

**60 années d'analyse chimique locale, et de microscopie  
électronique  
à la suite de  
Raimond Castaing**

De quelques idées de départ au succès de  
l'analyse chimique locale

Bernard Jouffrey

LMSS-Mat  
Ecole Centrale Paris  
UMR-CNRS 8579  
92295-Châtenay-Malabry



12 ème colloque de la Société Française des Microscopies  
Strasbourg, ECPM  
27 juin-1<sup>er</sup> juillet 2011



Naissance 28 décembre 1921 à Monaco, Condom en 1929

ENS 1940, agrégation de Physique (1<sup>er</sup>), (1946)

ONERA, janvier 1947, « Ingénieur de petites études »

Thèse 8 juin 1951,

Maître de conférences, Toulouse (1952, 1955), La Sorbonne, (1956...)

Professeur Université Paris-Sud (1960 -1987)

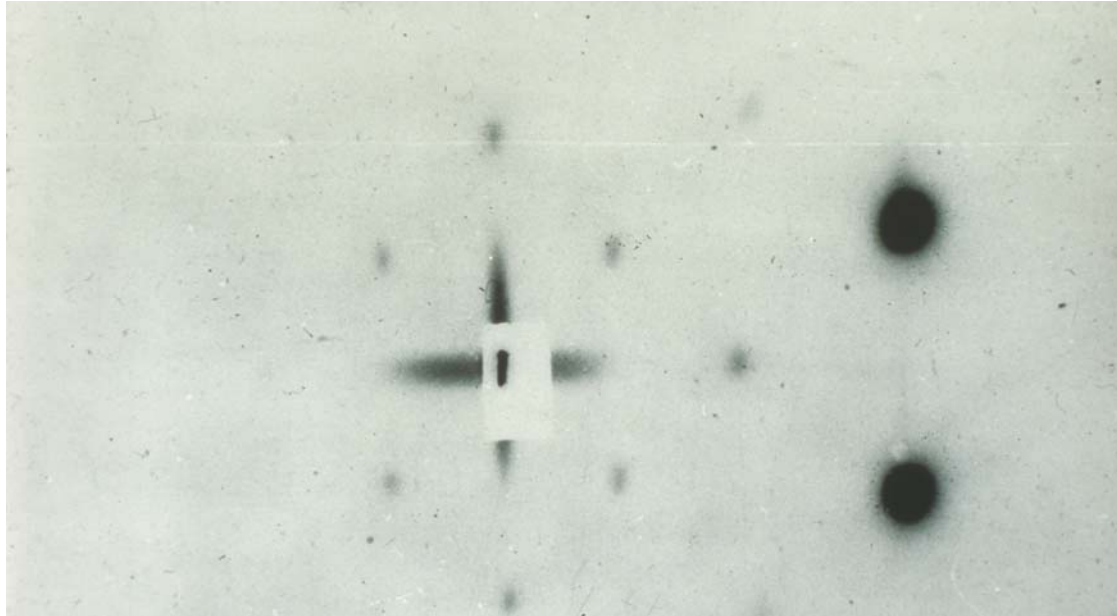
Directeur Général de l'ONERA (1968-1972)

Décès 10 avril 1998

Paris 1975

- 1) - Microscopie électronique des alliages légers (1947-1955)
  - Méthode de la couche d'oxyde
  - Amincissement ionique
- 2) - Analyse chimique locale (1948-.....)
  - Microsonde X (Congrès de Delft, 1949, Congrès de Paris 1950)
  - Filtres et analyseurs
    - Analyse ionique (1959...
    - Filtrage des électrons (1956)
- 3) - Enseignement de la thermodynamique (La Sorbonne, 1957, Orsay)

# 1938, les amas de Guinier-Preston



1<sup>er</sup> juillet 1911, 3 juillet 2000, Nancy

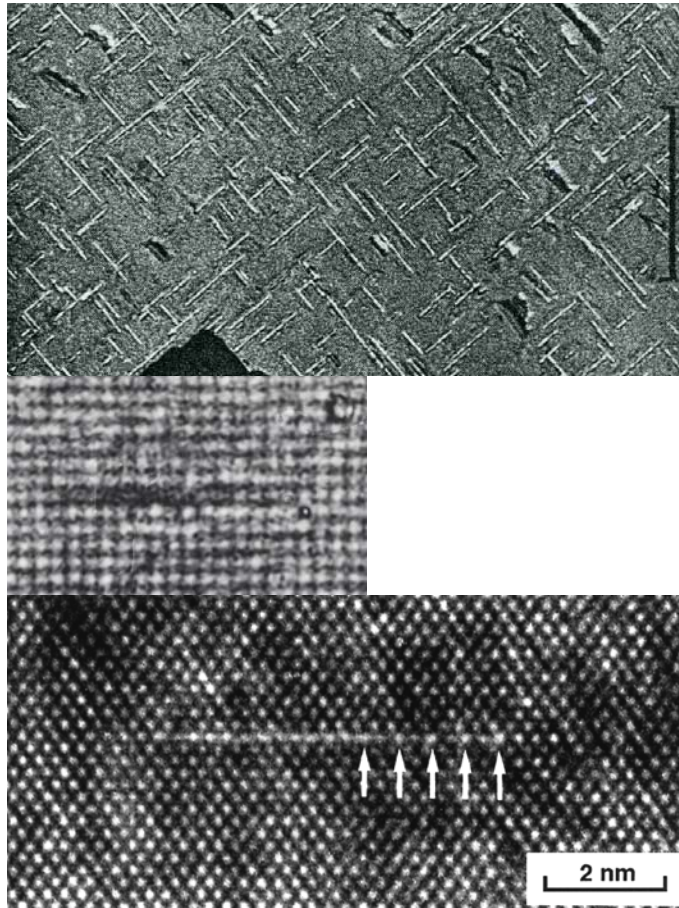
**André Guinier**, *Un nouveau type de diagrammes de rayons X*, Comptes Rendus Ac. Sc., 206 (1938), 1641-1643, séance du 30 mai

**George Dawson Preston**, *The diffraction of X-rays by age-hardening aluminium copper alloys*, Proceedings of the Royal Society, 167 A (1938), 526-538. Received 10 May.

**Jean Calvet, Pierre Jacquet et André Guinier**, *Sur le durcissement par vieillissement d'un alliage d'Aluminium-cuivre*, Comptes

Rendus Ac. Sc., 206 (1938), 1972-1974, séance du 27 juin

# 1) Microscopie électronique des alliages légers



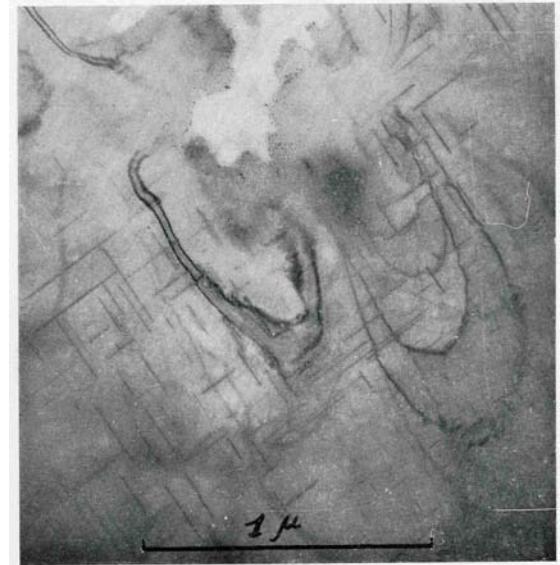
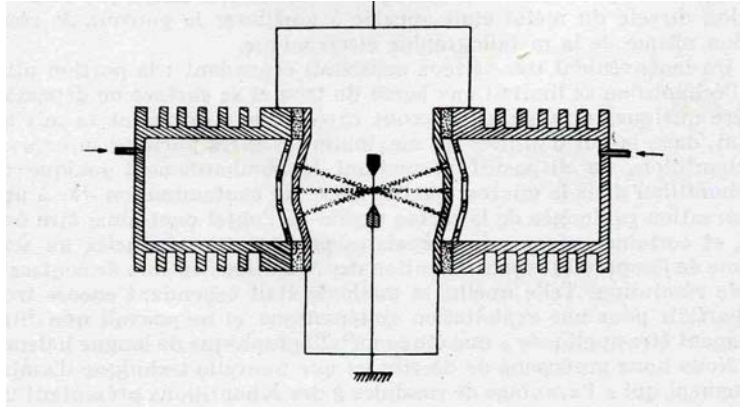
Raymond Castaing CRAS, 20 avril 1949, 228, p. 1341-1343

Raymond Castaing, André Guinier, 27 juin 1949, p. 2033-2036

Paul Deschamps, thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Orsay, 1962

B. Jouffrey, D. Dorignac, *Observation of monolayer Guinier-Preston zones in Al-at 1.7% Cu*, J. de Phys. I, 2, 1067-1074, (1992)

