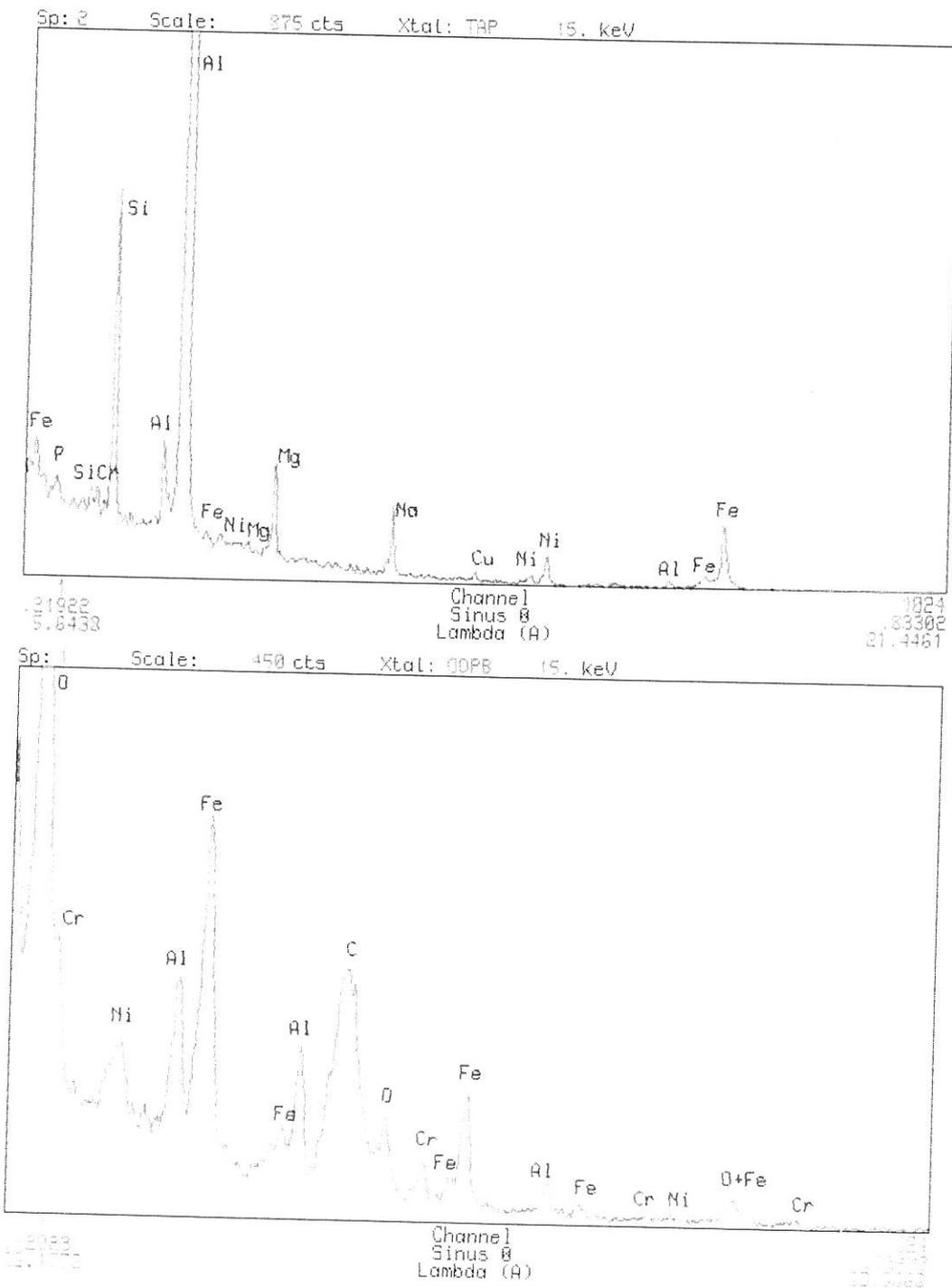


PLANCHE N° 17

Analyse qualitative à la Sonde Ionique (SIMS)

