

## Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- [Le Conservatoire numérique](#) communément appelé [le Cnum](#) constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre ([www.eclydre.fr](http://www.eclydre.fr)).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - https://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

<b>NOTICE DE LA REVUE</b>	
<b>Auteur(s) ou collectivité(s)</b>	<b>Auteur collectif - Revue</b>
<b>Titre</b>	<b>L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale</b>
<b>Adresse</b>	<b>Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1949-2003</b>
<b>Collation</b>	<b>167 vol.</b>
<b>Nombre de volumes</b>	<b>167</b>
<b>Cote</b>	<b>INDNAT</b>
<b>Sujet(s)</b>	<b>Industrie</b>
<b>Note</b>	<b>Numérisation effectuée grâce au prêt de la collection complète accordé par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale (S.E.I.N.)</b>
<b>Notice complète</b>	<a href="https://www.sudoc.fr/039224155">https://www.sudoc.fr/039224155</a>
<b>Permalien</b>	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT">https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT</a>
<b>LISTE DES VOLUMES</b>	
	<a href="#">1949, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1949, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1949, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1949, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1949, n° 4 bis</a>
	<a href="#">1950, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1950, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1950, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1950, n° 4 bis</a>
	<a href="#">1951, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1951, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1951, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1951, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1952, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1952, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1952, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1952, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1952, n° spécial</a>
	<a href="#">1953, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1953, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1953, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1953, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1953, n° spécial</a>
	<a href="#">1954, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1954, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1954, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1954, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1955, n° 1 (janv.-mars)</a>

	<a href="#">1955, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1955, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1955, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1956, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1956, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1956, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1956, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1957, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1957, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1957, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1957, n° spécial (1956-1957)</a>
	<a href="#">1958, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1958, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1958 n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1958, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1959, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1959, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1959 n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1959, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1960, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1960, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1960, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1960, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1961, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1961, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1961, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1961, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1962, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1962, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1962, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1962, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1963, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1963, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1963, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1963, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1964, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1964, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1964, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1964, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1965, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1965, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1965, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1965, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1966, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1966, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1966, n° 3 (juil.-sept.)</a>
	<a href="#">1966, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1967, n° 1 (janv.-mars)</a>
	<a href="#">1967, n° 2 (avril-juin)</a>
	<a href="#">1967, n° 3 (juil.-sept)</a>

	<a href="#">1967, n° 4 (oct.-déc.)</a>
	<a href="#">1968, n° 1</a>
	<a href="#">1968, n° 2</a>
	<a href="#">1968, n° 3</a>
	<a href="#">1968, n° 4</a>
	<a href="#">1969, n° 1 (janv.-mars)</a>
<b>VOLUME TÉLÉCHARGÉ</b>	<a href="#">1969, n° 2</a>
	<a href="#">1969, n° 3</a>
	<a href="#">1969, n° 4</a>
	<a href="#">1970, n° 1</a>
	<a href="#">1970, n° 2</a>
	<a href="#">1970, n° 3</a>
	<a href="#">1970, n° 4</a>
	<a href="#">1971, n° 1</a>
	<a href="#">1971, n° 2</a>
	<a href="#">1971, n° 4</a>
	<a href="#">1972, n° 1</a>
	<a href="#">1972, n° 2</a>
	<a href="#">1972, n° 3</a>
	<a href="#">1972, n° 4</a>
	<a href="#">1973, n° 1</a>
	<a href="#">1973, n° 2</a>
	<a href="#">1973, n° 3</a>
	<a href="#">1973, n° 4</a>
	<a href="#">1974, n° 1</a>
	<a href="#">1974, n° 2</a>
	<a href="#">1974, n° 3</a>
	<a href="#">1974, n° 4</a>
	<a href="#">1975, n° 1</a>
	<a href="#">1975, n° 2</a>
	<a href="#">1975, n° 3</a>
	<a href="#">1975, n° 4</a>
	<a href="#">1976, n° 1</a>
	<a href="#">1976, n° 2</a>
	<a href="#">1976, n° 3</a>
	<a href="#">1976, n° 4</a>
	<a href="#">1977, n° 1</a>
	<a href="#">1977, n° 2</a>
	<a href="#">1977, n° 3</a>
	<a href="#">1977, n° 4</a>
	<a href="#">1978, n° 1</a>
	<a href="#">1978, n° 2</a>
	<a href="#">1978, n° 3</a>
	<a href="#">1978, n° 4</a>
	<a href="#">1979, n° 1</a>
	<a href="#">1979, n° 2</a>
	<a href="#">1979, n° 3</a>
	<a href="#">1979, n° 4</a>
	<a href="#">1980, n° 1</a>
	<a href="#">1982, n° spécial</a>

	<a href="#">1983, n° 1</a>
	<a href="#">1983, n° 3-4</a>
	<a href="#">1983, n° 3-4</a>
	<a href="#">1984, n° 1 (1er semestre)</a>
	<a href="#">1984, n° 2</a>
	<a href="#">1985, n° 1</a>
	<a href="#">1985, n° 2</a>
	<a href="#">1986, n° 1</a>
	<a href="#">1986, n° 2</a>
	<a href="#">1987, n° 1</a>
	<a href="#">1987, n° 2</a>
	<a href="#">1988, n° 1</a>
	<a href="#">1988, n° 2</a>
	<a href="#">1989</a>
	<a href="#">1990</a>
	<a href="#">1991</a>
	<a href="#">1992</a>
	<a href="#">1993, n° 1 (1er semestre)</a>
	<a href="#">1993, n° 2 (2eme semestre)</a>
	<a href="#">1994, n° 1 (1er semestre)</a>
	<a href="#">1994, n° 2 (2eme semestre)</a>
	<a href="#">1995, n° 1 (1er semestre)</a>
	<a href="#">1995, n° 2 (2eme semestre)</a>
	<a href="#">1996, n° 1 (1er semestre)</a>
	<a href="#">1997, n° 1 (1er semestre)</a>
	<a href="#">1997, n°2 (2e semestre) + 1998, n°1 (1er semestre)</a>
	<a href="#">1998, n° 4 (4e trimestre)</a>
	<a href="#">1999, n° 2 (2e trimestre)</a>
	<a href="#">1999, n° 3 (3e trimestre)</a>
	<a href="#">1999, n° 4 (4e trimestre)</a>
	<a href="#">2000, n° 1 (1er trimestre)</a>
	<a href="#">2000, n° 2 (2e trimestre)</a>
	<a href="#">2000, n° 3 (3e trimestre)</a>
	<a href="#">2000, n° 4 (4e trimestre)</a>
	<a href="#">2001, n° 1 (1er trimestre)</a>
	<a href="#">2001, n° 2-3 (2e et 3e trimestres)</a>
	<a href="#">2001, n°4 (4e trimestre) et 2002, n°1 (1er trimestre)</a>
	<a href="#">2002, n° 2 (décembre)</a>
	<a href="#">2003 (décembre)</a>

<b>NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ</b>	
<b>Titre</b>	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
<b>Volume</b>	<a href="#">1969, n° 2</a>
<b>Adresse</b>	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1969

<b>Collation</b>	<b>1 vol.(59 p.) : ill. ; 27 cm</b>
<b>Nombre de vues</b>	<b>64</b>
<b>Cote</b>	<b>INDNAT (87)</b>
<b>Sujet(s)</b>	<b>Industrie</b>
<b>Thématique(s)</b>	<b>Généralités scientifiques et vulgarisation</b>
<b>Typologie</b>	<b>Revue</b>
<b>Langue</b>	<b>Français</b>
<b>Date de mise en ligne</b>	<b>03/09/2025</b>
<b>Date de génération du PDF</b>	<b>08/09/2025</b>
<b>Recherche plein texte</b>	<b>Non disponible</b>
<b>Permalien</b>	<a href="https://cnum.cnam.fr/redirect?INDNAT.87">https://cnum.cnam.fr/redirect?INDNAT.87</a>

## Note d'introduction à [l'Industrie nationale \(1947-2003\)](#)

---

[L'Industrie nationale](#) prend, de 1947 à 2003, la suite du [Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publié de 1802 à 1943 et que l'on trouve également numérisé sur le CNUM. Cette notice est destinée à donner un éclairage sur sa création et son évolution ; pour la présentation générale de la Société d'encouragement, on se reportera à la [notice publiée en 2012](#) : « [Pour en savoir plus](#) »

[Une publication indispensable pour une société savante](#)

La Société, aux lendemains du conflit, fait paraître dans un premier temps, en 1948, des [Comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#), publication trimestrielle de petit format résumant ses activités durant l'année sociale 1947-1948. À partir du premier trimestre 1949, elle lance une publication plus complète sous le titre de [L'Industrie nationale. Mémoires et comptes rendus de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale](#).

Cette publication est différente de l'ancien [Bulletin](#) par son format, sa disposition et sa périodicité, trimestrielle là où ce dernier était publié en cahiers mensuels (sauf dans ses dernières années). Elle est surtout moins diversifiée, se limitant à des textes de conférences et à des rapports plus ou moins développés sur les remises de récompenses de la Société.

[Une publication qui reflète les ambitions comme les aléas de la Société d'encouragement](#)

À partir de sa création et jusqu'au début des années 1980, [L'Industrie nationale](#) ambitionne d'être une revue de référence abordant, dans une sélection des conférences qu'elle organise — entre 8 et 10 publiées annuellement —, des thèmes extrêmement divers, allant de la mécanique à la biologie et aux questions commerciales, en passant par la chimie, les différents domaines de la physique ou l'agriculture, mettant l'accent sur de grandes avancées ou de grandes réalisations. Elle bénéficie d'ailleurs entre 1954 et 1966 d'une subvention du CNRS qui témoigne de son importance.

À partir du début des années 1980, pour diverses raisons associées, problèmes financiers, perte de son rayonnement, fin des conférences, remise en question du modèle industriel sur lequel se fondait l'activité de la Société, [L'Industrie nationale](#) devient un organe de communication interne, rendant compte des réunions, publiant les rapports sur les récompenses ainsi que quelques articles à caractère rétrospectif ou historique.

La publication disparaît logiquement en 2003 pour être remplacée par un site Internet de même nom, complété par la suite par une lettre d'information.

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

### *Bibliographie*

Daniel Blouin, Gérard Emptoz, « [220 ans de la Société d'encouragement](#) », Histoire et Innovation, le carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement, en ligne le 25 octobre 2023.

Gérard EMPTOZ, « [Les parcours des présidents de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale des années 1920 à nos jours. Deuxième partie : de la Libération à nos jours](#) », Histoire et Innovation, carnet de recherche de la commission d'histoire de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, en ligne le 26 octobre 2024.

# L'INDUSTRIE NATIONALE

S. E. I. N.  
Bibliothèque

*Comptes rendus et Conférences  
de la Société d'Encouragement  
pour l'Industrie Nationale*

*fondée en 1801  
reconnue d'utilité publique*



Revue trimestrielle  
1969 - N° 2



## SOMMAIRE

---

### TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES.

- **Les progrès de la science et des techniques photographiques**, par P. CLEMENT ..... p. 3
- **Les métaux réfractaires et leurs alliages**, par J.-P. LANGERON ..... p. 17

### ACTIVITES DE LA SOCIETE D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

#### **Rapports sur les Prix et Médailles décernés au cours de la séance du 21 septembre 1968.**

- Médailles de Vermeil ..... p. 43
- Médailles d'Argent ..... p. 50
- Médailles de Bronze ..... p. 58

**Publication sous la direction de M. Jacques TREFOUËL**

*Membre de l'Institut, Président*

Les textes paraissant dans *L'Industrie Nationale* n'engagent pas la responsabilité de la Société d'Encouragement quant aux opinions exprimées par leurs auteurs.

Abonnement annuel : 28 F      le n° : 7,50 F      C.C.P. Paris, n° 618-48

*TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES*

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

*Les progrès de la science  
et des techniques photographiques \**

P. CLEMENT

*Ingénieur E.P.C.I. - Ingénieur-Docteur  
Directeur des Recherches de la Société KODAK-PATHE*

Le Ministre de l'Intérieur s'est exprimé en ces termes devant l'Assemblée Nationale : « Messieurs, nous croyons aller au-devant des vœux de la Chambre en vous proposant d'acquérir, au nom de l'Etat, la propriété d'une découverte aussi utile qu'inespérée et qu'il importe, dans l'intérêt des Sciences et des Arts,

de pouvoir livrer à la publicité. ... Malheureusement pour les auteurs de cette belle découverte, il leur est impossible d'en faire un objet d'industrie... »

En fait, cette proposition généreuse n'a fait l'objet d'aucun reportage à la Télévision car elle fut faite le 15 juin 1839 à l'instigation de François Arago

---

(\*) Conférence présentée à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, le 12 décembre 1968.

et il s'agissait de la découverte de la Photographie... (Fig. 1).

Un peu plus d'un demi-siècle plus tard, la fabrication des surfaces photosensibles et des équipements correspondants a connu un développement industriel remarquable motivé en particulier

par l'intérêt de la photographie picturale, puis des spectacles cinématographiques. Cette industrie de nature parachimique a progressé par la suite en raison d'une diversification des techniques photographiques dans des domaines que J. N. Niepce et J. M. Daguerre n'avaient sans doute pas soupçonnés.



Fig. 1

LA RECHERCHE DANS L'INDUSTRIE PHOTOGRAPHIQUE.

Il y a déjà longtemps en effet que la photographie n'est plus seulement un

Art iconographique au service des amateurs et du grand public puisqu'elle est devenue une Technique et une Science au service des autres sciences et de toutes les techniques. A ce titre la pho-

tographie a profité des progrès simultanés de la science et de la technologie au cours de ces 50 dernières années et, inversement, elle a contribué à leur développement respectif, grâce en particulier à l'implantation de Laboratoires de Recherches au sein même des grandes entreprises industrielles qui fabriquent des surfaces sensibles. Il est bon de rappeler à ce sujet que ces Industries ont été les premières à réunir et à animer vers 1910 des équipes de chercheurs de disciplines variées, mais complémentaires, qui se sont efforcées, dès leur création, de maintenir une certaine harmonie entre la recherche fondamentale et la recherche exploratoire, la connaissance scientifique étant le meilleur support de l'imagination créatrice, elle-même source de l'invention.

A l'heure actuelle, l'ensemble des industries photographiques internationales représente un chiffre d'affaires évalué à 25 milliards de francs, dont 60 % sont imputables à la seule production des surfaces sensibles.

A notre époque les moyens de recherches, de développements, de production et de promotion commerciale sont considérables. Ces moyens et méthodes industriels :

- ont suscité l'introduction de nouvelles techniques photographiques,
- ont fait progresser les performances des produits photographiques plus traditionnels,
- ont révolutionné les méthodes de fabrication de ces produits sous le double aspect de la qualité et de la productivité,
- ont permis la découverte de nouveaux domaines d'application pour la photographie ou pour les techniques d'enregistrement qui lui sont associées.

A titre d'illustration, ces innovations ont été sanctionnées depuis 50 ans par

l'accord approximatif de 20.000 brevets internationaux, dont 10.000 sont encore en vigueur. Par ailleurs, les recherches exploratoires, dont le caractère inventif est évident, sont de plus en plus inspirées par des recherches fondamentales d'excellent niveau scientifique, et l'on peut estimer entre 100 et 200 le nombre annuel de publications internationales relatives à l'ensemble des disciplines qui constituent la Science photographique du ressort de la chimie, de la physico-chimie ou de la physique.

Ce préambule met l'accent sur l'interpénétration de la recherche de base et de la recherche appliquée dans ce type d'industrie. Je vais tenter maintenant de faire le point sur les procédés photographiques actuels comparés à ceux dont disposaient l'amateur et le savant de l'époque 1900, et essayer de relier ainsi ces progrès à une meilleure compréhension des phénomènes scientifiques qui s'y rattachent. Tel est le but même de cet exposé pour lequel je demande votre indulgence car il sera nécessairement succinct.