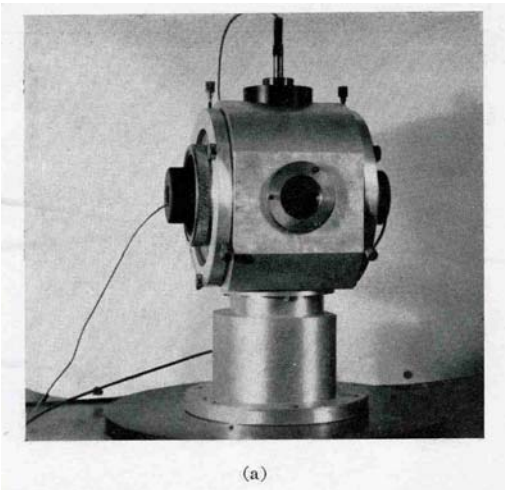
# Amincissement ionique



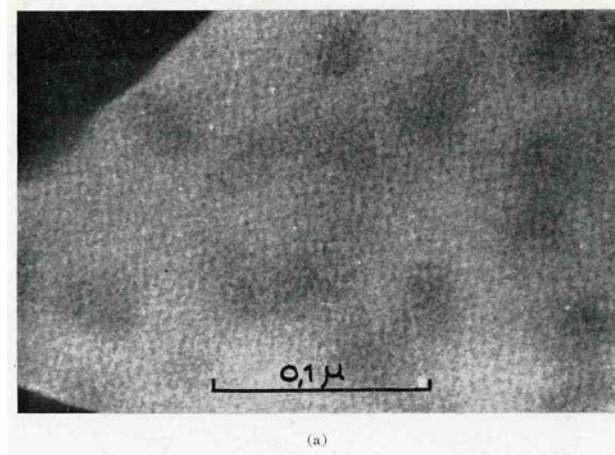
(b)

R. CASTAING. — PLANCHE I.

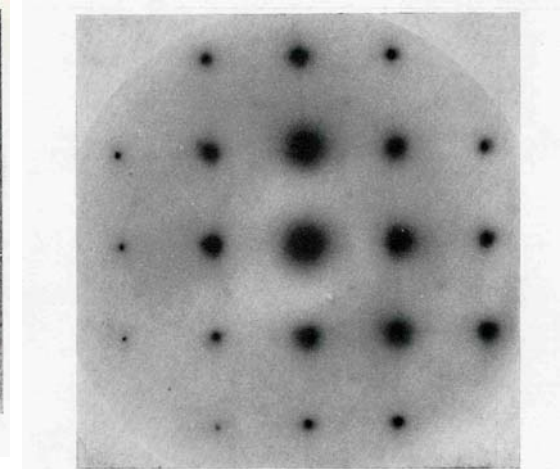
- a) Vue d'ensemble de l'appareil d'amincissement ionique.  
 b) Al-Cu 4 % revenu 24 heures à 200° C. Gr : 54.000.



(a)



(a)



(b)

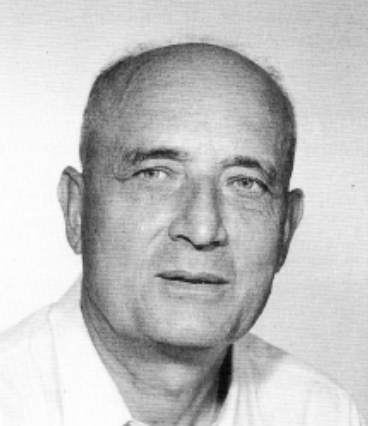
R. CASTAING. — PLANCHE IV.

- a) Al-Cu 4 % vieilli 24 heures à 100° C. Gr : 310.000.  
 b) Diagramme de diffraction sur Al-Cu 4 % vieilli 24 heures à 100° C.

R. Castaing, *État actuel de la métallographie électronique par transmission directe*, in Les techniques récentes en microscopie électronique et corpusculaire, Toulouse, 4-8 avril 1955, CNRS, p. 118-125

## Congrès de Toulouse 1955





Pierre Grivet (1911-1992)  
Fondateur de l'IEF d'Orsay

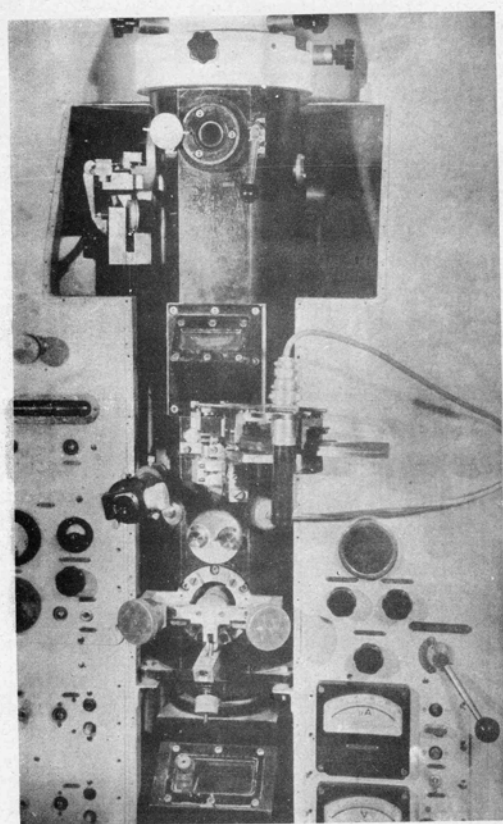
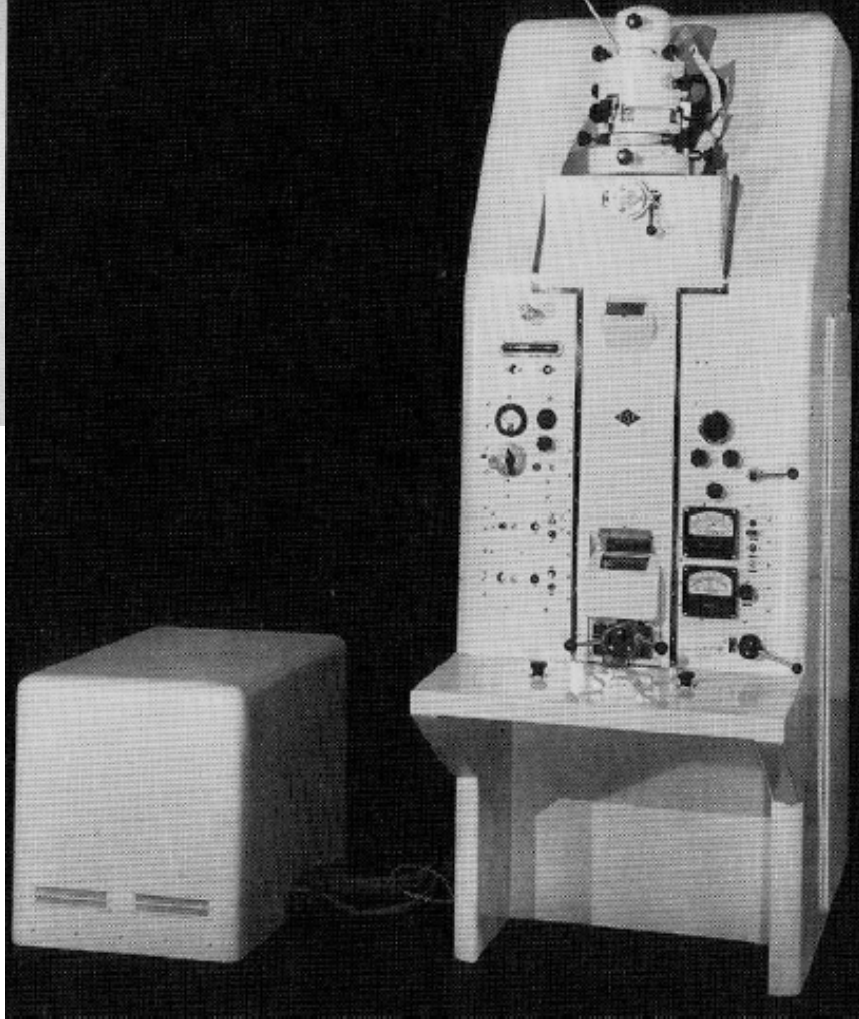
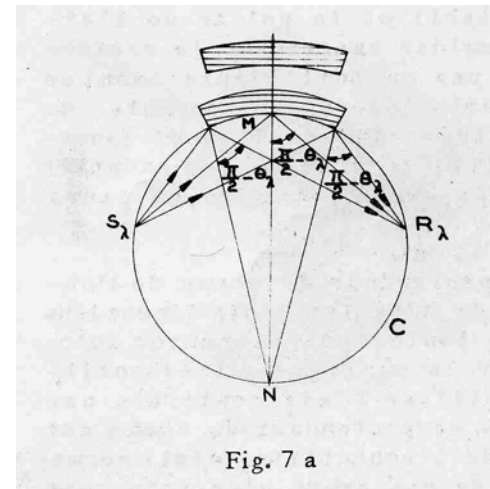
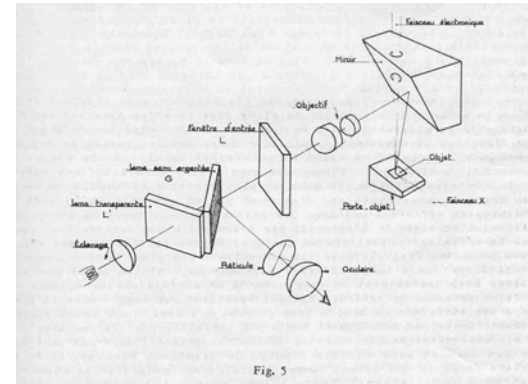
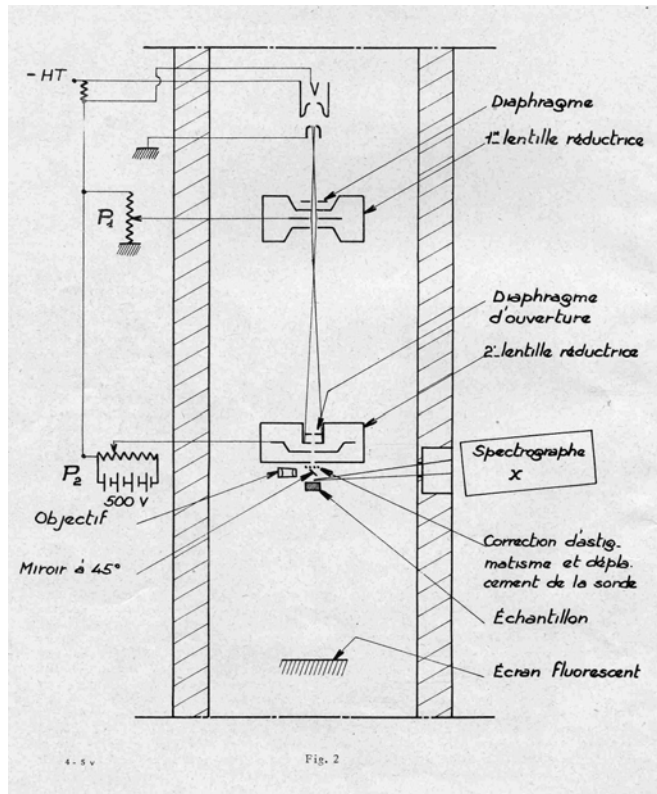