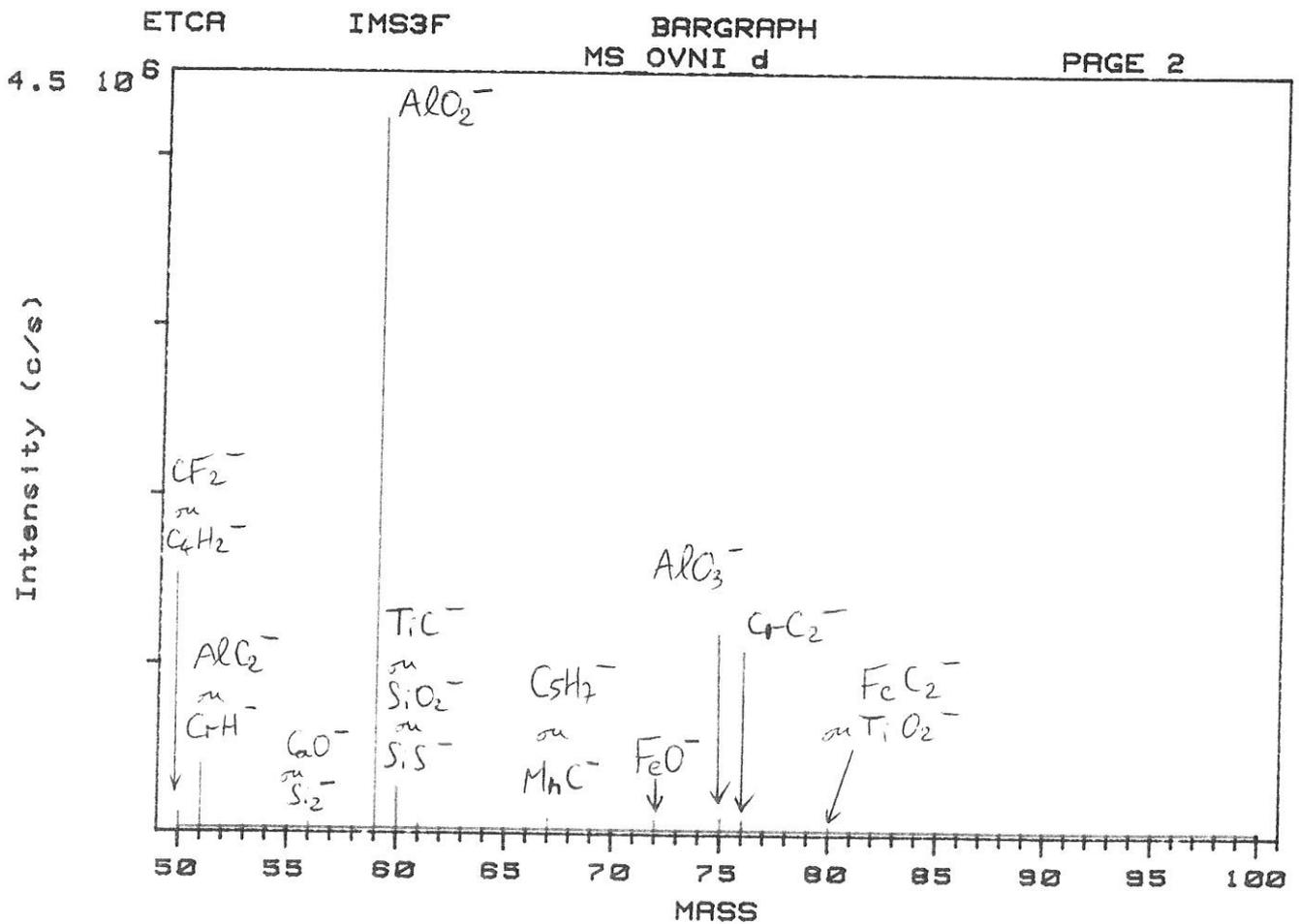
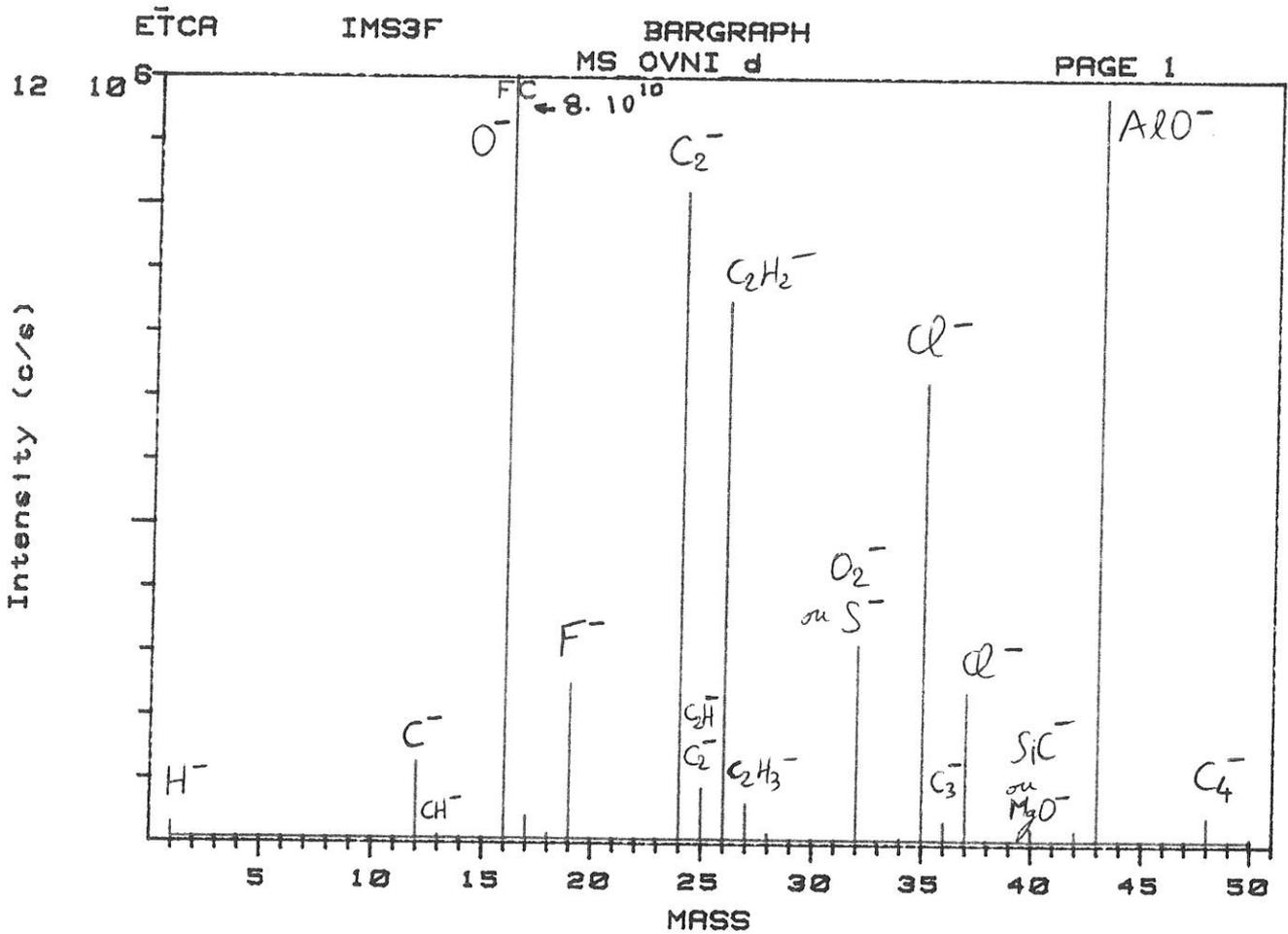