#### LES TENDANCES DES TECHNIQUES PHOTOGRAPHIQUES ACTUELLES :

Trois caractéristiques semblent dominer actuellement l'ensemble des techniques photographiques :

- Les procédés photographiques les plus courants sont, depuis la découverte de Daguerre, restés assez traditionnels dans leur essence puisqu'ils restent basés sur la photosensibilité et sur la réduction chimique des halogénures d'argent pour

former une image à base d'argent métallique (tableau). L'invention du principe des traitements chromogènes par Fischer et Siegrist vers 1912 a provoqué une

révolution indiscutable dans notre industrie. Par ailleurs les performances des produits photographiques ont été améliorées à un point tel que les étapes qui

PRINCIPES CHIMIQUES DE LA FORMATION DES IMAGES

Initiateur	Traitement	Nature de l'image	Procédés photographiques correspondants
AgX exposé 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fixateur ou stabilisant</li> <li>Exposition à faible intensité</li> <li>Révélateur, puis fixateur ou stabilisant</li> </ul>	Ag <sup>0</sup> pigmentaire Ag <sup>0</sup> pigmentaire Ag <sup>0</sup> pigmentaire	Procédés par noircissement direct Procédés par photodéveloppement Systèmes Neg./Pos. Noir et Blanc
AgX non exposé 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Révélateur, puis blanchiment et développement après 2ème exposition</li> <li>Révélateur, puis fixateur</li> <li>Oxydant, puis développement après 2ème exposition</li> <li>Fixateur, puis précipitation d'argent</li> <li>Complexant de Ag<sup>+</sup>. Ce complexe produit par migration, une image argentique par une réduction amorcée sur des germes extérieurs à l'émulsion Ag<sup>+</sup> + réducteur + germes</li> </ul>	Ag <sup>0</sup> pigmentaire Ag <sup>0</sup> pigmentaire Ag <sup>0</sup> pigmentaire Ag <sup>0</sup> pigmentaire Ag <sup>0</sup> pigmentaire	Systèmes positifs directs par inversion Systèmes positifs directs par solarisation et effet Herschel Systèmes positifs directs par effet Albert Systèmes positifs directs par photosolubilisation Procédés par transfert chimique
Ag <sup>0</sup> déjà développé (image primaire) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Catalyse la destruction d'un colorant</li> <li>Catalyse le tannage de la gélatine</li> <li>Catalyse la destruction de la gélatine</li> <li>Forme un complexe coloré</li> </ul>	Colorant résiduaire Relief coloriable Relief colorable Colorant	Procédés en couleurs soustractifs par destruction de colorants Procédés en couleurs par blanchiment tannant Procédés en couleurs par solubilisation Procédés en couleurs par virage chimique
Développeur oxydé	Selon la structure chimique : <ul style="list-style-type: none"> <li>réagit sur lui-même (autocopulation)</li> <li>réagit avec un coupleur</li> <li>tanne la gélatine</li> </ul>	Colorant Colorant Relief coloriable	Procédés de renforcement des images Procédés en couleurs soustractifs par couplage Procédés en couleurs par teinture d'un relief Procédés par transfert physique
Développeur non oxydé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agit sur une couche adjacente voilée</li> <li>Diffuse sur une couche adjacente</li> </ul>	Ag <sup>0</sup> pigmentaire ou relief Colorant	Systèmes positifs directs N. & B Procédés en couleurs par transfert d'un colorant développeur

restent encore à franchir sont parfois difficiles à visualiser. Ces caractéristiques concernent notamment la sensibilité des produits photographiques, la qualité des images et les facilités de prise de vue, de traitement ou d'exploitation des images.

— Des procédés « non argentiques » basés sur de nouveaux phénomènes photophysiques ou photochimiques ont pris le relais des anciens procédés qui faisaient eux-mêmes appel à des colloïdes bichromatés ou à des composés diazoïques (ces procédés étant par ailleurs encore très utilisés de nos jours). Par exemple, les composés photoconducteurs tels que le sélénium ou l'oxyde de zinc, ou certains produits organiques ; les colorants photochromes ou photoréductibles, les composés thermochromes, de nouveaux composés diazoïques photodissociables, et des résines photopolymérisables, ont trouvé des applications spécifiques, en particulier dans le domaine de la reprographie, de l'enregist-

rement de signaux, de la photogravure ou des reproductions photomécaniques.

— Dans les deux cas précités, la tendance des techniques photographiques actuelles est de faire appel non seulement à une couche photosensible, mais à des systèmes souvent complexes dans leur conception pour lesquels l'électronique tend à jouer un rôle qui devient prédominant. Ces systèmes ont l'avantage de simplifier en pratique les opérations d'exposition et de traitement, de diminuer au maximum la durée d'accès à l'image enregistrée et d'en faciliter son exploitation. La notion même d'image, prise dans son sens psychophysiologique, disparaît parfois lorsque de tels équipements font appel à une exploration ponctuelle de l'objet à photographier, l'image étant alors codée sur une surface (ou sur un disque ou une bande), sous la forme de signaux analogiques ou digitaux ne pouvant être interprétée qu'après intervention d'un décodeur (fig. 2).

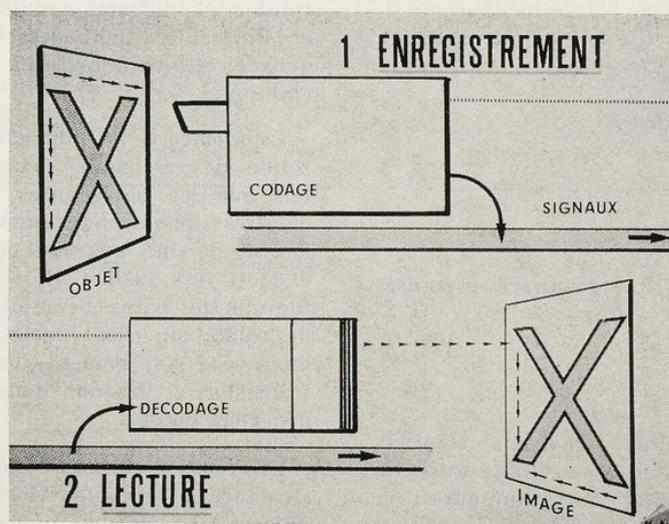


FIG. 2

De tels équipements (magnétoscopes, enregistreurs de faisceaux électroniques, graveurs électroniques, bélinoscopes...), ont modifié les frontières mêmes de la photographie et il convient maintenant d'accepter le terme de « Photographie » dans son sens le plus large de : « Technique physique ou chimique permettant d'enregistrer directement ou indirectement toute radiation électromagnétique pour former une image, un signal ou une trace que l'on peut conserver ». Ce concept concerne non seulement l'enregistrement d'images ou de traces visibles formées par un système optique classique, mais également la formation d'hologrammes formés en lumière cohérente. A cette définition correspondent bien entendu la radiographie, la gammagraphie ou la photoradiographie par l'intermédiaire d'amplificateurs de brillance, la photographie dans l'infrarouge ou l'ultra-violet ; on peut y rattacher également l'enregistrement d'images d'électrons et de neutrons, ou la détection de trajectoires d'ions ou de particules nucléaires, soit directement à l'aide de surfaces sensibles, soit par l'intermédiaire indirect d'équipements tels qu'une chambre à bulles ou à étincelles.

#### PROGRÈS SUR LA SENSIBILITÉ INTRINSÈQUE.

Un des objectifs industriels essentiels a été d'augmenter la sensibilité intrinsèque des produits photographiques : la sensibilité globale maximale des surfaces sensibles a pu être doublée approximativement tous les 10 ans depuis la décou-

verte de la photographie, si bien que la gamme de sensibilité des produits photographiques industriels varie de 1 (pour un papier reprographique) à 10 milliards (pour un film de prise de vue). Les halogénures d'argent dispersés dans un colloïde macromoléculaire tel que la gélatine restent encore les récepteurs les plus sensibles pour la lumière visible ou pour les radiations, bien que des caméras de T.V. ou des amplificateurs de brillance, associés à des enregistreurs de signaux vidéo, par exemple des magnétoscopes, atteignent des performances assez voisines pour la lumière, l'infrarouge ou les rayons X. Ces progrès visant à atteindre des sensibilités très élevées pour des émulsions dites « argentiques » ont été possibles grâce aux progrès de la chimie minérale et à une connaissance plus profonde de la composition chimique et de la structure cristallographique interne ou superficielle des halogénures d'argent tels que les bromiodures ou chlorobromures d'argent. Ces connaissances ont été largement facilitées par l'emploi de techniques comme la microscopie électronique, la diffraction ou fluorescence X et différentes méthodes spectrographiques, électro-chimiques ou même radio-chimiques.

La science de la photochimie à l'état solide des éléments semi-conducteurs, tels que les halogénures d'argent, ou d'autres photoconducteurs, tels que l'oxyde de zinc, a été initiée par Gurney et Mott vers 1936. Cette science constitue une des bases même de la physique du solide qui s'est illustrée ultérieurement par l'avènement des diodes ou transistors à jonction dans le domaine de l'électronique.

Les relations, mieux connues, entre la structure et le comportement photochimique des cristaux, ont ainsi permis d'imaginer de nouvelles méthodes de cristallogénèse mettant en œuvre des

inclusions ou des adsorptions superficielles complexes de traces de différents composés organiques minéraux de très haute pureté, en particulier des dérivés du soufre ou des métaux nobles. Ces oligocomposés ont pour effet d'augmenter le rendement photochimique, de stabiliser les propriétés photographiques et de modifier certaines propriétés de l'image finale. Parmi les 300 millions de composés connus, plus de 100.000 ont fait l'objet d'essais industriels. Grâce à ces méthodes de préparation, on estime à l'heure actuelle que certaines émulsions contiennent des cristaux de sensibilité

exceptionnelle qui détectent quelques quanta seulement d'énergie lumineuse, ce qui n'est donc pas loin de la limite théorique. Cette modification imperceptible de structure électronique et ionique à l'échelle de quelques atomes constitue une mémoire relativement stable à long terme, mais qui est suffisante néanmoins pour que l'effet soit amplifié avec un facteur de plusieurs dizaines de millions, en transformant chaque cristal en argent pigmentaire par apport d'énergie électronique de la part d'un développeur ou d'un réducteur (fig. 3).

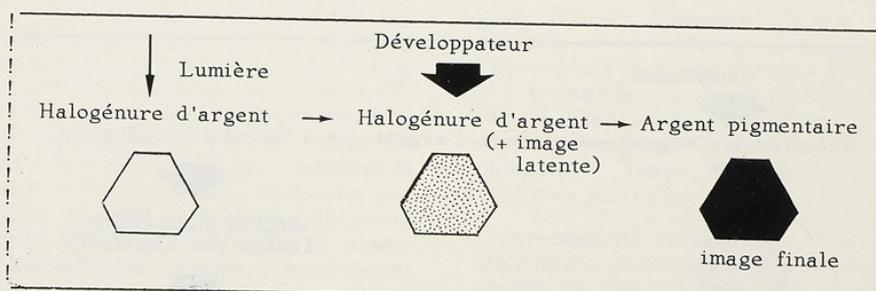
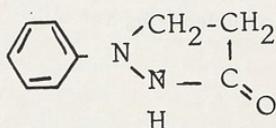


FIG. 3

A quelques variations près, ce principe même du développement d'une ima-

ge latente dans les systèmes négatifs ou inversibles, a peu évolué depuis 150 ans,

un grand nombre de développeurs ayant été proposés. Cependant des formules de révélateurs organiques beaucoup plus efficaces, pour différencier sélectivement les cristaux irradiés, ont été obtenus grâce à la découverte vers 1950 de nouvelles substances organiques développatrices dont certaines combinaisons sont douées de propriétés synergétiques (par exemple réducteurs de la classe des phénidones) :



ou de nouveaux accélérateurs de développement associés à de nouveaux anti-voiles ainsi qu'à des stabilisateurs organiques, tels que les dérivés de la classe des azaindolizines.

Ces durées de traitement des couches sensibles conduisant à des images Noir et Blanc ont en outre été très diminuées, en particulier par l'emploi de certaines techniques de développement qui font appel à des solutions mixtes d'un développeur et d'un complexant des halogénures d'argent ; le complexe formé à partir des grains non exposés peut d'autre part être transféré et réduit en quelques secondes sur une couche adjacente, ce qui donne une image directement positive (procédés Copyrapid, Polaroid, ou Bimat, par exemple (fig. 4).

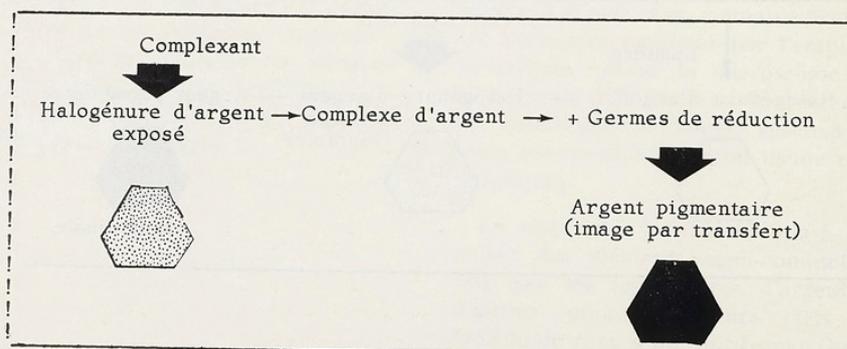


FIG. 4

Le gain potentiel sur la sensibilité intrinsèque des cristaux a une répercussion évidente sur la sensibilité des émulsions pour la photographie ultra-

rapide des couleurs, puisque, ainsi que nous le verrons plus loin, chacune des images monochromes d'un système en couleurs est créée chimiquement par

un choix approprié d'un développeur et d'un coupleur lors de la réduction

sélective des cristaux d'halogénure d'argent exposés (fig. 5).

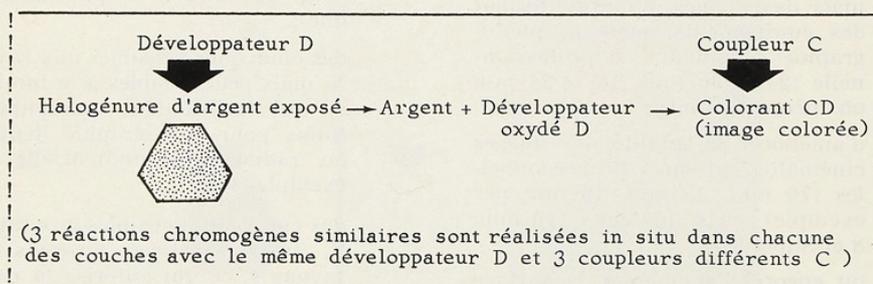


FIG. 5

Cette augmentation de sensibilité des produits photographiques en noir et en couleurs a favorisé ainsi les prises de vue professionnelles en studio dans des conditions d'éclairage moins onéreuses et autorise la photographie ou le cinéma extérieur sous faible éclairage (quelques lux) sans éclairage d'appoint. Elle a permis aux astronomes la découverte de nouvelles galaxies et aux atomistes la découverte de nouveaux corpuscules par la mise au point d'émulsions de grand pouvoir d'arrêt. Par ailleurs, la photographie ultra-instantanée (1 nano-seconde) ou le cinéma à très haute cadence ( $10^7$  images/seconde) ont profité de ces progrès, associés d'ailleurs à la mise au point de sources lumineuses de très haute intensité temporelle ( $10^9$  nits). Enfin, dans le domaine de la radiographie médicale, les doses de radiations X reçues par le patient ont été réduites d'une façon bénéfique pour le même contenu d'informations.

La photographie et la spectrographie dans l'ultra-violet ont suivi cette même course à la sensibilité et en ont profité : une structure particulière de couches sensibles sans gélatine superficielle, imaginée en France, a battu récemment le

record du monde de sensibilité dans l'U.V. dans la région de Schumann jusqu'aux frontières des rayons X (quelques dizaines d'angström). Grâce à ce produit, de nouvelles raies (Lyman) de l'hydrogène ont été découvertes aux U.S.A. dans les réactions thermonucléaires du soleil, et des héliogrammes d'un intérêt scientifique certain ont ainsi été obtenus à partir de spectrographes véhiculés par fusée.

Inversement, cette avance sur la sensibilisation intrinsèque des cristaux a permis de diminuer la dimension granulométrique des éléments photosensibles en conservant le même niveau de sensibilité globale. Le rapport de sensibilité/granularité a ainsi été augmenté de plusieurs dizaines de fois par rapport aux cinq dernières décennies. Ce perfectionnement s'est traduit simultanément par une amélioration de l'effet subjectif de granulation des images photographiques, cinématographiques ou radiographiques. Par ailleurs des nouvelles structures de couches sensibles, moins épaisses et moins diffusantes, ont permis de gagner sur les autres qualités des images au point de vue reproduction des valeurs, netteté, pouvoir résolvant et

capacité d'information. Ces améliorations ont eu pour seconde conséquence :

- d'autoriser une réduction des formats des images, donc du format des équipements, pour la photographie « amateur » et professionnelle (24 × 36 mm, 18 × 24 mm ou même 16 mm) ;
- d'améliorer la qualité des images cinématographiques professionnelles (70 mm, 35 mm, 16 mm par exemple), ou « amateur » (16 mm, 8 et Super 8) ;
- ou encore d'augmenter la surface des écrans des salles de projection ;
- elles ont enfin permis d'augmenter le contenu informatif des photographies aériennes, des radiographies, des hologrammes, des microphotographies telles que les microfilms pour archivage de documents et enregistrements de signaux.

De même la fabrication de micromodules électroniques ou de circuits intégrés à grande échelle (comportant par exemple 300 composants par mm<sup>2</sup>) a été rendue possible par la précision atteinte sur les microphotographies qui servent d'intermédiaire à la gravure. La capacité de stockage des couches photographiques actuelles est telle, que l'on peut envisager d'enregistrer, puis de détecter, par rapport au bruit de fond, plusieurs millions d'unités d'informations binaires par cm<sup>2</sup>.

Ces recherches de base, évoquées plus haut, sur le mécanisme de formation des images latentes, sur la localisation et la stabilité de celles-ci à la surface ou à l'intérieur des cristaux, ont permis d'autre part de mettre au point des émulsions douées de propriétés particulières vis-à-vis de l'intégration des photons et qui se trouvent ainsi bien adaptées à certaines applications photographiques :

- des couches sensibles à la lumière ou aux rayons X, de très grande latitude d'exposition ;

- des émulsions donnant des images directement positives, très utilisées pour la reproduction de documents ou la préparation d'intermédiaire pour reproduction photomécanique ;

- des émulsions sensibles aux rayons X, mais peu sensibles à la lumière, ce qui facilite leur manipulation (films pour radiographie dentaire ou radiographie industrielle par exemple) ;

- des émulsions sensibles aux rayons X, mais inactives vis-à-vis des rayons  $\gamma$ , ce qui autorise la radiographie de pièces radioactives ;

- des émulsions sensibles à la lumière, mais inactives vis-à-vis des radiations et particules ionisantes ;

- des émulsions à noircissement direct de haute sensibilité, dont l'image latente, formée sous forte intensité, est révélée par une seconde exposition uniforme avec ou sans traitement thermique intermédiaire, sans intervention d'un traitement chimique (fig. 6). Ces couches ne nécessitant qu'un photodéveloppement à sec, trouvent des applications croissantes pour des enregistrements oscillographiques à grande vitesse et de haute fréquence (2.000 hertz) dont les traces sont stables et lisibles quelques secondes après l'enregistrement.