Fig. 1

François Grillon, *Petite  
histoire de la microscopie à  
balayage*

# Premières publications microsonde



Accel. Volt., 30 kV (en fait 27,5 kV)  
 1 micron,  $1,5 \cdot 10^{-8}$  A

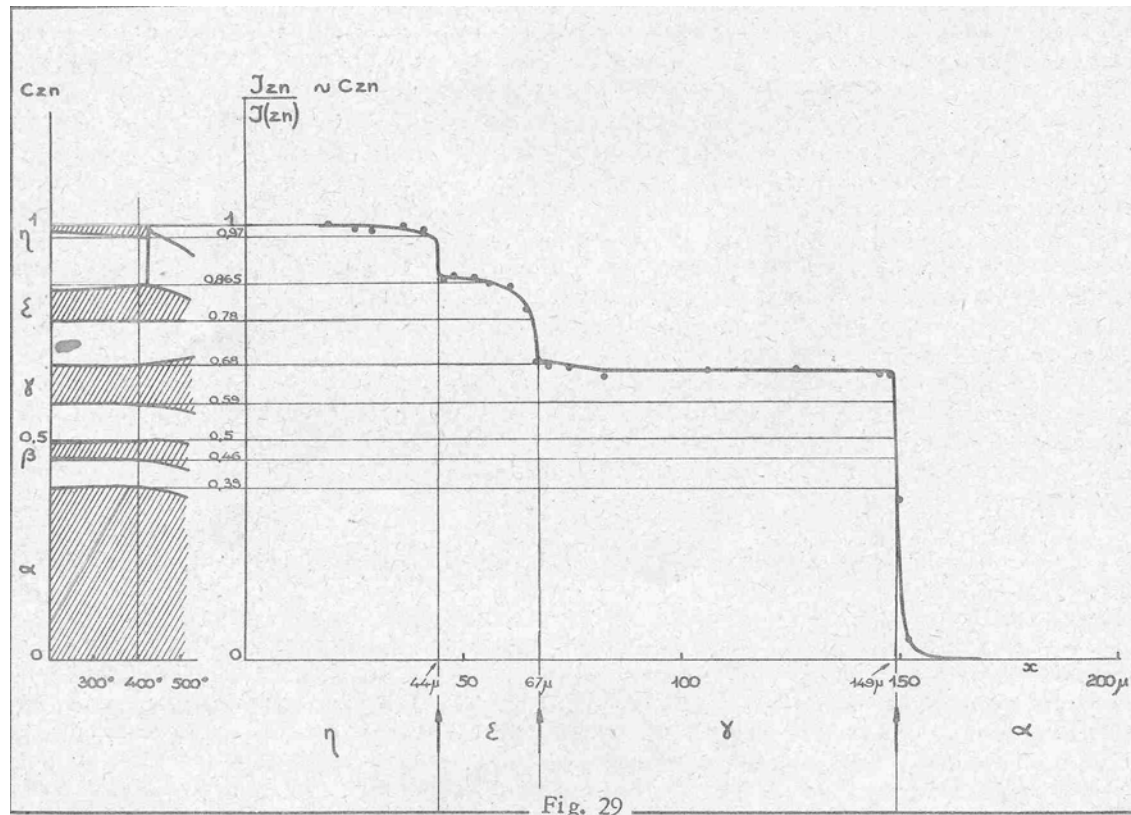
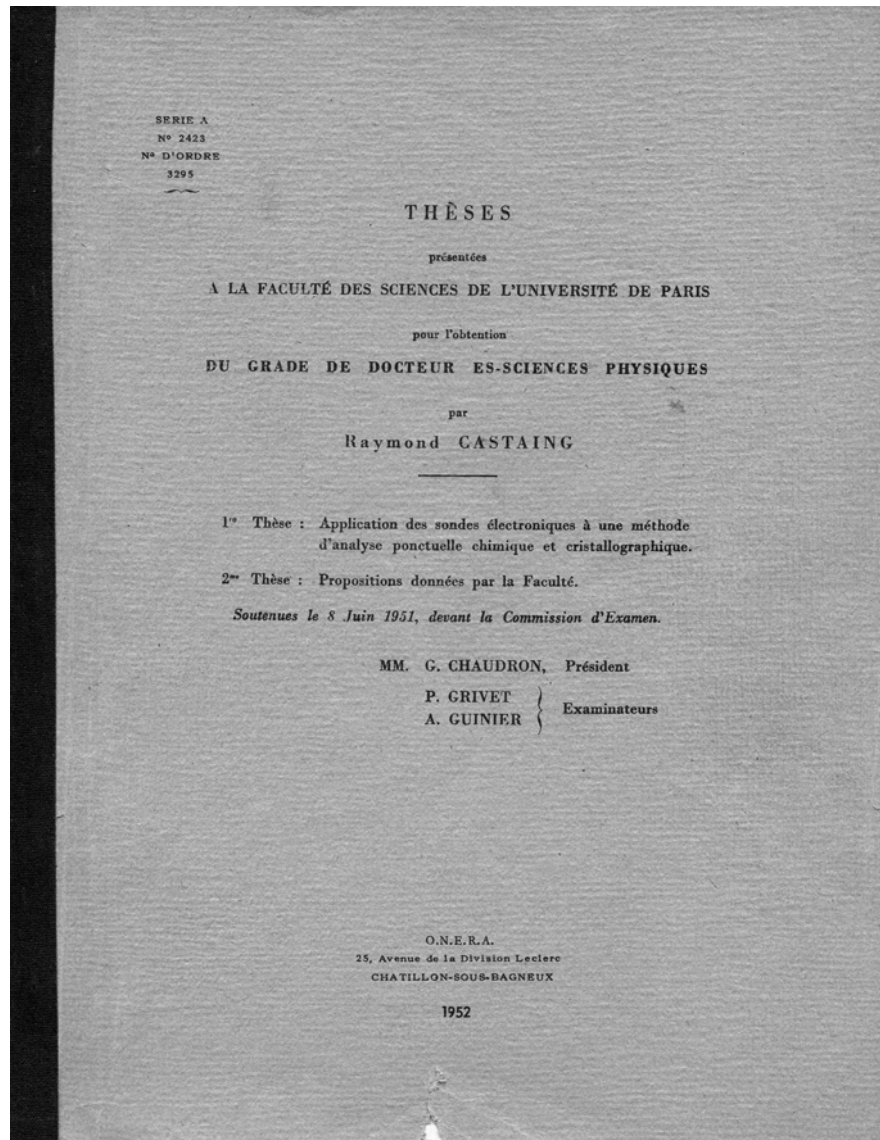


Fig. 29

R. Castaing, A. Guinier, *Sur l'exploration et l'analyse élémentaire d'un échantillon par une sonde électronique*, in Comptes-rendus du 1<sup>er</sup> congrès international de microscopie électronique, 14-22 septembre 1950, ed. Marcel Locquin, publ. Revue d'Optique Théorique et Instrumentale

R. Castaing, *Microanalysis by means of an Electron-Probe, Principle and corrections*, in Electron Physics, 5-7 sept. 1951, 50th anniversary of NBS, issued 1954, ed. L. Marton

# Raimond Castaing





POUR LES BRISEURS  
DE RÊVE Y'AVRA  
PAS D'ARMISTICE

R. Castaing et J. Descamps



# Electron Probe Microanalyzer and Its Application To Ferrous Metallurgy

by R. Castaing, J. Philibert, and C. Crussard

**A**PPARATUS described in this paper uses the properties of X-radiation, emitted by substances under electron bombardment, as a means of rapid chemical point analysis. The method is based upon the principles of emission X-ray spectrography pioneered by Moseley in 1913.