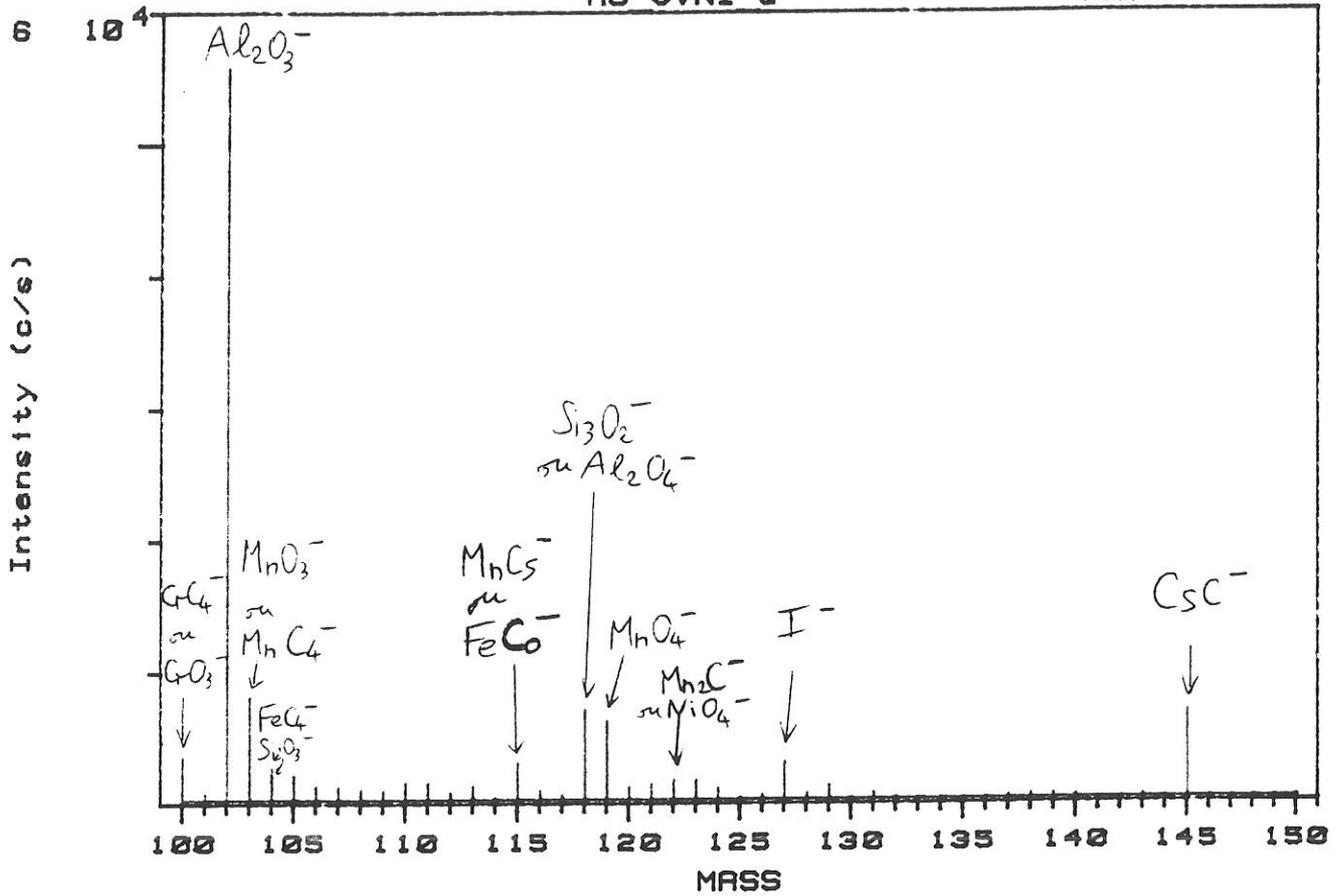
PLANCHE N° 18

ETCA

IMS3F

BARGRAPH
MS OVNI d