#### PROGRÈS SUR LA REPRODUCTION DES COULEURS.

Le second objectif industriel a été de reproduire en couleurs toutes les radiations du spectre visible. Les images en couleurs tendent à dominer actuellement la photographie ou la cinématographie pour amateurs et professionnels, à un point tel d'ailleurs que les reproductions en noir deviennent des cas parti-

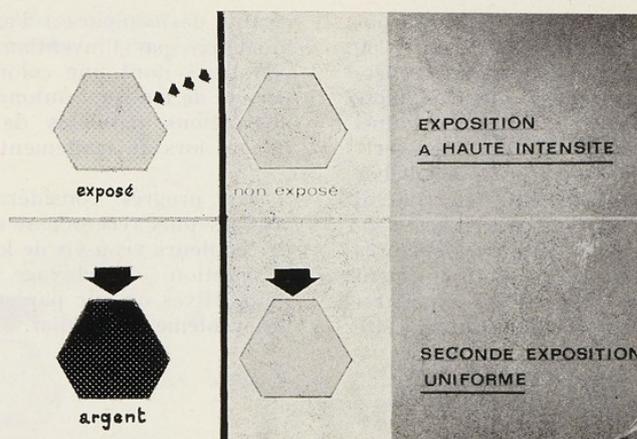


FIG. 6

culiers et que des couleurs arbitraires sont souvent utilisées pour faciliter l'accès aux informations contenues dans une image (par exemple films pour différencier des absorptions ou émissions I.R. ou tirages en couleurs pour différencier les absorptions de rayons X).

Ces procédés photographiques en couleurs ont été essentiellement tributaires du talent des chimistes organiciens qui, aidés par leur arsenal d'équipements analytiques tels que le spectrographe I.R. ou la R.M.N. ont imaginé et synthétisé :

- des colorants particuliers afin d'étendre la sensibilité des halogénures d'argent dans toute la région du spectre,
- des combinaisons organiques complexes pour faire apparaître *in situ* les trois colorants organiques destinés à assurer la formation de l'image en couleurs par synthèse sous-tractive.

L'effet de la sensibilisation spectrale de certains colorants organiques adsorbables par les cristaux d'halogénures d'argent est connu depuis les travaux de Vogel vers 1873, mais, depuis lors, de

nouvelles classes de colorants sensibilisateurs, dérivés des cyanines, merocyanines, oxonols et styryliques ont été explorées en vue de sélectionner les produits qui assurent le maximum d'efficacité de chromatisation dans un domaine spectral déterminé, tout en conservant la sensibilité intrinsèque des cristaux. Les études sur le mécanisme de base de la sensibilisation ont guidé les chimistes qui ont ainsi préparé des dizaines de milliers de colorants sensibilisateurs de structure extrêmement complexe, mais dont quelques centaines d'entre eux seulement sont adoptés en pratique pour atteindre les performances désirées, telles que domaine d'absorption et de sensibilisation, stabilité, etc. Ces colorants ont permis la préparation de couches ortho- et panchromatiques, la photographie dans l'infrarouge jusque vers 1200 nm et bien entendu une sélection judicieuse des couleurs dans les procédés trichromes.

Ces procédés en couleurs sont dominés depuis 1861 par le principe de la synthèse trichrome de Maxwell, mais ont pu être mis au point à la suite d'études systématiques sur la préparation de

trois classes de coupleurs de haute pureté, sélectionnés parmi 10.000 ou 20.000 composés et dont les réactivités respectives doivent être bien calculées pour donner naissance aux colorants jaune, magenta (bleu-rouge) et cyan (bleu-vert) lors du développement des trois couches élémentaires. Ces colorants, en général de la classe des indoanilines et des azométhines doivent présenter des spectres d'absorption respectifs rigoureusement ajustés pour que les couleurs soient re-produites d'une façon satisfaisante. Cette

qualité des couleurs a d'ailleurs été très améliorée par l'invention vers 1945 de coupleurs dont une coloration variable permet de masquer automatiquement les absorptions parasites de chacune des images lors du traitement.

Des progrès considérables ont été réalisés plus récemment sur la stabilité des couleurs vis-à-vis de la lumière et de l'oxydation ; l'archivage des épreuves diapositives ou sur papier ne pose plus de problème particulier.

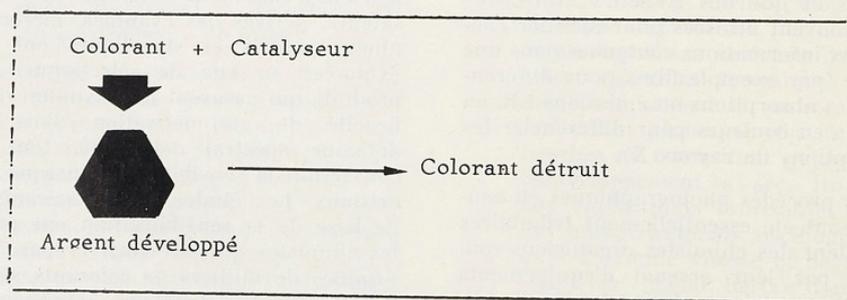


FIG. 7

Il faut mentionner enfin la mise au point industrielle vers 1963 de procédés en couleurs basés :

— sur la destruction catalytique de

colorants azoïques lors du traitement d'une image argentique (procédés Cibachrome) (fig. 7) :

— ou sur le transfert ingénieux de

colorants développeurs, ce qui permet d'obtenir une épreuve en

couleurs en 60 secondes (procédé Polaroid en couleurs (fig. 8).

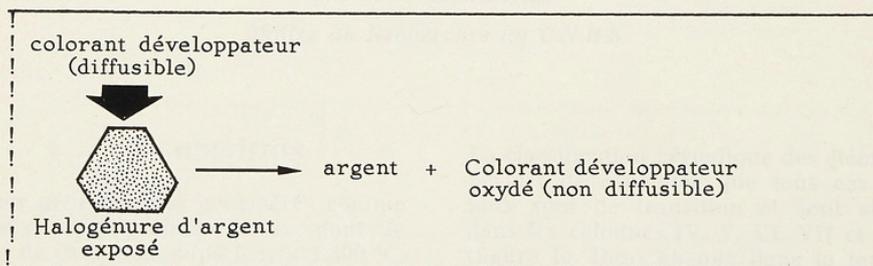


FIG. 8

Permettez-moi de remercier la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale de m'avoir donné le privilège de risquer un instantané sur les Sciences et les Techniques photographiques actuel-

les. L'image que vous en conserverez sera sans doute un peu floue, ce qui prouve bien qu'il reste encore des progrès à accomplir !

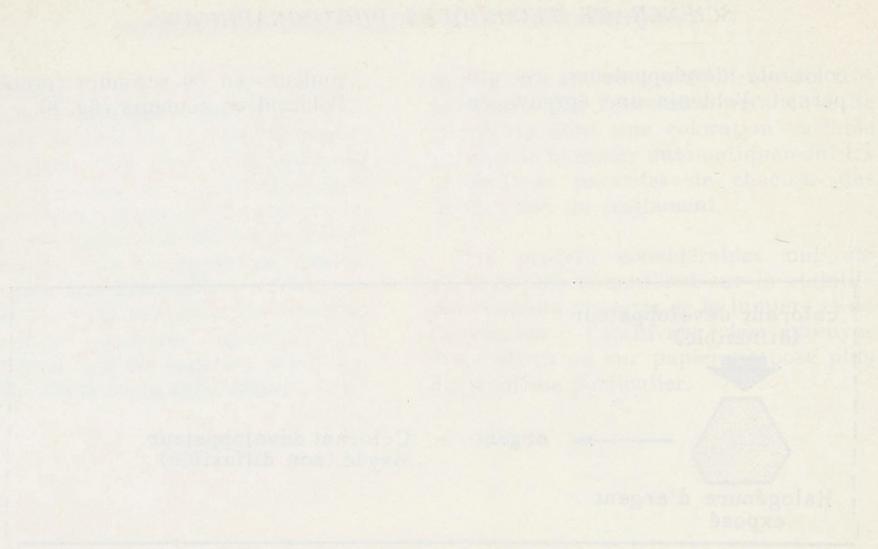


Fig. 1

Les données de la figure 1 sont les suivantes :  
 - Les données de la figure 1 sont les suivantes :  
 - Les données de la figure 1 sont les suivantes :

# Les métaux réfractaires et leurs alliages \*

par J.-P. LANGERON

Maître de Recherches au C.N.R.S.

## I. — INTRODUCTION

Sont généralement considérés comme métaux « réfractaires » ceux dont le point de fusion est supérieur à 1.800 °C.

La classification périodique des éléments permet de constater que tous ces métaux sont de transition et sont situés dans les colonnes IV, V, VI, VII et VIII (figure 1). Dans chaque ligne la tempé-

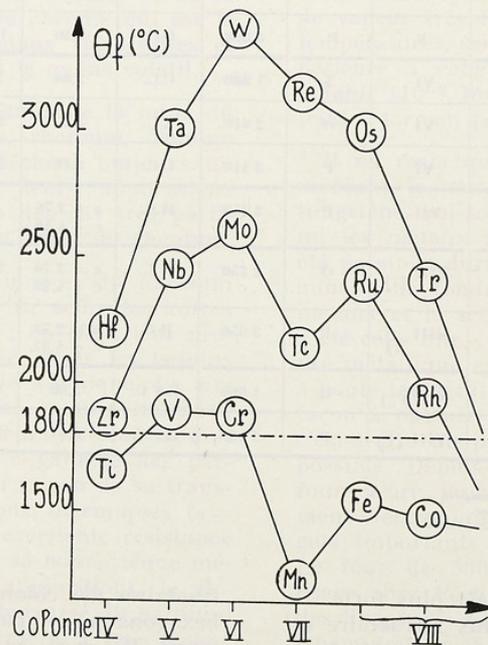


FIG. 1. — Point de fusion des métaux réfractaires en fonction de leur position dans la classification périodique.

\* Conférence prononcée le 20 mars 1969, à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, lors de la XXVII<sup>e</sup> Conférence Bardy.

rature de fusion est maximale pour le métal de la colonne VI et dans chaque colonne elle est d'autant plus élevée que

ment du nombre d'électrons de valence et donc de la colonne dans laquelle ils sont situés (tableau I). Les métaux ré-

Tableau I  
Propriétés des métaux réfractaires

Métal	Colonne	Couche électronique externe	Température de fusion (°C)	Système cristallin	Paramètres (Å)	Densité	Tension de vapeur à 1 000 °C (torr)
Zirconium . . . . .	IV	O	1 850	H.C. (C.C.)	a = 3,23 c = 5,14	6,5	5.10 <sup>-4</sup>
Hafnium . . . . .	IV	P	2 200	H.C. (C.C.)	a = 3,19 c = 5,05	13,2	5.10 <sup>-4</sup>
Vanadium . . . . .	V	N	1 900	C.C.	3,03	6,1	5.10 <sup>-3</sup>
Niobium . . . . .	V	O	2 470	C.C.	3,30	8,57	2.10 <sup>-3</sup>
Tantale . . . . .	V	P	3 000	C.C.	3,30	16,6	3.10 <sup>-10</sup>
Chrome . . . . .	VI	S	1 800	C.C.	2,88	7,14	2
Molybdène . . . . .	VI	O	2 610	C.C.	3,15	10,2	7.10 <sup>-7</sup>
Tungstène . . . . .	VI	P	3 410	C.C.	3,16	19,3	2.10 <sup>-11</sup>
Rhenium . . . . .	VII	P	3 150	H.C.	a = 2,76 c = 4,46	21	7.10 <sup>-10</sup>
Ruthenium . . . . .	VIII (1)	O	2 250	H.C.	a = 2,70 c = 4,28	12,2	5.10 <sup>-4</sup>
Osmium . . . . .	VIII (1)	P	3 050	H.C.	a = 2,73 c = 4,32	22,5	10 <sup>-3</sup>
Rhodium . . . . .	VIII (2)	O	1 960	C.F.C.	3,80	12,44	5.10 <sup>-4</sup>
Iridium . . . . .	VIII (3)	P	2 430	C.F.C.	3,84	22,4	10 <sup>-4</sup>

H.C. : Hexagonal compact.  
C.C. : Cubique centré.  
C.F.C. : Cubique à face centrée.

la masse moléculaire est plus forte. De tous les métaux, le plus réfractaire est donc le tungstène qui fond à 3.410 °C.

Le haut point de fusion de ces métaux ne peut être relié à une structure cristallographique particulière puisqu'ils appartiennent aux trois principaux groupes rencontrés en métallurgie. Le type de réseau dépend essentielle-

ment du nombre d'électrons de valence et donc de la colonne dans laquelle ils sont situés (tableau I). Les métaux réfractaires des colonnes VII et VIII<sub>1</sub> sont hexagonaux compacts. Ceux de la colonne IV sont eux aussi hexagonaux compacts à la basse température, mais ils présentent une transformation allotropique et deviennent cubiques centrés à température élevée. C'est dans ce système que cristallisent les métaux des colonnes V et VI. La structure cubique à faces centrées est enfin celle du rho-

dium et de l'iridium (colonne VIII<sub>2</sub>). Les paramètres cristallins sont sensiblement les mêmes, dans une même colonne, pour les éléments des deux dernières lignes : il s'ensuit que pour les métaux de couche électronique externe P, la densité est sensiblement double de celle des métaux de couche électronique externe O.

Les pressions de vapeur des métaux réfractaires sont, en général, relativement basses, mais elles ne peuvent être reliées à la température de fusion. Nous avons porté dans le tableau I les pressions de vapeur des différents métaux à une même température : 1.800 °C. Celles-ci diminuent dans une même colonne lorsque la masse atomique du métal s'élève. Cet effet est maximum dans la colonne VI où se trouvent à la fois le chrome qui est le plus volatil des métaux réfractaires et le tungstène qui est le moins volatil.

La rareté des métaux de la mine du platine : ruthénium, rhodium, osmium et iridium, en empêchera toujours un emploi intensif et leurs applications resteront limitées à des cas très particuliers. Il en est de même du rhénium.

Le cas du zirconium et du hafnium est souvent dissocié de celui des autres métaux réfractaires ; en effet, leur production a été réalisée pour les besoins exclusifs de l'énergie atomique. Le zirconium a été choisi comme matériau constitutif des réacteurs nucléaires, tout spécialement pour le gainage des barreaux d'uranium, en raison de sa transparence aux neutrons thermiques ( $\sigma = 0,18$  barn), de son excellente résistance à la corrosion et de sa bonne tenue mécanique. Pour ces applications, le zirconium doit être débarrassé du hafnium qui est toujours présent à une teneur voisine de 2 % dans ses minerais. Le hafnium a, en effet, une section efficace très élevée pour les neutrons thermiques ( $\sigma = 105$  barns). La séparation de ces deux éléments, bien que rendue très délicate par suite de la très grande similitude de leurs propriétés chimiques,

est actuellement parfaitement au point. Le hafnium est donc un sous-produit de l'élaboration du zirconium nucléaire. L'aptitude qu'a le hafnium d'absorber les neutrons est mise à profit dans les réacteurs fonctionnant à température élevée : c'est lui qui est utilisé comme barre de contrôle en remplacement du cadmium dont le point de fusion est trop bas. En dépit de la qualification de « stratégique » que lui vaut cet emploi, les quantités actuellement produites devraient laisser un large excédent disponible pour d'autres études et d'autres usages.

Le chrome est lui aussi généralement exclu des matériaux réfractaires. Plus que par son point de fusion relativement bas (1.880 °C), son emploi à haute température est limité par sa tension de vapeur très forte. Elle est, à toutes températures, sensiblement trois fois supérieure à celle du fer ; elle devient notable ( $10^{-2}$  torr) dès 1.400 °C et atteint 7 torr au point de fusion.

Il ne reste que quatre éléments : le niobium, le tantale, le molybdène et le tungstène, qui sont les « 4 grands » parmi les métaux réfractaires. Il n'a pas été possible, durant de très nombreuses années, de fondre industriellement ces métaux et la seule métallurgie possible a été celle dite « des poudres ». La poudre métallique est frittée, puis martelée à haute température, sous hydrogène, de façon à obtenir une densité maximum, c'est-à-dire un produit le plus compact possible. Depuis la mise au point des fours à arc, puis des fours à bombardement électronique, la production de lingots importants est devenue classique. Le four de 500 kW actuellement en usage chez Pechiney permet de fondre des lingots de niobium ou de tantale de 50 cm de long et de 5 à 20 cm de diamètre. Toutes ces fusions sont effectuées sous vide. Un nouveau procédé d'élaboration de ces métaux consiste à les déposer sur un support chauffé : il s'agit d'une réduction par l'hydrogène d'un halogénure gazeux tel que  $\text{MoCl}_5$ . C'est une modification du procédé Van Arkel.