A very finely focused beam of electrons—the *electron probe*—is projected on the surface of a sample, which has a very large area compared with the beam diameter, at the point where it is desired to know the chemical composition. The minute volume of the sample which is thus irradiated emits a complex X-ray spectrum consisting principally of the characteristic radiations of the elements present in the volume. Measurement of the wavelength and intensity of each component of this spectrum thus affords a simple method of determining the chemical identity and concentration of these elements.

The volume of sample which is analyzed at each position of the beam is limited by the diffusion of electrons in the sample. For an accelerating potential of the electron beam of about 30 kv, which is a convenient value for producing the characteristic radiation, this diffusion extends over a diameter of about  $1 \mu$  normal to the beam, and about  $2 \mu$  in the direction of the beam. Thus a beam of  $1 \mu$  in diameter leads to a volume of about  $2 \mu$  in diameter being irradiated. The limits of the analyzed region are thus considerably smaller than those obtained by using spark or arc emission spectrometry, which must extend to about  $50 \mu$  at right angles to the beam, and those obtained in X-ray fluorescence analysis, where the penetration of the specimen is considerably greater.

The apparatus itself consists of three main parts: an electron optical system, an X-ray spectrophotometer and an optical microscope. The electron optical system consists of a tungsten cathode emitting the electrons, and a pair of magnetic lenses which focus the electron beam on the specimen to be analyzed. The specimen is prepared in the usual way, as in optical microscopy. The X-radiation, emitted at the focal

R. CASTAING is Professor, Faculté des Sciences, Université de Toulouse, Toulouse, France. C. CRUSSARD and J. PHILIBERT are Director of the Laboratories and Staff Member, respectively, Institut de Recherches de la Sidérurgie, Saint-Germain-en-Laye, France. TP 4404E. Manuscript, June 26, 1956. New Orleans Meeting, February 1957.

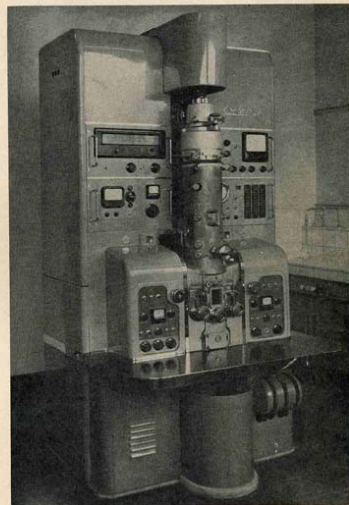


Fig. 1—General layout of the electron probe microanalyzer.

spot where the electrons strike the sample, is analyzed with a curved crystal, Geiger-Müller counter, vacuum spectrograph. The light microscope, designed to observe the surface of the sample in the region to be analyzed, is provided with a reflecting objective placed on the axis of the second magnetic lens. Its magnification is X450.

The quantitative determination of an element  $A$  in the analyzed region is made by measuring the intensity  $I$ , of a strong characteristic line of the element, as emitted from the sample, and then the intensity  $I(A)$  of this same line as emitted from a

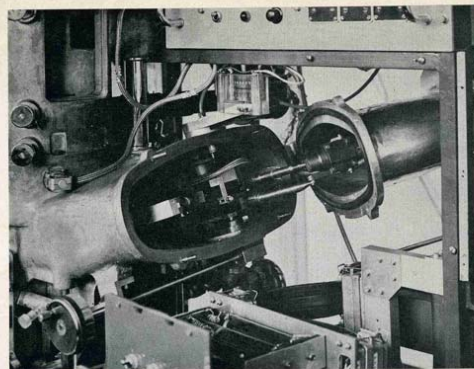


Fig. 2—View of the open spectrometer.

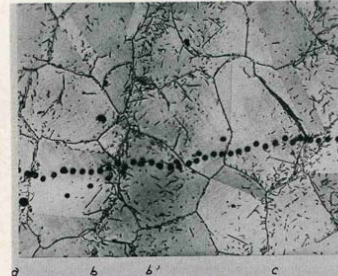


Fig. 3—Hadfield steel with segregation bands, annealed 2 hr at  $850^\circ\text{C}$ . Note that the impact spots are smaller than the black dots, due to a spreading of the contamination around the impact. Etched with nital. X450. Reduced approximately 35 pct for reproduction.

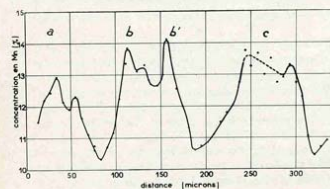


Fig. 4—Manganese segregation in Hadfield steel. Zones of high manganese content (a, b, b', and c) correspond to the carbide-containing bands, see Fig. 3.

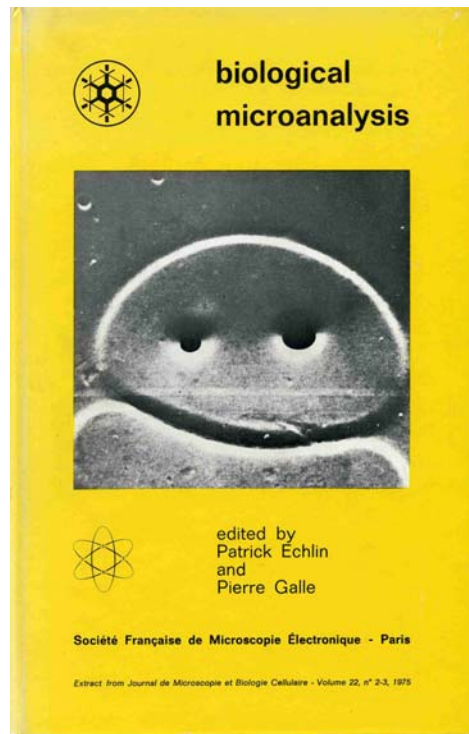
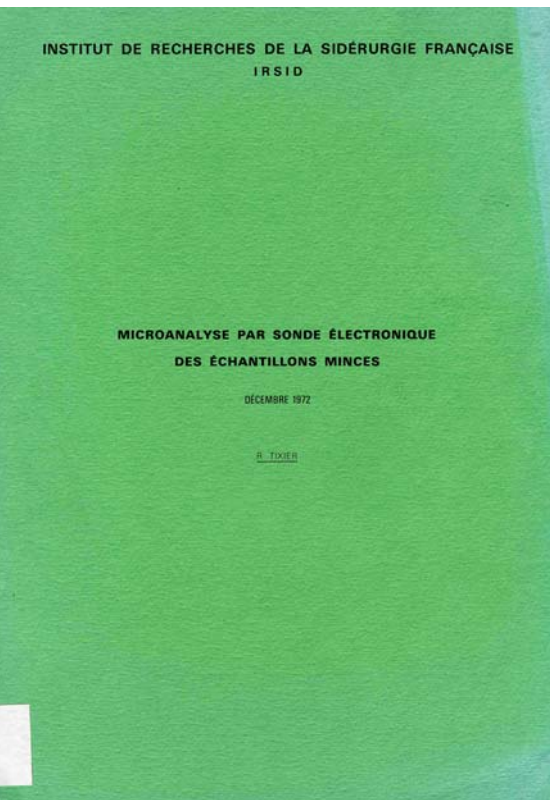
piece of pure element  $A$  mounted near the sample. It can be shown, and this is one of the greatest advantages of this technique, that the ratio  $I/I(A)$  is to a first approximation equal to the concentration of element  $A$  in the sample. The comparison of these intensities of radiation of the same wavelength makes the method absolute, and avoids the use of standard alloys of composition covering a range of composition including that of the specimen. This factor is of prime importance if the method is to be of any practical use, since it would be impossible to make a series of standards which would be homogeneous on the small scale required for this technique.

An exact analysis requires that corrections for self-absorption in the specimen and fluorescence radiation be made. Graphs and equations giving these corrections have been established and, after due allowance, it is possible to obtain a precision of about 1 pct for chemical analyses.

The equipment described here, called hereafter a *microanalyzer*, enables the determination to be made of all the elements of atomic number greater than that of chlorine. It may be possible, by the use of special counters, to extend this limit downward in atomic number to include aluminum and magnesium. The analysis for very light elements, such as carbon, whose characteristic radiation is extremely soft, raises problems of technique which might make the method unsuitable for industrial use.

This method of rapid chemical analysis has already found many uses in the field of metallography, and may also be extended to the study of non-conductors, providing these are first coated with a very thin metallic layer (about  $3 \mu$  thick), which makes the surface conductive. Thus an important field of application is opened up in mineralogy. The study of certain elements in marine sediments has already been successfully carried out with this equipment.

It must be pointed out that the limit of resolution, normal to the beam, so far obtained (about  $2 \mu$ ), is not inherent in the method itself, but results from the use of relatively thick samples. If very thin samples were used, such as can be obtained by ionic bombardment through which the beam could pass



Paris 1975



Toulouse, 1983  
Xth ICXOM

**MEMOIRE**  
présenté à la  
Faculté des Sciences de l'Université de Paris  
pour l'obtention du Diplôme d'études supérieures de Physique

par  
**Jean-François HENNEQUIN**  
Elève de l'Ecole Normale Supérieure

-1-1-1-1-

**1er Sujet : ETUDE D'UN DISPOSITIF DE FILTRAGE MAGNETIQUE  
DES IMAGES ELECTRONIQUES .**

**2ème Sujet : Propositions données par la Faculté .**

Jury proposé : **P. GRIVET**  
**M. COTTE**  
**R. CASTAING**

1 - Introduction MEMOIRE

2 - Présentation de l'appareil

présenté à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris  
pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures de Physique

3 - Description de l'appareil

4 - Résultats expérimentaux

5 - Conclusions

6 - Bibliographie

7 - Résumé

1er Sujet - MISE EN EVIDENCE D'IMAGES IONIQUES DE TRES FAIBLE INTENSITE  
AU MOYEN D'UN CONVERTISSEUR D'IMAGE .