PAGE 3



ETCA

IMS3F

BARGRAPH
MS OVNI d

PAGE 4

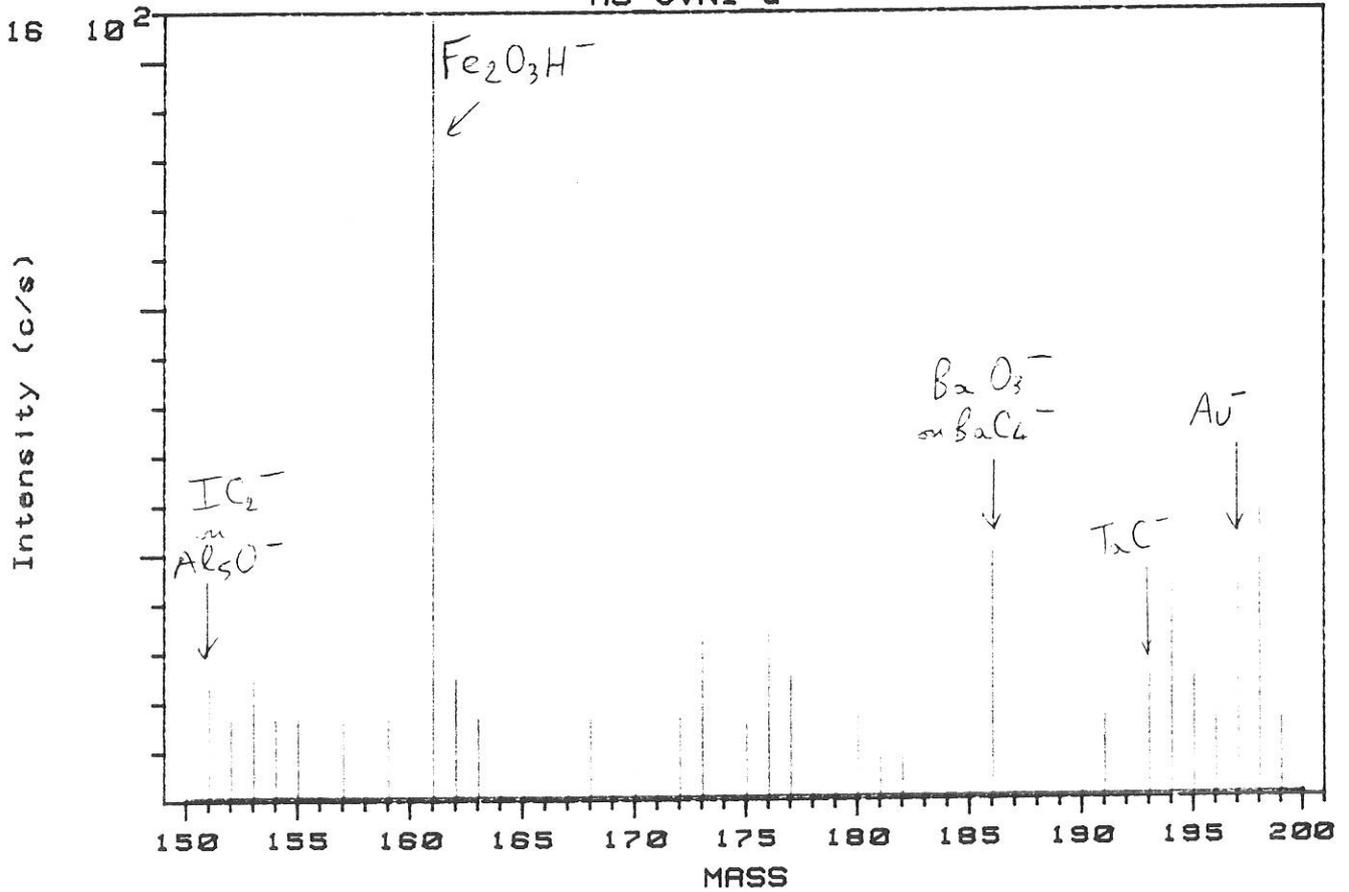