## II. — TRANSITION DUCTILE - FRAGILE

### 1. — DÉFINITION.

Le niobium, le tantale, le molybdène et le tungstène ont tous quatre un réseau cubique centré. La température influe fortement sur les propriétés mécaniques de ces métaux et en particulier sur leur aptitude à la déformation. Pour un métal donné, la limite élastique, c'est-à-dire la charge minimale nécessaire pour obtenir la déformation plastique, augmente lorsque la température s'abaisse (figure 2). Au-dessous d'une certaine température, la rupture se pro-

duit avant toute déformation plastique, la charge nécessaire restant alors sensiblement constante. La réduction de section des éprouvettes devient évidemment nulle : le métal est dit « fragile ». Le passage entre l'état « ductile » de haute température et l'état « fragile » de basse température se produit, pour un métal donné, dans un domaine de température relativement restreint. Il est ainsi possible de définir une température dite de « transition ductile-fragile ». Le tantale reste ductile jusqu'à  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , température d'ébullition de l'azote liquide, alors que le tungstène devient fragile au-dessous de  $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cette température est cependant très

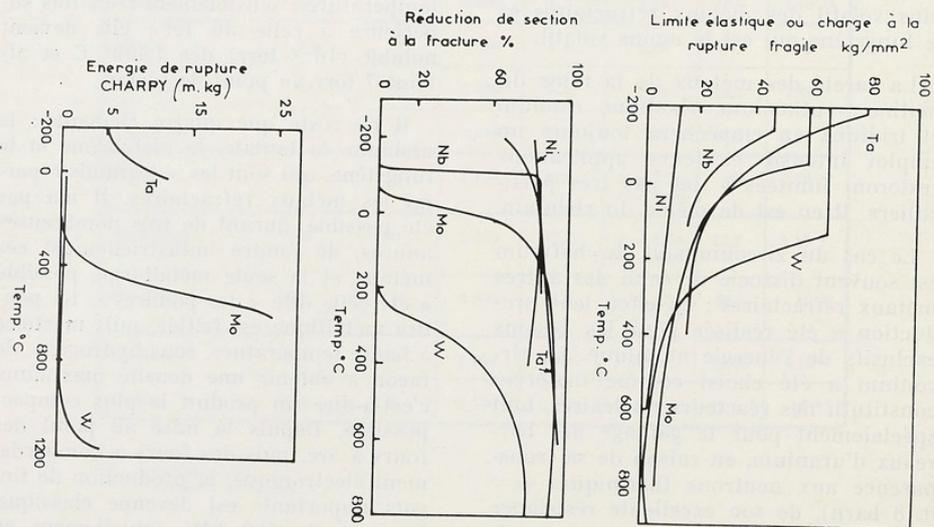


FIG. 2. — Effet de la température sur la limite élastique, la charge à la rupture fragile, la ductilité et l'énergie de rupture (pendule de Charpy avec éprouvettes entaillées) de quelques métaux cubiques centrés.



FIG. 3. — Microfractographie du tungstène : plan de clivage. G.  $\times$  120.



FIG. 4. — Propagation d'une fissure dans un échantillon de molybdène polycristallin. G  $\times$  800.

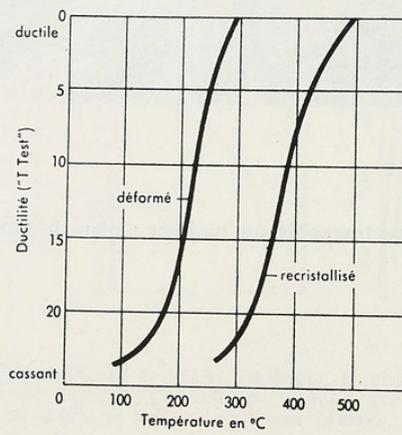


FIG. 5. — Influence de la température sur la ductibilité du tungstène (« T. test »). Rôle de l'état structural.

mal aisée à définir car elle dépend énormément du choix du test, de l'état structural et de la pureté du métal. Dans les essais de résilience, avec pendule de Charpy, sur éprouvettes entaillées, le tungstène reste fragile jusqu'à 1.000 °C, la présence de l'entaille élevant considérablement la température de transition. De même, la vitesse de déformation est très importante dans les essais de traction : la température de transition est d'autant plus basse que la traction est plus lente. Il existe bien d'autres tests tel le pliage où la fragilité est caractérisée par le rayon de courbure qu'il est possible d'imposer à une éprouvette sans qu'il y ait formation de fissures (« T Test »).

La rupture est due à la naissance et à la propagation de fissures. De très nombreux modèles théoriques ont été proposés ; ils sont basés, soit sur le glissement avec blocage des dislocations, soit sur le maclage, mais aucun ne peut être généralisé à l'ensemble des cas. Au sein d'un cristal, la fissure se propage généralement dans un plan cristallographique dense : le plan de clivage. La microfractographie optique de la figure 3 a été réalisée sur le tungstène : il s'agit d'un plan  $\{100\}$ . Les petites marches nommées « rivières » sont provoquées par la présence de dislocations vis. Ce mode de rupture est appelé « intragranulaire ». Mais la rupture peut être due également à la décohésion des joints de grains d'un métal polycristallin : elle est alors dite « intergranulaire ». C'est ce dernier type de rupture qui prédomine sur un échantillon de molybdène faiblement déformé par laminage à la température ambiante, ainsi qu'en témoigne la micrographie de la figure 4.

## 2. — ETAT STRUCTURAL.

En métallurgie « l'état structural » est un terme très général qui caractérise la perfection cristalline tout comme « la pureté » caractérise la perfection chimique. Il serait nécessaire, dans chaque

cas, de connaître la nature, la densité et la répartition des défauts physiques (ponctuels : lacunes, interstitiels, linéaires : dislocations vis et coin, bidimensionnels : joints de grains...). Mais ces grandeurs sont, en général, très difficiles à atteindre et, de même qu'en l'absence d'analyses complètes, la pureté est repérée par le mode d'élaboration, l'état structural est le plus souvent caractérisé par les traitements qu'à subis l'échantillon. La structure « écrouie » correspond à celle résultant de la déformation du métal : il est bon d'en préciser la nature (laminage, traction...), la température et le taux. Les défauts introduits s'éliminent progressivement lors de la « restauration » et ont pratiquement disparu dans « l'état recristallisé » où seuls subsistent les joints de grains. L'état le plus parfait correspond au monocristal.

L'état structural du métal joue un très grand rôle sur la température de transition ductile-fragile : elle est abaissée de près de 200° pour le tungstène écroui (figure 5). Le molybdène, préalablement déformé à haute température, reste ductile à la température ambiante. L'écrouissage provoque, à la fois, la formation d'un très grand nombre de défauts dans le réseau cristallin et la disparition presque complète des anciens joints de grains. Ce sont ces deux effets qui expliquent la plasticité accrue du métal écroui : il y a d'une part suppression du risque de rupture intergranulaire et d'autre part une plus grande facilité de déplacement pour les dislocations en raison de leur nombre.

Les traitements à haute température qui provoquent la recristallisation du métal entraînent une réapparition de la fragilité : la contrainte de rupture fragile suit la loi de Petch et varie comme l'inverse de la racine carrée du diamètre moyen des grains. La fragilité intergranulaire est d'autant plus pernicieuse que les grains sont plus gros, le cas le plus défavorable étant celui où ils envahissent toute la section de l'éprouvette. Le comportement des monocristaux ne

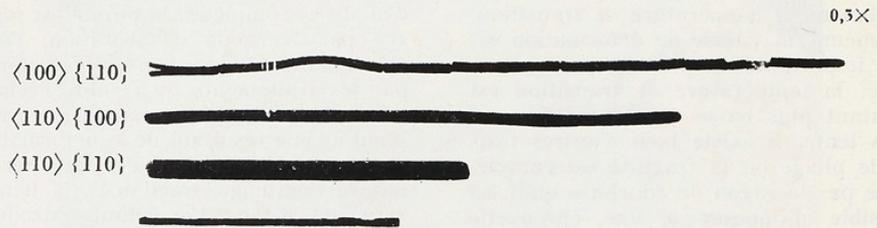


Fig. 6. — Aspects pris par trois monocristaux de molybdène laminés, dans les mêmes conditions, à un même taux de réduction. L'état initial est présenté en dessous.

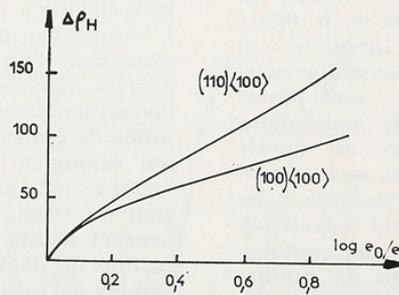


Fig. 7. — Accroissement de résistivité électrique en fonction de la déformation rationnelle pour deux monocristaux de molybdène.

doit pas être considéré comme le prolongement de celui des éprouvettes polycristallines à grains de plus en plus gros : ils se rapprochent à la fois des échantillons recristallisés puisque le nombre des dislocations y est faible et à la fois des échantillons écrouis puisqu'il n'y a pas de joints de gains

La très grande anisotropie de propriétés mécaniques des métaux réfractaires ne peut être étudiée que sur monocristaux. La figure 6 montre l'aspect pris, après laminage dans des conditions identiques, par trois monocristaux de molybdène qui ne différaient à l'origine que par l'orientation. L'orientation influe non seulement sur les caractéristiques mécaniques, mais aussi sur l'écroutissage introduit lors de la déformation. L'accroissement de résistivité électrique, qui est proportionnel à la concentration en chaque type de défauts, constitue un excellent repère de l'écroutissage. Nous avons porté sur la figure 7, l'élévation de résistivité de deux monocristaux laminés à 300 °C. Tous deux ont été découpés dans un même barreau de zone fondue et avaient en commun la même direction de laminage  $\langle 100 \rangle$ . Le monocristal dont le plan de laminage est parallèle à (110) reçoit, pour toute déformation, un écroutissage supérieur à celui reçu par l'autre monocristal dont le plan de laminage est parallèle à (100). Il faut remarquer que, même après un taux de réduction de 70 %, le réseau cristallin ne subit que des distorsions relativement faibles puisque les diagrammes de Laue présentent toujours des taches très marquées. Les différences d'écroutissages reçues entraînent une variation de la température de recristallisation qui peut s'étager selon l'orientation entre 1.200 et 1.800 °C (figure 8).

### 3. — PURETÉ.

La déformation plastique s'opère par le mouvement des dislocations. La faible mobilité de celles-ci dans les métaux

cubiques centrés peut s'expliquer par une très forte interaction entre les dislocations et les impuretés. Selon le mécanisme de Cottrell, chaque dislocation est entourée d'un « nuage » d'impuretés et la force nécessaire pour arracher la dislocation à son « nuage » est très supérieure à celle suffisante pour son mouvement ultérieur. Ce phénomène qui est à l'origine de la discontinuité à la limite élastique (« Yeld point ») peut expliquer la très grande influence de la pureté sur la transition ductile-fragile.

Ce sont les impuretés métalloïdiques qui ont l'influence prépondérante. L'effet de l'oxygène est de loin le plus catastrophique puisqu'il rend les lingots de molybdène inaptes au forgeage. L'action de cet élément débute dès les premières parties par million \*. Le rôle du carbone est moins néfaste. La température de transition s'élève d'environ 150 °C lorsque la teneur en carbone dans le molybdène passe de 40 à 80 p.p.m. et n'est plus guère modifiée aux concentrations supérieures (figure 9). Cet effet est sensiblement le même quel que soit l'état structural du métal.

## III. — PURIFICATION

En raison de l'importance extrême des traces d'impuretés sur les propriétés des métaux réfractaires et dans le but d'obtenir le molybdène et le tungstène ductiles dès la température ambiante, de nombreux chercheurs se sont consacrés à la purification de ces métaux.

### 1. — FUSION DE ZONE.

La méthode la plus répandue, aux laboratoires, est la fusion de zone. En raison de la très grande réactivité chimique de ces métaux à l'état liquide, il est impossible de les fondre en nacelle réfractaire et il faut avoir recours à la fusion de zone verticale dite « zone flottante ». Le barreau est placé verticalement et la zone liquide, réduite à une

\* 1 partie par million = 1 p.p.m. =  $10^{-6}$ .

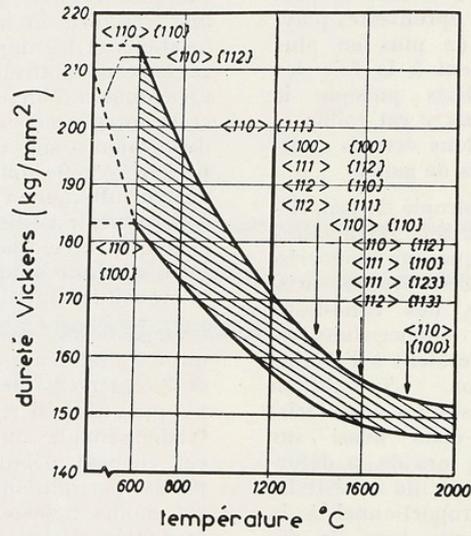


FIG. 8. — Evolution de la dureté des monocristaux en fonction de la température de recuit. Les températures de recristallisation pour chaque orientation sont indiquées par les flèches.

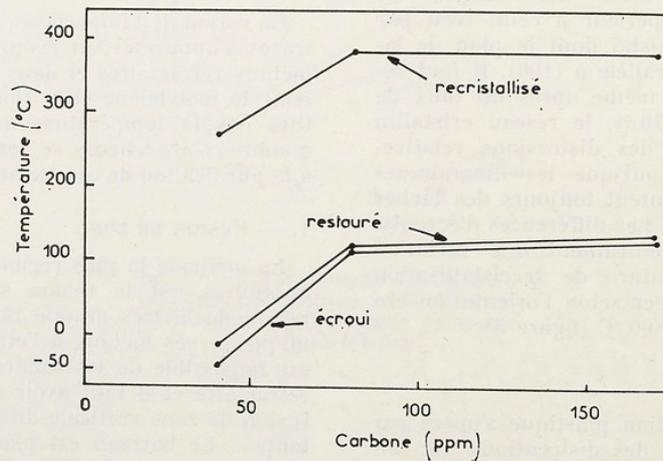


FIG. 9. — Influence de la teneur en carbone sur la température de transition ductile fragile. Rôle de l'état structural.

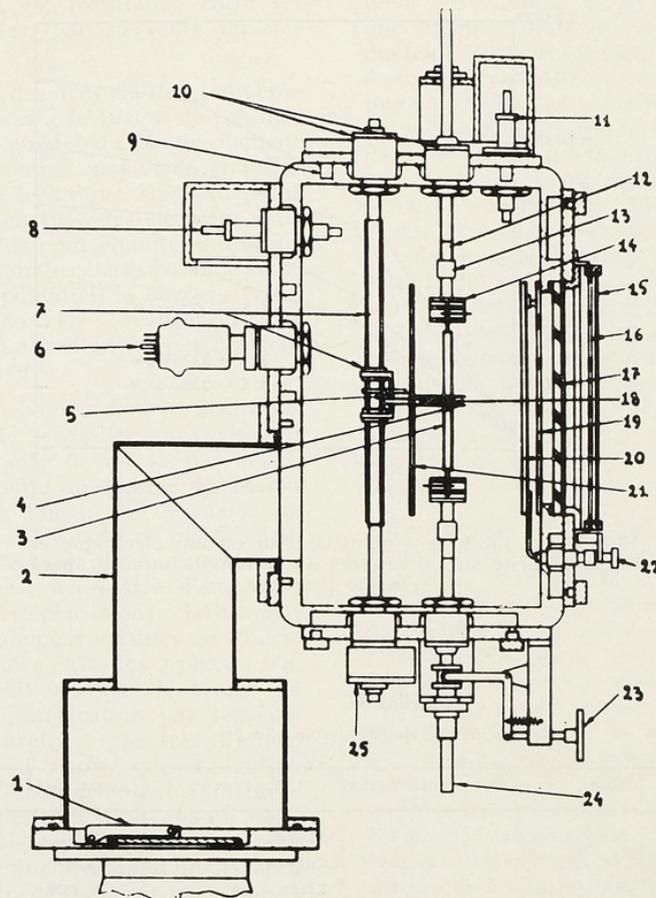


Fig. 10. — Schéma d'une installation de fusion de zone par bombardement électronique :

- |  |  |
|--|--|
| 1. — Vanne à vide.   | 14. — Support de fixation d'échantillon.   |
| 2. — Canalisation à vide.  | 15. — Grille métallique de protection.   |
| 3. — Echantillon.  | 16. — Ecran en verre coloré.   |
| 4. — Plaque à potentiel réglable pour la focalisation du faisceau d'électrons. | 17. — Fenêtre en silice.   |
| 5. — Support de cathode.   | 18. — Cathode.   |
| 6. — Jauge à vide.   | 19. — Verre de silice mobile.  |
| 7. — Vis sans fin et écrou du chariot mobile, support de cathode.              | 20. — Ecran protecteur.  |
| 8. — Passage isolé de courant électrique.                                      | 22. — Bouton de commande de l'écran escamotable.   |
| 9. — Canal de circulation d'eau.   | 23. — Commande d'un mouvement de déplacement vertical de la partie de l'échantillon située au-dessous de la zone fondue. |
| 10. — Joints de Wilson.  | 24. — Axe support de l'échantillon.  |
| 11. — Borne électrique connectée à la masse du générateur haute tension.       | 25. — Boîte de mouvement de la vis sans fin.   |
| 12. — Isolant en silice.   |  |
| 13. — Pièce de fixation en molybdène.  |  |

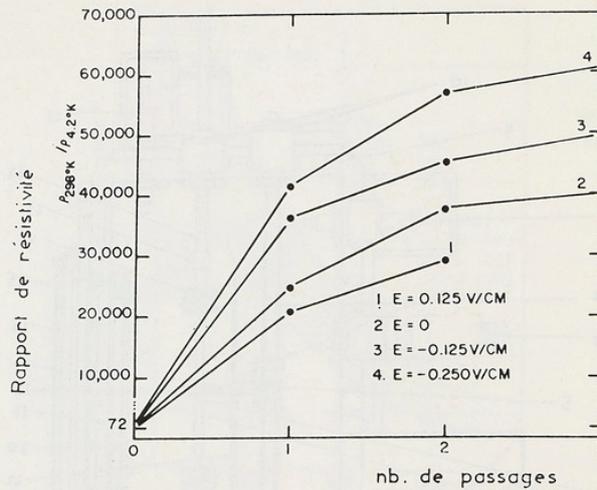


FIG. 11. — Effet de l'intensité d'un champ électrique et de sa polarité sur le rapport de résistivité mesuré après chaque passage.