2ème Sujet - Propositions données par la Faculté

3 - Description de l'appareil

4 - Résultats expérimentaux

5 - Conclusions

6 - Bibliographie

7 - Résumé

Jury proposé : **André Guinier**  
**Raymond Castaing**  
**Albert Septier**

Mémoire A, OESAY  
N° d'ordre :  
35

## THÈSES

présentées à la  
**FACULTÉ DES SCIENCES**  
**DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS**  
CENTRE D'ORSAY

pour obtenir le grade de  
**DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES**

par  
**Georges SLODZIAN**

1<sup>re</sup> THÈSE

Étude d'une méthode d'analyse locale chimique et isotopique  
utilisant l'émission ionique secondaire

2<sup>e</sup> THÈSE : Propositions données par la Faculté

Soutenues le 17 Décembre 1963 devant la Commission d'Examen :

**MM. GRIVET** Président  
**GUINIER**  
**CASTAING** } Examinateurs

**MASSON & C<sup>e</sup>, ÉDITEURS**  
120, boulevard Saint-Germain  
**PARIS — 1964**

1961  
**MEMOIRE**

présenté à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris pour l'obtention  
du Diplôme d'Etudes Supérieures de Physique

par

**Nicole PARAS**

Elève de l'Ecole Normale Supérieure de Jeunes Filles

1er sujet : Etude d'un dispositif de filtrage des images électroniques.

2ème sujet : Propositions données par la Faculté.

Jury proposé :

Président : **M. Cotte**

Examinateurs :  
**MM. Guinier**  
**Castaing**

OESAY  
SÉRIE A  
N° d'ordre : 71

## THÈSES

PRÉSENTÉES  
À LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS  
CENTRE D'ORSAY

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ES SCIENCES PHYSIQUES

PAR

**Lucien HENRY**

**PREMIÈRE THÈSE : FILTRAGE MAGNÉTIQUE DES VITESSES EN MICROSCOPIE  
ÉLECTRONIQUE.**

**DEUXIÈME THÈSE : PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.**

Soutenues le 30 novembre 1964 devant la Commission d'examen.

**MM. GRIVET** ..... Président  
**FRIEDEL** .....  
**CASTAING** ..... } Examinateurs

**LIBRAIRIE MASSON ET C<sup>e</sup>**  
120, BOUL. SAINT-GERMAIN, PARIS, 6<sup>e</sup>

THÈSE

présentée

à l'UNIVERSITÉ PARIS-OD  
(Centre d'Orsay)

Pour obtenir le titre de Docteur 1<sup>er</sup> Cycle

SPECIALITÉ : Physique des Solides

par **Lucien HENRY**

Objet de la thèse : Etude d'un dispositif de filtrage des vitesses par un  
magnétique adaptable à un microscope électronique à haute tension.

Soutenue le 11/11/64 devant la Commission d'Examen

Jury proposé : **MM. J. FRIEDEL** Président  
**M. CASTAING**  
**A. GUINIER** Examinateurs  
**L. HENRY**

## RECHERCHES SUR L'OPTIQUE ÉLECTRONIQUE

Par M. COTTE

### INTRODUCTION

Ce travail comprend quelques recherches théoriques sur l'optique électronique. Cette partie de la physique a fait de rapides progrès depuis quelques années. Son développement a été inspiré et guidé par la synthèse qu'a donnée Hamilton de l'optique géométrique et de la mécanique analytique, et il s'est produit justement après que M. Louis de Broglie, par la découverte de la mécanique ondulatoire, en a eu montré la fécondité. Les résultats essentiels de l'optique électronique théorique ont été obtenus par Busch <sup>(1)</sup>, Scherzer <sup>(2)</sup> et Glaser <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup>.

Depuis, de nombreux travaux, particulièrement à l'étranger, ont contribué au développement théorique et expérimental d'une branche de la physique dont les applications sont extrêmement nombreuses <sup>(5)</sup>.

<sup>(1)</sup> H. BUSCH. *Physik. Z.*, **23** (1922), 438; *Ann. Physik.*, **81** (1926), 974; **23** (1937), 11.

<sup>(2)</sup> O. SCHERZER. *Z. Physik.*, **80** (1933), 193; **82** (1933), 697; **101** (1936), 593.

<sup>(3)</sup> W. GLASER. *Z. Physik.*, **80** (1933), 451; **81** (1933), 649; **83** (1933), 104; **97** (1935), 177; *Ann. Physik.*, **18** (1933), 557.

<sup>(4)</sup> P. FENK et W. GLASER. *Z. Physik.*, **102** (1936), 603.

<sup>(5)</sup> On pourra se reporter aux ouvrages de E. BRÜCHE et O. SCHERZER *Geometrische Elektronenoptik*, Springer, Berlin (1934); BRÜCHE et HESSEBERG. *Geometrische Elektronenoptik* (Ergebnisse der Exakten Naturwissenschaft, **15**, Springer (1936), 365-421); H. BUSCH et BRÜCHE. *Beiträge zur Elektronenoptik*, A. Barth, Leipzig (1937).

# COMPTES RENDUS DU PREMIER CONGRÈS INTERNATIONAL DE MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE

PARIS, 14-22 septembre 1950

## PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONGRESS OF ELECTRON MICROSCOPY

[Communication 22].

### POTENTIEL ET CHAMP D'UNE ÉLECTRODE ÉPAISSE PERCÉE D'UNE OUVERTURE ELLIPTIQUE

M. COTTE

Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

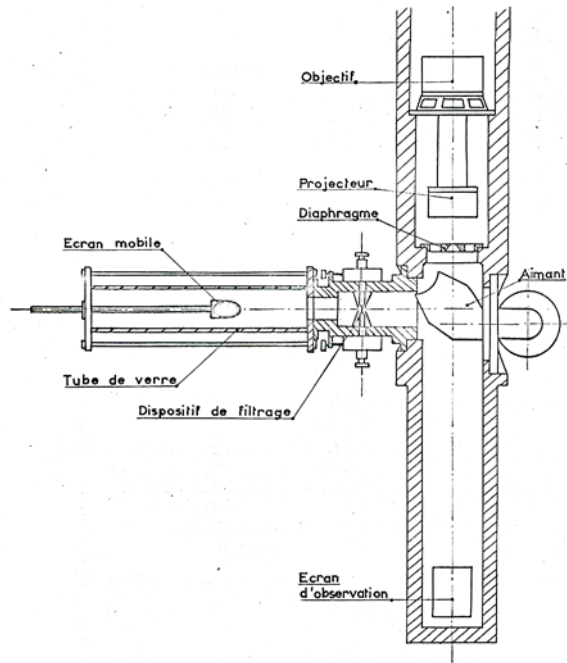
[Communication 50].

### SUR L'EXPLORATION ET L'ANALYSE ÉLÉMENTAIRE D'UN ÉCHANTILLON PAR UNE SONDE ÉLECTRONIQUE

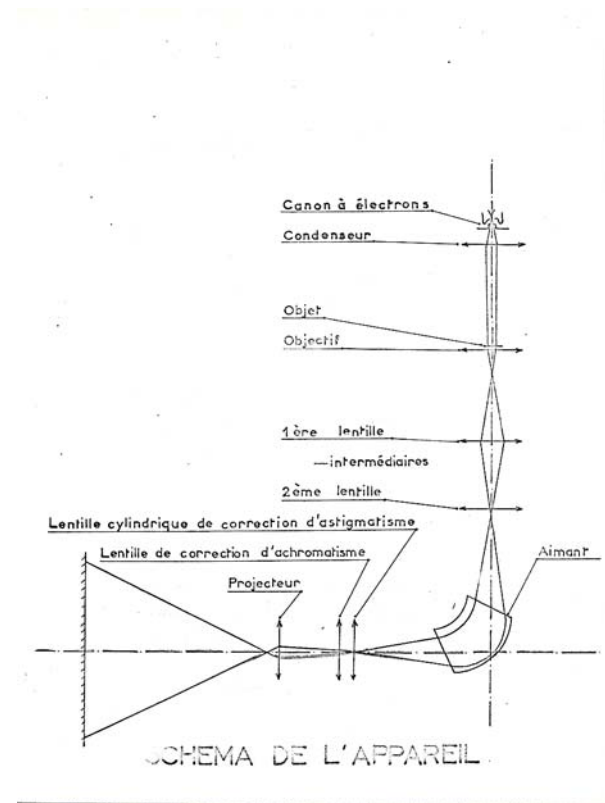
R. CASTAING et A. GUINIER,  
O. N. E. R. A., Université de Paris.