PLANCHE N° 20

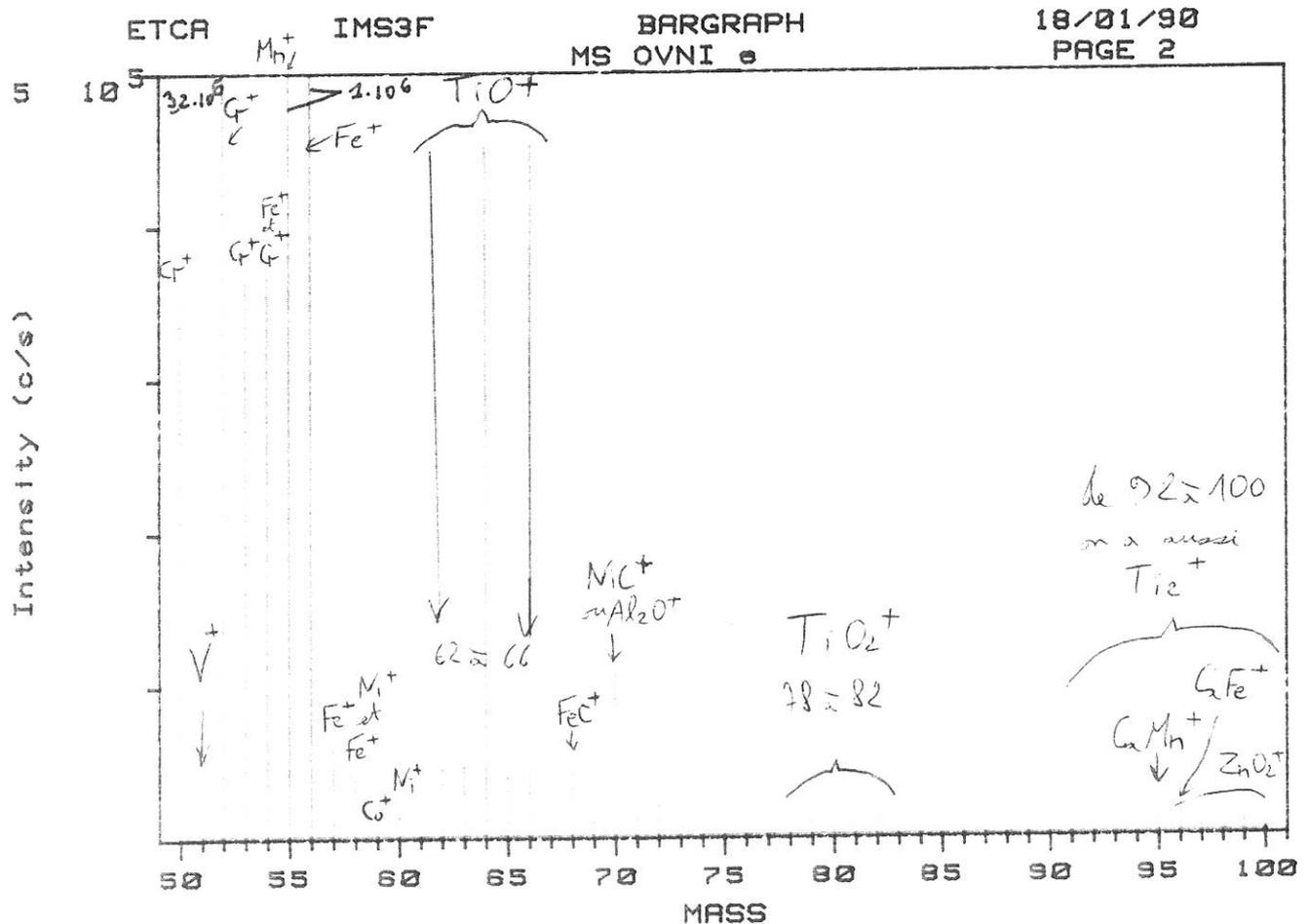
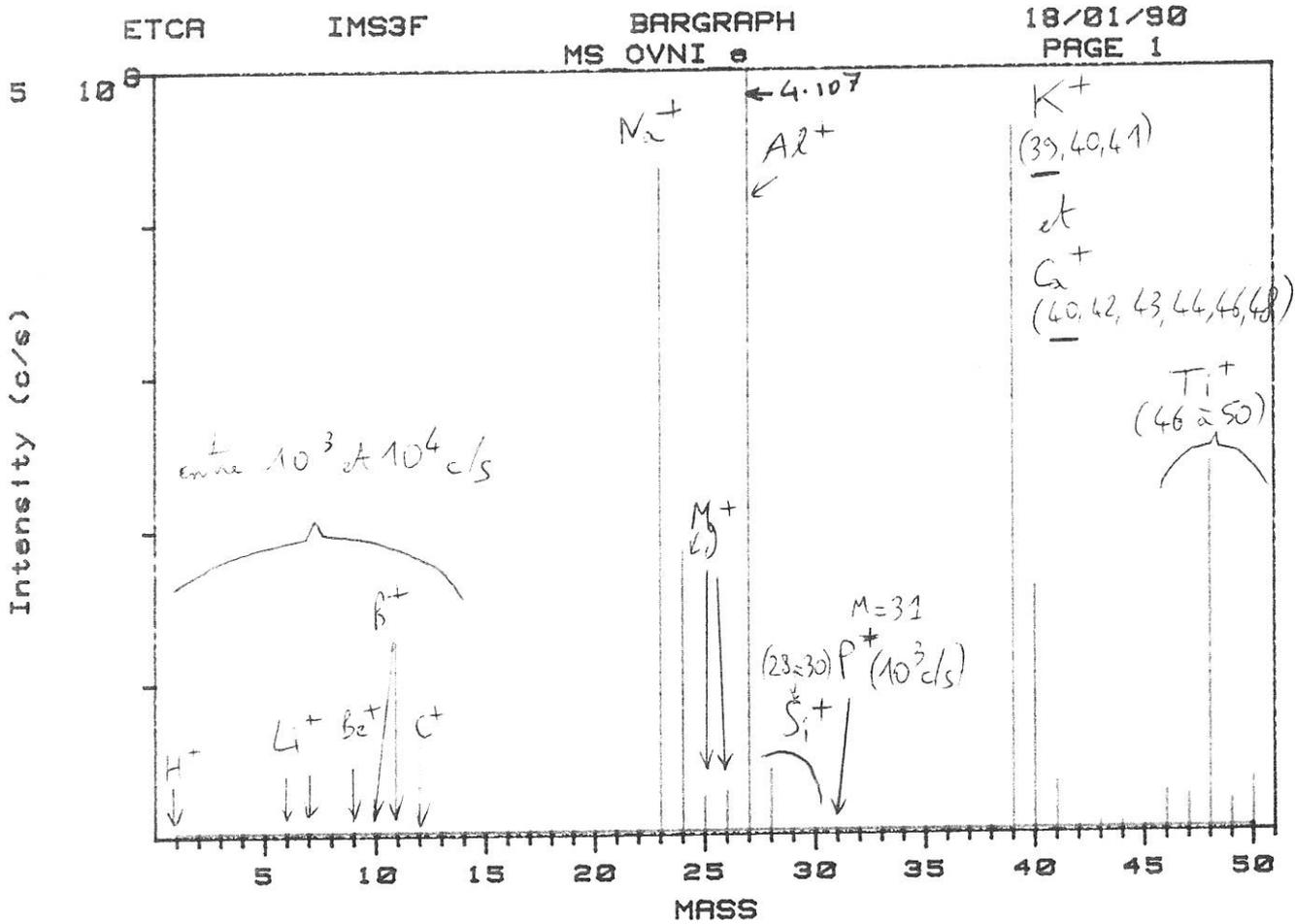