TABLEAU II

Analyse du molybdène (en p.p.m.)

Impureté	avant fusion (1)	après fusion (2)	Impureté	avant fusion (1)	après fusion (2)
Sodium	≤ 0,00004	≤ 0,1	Nickel	28	4
Potassium	≤ 0,09	≤ 0,1	Cuivre	5,3	0,04
Rubidium	≤ 0,05	≤ 0,1	Zinc	≤ 0,009	≤ 0,03
Caesium	≤ 0,0008	≤ 0,1	Argent	-	≤ 0,02
Magnésium	20	-	Cadmium	≤ 0,002	≤ 0,03
Calcium	-	≤ 0,9	Terres Rares	≤ 0,0005	≤ 0,01
Strontium	1,4	≤ 0,1	Hafnium	≤ 0,002	≤ 0,003
Barium	1	≤ 0,1	Tantale	0,1	-
Aluminium	40	-	Tungstène	54	58
Galium	≤ 0,002	≤ 0,01	Or	-	≤ 0,001
Scandium	≤ 0,0002	≤ 0,09	Thorium	≤ 0,0002	≤ 0,004
Chrome	21	0,06	Arsenic	-	≤ 0,0007
Manganèse	5,7	0,03	Antimoine	-	≤ 0,0002
Fer	49	0,4	Sélénium	-	≤ 0,001
Cobalt	1,4	0,01	Tellure	-	≤ 0,009

Ces analyses par activation ont été effectuées par Monsieur Fédorov dans le Service de Monsieur Albert - Nous tenons à l'en remercier .

simple goutte, est maintenue entre les portions solides, par sa seule tension superficielle.

L'obtention des très hautes températures nécessaires à la fusion de ces métaux impose l'emploi du bombardement électronique comme moyen de chauffage. Dans cette technique, mise au point par Calverley en 1956, les électrons sont émis par un filament chauffé entourant le barreau et sont accélérés par une forte différence de potentiel, le barreau constituant l'anode. La focalisation des électrons est assurée au moyen de deux plaques (figure 10).

L'emploi du bombardement électronique impose de travailler sous vide. Il s'ensuit une perte de métal, par distillation, qui limite le temps de fusion possible : pour une heure de fusion, la perte de poids est voisine de moitié. Afin de pouvoir effectuer plusieurs passages successifs, il est nécessaire d'employer des vitesses de déplacement relativement élevées, généralement voisines de 15 cm/heure. L'équilibre entre les 2 phases n'a, dans ces conditions, pas le temps de s'établir et la purification par ségrégation des impuretés reste très limitée. Hay a cependant montré que la ségrégation pouvait être fortement influencée par la surimposition d'un champ électrique favorablement orienté. La figure 11 indique la purification d'un barreau de tungstène traité dans ces conditions ; la purification est exprimée par la valeur du rapport de résistivité.

La perte de métal traité s'accompagne, conjointement, d'une distillation des autres éléments présents et donc d'une purification en impuretés plus volatiles. C'est d'ailleurs ce mécanisme, indépendant de la fusion de zone, qui provoque la purification principale.

## 2. — PURIFICATION PAR FUSION SOUS VIDE.

La purification en éléments plus volatils que le métal de base s'obtient facilement par fusion sous vide. Nous avons opéré, soit dans un four à bombarde-

ment électronique de 20 kW, soit dans une enceinte ultra-vide munie d'un inducteur haute fréquence. Le tableau II donne l'analyse d'un molybdène commercial de qualité « fondu » (1) et celle du même métal refondu sous vide pendant le temps nécessaire pour obtenir une perte de poids de 6,4 % (2). Les teneurs en chrome, manganèse, fer, cobalt et cuivre sont réduites à moins du centième des teneurs initiales et ceci dans le domaine des parties par million. Les principales impuretés métalliques restant après traitement sont les autres métaux réfractaires et en particulier le tungstène. Nous avons pu également constater que, dans le molybdène, le carbone ne s'éliminait pas par distillation sous forme élémentaire, ce qui était d'ailleurs prévisible...

Le départ de l'oxygène, sous forme élémentaire, ne semble pas possible lui non plus. Une purification importante en oxygène peut cependant être obtenue, dans certains cas, grâce à la distillation préférentielle d'un sous-oxyde. Nous avons pu mettre en évidence ce phénomène dans le cas du zirconium où tout se passe comme si le monoxyde  $ZrO$  avait une tension de vapeur 40 fois supérieure à celle du métal. Cette méthode semble également très favorable à la purification de métaux comme le niobium, le tantale, le hafnium et le tungstène, mais peu efficace dans le cas du molybdène.

La désoxydation du molybdène est assurée par le carbone avec départ du monoxyde  $CO$  lors de la fusion sous vide. Industriellement, afin d'éliminer, au cours d'une fusion relativement brève, les 200 p.p.m. d'oxygène initialement présentes dans la poudre, il est nécessaire d'ajouter un excès de carbone. Cet excès se retrouve dans le produit fondu et correspond à une teneur voisine à 400 p.p.m. L'emploi de poudres ayant initialement une faible teneur en oxygène permet de réduire la quantité de carbone ajouté et d'obtenir du molybdène fondu « à bas carbone » (10 à 50 p.p.m.).

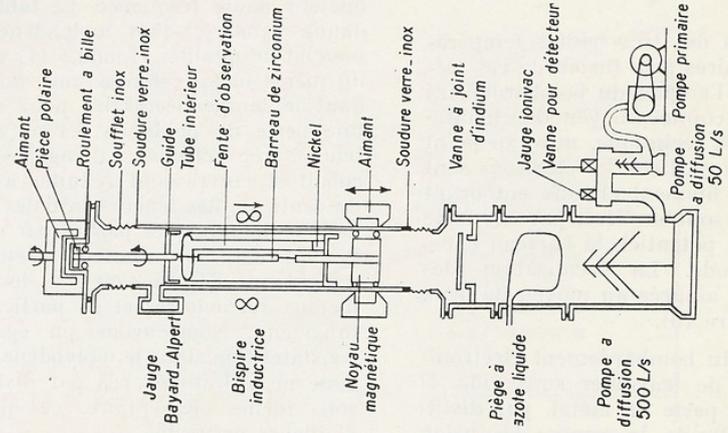


Fig. 12. — Schéma de l'installation utilisée pour la fusion de zone du zirconium, sous vide statique.

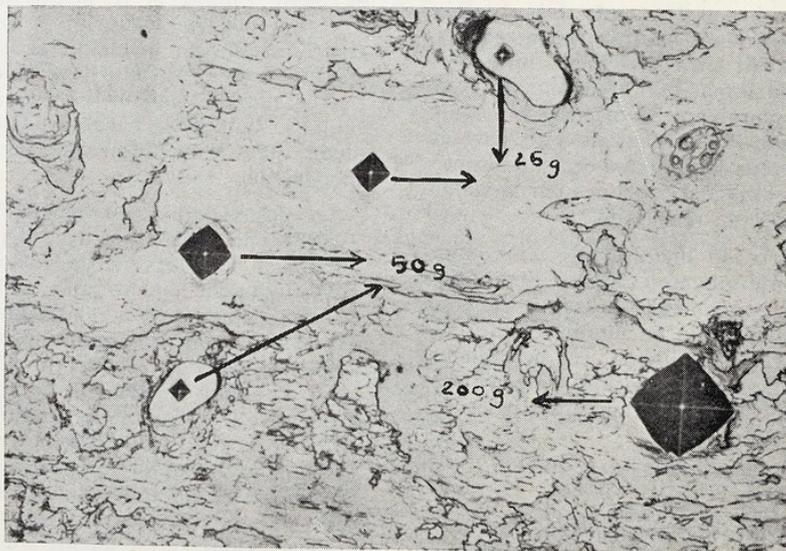


Fig. 13. — Particules de carbures de molybdène Mo<sub>2</sub>C. Les empreintes Vickers témoignent de la grande dureté du composé. G × 425.

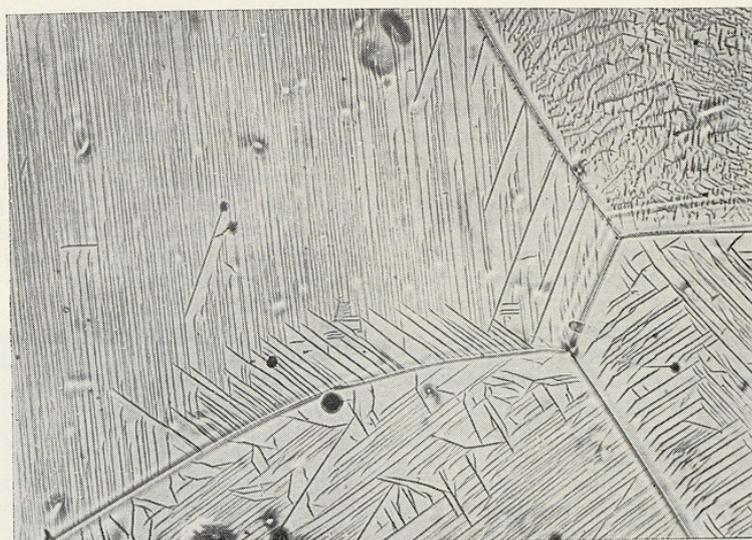


FIG. 14. — Précipitation du carbure de molybdène à la surface du métal après refroidissement rapide. G  $\times$  120.



FIG. 15. — Précipitation du carbure de molybdène à la surface du métal après refroidissement lent. G  $\times$  600.

## 3. — RÔLE DE L'ATMOSPHERE RÉSIDUELLE.

Dans le cas de traitements relativement longs, tels que la fusion de zone, une pollution importante peut provenir de l'atmosphère résiduelle qui est appelée « vide ».

La plupart des installations évacuées au moyen de pompes à diffusion d'huile, même munies de baffles ou de pièges, ont une atmosphère résiduelle carburante. Il y a tout intérêt, lorsque les traitements thermiques sont effectués sous de telles atmosphères, à employer un métal initialement exempt de carbone mais renfermant de petites quantités d'oxygène. Ceci a été particulièrement bien mis en évidence par Reed lors de la fusion de zone du niobium sous  $10^{-8}$  torr, vide généralement considéré comme bon par les métallurgistes. Il a montré que la petite quantité d'oxygène initialement présente s'élimine progressivement avec le carbone du « vide » au cours des premiers passages de fusion de zone et évite la contamination en cet élément. La purification passe par un optimum au-delà duquel il y aurait pollution en carbone.

Inversement, nous avons pu abaisser très rapidement la teneur en carbone dans le molybdène de 400 à moins de 0,1 p.p.m. en chauffant celui-ci sous une très faible pression d'oxygène. L'échantillon était chauffé par effet Joule, dans une enceinte à ultra-vide munie d'une fuite réglable.

Pour des métaux comme le zirconium qui sont capables de fixer simultanément le carbone et l'oxygène, la qualité du vide doit être encore supérieure. La fusion de zone n'a conduit à la purification de ce métal que grâce à l'emploi du « vide statique » : après un dégazage très poussé de l'installation, celle-ci est isolée du groupe de pompage au moyen d'une vanne (figure 12). Easton et Betterton n'ont pu atteindre ce résultat, en vide dynamique, qu'en effectuant les passages sous un vide de  $10^{-10}$  torr.

## IV. — PRECIPITATION ET CHIMISORPTION DU CARBONE EN SURFACE DU MOLYBDENE

Nous avons vu que le molybdène fondu industriellement renferme une quantité de carbone voisine de 400 p.p.m. Elle se présente sous forme de petites particules, très dures, de carbure de molybdène  $\text{Mo}_2\text{C}$  (figure 13). Le carbone est remis en solution solide par chauffage à haute température (1.900 °C) mais précipite à nouveau au refroidissement. Les précipités n'apparaissent alors qu'à la surface libre des cristaux : c'est-à-dire à la surface du métal et aux joints de grains.

Lors des refroidissements rapides, la précipitation est très cristallographique (figure 14) alors que pour des refroidissements plus lents (50° par heure), elle est beaucoup plus abondante mais moins régulière (figure 15). Touboul a montré que les directions d'allongement des précipités correspondaient aux directions cristallographiques les plus denses du plan de surface. Si ce plan n'est pas trop éloigné de  $\{110\}$ , 10 à 15° maximum, il n'existe qu'une seule direction de précipitation : la direction  $\langle 111 \rangle$  la plus proche de la surface. Cette précipitation se produit également aux joints de grains et il est facile de la mettre en évidence par microfractographie, car la rupture devient intergranulaire dès que la quantité de précipités est suffisante pour entraîner la décohésion du joint (figure 16).

Un polissage mécanique ou une dissolution chimique permet d'éliminer le carbure présent en surface. L'analyse montre qu'après refroidissement à 3°/minute d'une éprouvette de 1 mm d'épaisseur, la teneur en carbone, au sein du métal, passe de 400 à 190 p.p.m. L'élimination du carbone se poursuit au cours des traitements successifs et la concentration en cet élément tend vers une limite : 50 p.p.m., ce qui est la limite de solubilité du carbone à 1.500 °C. Lors des refroidissements lents, les ger-

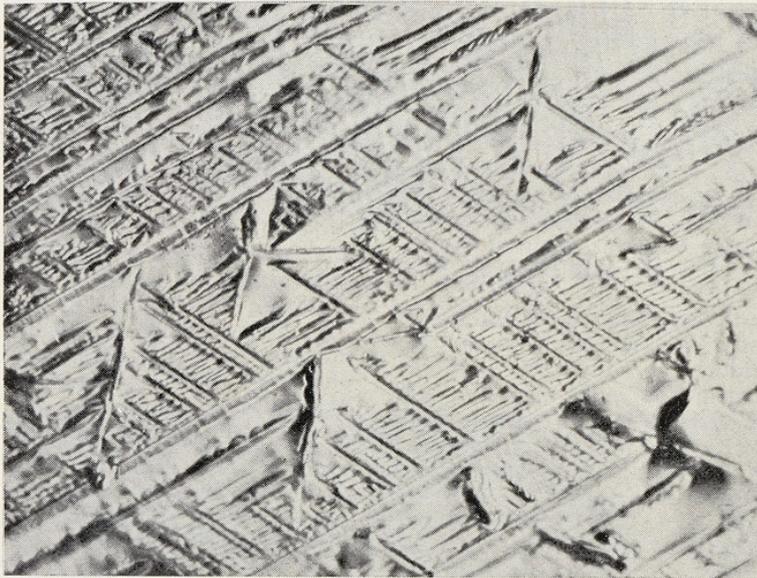


FIG. 16. — Précipitation du carbure de molybdène à la surface des joints de grains. Microfractographie. G  $\times$  120.

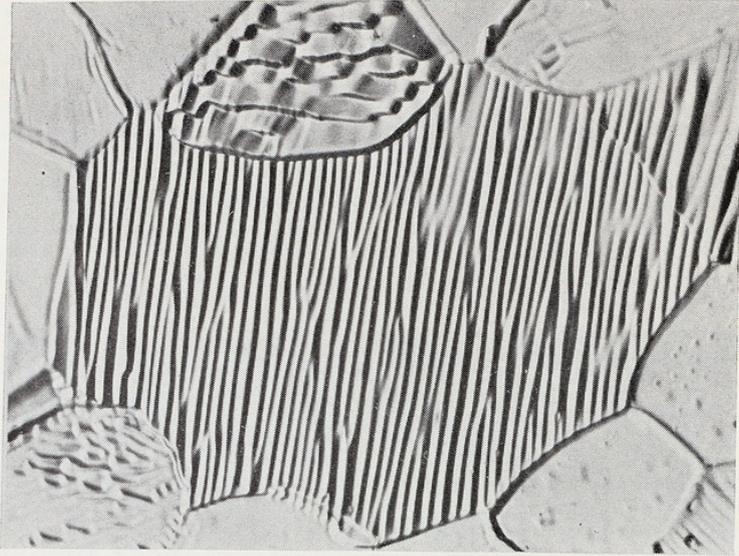


FIG. 17. — Striation de la surface du métal due à la chimisorption du carbone.  $G \times 120$ .