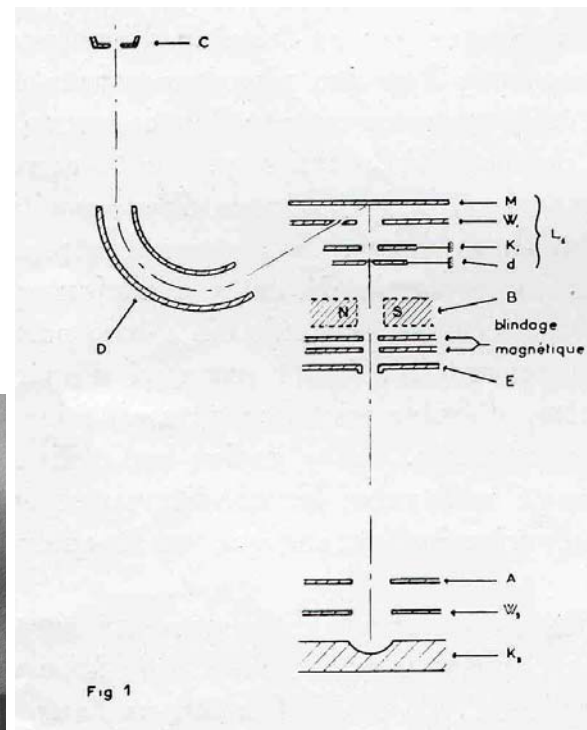
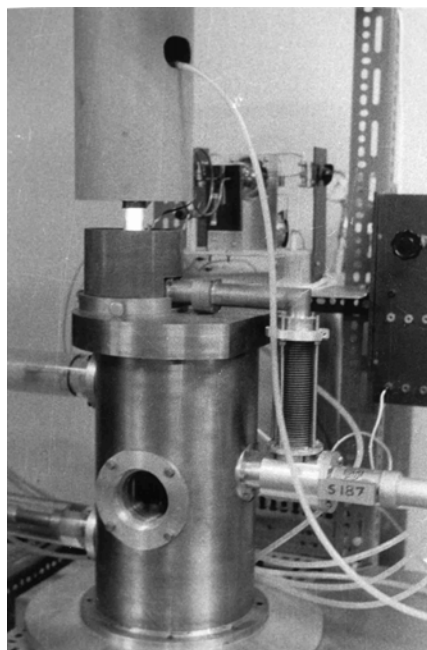
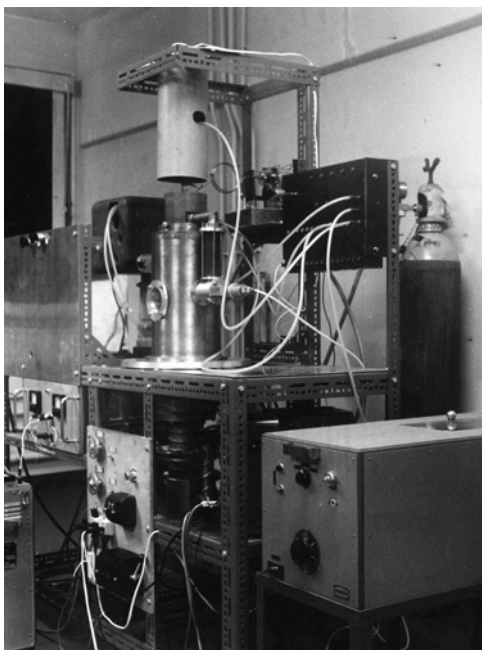
# Vérification expérimentale de la théorie de Cotte (1957-1958)

## Appareil d'Hennequin



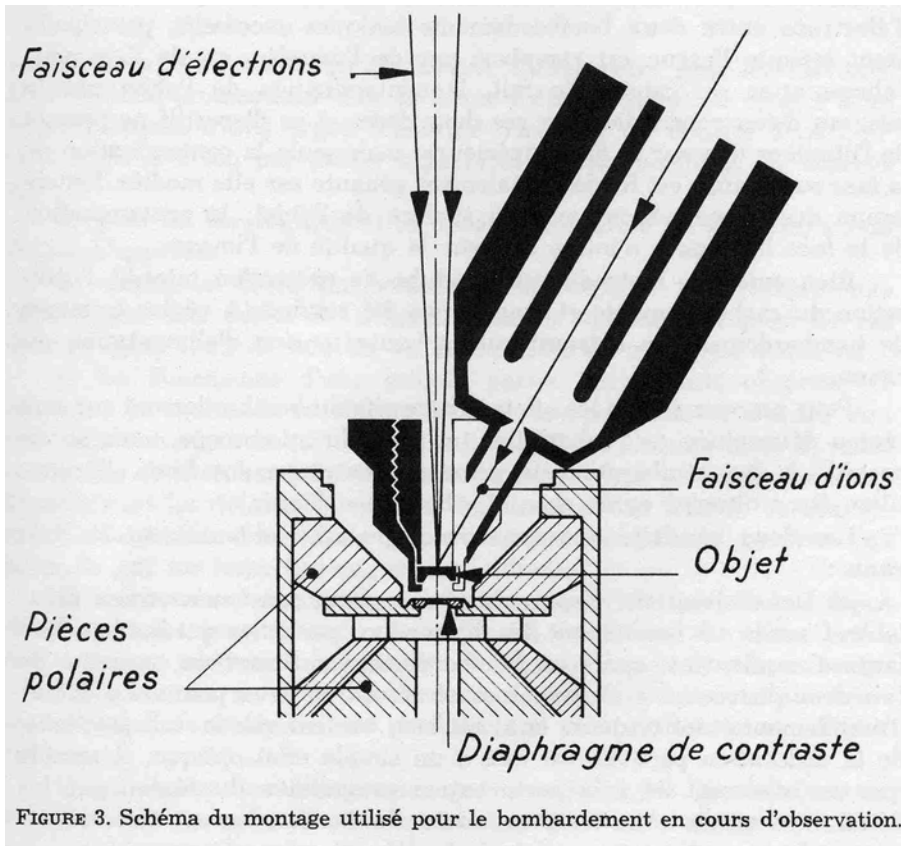
MONTAGE D'ETUDE



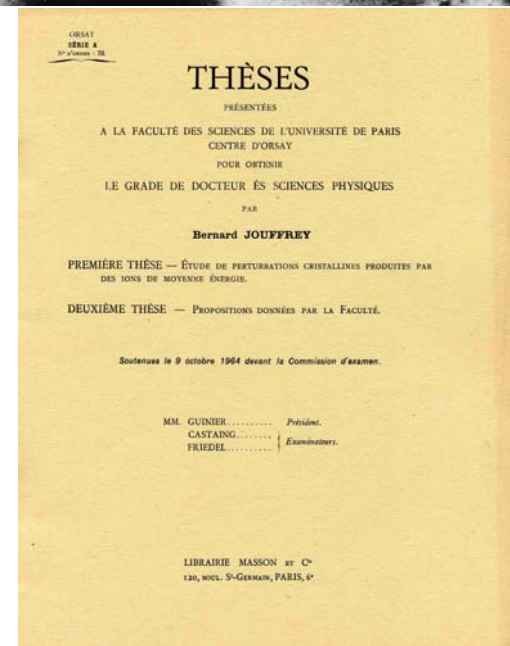


PHYSIQUE DES MÉTAUX. — *Sur les possibilités d'analyse locale d'un échantillon par utilisation de son émission ionique secondaire.* Note (\*) de MM. RAYMOND CASTAING, BERNARD JOUFFREY et GEORGES SLODZIAN, présentée par M. Gaston Dupouy.

Le bombardement d'un échantillon par un faisceau d'ions primaires entraîne notamment l'émission d'ions secondaires caractéristiques de la région bombardée. Ce phénomène peut servir de base à une méthode d'analyse élémentaire permettant d'obtenir automatiquement la carte de distribution des divers éléments qui constituent l'échantillon.



Application de la microsonde  
 R. Castaing, J. Descamps  
 3 couches d'Ar dans couche de 20 nm d'or



# Congrès de Lille, 1988



# Thèse de Lucien Henry,

[Communication 16].

## SUR LES PERTES CHROMATIQUES DES ÉLECTRONS AU PASSAGE A TRAVERS LA MATIERE

G. MÖLLENSTEDT  
Süddeutsche Laboratorien, Munchach,  
& Physikalisches  
Institut der Universität Tübingen.

Dans le microscope électronique, l'objet est traversé par des électrons de grande vitesse. Un aperçu précis du processus de la diffusion est important pour la microscopie électronique. Les expériences de G. RUTHEMANN [1] pour les tensions de 4 à 8 kV et les recherches de J. HILLIER [2] pour les tensions du microscope électronique ont donné des renseignements importants concernant la diminution d'énergie par le passage des électrons à travers de minces feuilles métalliques. Il se posait encore des questions auxquelles l'analyseur de vitesse à haute résolution mis au point récemment [3] a donné de claires réponses.

1. Pouvoir séparateur obtenu jusqu'ici par l'analyseur de vitesse électrostatique. — La figure 1 montre le fonctionnement de l'analyseur. Une fente étroite diaphragme un faisceau d'électrons parallèle à l'axe optique

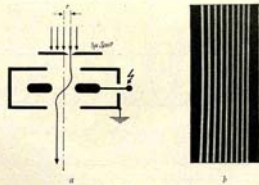


FIG. 1.

qui tombe dans la région très active chromatiquement d'une lentille cylindrique électrostatique et sort de la lentille à nouveau parallèle à l'axe (marche des rayons à l'infini).