PLANCHE N° 21

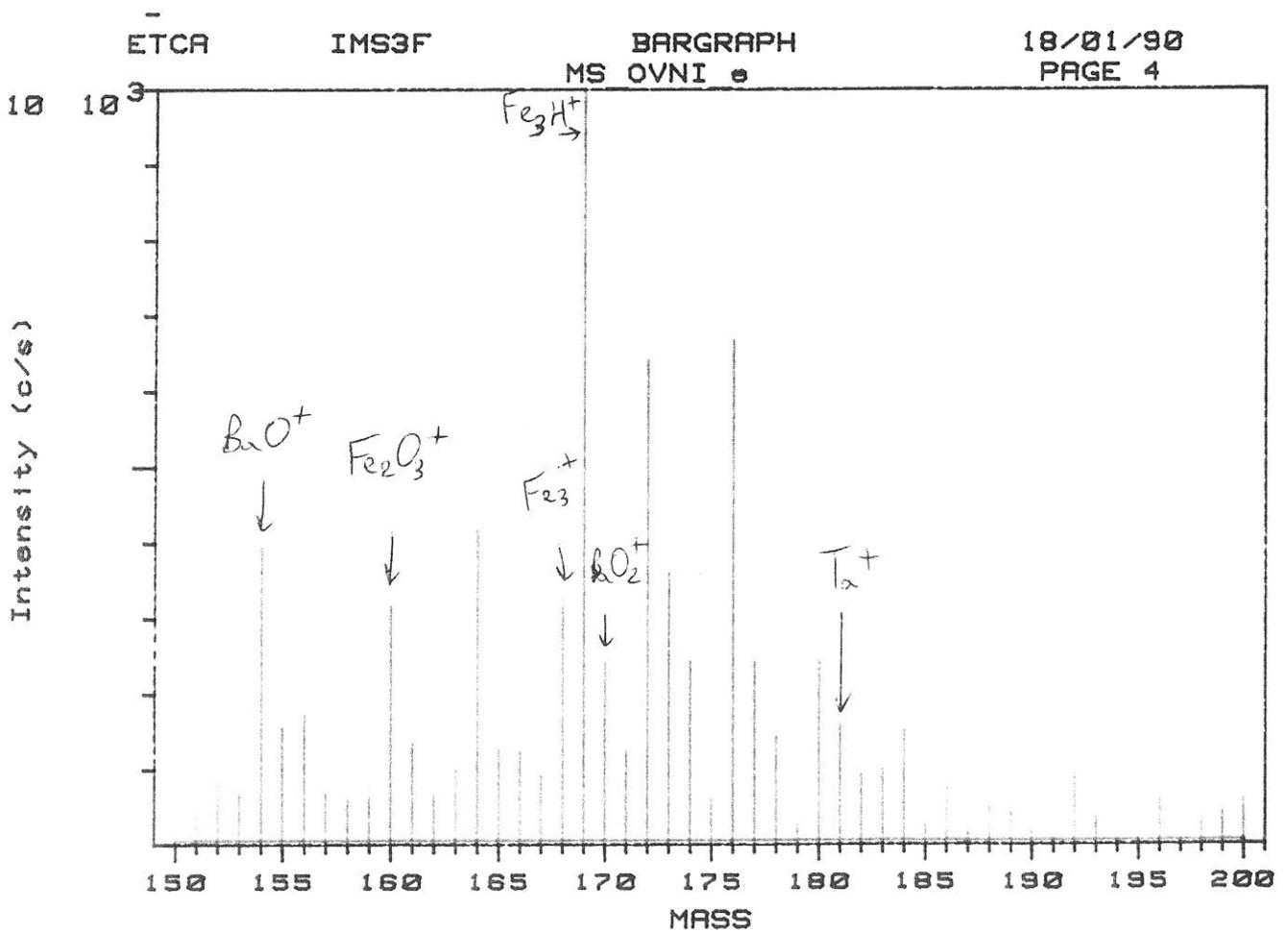