FIG. 18. — Striation de la surface des joints de grains, due à la chimisorption du carbone. Microfractographie électronique.  $G \times 20.000$ .

mes de carbure de molybdène ne se formeraient qu'aux surfaces des grains puis croîtraient par diffusion du carbone vers ces surfaces. La limite de 50 p.p.m. semble indiquer que, dans nos conditions, la diffusion ne serait plus suffisante en dessous de 1.500 °C. La répartition du carbure entre la surface et les joints de grains est liée à leurs aires respectives ; la taille des grains de nos éprouvettes est en accord avec la courbe de décarburation mesurée.

La germination préférentielle du carbure aux surfaces pouvait s'expliquer par la présence, à haute température, de couches de carbone chimisorbé. Les atomes de carbone y seraient beaucoup plus proches les uns des autres qu'au sein du métal et, de plus, leur mobilité en favorise le rassemblement. Nous avons donc cherché à mettre en évidence l'existence de telles couches. Bénard et ses collaborateurs avaient montré que les couches d'oxygène et de soufre chimisorbés sont en équilibre avec l'atmosphère et provoquent un phénomène de striation de la surface. Dans le cas du zirconium, Renucci a relié la striation en surface à la teneur de l'oxygène présent en solution solide. Henry et Plateau ont généralisé le phénomène en montrant que l'oxygène en solution solide dans le nickel pouvait provoquer la striation aux joints de grains. La formation de la striation à la surface du molybdène (figure 17) peut être observée directement à 1.500 °C dans le microscope électronique à émission « Métioscope » \* lors de l'introduction dans l'enceinte d'une légère pression d'acétylène. La microfractographie optique ou électronique (figure 18) révèle la striation aux joints de grains.

Les mêmes phénomènes de striation se produisent également en présence d'oxygène et il nous semble y avoir là une méthode prometteuse pour l'étude des mécanismes de rupture des métaux cubiques centrés.

\* Nous tenons à remercier la Société Balzers qui nous a accueillis dans son laboratoire pour ces expériences.

## V. — ALLIAGES

Les métaux réfractaires sont utilisés pour leur tenue à haute température. Mais ils ont des oxydes très volatils et résistent mal à l'oxydation ; aucune addition n'améliore notablement cette propriété. Ils résistent mieux aux atmosphères réductrices et le tungstène est utilisé comme tuyère dans les engins à poudre. Pour les emplois prolongés à haute température, résistances de chauffage ou filaments de lampes, ils doivent être protégés par une atmosphère inerte (hydrogène ou gaz rare) ou placés sous vide. L'introduction d'une pression réduite d'iode permet, selon le procédé Van Arkel, de redéposer continuellement sur le filament le tungstène qu'il vaporise. Il est ainsi possible de le porter à une température très supérieure à celle habituellement utilisée pour conserver une durée de vie normale : c'est le principe des lampes à iode.

En dehors d'applications très précises comme la supraconductance des alliages niobium-zirconium ou niobium-titane, les additions faites aux métaux réfractaires ont essentiellement pour but d'améliorer les propriétés mécaniques. La figure 19 montre que, dans l'échelle relative des températures rapportées au point de fusion du métal, les éléments du groupe V : niobium et tantale ont une résistance au fluage très inférieure à celle des métaux du groupe VI : molybdène et tungstène. Les additions faites au niobium et au tantale auront pour but d'augmenter la résistance mécanique alors que celles faites au molybdène et au tungstène seront destinées à éviter la rupture fragile.

### 1. — ALLIAGES A BASE DE MOLYBDÈNE OU DE TUNGSTÈNE.

Les alliages de tungstène à 29 % de rhénium et de molybdène à 35 % de rhénium, ont des propriétés particulières.

ment remarquables : ils restent, en effet, ductiles même à basse température bien que la dureté de l'alliage molybdène-rhénium soit trois fois supérieure à celle du molybdène pur. Le seul inconvénient en est le prix extrêmement élevé dû à la forte teneur en rhénium.

Nous avons vu que le molybdène et le tungstène sont ductiles lorsqu'ils ont reçu un écrouissage suffisant : ils sont livrés sous cette forme. Mais les traitements à haute température auxquels ils sont soumis ultérieurement peuvent entraîner la recristallisation du métal et provoquer sa fragilisation. Les additions qui élèvent la température de recristallisation, en particulier le rhénium, seront bénéfiques.

Il existe un autre mode d'action qui consiste à abaisser la teneur des éléments métalloïdiques en solution solide. L'addition de petites quantités de titane ou de zirconium (0,5 à 1,5 %) provoque en effet la précipitation, au sein du métal, de carbures, de nitrures et d'oxydes de titane ou de zirconium. Ce procédé est analogue à celui utilisé pour calmer les aciers.

#### 2. — ALLIAGES A BASE DE NIOBIUM OU DE TANTALE.

L'addition de molybdène et surtout de tungstène élève très fortement la résistance au fluage du niobium et du tantale (figure 20), mais il se produit simultanément une certaine perte de ductilité. Pour maintenir la température de transition au-dessous de la température ambiante, les additions devront être limitées à 5 atomes % dans le niobium à 12 atomes % dans le tantale.

Les additions de zirconium ou de hafnium jouent là aussi un rôle bénéfique : les carbures, nitrures ou oxydes correspondants précipitent sous forme d'une fine phase dispersée et renforcent le métal. Cet effet peut être encore beaucoup plus important si l'on prend soin d'ajouter au préalable de petites quantités de carbone supplémentaire.

#### 3. — ALLIAGES « ARTIFICIELS ».

Tous les alliages précédents peuvent être préparés à partir de l'état liquide, mais il en est d'autres qui ne s'obtiennent que par juxtaposition forcée de deux substances préparées séparément. Ces alliages peuvent être alors qualifiés d'« artificiels ». La distinction est parfois délicate puisque des alliages de structures semblables s'obtiennent dans certains cas par voie naturelle et dans d'autres cas par voie artificielle.

Le premier type de ces alliages correspond à la dispersion de fines particules dans une matrice métallique. Ce résultat est atteint par précipitation du carbure de zirconium dans le niobium, mais le frittage est une méthode de choix pour la préparation de tels alliages. La poudre de tungstène destinée à la fabrication des fils de lampe est additionnée de petites quantités de silice, d'alumine ou de thorine. Au cours de la mise en forme, les fines particules s'orientent parallèlement à la génératrice du fil. Elles en retardent la recristallisation puis bloquent la croissance des grains, empêchant ceux-ci d'envahir toute la section du fil. La dispersion d'oxyde ou de carbure d'uranium dans l'un des métaux réfractaires a été envisagée pour la réalisation de réacteurs nucléaires refroidis au sodium liquide.

Le second type d'alliages consiste en la dispersion d'une seconde phase de nature, cette fois-ci, fibreuse. La fibre est le matériau fort qui résiste à l'effort et la matrice le matériau faible qui transmet et répartit les contraintes. La conjugaison des fibres de verre avec la résine ou celle des trichites de saphir avec l'argent furent de belles réussites. Dans le domaine des matériaux réfractaires, Berghezan a su également mener à bonne fin un mariage heureux entre les fibres de tungstène et l'acier inoxydable. « L'alliage » est réalisé par extrusion d'un bloc où les fibres de tungstène occupent 16 % de la section (figure 21). Les fils obtenus conservent la résistance à la corrosion de l'acier

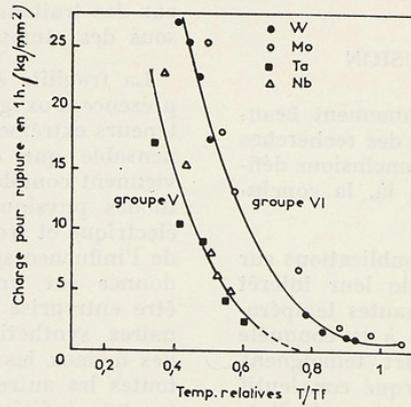


Fig. 19. — Influence de la température sur la résistance au fluage des métaux réfractaires.

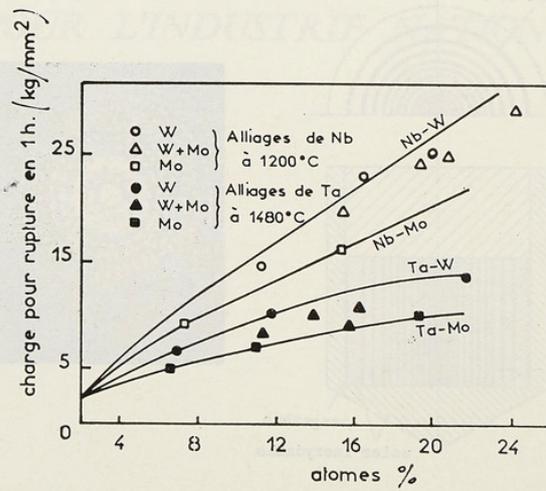


Fig. 20. — Influence des additions de molybdène et de tungstène sur la résistance au fluage du niobium et du tantale.

inoxydable mais ont, à 1.100 °C, une limite élastique six fois plus élevée.

#### VI. — CONCLUSION

Cet exposé incite certainement beaucoup plus à entreprendre des recherches nouvelles qu'à tirer des conclusions définitives et c'est peut-être là, la conclusion la plus importante.

Il existe une foule de publications sur ces métaux en raison de leur intérêt dans les techniques de hautes températures liées, entre autres, à la conquête spatiale. Mais la plupart témoignent d'un empirisme très marqué consécutif à la nécessité d'obtenir des résultats dans un délai très court. Bien plus, cer-

taines interprétations ont été faussées par les variations de pureté entraînées par des traitements thermiques réalisés sous des atmosphères inadéquates.

La fragilité étant occasionnée par la présence d'oxygène ou de carbone à des teneurs extrêmement basses, il est indispensable que des analyses très fines viennent compléter et étalonner les méthodes physiques telles que résistivité électrique et frottement interne. L'étude de l'influence spécifique d'une impureté donnée sur une propriété ne devrait être entreprise que sur des alliages binaires synthétiques préparés à partir des métaux les plus purs, la somme de toutes les autres impuretés devant rester très inférieure à celle de l'élément d'addition.

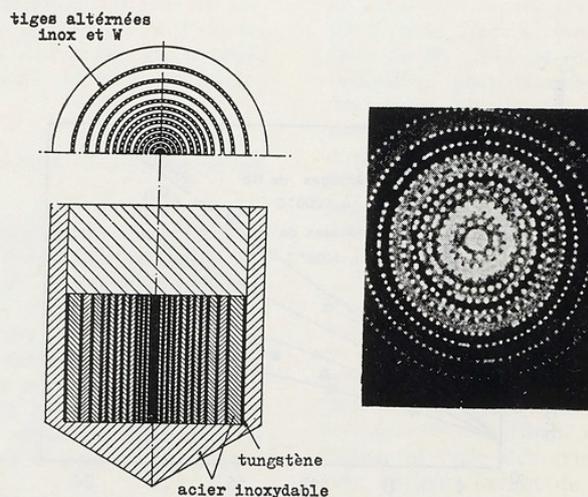


FIG. 21. — Disposition des tiges de tungstène dans la matrice en acier inoxydable et macrographie de la section de la barre obtenue par extrusion.

*ACTIVITÉS DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT  
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE*

ACTIVITES DE LA SOCIETE D'ENVELOPPAGE  
POUR L'INDUSTRIE NORDOUEST

NOTES ET MÉMOIRES

*Médailles de Vermeil*

*Rapports sur les prix et médailles  
décernés au cours de la séance du 21 septembre 1968*



Rapport sur les prix et médailles  
décernés au cours de la séance du 21 septembre 1908

### *Médailles de Vermeil*

*Rapport présenté par M. Baratte, au nom du Comité d'Agriculture, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Claude Py, pour ses travaux sur la production fruitière.*

M. Claude Py, Ingénieur agricole et diplômé de l'O.R.S.T.O.M. (Office de la Recherche scientifique et technique outre-mer), s'est consacré depuis 1946 — date à laquelle il est entré à l'I.F.A.C. (Institut Français de Recherches fruitières outre-mer), après une activité de résistant qui l'avait conduit à la déportation — à la recherche dans le domaine des productions fruitières d'outre-mer.

Ses travaux, particulièrement orientés vers tout ce qui concerne l'ananas et sa production, lui ont acquis une notoriété internationale qui fait honneur à notre pays.

Affecté à une station de recherche de

l'I.F.A.C. en Martinique, il a effectué de nombreuses missions d'études et séjours, notamment au Maroc, en Guinée, aux Iles Hawaï, aux U.S.A., en Côte-d'Ivoire, à la Jamaïque, en Colombie, au Cameroun, etc...

Ses publications dénotent l'intense activité déployée et les résultats importants auxquels ses recherches l'ont conduit.

L'autorité qu'il s'est acquise, dans ce domaine de la production de l'ananas, sert non seulement le prestige de l'I.F.A.C. sur le plan national et international, mais aussi celui de notre pays.

*Rapport présenté par M. Hénin, au nom du Comité d'Agriculture, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. L. Turc, pour ses études concernant le bilan de l'eau dans la nature et le calcul de l'évapo-transpiration potentielle.*

M. Lucien Turc est Maître de Recherches à l'Institut national de la Recherche agronomique.

Après avoir fait de solides études à la Faculté des Sciences de Paris, il est entré comme Agent contractuel scientifique à l'I.N.R.A. où il a fait sa carrière.

Ses premiers travaux concernent des thèmes de recherches assez variés. L'on peut citer ses contributions à l'étude de l'analyse thermique différentielle appliquée à l'identification des argiles, la mise au point d'une méthode originale sur la séparation par densité de la matière organique des sols, permettant de distinguer une fraction peu évoluée et

une fraction évoluée qui s'identifie sensiblement à l'humus.

L'œuvre la plus importante de ce chercheur qui lui vaut, aujourd'hui, de voir ses mérites reconnus par la Société d'Encouragement, concerne l'étude du bilan de l'eau dans la nature et le calcul de l'évapo-transpiration potentielle ;

Si l'on se place à l'échelle de l'année, la différence entre les précipitations et le drainage représente la quantité d'eau évaporée, s'il n'y a pas de pertes souterraines.

M. Turc s'est efforcé de relier cette évaporation à des facteurs climatiques

en employant une expression empirique, mais satisfaisant à deux conditions essentielles : l'évaporation est égale aux précipitations quand celles-ci sont faibles ; elle reste constante quand celles-ci sont fortes, ceci pour des bassins ayant la même température annuelle.

Ayant vérifié cette relation à partir d'un certain nombre de données, l'auteur a ensuite étendu son application à 258 rivières du monde pour lesquelles on connaît le bilan hydrique. Il existe une bonne corrélation entre les résultats calculés et les résultats observés.

Tenant compte de la réserve en eau du sol, il est possible d'étendre ces calculs à des périodes de temps beaucoup plus courtes, mais il faut alors tenir compte, parmi les facteurs du climat, de la radiation solaire. La formule ainsi établie a été vérifiée pour de nombreux dispositifs de cases lysimétriques, et donne une évaluation relativement précise des bilans d'eau.

L'ensemble de ces travaux a fait l'objet d'un Thèse de Doctorat d'Etat.

Pour des pluies suffisamment abondantes, l'évaporation reste constante lorsque la précipitation continue à croître ; ceci correspond à un concept très fondamental : l'évapo-transpiration potentielle. Il s'agit de la quantité d'eau maxima qui peut être évaporée, étant donné les caractéristiques énergétiques du climat.

Les formules établies précédemment par M. Turc permettent, bien entendu, d'évaluer cette grandeur à l'aide de données facilement accessibles. Les résultats sont en bon accord avec les mesures effectuées dans le milieu naturel, aussi cette méthode de calcul a été largement utilisée en France et à l'étranger. Parmi ces applications essentielles, je préciserai que le Service du Génie Rural l'a utilisée pour préparer le plan d'irrigation français.

Notre Société est très heureuse d'avoir la possibilité de souligner les mérites d'un chercheur, dont le travail opiniâtre a rendu de grands services à l'agriculture française.

*Rapport présenté par M. Lhoste, au nom du Comité d'Agriculture, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Elie Ventura, pour son action de protection des végétaux.*

M. E. Ventura, Ingénieur Horticole, est venu à la phytopharmacie par le Service de la Protection des végétaux, où il s'intéressait déjà vivement aux essais de produits.

En 1949, il fut tenté par un poste au Laboratoire de Phytopharmacie pour l'expérimentation des produits. Après un stage au Laboratoire sur le problème des essais d'ovicides pour les œufs d'acariens, on lui confia la mise en place des expérimentations de lutte contre les hannetons d'abord à Etrépagny, puis à Attigny. Il porta ensuite son activité sur l'étude des produits antidoryphoriques, puis des produits antimildious. Ce travail l'amena à s'occuper de la mise au point des méthodes d'essai et à animer la Commission d'Etudes des méthodes d'essais biologiques dont il est le vice-président.

Elargissant la méthode d'essai des produits anticarie et en collaboration avec J. Ponchet, il s'intéressa à l'action des désinfectants de semences contre différents champignons parasites. Tous deux mirent au point des méthodes de laboratoire pour ces examens. Ils démontrèrent l'efficacité du manèbe pour la désinfection des semences ; le produit a depuis partiellement remplacé les organomercuriels. Il a démontré l'efficacité exceptionnelle du manèbe sur le mildiou de la pomme de terre. Ses recherches sur la valeur fongicide pratique du manèbe devaient normalement l'amener à s'intéresser à son proche parent le « mancozèbe » et par une expérimentation systématique, il obtint dans le cas des semences des résultats originaux.