De petites variations de la tension d'accélération, pour le maintien de la tension constante de freinage de l'électrode médiane de la lentille de

## II. PROPRIÉTÉS DE FOCALISATION AU PREMIER ORDRE D'UN SIMPLE PRISME MAGNÉTIQUE

Considérons d'abord le cas élémentaire d'une simple déviation par un prisme magnétique ; pour fixer les idées nous nous intéresserons aux électrons mais les mêmes conclusions s'appliquent à n'importe quel type de particules chargées.

Supposons qu'un aimant produise une induction magnétique uniforme  $\vec{B}$  dans une région d'espace libre limitée par un dièdre dont l'angle d'ouverture est  $45^\circ$  (fig. 18.1) ; le vecteur induction  $\vec{B}$  est perpendiculaire au plan de la Figure. Un électron dont la trajectoire initiale  $Z_0Z_0$  dans la région libre de champ située à l'extérieur de l'aimant fait un angle de  $45^\circ$  avec la face d'entrée est dévié dans l'entrefer suivant une trajectoire circulaire ; si l'induction a la valeur correcte, la déviation totale est  $90^\circ$  et l'électron quitte l'entrefer suivant la direction  $Z_1Z_1$  de la normale à la face de sortie.

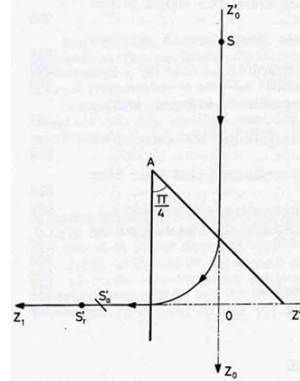


FIGURE 18.1. Déflexion par un prisme magnétique. Cas général.

radial et une focale axiale en  $S'_1$  située dans le plan radial.

La distance entre les deux focales dépend de la position de la source  $S$  ; dans le cas que nous considérons elle peut être nulle pour deux positions diffé-

## 1. Conditions stigmatiques du premier ordre

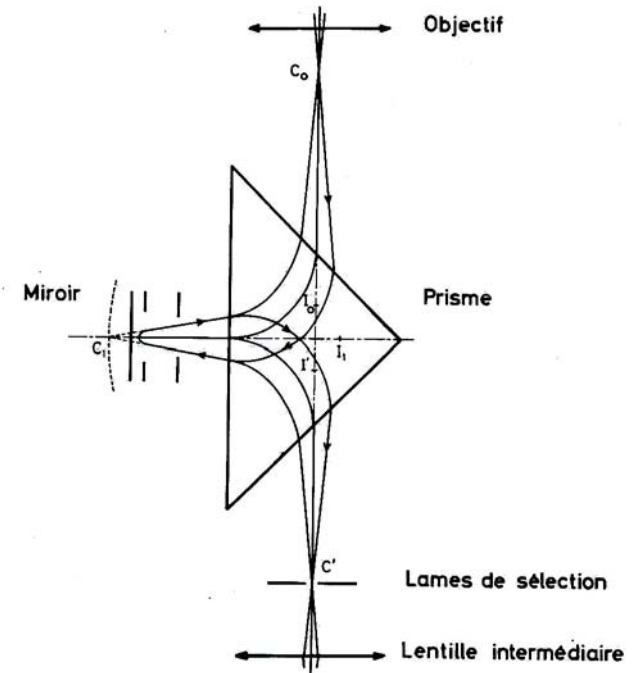
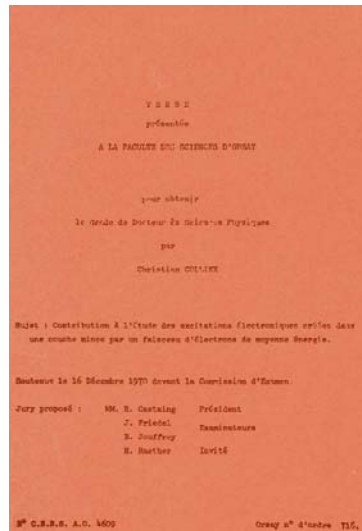
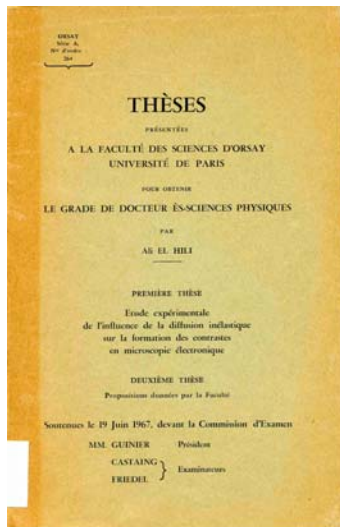
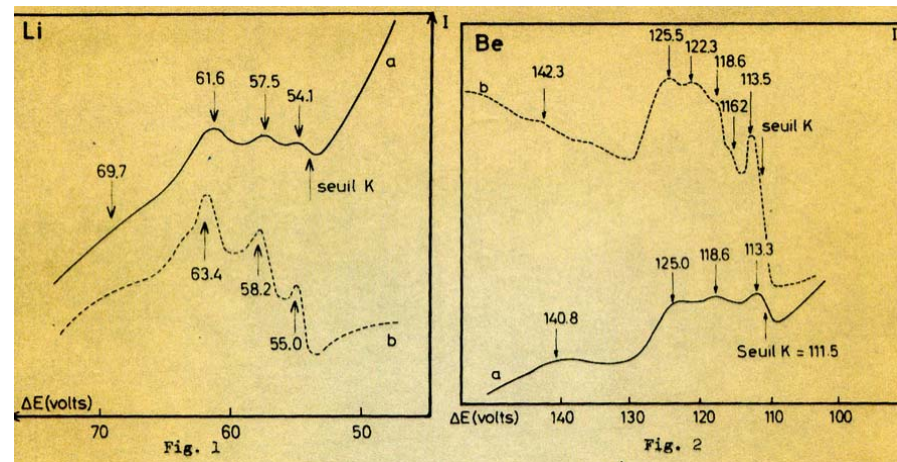
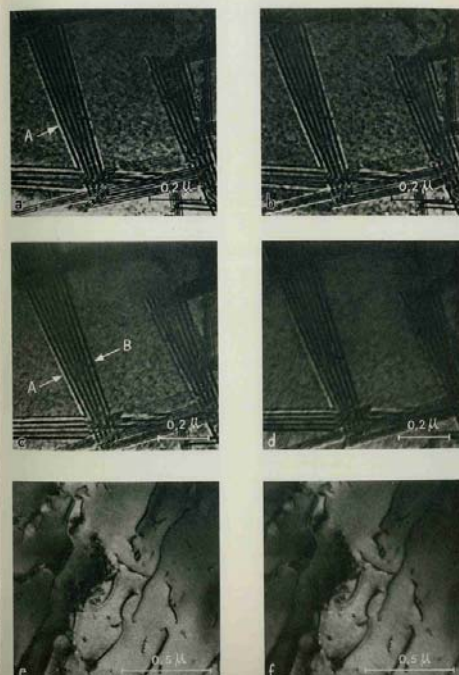
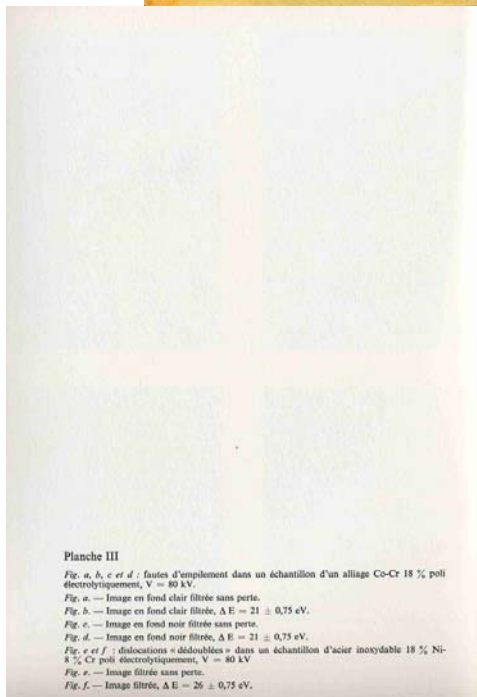