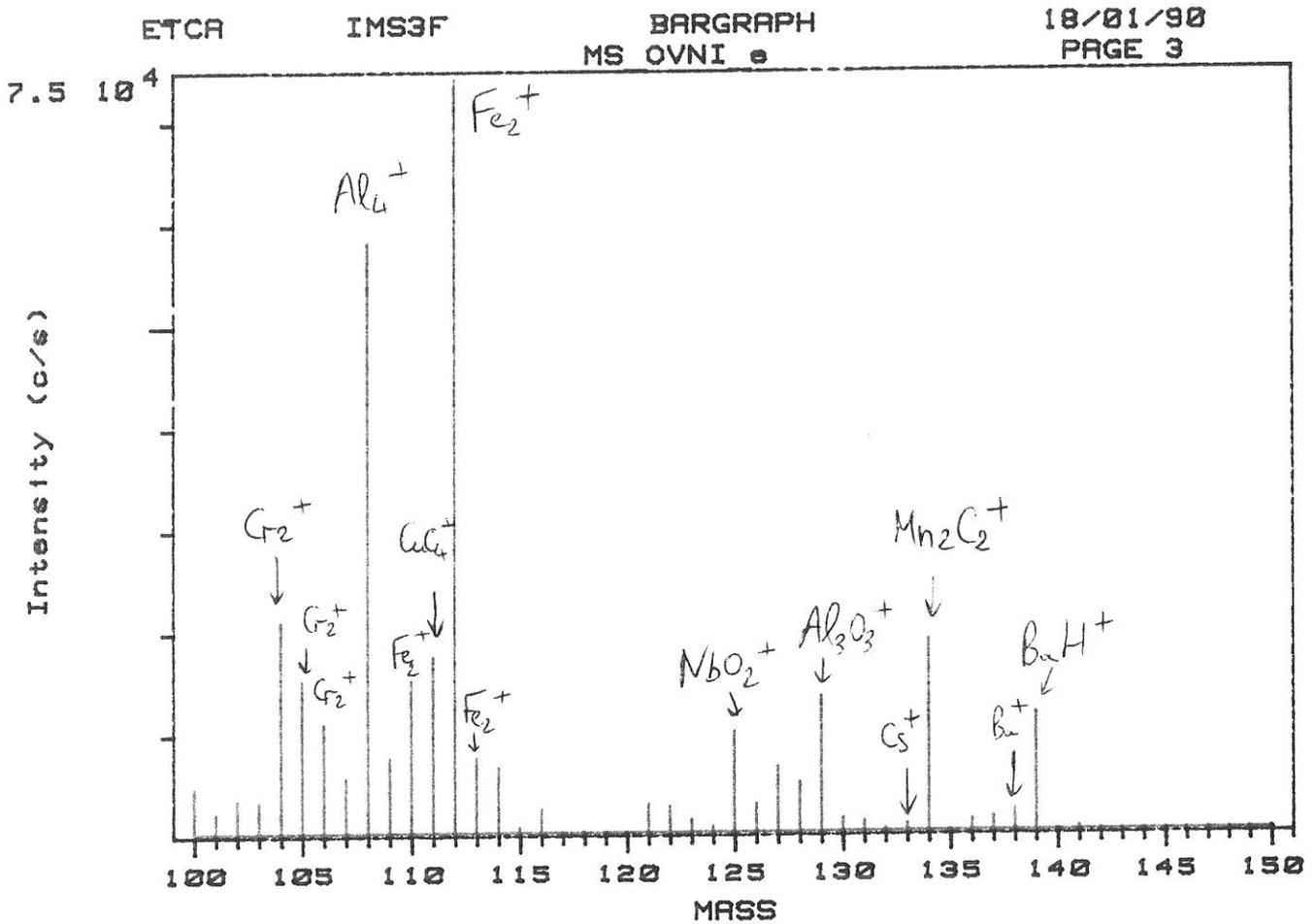
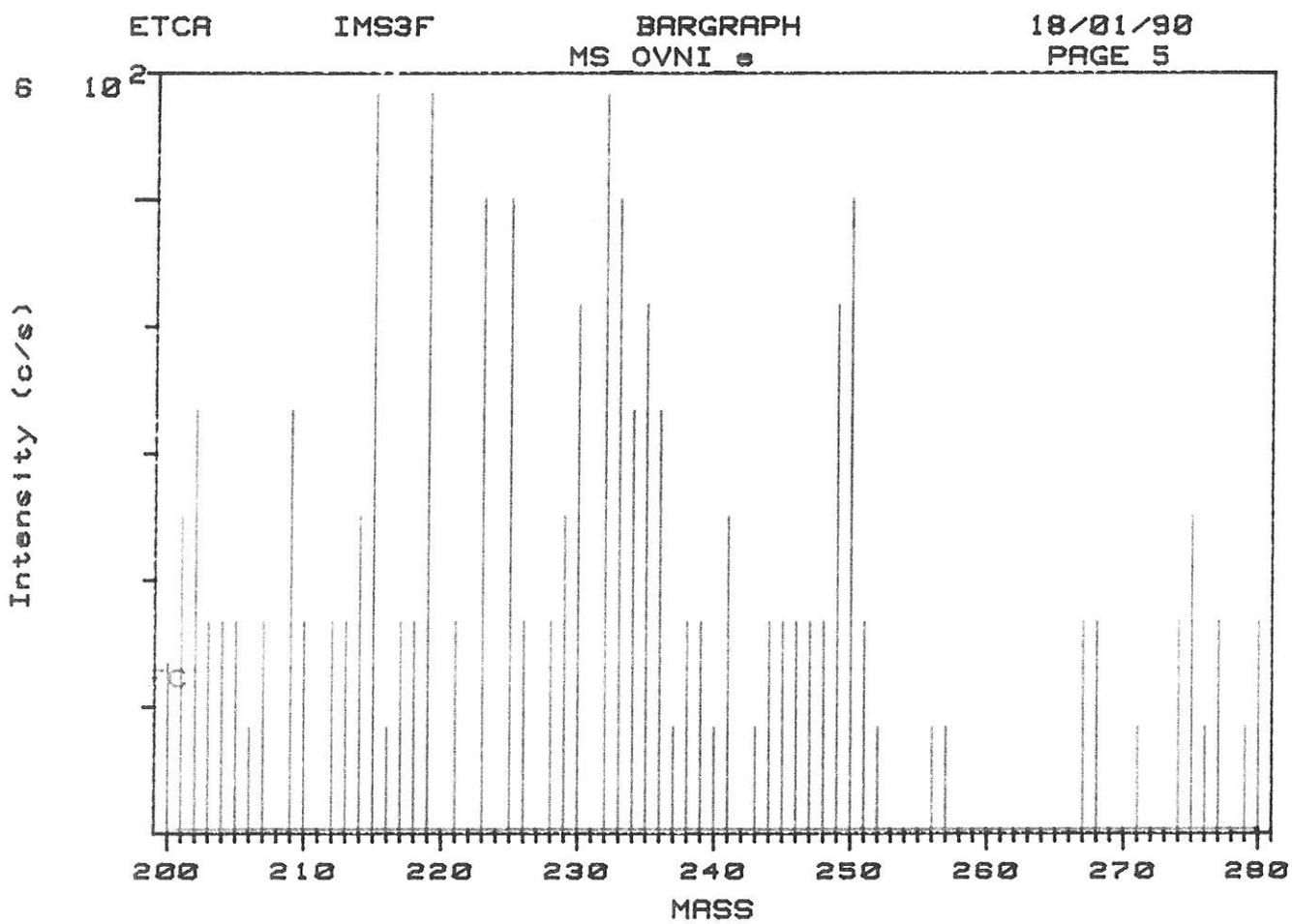