Il aborda également le secteur d'essais

herbicides et à cette occasion, s'il en était besoin, il montra son goût pour ce que nous appellerions maintenant une étude concertée, en créant, avec M. Monod, un groupe de travail pour l'étude du désherbage chimique de la pomme-de-terre.

Tous les industriels connaissent le travail de M. Ventura pour l'homologation des pesticides. Ils savent qu'ils seront reçus toujours avec affabilité, et qu'ils recevront toujours de bons conseils et tous ses collègues peuvent apprécier sa serviabilité.

●

*Rapport présenté par M. Chaudron, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. François Galtier, pour les perfectionnements qu'il a apportés à des appareils de laboratoire et pour les recherches qu'il a pu faire grâce à ces perfectionnements.*

M. François Galtier est ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris, de la promotion 1961. A sa sortie de l'Ecole, il est entré dans le service de M. le Professeur Collongues au Centre d'Etudes de Chimie Métallurgique de Vitry, pour la préparation de sa thèse de doctorat, qu'il a soutenue le 23 mars 1968.

La première recherche proposée à M. Galtier était relative à un four à plasma haute fréquence, fonctionnant en atmosphère d'argon, dont le prototype venait d'être construit au Laboratoire. M. Galtier a apporté à cet appareil divers perfectionnements, tels que l'accroissement de stabilité qui a permis le fonctionne-

ment en fluide plasmagène quelconque, et à la superposition d'un courant continu qui a permis de multiplier par 10 la puissance injectée dans le plasma.

Cet appareillage a été utilisé par M. Galtier pour mettre au point l'élaboration de monocristaux de matériaux ultra-réfractaires par la méthode de Verneuil. Il a pu obtenir par exemple des monocristaux de chaux et de magnésie de très grande pureté.

M. Galtier a donc effectué un travail de recherche d'un grand intérêt théorique et pratique, qui méritait d'être récompensé par la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

●

*Rapport présenté par M. Michel, au nom du Comité des Arts Chimiques, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Paul Poix, pour ses différentes études magnétiques et structurales.*

M. Poix est Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille (1955), Docteur-Ingénieur (Paris 1963), Docteur ès Sciences Physiques (Paris 1965).

FONCTION ACTUELLE. — Chargé de Recherches du C.N.R.S. au Laboratoire de Chimie Minérale, Faculté des Sciences d'Orsay.

TRAVAUX. — Spécialiste des études magnétiques et structurales des oxydes mixtes et complexes dérivant des mé-

taux de transition, des lanthanides, des actinides.

Promoteur d'une méthode de calcul visant à déterminer le paramètre cristallin, la position des cations, l'état d'oxydation des métaux dans les oxydes, méthode basée sur la constance des distances métal-oxygène en coordinence déterminée 4, 6, 8 ou 12. Généralisation à d'autres composés : sulfures, nitrures, fluorures.

Chef d'un groupe de huit chercheurs, qu'il anime avec enthousiasme et compétence.

*Rapport présenté par M. Michel, au nom du Comité des Arts Chimiques, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Jean-Pierre Sénateur, pour ses travaux de recherche, au laboratoire de Chimie minérale du Centre d'Etudes de Chimie Métallurgique de Vitry.*

M. Sénateur est Ingénieur de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille (1961), Docteur ès Sciences Physiques (Paris 1967).

FUNCTION ACTUELLE. — Chargé de Recherches du C.N.R.S. au Laboratoire de Chimie Minérale, C.E.C.M., 15, rue G.-Urbain, Vitry-sur-Seine.

TRAVAUX. — Détermination de la structure cristalline et de la formule chimique du carbure de Hägg. Etude des possibilités de substitution du cobalt

et du manganèse ; analogie avec la structure de la cémentite.

Etude du système Mn-Si : mise en évidence d'une phase nouvelle  $Mn_5Si_2$  et détermination de la maille quadratique. Etude des substituants métalliques. Etude du ternaire MnSiC : mise en évidence de deux phases nouvelles  $Mn_5SiC$  et  $Mn_{10}Si_2C$ . Etude de l'influence de l'insertion de faibles quantités de carbone sur les propriétés magnétiques de  $Mn_5Si_3$  et de  $(Mn_x Mo_{1-x})_5Si_3$ .

Actuellement : études par effet Mossbauer de composés semi-métalliques, effets des substitutions.

*Rapport présenté par M. Pommier, au nom du Comité des Arts Mécaniques, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Eugène Maitre, pour ses activités industrielles ainsi que pour son rôle en matière d'enseignement technique.*

M. Eugène Maitre né en 1887 a fait son apprentissage de Mécanicien de précision au Technicum du Locle (Suisse) d'où il est sorti diplômé.

Après ses trois ans de service militaire il retourna en Suisse pour se perfectionner dans la construction et la mise au point de machines-outils automatiques qui étaient, à cette époque, au début de leur diffusion industrielle, en particulier dans l'horlogerie.

En 1913, il créa à Scionzier un atelier artisanal de décolletage, mais, mobilisé en 1914 avec son associé, son atelier réquisitionné par l'autorité militaire est transféré à Lyon pour être affecté à la production de matériel d'armement jusqu'en 1918.

A cette époque, les difficultés de recrutement de décolleteurs professionnels sur tours automatiques le conduisirent à créer à Annemasse une nouvelle usine

où le recrutement de main d'œuvre hautement qualifiée, le contact étroit avec les constructeurs de tours automatiques et la qualité des produits qui a toujours été le souci dominant de M. Eugène Maitre permet une évolution très rapide de l'affaire. La recherche constante dans la technique du décolletage, ses initiatives hardies dans le domaine social lui ont valu une réputation d'industriel de premier plan.

En outre, tout en restant strictement sur le plan professionnel, il a su néanmoins œuvrer judicieusement, tant sur le plan de la collectivité locale, que dans les instances départementales et syndicales. Il a été, en particulier, le promoteur du C.E.T. d'Annemasse, après avoir réalisé une école d'apprentissage au sein de sa propre entreprise, d'où sont sortis bon nombre d'apprentis qui occupent actuellement des postes de cadres dans les ateliers et bureaux.

M. Eugène Maître est Chevalier de la Légion d'Honneur, ancien Président du Syndicat national du Décolletage, ancien Président de la Chambre Syndicale de la Métallurgie de la Haute-Savoie, Conseiller de l'Enseignement Technique et membre du Conseil d'Administration

du Centre d'Apprentissage d'Annemasse.

Pour toutes ses activités sur le plan industriel, sur le plan professionnel et sur le plan de l'enseignement technique, la S.E.I.N. lui attribue sa médaille de Vermeil.

*Rapport présenté par M. Pomey, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Stanislas Goldsztaub, pour ses études sur les cristaux.*

Stanislas Goldsztaub, né en 1906 à Saint-Petersbourg de parents polonais, est bachelier ès-Sciences et ès-Lettres en 1923, Ingénieur Civil des Mines en 1928, Docteur ès-Sciences en 1934, Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté de Strasbourg en 1947, Professeur de Minéralogie en 1957.

S. Goldsztaub a débuté dans la recherche au Laboratoire de Ch. Mauguin à la Sorbonne où il a préparé une thèse sur la structure des hydroxydes de fer. C'est là qu'il s'est familiarisé avec la cristallographie dont l'importance n'a fait que croître dans l'étude des matériaux solides.

Après sa thèse, il a essayé de perfectionner les tubes à rayons X destinés à la détermination des structures cristallines en utilisant les principes de l'optique électronique pour réaliser des foyers très petits présentant une grande brillance.

Ces travaux l'ont préparé à l'emploi des microscopes dont il a été parmi les premiers utilisateurs.

Nommé en 1947 Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences de l'Université de Strasbourg, S. Goldsztaub a décidé de se consacrer à l'étude du cristal réel. Le cristal réel, par opposition au milieu cristallin idéal, est nécessairement limité par des surfaces. L'étude des surfaces avec tous les problèmes liés, s'imposait donc.

Pour entreprendre cette étude, il a pensé d'abord à la diffraction électronique. Il a donc entièrement construit

lui-même un premier diffracteur en utilisant des douilles d'obus, faute de matière première.

Avec un élève, P. Michel, il a préparé des films minces d'alliages en condensant sur un support convenable les vapeurs de constituants purs. Cette étude a montré que même des films de 100 Å d'épaisseur présentaient les mêmes structures que les alliages massifs.

La diffraction des électrons de 50 KV qui étaient alors utilisés ne permettait donc pas l'étude de la surface. Il fallait avoir recours à des électrons de faible énergie de l'ordre d'une centaine de volts beaucoup moins pénétrants. Dès cette époque (1950) il avait pensé utiliser cette technique mais faute de moyens il lui a fallu attendre patiemment plus de dix ans avant de pouvoir réaliser le premier appareil métallique démontable permettant d'étudier la diffraction des électrons de 10 à 500 volts.

Cette technique que S. Goldsztaub a été le premier à introduire en Europe, se développe actuellement de façon considérable.

Elle permet en effet d'étudier la structure de la surface cristalline dont la connaissance intéresse les problèmes de catalyse, de l'absorption, de la réaction superficielle, de la cristallisation ainsi que de tous les phénomènes qui se rapportent aux surfaces.

A côté de l'étude de la structure des surfaces, S. Goldsztaub s'est occupé de la croissance cristalline.

Ses préoccupations se reflètent dans les thèses de ses élèves. Celles-ci portent sur le faciès des cristaux ioniques, sur la diffraction électronique des alliages en couches minces ; sur la rétention des amions phosphoriques par les argiles ; sur les interactions argile-matière organique ; sur les transformations du mica muscovite entre 700 et 1.200° ; sur l'application de la microradiographie de contact au rayonnement de fluorescence ; sur l'étude de la croissance des cristaux par méthode interférométrique ; sur le rôle de la diffusion dans la croissance des cristaux à partir de solutions, sur le rôle de la concentration au voisinage d'une face cristalline sur la vitesse de croissance de celle-ci ; sur l'étude de la distribution des températures au voisinage de l'interface cristal — métal fondu — application à la me-

sure du facteur d'émission, de la conductibilité thermique, de la vitesse de croissance des métaux étain, bismuth et plomb.

Pour terminer nous voyons que Stanislas Goldsztaub a formé autour de lui au laboratoire de la Faculté des Sciences de Strasbourg toute une équipe de chercheurs, qui, avec lui, et sous sa direction, a accompli une œuvre importante et homogène, portant sur les phénomènes superficiels et le développement des faces cristallines. Ces travaux ont une portée considérable théorique et pratique dans les domaines aussi variés que la pétrographie, la métallurgie, la catalyse et la chimie. Aussi nous sommes heureux d'attribuer au Professeur Stanislas Goldsztaub la Médaille de Vermeil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

*Rapport présenté par M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Charles Legrand, pour ses nombreuses recherches dans le domaine des rayons X.*

D'abord Assistant à l'Institut Pasteur de Lille, puis à la Faculté des Sciences de Lyon, M. Charles Legrand a été détaché immédiatement après la guerre à mon Laboratoire et en est devenu le Sous-Directeur en 1951, puis le Directeur Adjoint en 1962.

M. Legrand a effectué de nombreuses recherches dans le domaine des Rayons X, d'un point de vue fondamental comme en témoigne sa Thèse de Doctorat consacrée aux diverses formes polymorphes de la cellulose ou du point de vue des applications comme il apparaît à la lecture de ses communications qui se rapportent à des sujets très variés. Il a abordé avec le même succès l'étude de couches minces, celle de la cristallinité des hauts polymères, l'analyse quanti-

tative par rayons X, etc... M. Legrand s'est attaché également à perfectionner diverses méthodes expérimentales utilisées par la suite par les chercheurs dont il a dirigé les travaux de Thèse.

M. Legrand a toujours eu le constant souci de relier la recherche fondamentale aux applications. Les travaux qu'il dirige actuellement sur les effets du broyage au niveau des imperfections cristallines ont montré déjà leur intérêt en cinétique chimique.

Enfin, M. Legrand ne s'est pas désintéressé des questions d'enseignement ; nous lui devons un certain nombre d'articles et de Conférences où il a fait connaître les nouvelles méthodes d'investigation de la structure de la matière.

*Rapport présenté par M. Arnulf, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Vermeil à M. Serge Lowenthal, pour ses travaux dans le domaine de l'optique, la métrologie, l'électro-optique et l'holographie.*

M. Serge Lowenthal, ingénieur, docteur ès Sciences, professeur de faculté, nous offre l'exemple, jusqu'ici assez rare, d'une formation orientée vers l'industrie et ayant abouti finalement à l'enseignement supérieur.

M. Lowenthal, après avoir obtenu le diplôme d'Ingénieur de l'Ecole Supérieure d'Optique, a consacré dix ans à l'Industrie et ayant abouti finalement à l'enseignement supérieur.

Il ne nous est pas possible d'entrer dans le détail, mais seulement d'indiquer les secteurs principaux de son activité. Ce sont :

— L'interférométrie différentielle, du type de Françon, en particulier dans ses applications à la microscopie et à la métrologie des petites longueurs,

— Les applications à de nouveaux types d'objectifs interférentiels, obtenus grâce à une modification du polariscope classique de Savart, qu'il est alors possible d'incorporer à la lentille frontale,

— Une méthode améliorant la précision des mesures d'épaisseurs, parce qu'elle permet dans tous les cas d'obtenir le contraste unité.

Dans le domaine des appareils pour la métrologie de haute précision, la contribution de M. Lowenthal a été importante et très diverse : invention d'une lunette d'alignement qui, pour la première fois, ne comportait aucun organe mobile ; études de réfractomètres, de télémètres, et de bien d'autres instruments de toutes espèces. Il convient aussi de citer sa participation importante à l'équipe qui a construit et mis

au point le célèbre astrolabe impersonnel de Danjon, dont le modèle construit par l'Optique et Précision de Levallois est utilisé dans le monde entier.

Serge Lowenthal, au cours de l'exercice de son métier d'ingénieur, n'a cessé d'augmenter ses connaissances ; et un tournant important dans sa carrière s'est produit lorsqu'il a été chargé à la Compagnie Générale de Télégraphie Sans Fil (C.S.F.) de la direction du Laboratoire d'Acoustique. Ses travaux, inspirés par l'étude approfondie des relations entre l'électromagnétisme et l'acoustique, l'ont conduit à l'étude des ondes de surface et à la mise au point de radiateurs d'ondes acoustiques et de transducteurs électro-acoustiques. C'est à partir de ces études qu'a été élaborée sa thèse de Doctorat d'Etat.

M. Lowenthal est revenu à l'optique pour réaliser un laser déclenché à grande puissance et à cadence rapide, destiné à la poursuite des satellites, appareil qui a donné des résultats équivalents à ceux obtenus par les américains à la même époque. Au cours d'une année passée comme adjoint au Directeur de la Prospective, il a eu à s'occuper de questions scientifiques très diverses intéressant la C.S.F.

Il a été ensuite chargé de l'organisation et de la mise en route du laboratoire d'électro-optique, consacré à l'holographie et à ses applications, où tout un ensemble de résultats nouveaux a été obtenu. J'irai très vite, M. Lowenthal ayant eu l'occasion d'exposer lui-même ses travaux sur ce sujet.

La recherche de base a porté sur les propriétés géométriques des hologrammes et les formules de conjugaison des images, sur le filtrage des fréquences spatiales en lumière incohérente à partir d'hologrammes en lumière cohérente.

De nouveaux dispositifs ont été mis au point pour l'interférométrie par holo-

graphie en utilisant une surface intermédiaire diffusante, méthode dont les applications se développent sans cesse. La reconnaissance des formes en lumière cohérente a donné lieu à une étude des différents principes utilisables, à la construction d'un appareil, et à diverses utilisations.

D'autres réalisations se réfèrent à une méthode optique de réalisation de la transformée de Hilbert, applicable à la visualisation d'objets de phase à basse fréquence spatiale, et à la multiplication d'une même image par holographie en lumière incohérente.

Comme vous le voyez, l'œuvre scientifique et industrielle de Serge Lowenthal

est considérable, et je pense qu'il est extrêmement heureux, pour le développement de l'optique en France, qu'il ait accepté de prendre en main l'enseignement de l'optique instrumentale à l'Institut d'Optique, pour lequel aucun résultat valable ne peut être obtenu si le professeur ne possède pas, à côté de la formation scientifique de base, une connaissance approfondie de l'industrie de l'optique.

La Société d'Encouragement, sur la proposition du Comité des Arts Physiques, a été heureuse de décerner à M. le Professeur Serge Lowenthal sa médaille de Vermeil.

### *Médailles d'Argent*

*Rapport présenté par M. Laffitte, au nom du Comité des Arts Chimiques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M. Maurice Coten, pour la réalisation d'appareils spéciaux, au Centre de recherches de microcalorimétrie et de thermochimie du C.N.R.S., à Marseille.*

M. Maurice Coten, ingénieur au C.N.R.S., est chargé dans notre Centre de la réalisation d'appareils spéciaux dans le domaine de l'électronique. A titre d'exemples, M. Coten a réalisé un intégrateur de courant pour correction de chaleurs de combustion, a participé à la mise en service d'un microcalorimètre à couples semi-conducteurs, a participé à la réalisation d'un microcalorimètre destiné aux mesures de chaleurs spécifiques, a construit un retardateur réglable d'impulsion de déclenchement de Laser, un amplificateur différentiel à courant continu destiné à l'amplification de signaux provenant de thermocouples, a participé au montage électronique nécessaire pour la correction des thermogrammes, a construit un générateur de

tension de la forme  $y = \sqrt{x}$ , a conçu et réalisé tous les régulateurs et programmeurs de température utilisés au Centre. Ces appareils sont capables de programmer linéairement la température, dans une gamme de 0 à 1.000 °C pour des charges pouvant atteindre 1,5 kW de gamme.