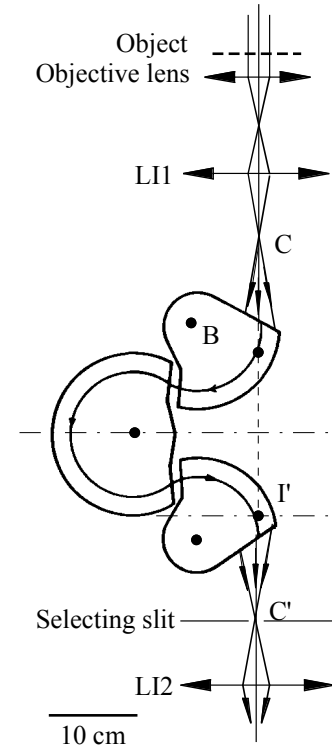
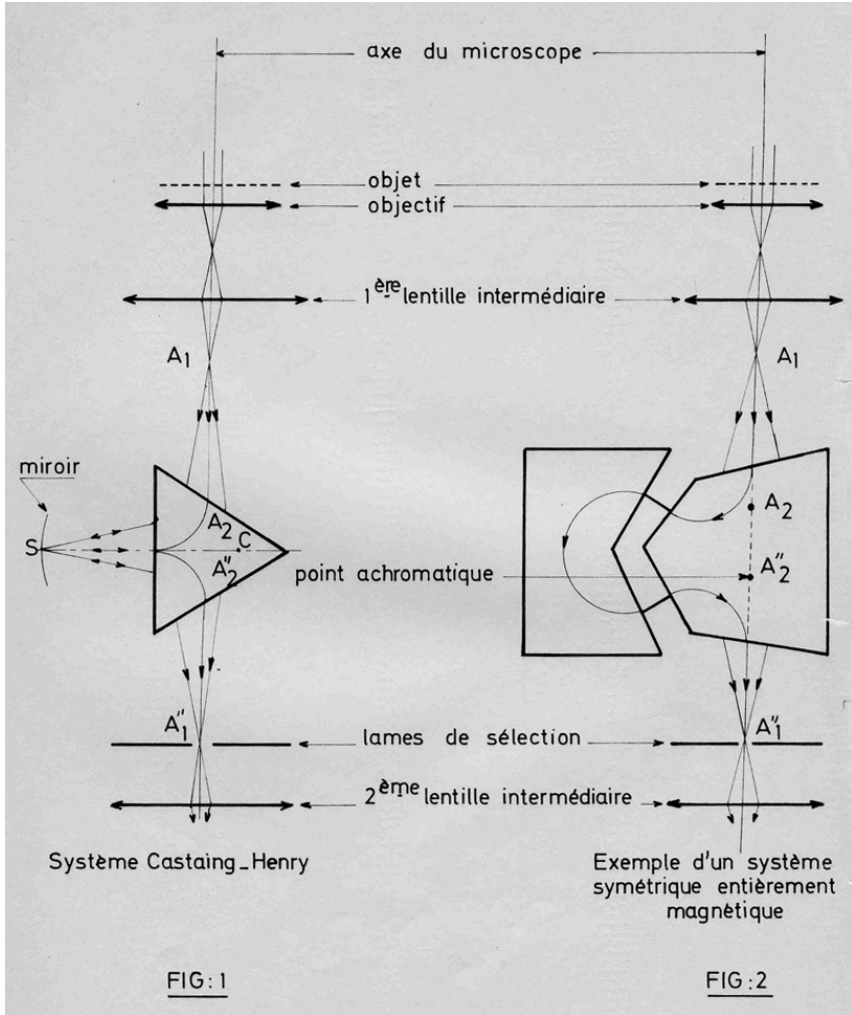
FIGURE 18.5. Ensemble dispersif du microscope à filtrage d'énergie.

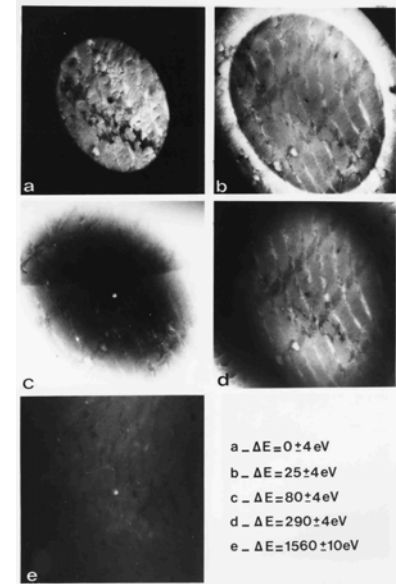
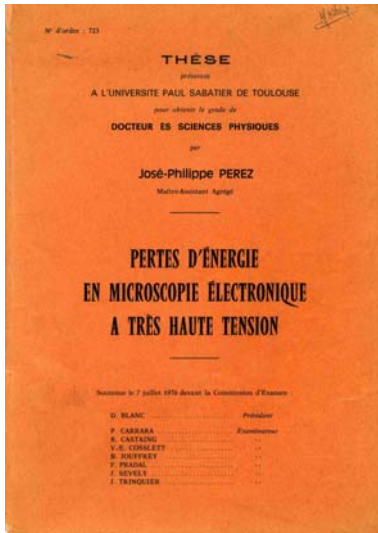


Cliché 1 : Le porte-objet inclinable refroidi à l'hélium liquide en place sur le microscope



# \_filtre purement magnétique de Senoussi





## La suite des filtres...

- $\Omega 3$ , 1 MeV, (G. Zanchi, J.Sèvely, J.Ph. Pérez, B. Jouffrey, 1975-1977)
- $\Omega 4$ , (H.Rose, E. Plies, 1974)
- $\Omega$ -A type, FHI type (S. Lanio et al. 1986)
- $\Omega$ -B type, (K. Tsuno et al. 1998)
- $\alpha$ -A type, (J.Ph Pérez et al. 1984)
- GIF, (O. Krivanek, A. Gubbens, N. Dellby, 1991)
- $\alpha$ -B type, (S. Taya et al. 1996)
- Mandoline (S. Uhleman, H. Rose, 1994)
- 3D type, (R. Degenhardt, 1992)
- $\phi$  type (C. Hébert-Souche, B. Jouffrey, 1996)
- S type, A,  $\infty$  (K.Tsuno, E. Munro, J. Rouse, 1999)
- $\Omega$  Postcolumn (K. Kimoto, T. Aoyama, 1998)
- W type, (H. Rose, 2000)

## Comparison EDX-EELS

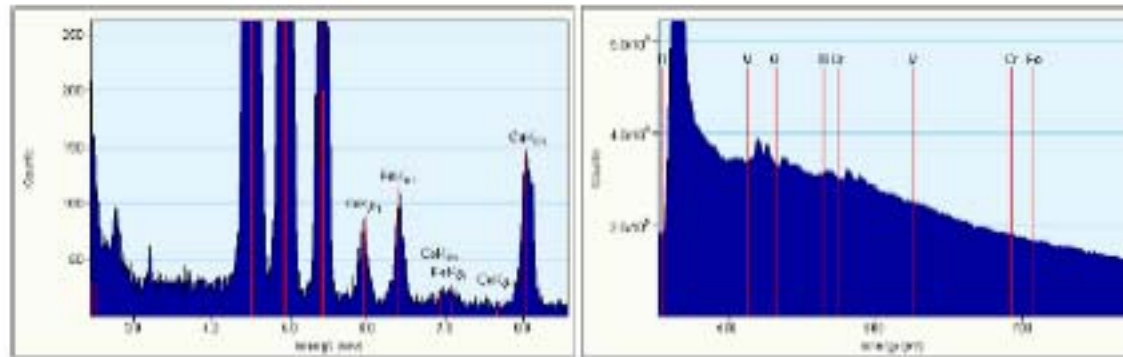


Figure 2 : EDS (left) and EELS spectra of a titanium alloy (0.5%Fe,3%Cr,5%V,5%Mo), thickness  $t \sim 0.35 \lambda$ , 20 s exposure time, 200kV, 20kcps count rate in EDS.

## Comparison of the detection limits of EDS and EELS in S/TEM

H. Sebastian von Harrach<sup>1</sup>, Dmitri O. Klenov<sup>1</sup>, Bert Freitag<sup>1</sup>, Peter Schlossmacher<sup>1</sup>, Peter C. Collins<sup>2</sup>, Hamish L. Fraser<sup>3</sup>

<sup>1</sup>FEI Company, Achtseweg Noord 5, 5600 KA Eindhoven, The Netherlands

<sup>2</sup>Quad City Manufacturing Laboratory, Rock Island, IL 61201

<sup>3</sup>Department of Materials Science and Engineering, Ohio State University, OH 43210



## REMERCIEMENTS de Monsieur R. CASTAING

Monsieur le Président,  
Mes Amis,

*Lorsque Georges Stodzian, il y a quelques mois, est venu me faire part, avec bien des précautions de langage, du projet qui était en train de se nouer, j'ai été assailli par bien des sentiments contraires : beaucoup d'émotion et de gratitude devant une telle marque d'amitié – j'oserai dire d'affection –, mais aussi un certain désarroi à la pensée que j'allais avoir à assumer publiquement une situation d'académicien que je n'ai pas encore pleinement surmontée ; beaucoup d'inquiétude enfin car je voyais se profiler l'instant où la tradition allait m'obliger à parler de moi en essayant de dégager un fil directeur d'une existence que j'ai en fait vécue au jour le jour.*

*Aujourd'hui, seule subsiste la gratitude ; celle que j'éprouve tout d'abord envers ceux qui ont pris en mains l'organisation de cette fête : Hervé Bibring, le compagnon de mes débuts à l'ONERA ; mes tout premiers élèves, Georges Stodzian et Bernard Jouffrey ; Jean Philibert et Roland Tixier, pionniers des applications métallurgiques de la microsonde ; Pierre Galle qui a ouvert à cet appareil le domaine de la biologie ; l'Association Nationale de la Recherche Technique, qui a tant fait depuis bien des années, pour la défense et l'illustration des méthodes analytiques que nous avons développées et que je suis heureux de remercier en la personne de Philippe de la Roussière. Bien qu'ils m'aient soigneusement tenu à l'écart de ce complot, je sais toute la peine que les organisateurs se sont donnée pour m'apporter ce témoignage.*

*Je voudrais dire aussi à l'artiste qui a dessiné les ornements de cette épée, Monsieur Chauvet, figure légendaire de l'ONERA, vétéran de la campagne de Normandie,*