Planche N° 22



Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

Tableau n° 6

Synthèse des analyses EPMA - MEB

	MEB	EPMA
Eléments majoritaires	Fe	Fe
	Ti	Ti
	Cr	Cr
	Al	Al
	Ni	Ni
	-	O
	-	C
		Si
Autres	Si	
éléments détectés	Mg	Mg
	Ca	Ca
	Cu	Cu
	S	S
	Cl	-
	K	-
	Zn	-
	Mn*	-
		P
	Na	

* Le Mn semble très ségrégré (présent seulement dans certaines plages)

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

Synthèse des analyses SIMSTableau n° 7

Analyse des ions secondaires négatifs		Analyse des ions secondaires positifs	
H	----	H	<u>Li</u>
C	----	C	<u>Be</u>
<u>O</u>	----	O	<u>B</u>
<u>F</u>	----	----	<u>Na</u>
<u>S</u>	----	----	P
<u>Cl</u>	----	----	<u>K</u>
<u>Si</u>	----	<u>Si</u>	<u>V</u>
Mg	----	<u>Mg</u>	<u>Zn</u>
Al	----	<u>Al</u>	Cu
Cr	----	<u>Cr</u>	<u>Nb</u>
Ca		<u>Ca</u>	
Ti		<u>Ti</u>	
Mn		<u>Mn</u>	Sont soulignés les éléments dont les émissions ioniques de charge négative ou de charge positive, sont favorisées.
Fe		<u>Fe</u>	
Co		Co	
Ni		Ni	
<u>I</u>		----	
<u>Cs</u>		<u>Cs</u>	
Ba		<u>Ba</u>	
Ta		<u>Ta</u>	
<u>Au</u>		----	
<u>Bi</u>		----	

Outre les éléments mentionnés dans le paragraphe précédent, relatifs soit aux nuances propres des aciers (Fe-Cr-Ni-Ti-Si) soit au métal d'apport de la soudure (Mn), d'autres éléments ont pu être détectés en surface par MEB (détecteur Si-Li) ou par la microsonde électronique.

Il s'agit des éléments Al-O-C

Mg-Ca-Cu-S-P-Na et Cl-K-Zn.

(cf tableau n° 6 et planche n° 14 à 16).

L'analyse SIMS des bargraphs réalisés en enregistrant les ions secondaires négatifs et positifs permet de détecter d'autres éléments présents en quantités très faibles, mais qui peuvent donner des intensités très fortes en SIMS, c'est le cas des ions alcalins ou des ions halogènes par exemple. On peut classer ces éléments en deux catégories, les uns étant certainement présents en surface du débris, c'est le cas de : H-Li-Be-B-F-Cs-I-V-Co d'autres sont plus douteux, comme :

Nb-Ba-Au-Ta-Bi

(cf tableau n° 7 et planches n°17 à 22).

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

L'analyse de tous ces résultats conduit aux remarques suivantes :

- les éléments présents en surface du débris, en quantité non négligeable sont les suivants :

Al - O - C - Ti

. L'aluminium peut provenir d'une pièce s'étant trouvée à proximité du débris pendant sa chute. Cette hypothèse est étayée par la présence de traînées brillantes observées sur la surface du débris (côté opposé aux tôles fines ondulées). Ces traces ont l'aspect de projections métalliques à base d'aluminium fondu. La même hypothèse peut être faite quant au titane.

. l'oxygène est attribué à l'importante oxydation du débris.

. le carbone peut provenir de produits de combustion.

- Les éléments présents en surface du débris, en quantités plus faibles sont les suivants :

Mg-Ca-Cu-S-K-Zn-P-Na

- Les éléments présents en surface du débris, à l'état de traces sont les suivants :

Li-Be-B-F-Cs-I-V-Co

8- Synthèse

Le débris d'objet spatial expertisé ne présente aucune trace décelable de contamination radio active.

Il se compose de tôles ondulées rayonnantes partant d'une couronne circulaire soudée et plus massive.

Ce fragment de tôles multiples est très oxydé et comporte des traces de fusion. Les nuances utilisées pour sa fabrication sont des aciers inoxydables de types austénitique et austénito-ferritique de faibles caractéristiques mécaniques.

Les différentes tôles ondulées et fines sont brasées sur une tôle principale plus épaisse, assurant ainsi une meilleure rigidité à l'ensemble. La technique de ce brasage est perfectionnée. L'assemblage a probablement été obtenu en intercalant une feuille mince de brasure (à base de manganèse) entre la tôle épaisse et les tôles ondulées, ou à partir d'une enduction superficielle préalable.

Procès Verbal N° 2053/89 CREA/PS

En analysant la forme et les dimensions du débris dégradé, on peut penser qu'à l'origine, la pièce complète est circulaire avec un diamètre total au moins égal à 2,30 m.

Le diamètre de l'ouverture centrale, constituée par la couronne plus massive soudée, est de l'ordre de 38 centimètres.