Il a réalisé un amplificateur différentiel à bas niveau et à courant continu, monté en amplificateur opérationnel destiné à réguler un four d'une puissance de 2 kW, à partir d'une faible tension différentielle d'entrée (utilisation d'une jauge de Pirani).

M. Coten a participé aux études ayant conduit à une prise de brevet par le C.N.R.S. sous le titre « Perfectionne-

ments apportés aux calorimètres à flux » (Invention Laffitte, Camia, Coten), déposé le 20 avril 1967. Ce brevet mettra la microcalorimétrie à la portée d'un plus grand nombre de laboratoires que par le passé, grâce à un prix de revient beaucoup plus bas. La Société lyonnaise S.E.T.A.R.A.M. a acquis les droits d'exploitation de ce brevet. Une présérie a ensuite été réalisée, dont les plans permettront la réalisation industrielle qui sera présentée au Salon de la Chimie 1968 à Paris.

L'intérêt de nombreux laboratoires pour cet appareil s'est déjà manifesté. Le Commerce extérieur en sera l'un des bénéficiaires : à la demande de plusieurs Académies, Laboratoires, Conférences de Calorimétrie, étrangers, je présenterai cet appareil au cours de l'année 1968 : en Grande-Bretagne en avril, en Espagne en mai-juin, aux Etats-Unis en août, en Roumanie et en Pologne en septembre.

C'est sans conteste grâce à l'activité de M. Coten qu'une telle réalisation a été possible. Son ardeur au travail, son esprit de collaboration, sa disponibilité à toutes les suggestions, à tous les problèmes n'ont d'égal que l'excellent esprit qui règne autour de lui et qu'apprécient unanimement tous ses camarades de laboratoire.

Cet exemple présenté dans ce rapport montre son aptitude à passer de l'idée de base à la réalisation industrielle, en respectant un programme P.E.R.T. draconien.

J'ajoute que deux autres brevets auxquels il a participé sont en cours de rédaction et apporteront des améliorations sensibles à la technologie dans le domaine de la thermochimie.

Toutes les qualités de M. Coten me font penser qu'une Médaille d'argent de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale sera une juste récompense de son activité créatrice.

*Rapport présenté par M. Chovin, au nom du Comité des Arts Chimiques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M<sup>me</sup> Jacqueline Hélie-Calmet, pour sa contribution à la mise au point d'une méthode analytique de caractérisation et d'identification de traces d'explosifs au Laboratoire Municipal.*

J'ai eu l'honneur de proposer la candidature de M<sup>me</sup> Hélie-Calmet Jacqueline à l'attribution d'une Médaille d'Argent au titre du Comité des Arts Chimiques.

M<sup>me</sup> Hélie-Calmet est une technicienne du Laboratoire Municipal qui, après avoir été affectée au Service de Chimie dudit Laboratoire est maintenant la cheville ouvrière du Service des Explosifs en ce qui concerne la partie analytique qui lui revient.

Collaboratrice de M. Forestier, Sous-Directeur, elle a contribué à la mise au

point d'une méthode analytique fine et délicate, permettant la caractérisation et l'identification des traces d'explosif qui ont subsisté sur les matériaux qui ont été en contact avec des engins, apportant ainsi une aide efficace aux services de police pour la poursuite de leurs enquêtes.

M<sup>me</sup> Hélie-Calvet fait preuve, dans l'accomplissement de sa tâche, d'une grande conscience professionnelle, d'un métier sûr et d'un dévouement à toute épreuve.

*Rapport présenté par M. l'Ingénieur Général de Leiris, au nom du Comité des Arts Mécaniques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M. René Cantrelle, pour ses travaux dans le domaine du calcul des contraintes.*

Ayant dès l'adolescence manifesté pour les mathématiques un goût prononcé, qui devait le conduire en 1920 à l'Ecole Polytechnique, M. René Cantrelle a cependant d'abord poursuivi pendant 36 ans une carrière industrielle sans rapport avec cette science.

Mais en 1954, à l'âge de 55 ans, il reprenait une petite affaire de famille qui lui laissait quelques loisirs. Mettant ces loisirs à profit, il suivait de manière intermittente des cours à l'Institut Henri-Poincaré, faisait un stage de quatre mois au Service de statistique de l'Institut de Recherches de la Sidérurgie, travaillait occasionnellement sur des problèmes statistiques que lui confiait l'Institut de Recherches de la Céramique, jusqu'au jour où en novembre 1958, il prenait un poste d'Ingénieur contractuel à temps plein à la Division Calculs du Laboratoire de Résistance des Matériaux du Service Technique des Constructions et Armes Navales.

Cette reconversion apparaît d'autant plus spectaculaire que, depuis le passage de M. Cantrelle à l'Ecole Polytechnique, les mathématiques appliquées avaient beaucoup changé, notamment du fait du développement des machines à calculer

électroniques. En fait c'est à un tout autre mode de pensée que M. Cantrelle a dû s'adapter pour arriver aux buts qui lui étaient proposés et dont le premier a été atteint par la mise au point et la publication en 1966 d'une méthode de calcul des contraintes dans les enveloppes de révolution soumises à un chargement axisymétrique, adaptée à la programmation sur calculateur digital De ce travail qui a obtenu depuis 1964 le soutien de la Délégation Générale à la Recherche scientifique et technique, l'exploitation au bénéfice de l'Industrie française est maintenant prise en mains par le C.E.T.I.M.

Entre temps, M. Cantrelle n'a cessé d'approfondir sa connaissance des mathématiques modernes afin de pouvoir aborder avec fruit les problèmes d'un ordre de difficulté plus élevé encore sur lesquels il travaille maintenant.

A l'heure où la rapidité du progrès technique rend indispensable une constante remise à jour des connaissances des ingénieurs en activité, le Comité des Arts Mécaniques estime juste de distinguer par une Médaille d'Argent le bel exemple d'adaptation aux circonstances nouvelles donné par M. René Cantrelle.

*Rapport présenté par M. Chaffiotte, au nom du Comité des Arts Mécaniques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M. Albert Pessonneaux, pour la valeur professionnelle dont il a fait preuve pendant toute sa carrière au service de la Société Hispano-Suiza.*

Au service de la Société Hispano-Suiza depuis le 19 octobre 1921, embauché en qualité d'apprenti ajusteur.

Après trois ans d'apprentissage, est affecté dans un atelier de Montage Prototypes en qualité d'Ajusteur monteur.

Très vite remarqué par sa valeur professionnelle, fut désigné en 1935 pour fabriquer, à la main, un prototype de

pale d'hélice, à partir de dessins établis par le Bureau d'Etudes H.S.

Ces hélices ont équipé les avions d'Air-France, Dewoitine 338 et Potez 62.

En 1936 : fut chargé de la mise au point des régulateurs d'hélices Constant-Speed et des essais d'endurance au banc d'hélices prototypes H.S.

En 1937 : détaché en Italie pour la mise au point des hélices sur avions bi-moteurs « Saoia-Marchetti ».

A son retour, fut affecté comme mécanicien moteurs chez les avionneurs.

A participé à la mise au point de canons H.S.

Détaché au C.E.V., en qualité de Chef Metteur au point, pour mise au point des moteurs H.S. équipant les avions prototypes Nieuport et Morane 405 et 406.

De 1939 à 1942, affecté spécial à une escadrille de chasse équipée d'avions Morane 406, a suivi cette escadrille au Maroc (Tiès, Marrakech, Meknès).

De 1942 à 1945, employé à l'A.I.A. de Casablanca comme chef d'atelier responsable de la réparation des moteurs d'avions.

Rappelé après la libération par la Société Hispano-Suiza en qualité de Contremaître.

Après un stage en Angleterre, chez Rolls-Royce, pour se former sur les turbo-réacteurs, il conduisit les travaux de construction du premier banc d'essais pour turbo-réacteurs et participa ensuite, très activement, à la mise au point des premiers turbo-réacteurs Derwent et Nene.

Nommé chef d'atelier en 1950, il dirigea très efficacement jusqu'en 1962 les équipes de metteurs au point chargés des essais de série et de recherche des turbo-réacteurs (Nene, Tay, Verdon, Turboméca).

Ses qualités de chef et de formateur le firent choisir à cette date pour diriger les travaux des équipes Hispano-Suiza, détachées dans un très important Centre du C.E.A., où il poursuit brillamment sa carrière.

Sa valeur professionnelle est toujours très appréciée, c'est un excellent collaborateur très dévoué.

*Rapport présenté par M. Pommier, au nom du Comité des Arts Mécaniques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M. Roger Pluchet, pour son activité consacrée à la formation des cadres de techniciens.*

M. Roger Pluchet, Officier de l'Instruction Publique, né à Bagnex en 1910, a été élève de l'École Normale d'Instituteurs de Versailles. Il a consacré toute sa carrière à l'enseignement, et plus particulièrement à l'enseignement technique, dont il a compris très tôt le développement qu'il devait prendre. Professeur de cours complémentaire en sciences, se rapprochant des milieux industriels pour connaître leurs besoins et donner une orientation pratique à son enseignement, il s'orienta en particulier vers le dessin industriel.

Il a été notamment professeur de mathématiques et de dessin industriel aux cours professionnels d'Enghien, de 1938 à 1946, Directeur des cours professionnels de la Ville de Compiègne, de 1946

à 1949, Directeur de Collège d'enseignement technique à Compiègne, à Vitry-sur-Seine puis jusqu'à ce jour à Paris.

Il a apporté un précieux concours à la Fédération des Industries mécaniques, en participant activement au fonctionnement de ses cours et c'est spécialement grâce à lui, grâce à son entier dévouement, que la Fédération a pu démarrer et développer ses cours de techniciens supérieurs en promotion sociale, actuellement uniques en France pour leur importance et leur succès.

Pour cette activité, et pour toute sa carrière ainsi consacrée à la formation des cadres de techniciens dont manquaient jusqu'ici particulièrement nos industries, la S.E.I.N. décerne à M. Roger Pluchet sa Médaille d'Argent.

*Rapport présenté par M. Canac, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M. Claude Gazanhes, pour ses travaux scientifiques variés, et notamment pour ses études concernant les ondes ultrasonores.*

#### DIPLOMES UNIVERSITAIRES.

- Baccalauréat Mathématiques (série moderne) Aix-Marseille, 1954 ;
- Licence ès Sciences Physiques, Aix-Marseille, 1957 ;
- Certificat d'Etudes Supérieures d'Electronique et Radio-électricité, 1958 ;
- Diplôme d'Etudes Supérieures (1958) préparé sous la direction de Y. Jullien au laboratoire d'Elasticité du C.R.S.I.M. sur le sujet suivant : « Etude des vibrations latérales d'une poutre encastrée, guidée sur fondation élastique ».
- Diplôme d'Ingénieur Electricien de l'Ecole Supérieure de Malakoff (1960).

#### CARRIERE AU C.N.R.S.

- Est entré au C.N.R.S. comme adjoint au Chef du Laboratoire des Ultrasons le 1<sup>er</sup> avril 1963 ;
- Chef du Laboratoire des Ultrasons depuis le 1<sup>er</sup> avril 1964.

#### TRAVAUX SCIENTIFIQUES.

Chaque thème de recherche a fait l'objet de publications dont nous citons les références, d'au moins une communication à un Congrès, Colloque ou Réunion scientifique. Si la recherche a conduit à réaliser des appareillages de mesures ils ont été présentés à des expositions scientifiques (Exposition de Physique, Paris, en 1964 et 1967, Philarma, Marseille 1966).

##### I. *Déflexion d'un faisceau L.A.S.E.R. par une onde ultrasonore.*

On se propose d'obtenir des déviations lumineuses importantes de façon à pouvoir réaliser des balayages optiques à grande vitesse nécessaires pour la visualisation de données (informatique) la

stroboscopie (étude de phénomène rapides), la métrologie (Radar optique). Nous avons pour cela réalisé un L.A.S.E.R. à rubis et les cellules optiques commandant le balayage. Des liquides transparents et les résines silicones ont été étudiés.

- Essai de refroidissement et influence de la température sur l'émission d'un L.A.S.E.R. à rubis, C. Gazanhes, note *C.R.P.*, n° 766 (mai 1964).
- Déflexion d'un faisceau L.A.S.E.R. par une onde ultrasonore stationnaire dans un liquide, C. Gazanhes, *Réunion d'information sur les nouvelles applications de l'optique organisée par la D.R.M.E. à l'Institut d'Optique de Paris* (octobre 1966).
- Déflexion d'un faisceau lumineux par une onde ultrasonore, C. Gazanhes, J.-L. Garnier, *C.R. Acad. Sciences*, t. 265, p 295-7 (juillet 1967).

##### II. *Vibrations des transducteurs à céramiques piézoélectriques.*

Le champ ultrasonore rayonné par les transducteurs a été calculé théoriquement et relevé expérimentalement dans le cas général où le disque de céramique ne vibre pas en membrane-piston. Ce problème est lié directement à la réponse et au diagramme de directivité des hydrophones.

- Etude des champs proches des transducteurs à céramiques piézoélectriques, C. Gazanhes, W. Pajewski, *5<sup>e</sup> Congrès International d'Acoustique* (Liège 1965).
- Distribution d'amplitude des vibrations ultrasonores d'un disque de titanate de baryum, C. Gazanhes, *C.R. Acad. Sciences*, t. 261, p. 33053-5 (octobre 65).

— Champ ultrasonore de disques de titanate de baryum et de quartz émettant dans un liquide. W. Pajewski, C. Gazanhes et J.-L. Garnier, *C.R. Acad. Sciences*, t. 262, p. 232-4 (janvier 1966).

III. *Mesure de la pression de radiation.*

Nous avons pour cela réalisé un *pendule mécanique* sensible à la pression de radiation des ondes ultrasonores. Etalonné à partir des hypothèses de King, il permet le relevé rapide des champs ultrasonores rayonnés par les transducteurs et leur étalonnage en puissance.

— Détecteur enregistreur de la pression de radiation ultra-sonore, C. Gazanhes, J.-L. Garnier et G. Reinier, *Acustica*, 16-3, p. 142-9 (1965-66).

— Enregistrement de la pression de radiation et son application aux relevés des champs ultrasonores, C. Gazanhes, *Colloque National d'Acoustique Sous-Marine* (Nice, avril 1967).

IV. *Etudes générales portant sur la propagation et l'absorption des ondes ultrasonores.*

Ces études ont été faites au laboratoire soit en équipe, soit par des étu-

dants en vue d'obtenir un diplôme d'Etudes Supérieures.

— Etude de la propagation d'une onde ultrasonore dans un bitume pur, par J.-L. Garnier et C. Gazanhes, *C.R. Acad. Sciences*, t. 263, p. 1163-6 (novembre 1966).

— Utilisation d'un corrélateur pour l'étude des propriétés statistiques d'une surface liquide aléatoire — Etude du rayon ultrasonore réfléchi par cette surface, C. Gazanhes, *Réunion d'information sur les problèmes de corrélation organisée par le Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble* (décembre 1967).

— Etude de la réflexion et de l'absorption d'ondes ultra-sonores par des réseaux de grillages métalliques, M. Tournier, *D.E.S., Marseille*, 1965.

— Etude de l'amortissement des ultrasons en milieu hétérogène, J.-P. Crispel, *D.E.S., Marseille*, 1966.

V. *Cours-Conférences sur l'émission, la propagation.*

Mesure des ondes ultrasonores pour les étudiants du Diplôme d'Etudes Approfondies d'Acoustique.

*Rapport présenté par M. Escande, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M. Edmond Perriard, pour ses nombreuses et diverses collaborations techniques dans le domaine de la recherche et de l'enseignement.*

SITUATIONS SUCCESSIVES :

Du 1<sup>er</sup> mai 1921 au 31 octobre 1926, Mécanicien Electricien à l'Institut Electrotechnique ;

Du 1<sup>er</sup> novembre 1926 au 31 décembre 1948, Electricien à la Faculté des Sciences de Toulouse ;

Du 1<sup>er</sup> janvier 1949 au 31 octobre 1957, Technicien à la Faculté des Sciences de Toulouse ;

A partir du 1<sup>er</sup> novembre 1957, Technicien Classe Exceptionnelle.

TRAVAUX :

M Perriard Edmond est notre plus ancien collaborateur. Attaché au service de M. Ch. Camichel, Membre de l'Institut, Directeur-Fondateur de l'Institut Electrotechnique et de Mécanique Appliquée de l'Université de Toulouse, il

contribua au développement de cet Institut et également à celui des Laboratoires de Recherches Hydrauliques auxquels M. Ch. Camichel attachait tant de prix.

Par sa compétence et sa haute qualification professionnelle, M. E. Perriard a participé de façon particulièrement active aux travaux qui ont permis de vérifier les lois de la similitude en hydraulique, au moyen des modèles réduits qu'il réalisait en laboratoire.

Son activité l'a amené à contribuer très largement aux études sur les barrages, conduites forcées, prises d'eau, canaux, chambres d'équilibre etc... et aux phénomènes tels que « coups de bélier », affouillements, instabilités, etc... Il participa également à la mise au point du procédé, dû à M. Ch. Camichel, « la méthode chronophotographique ».

Dans le cadre des enseignements à l'Ecole des Conducteurs, M. Perriard a eu la charge des travaux pratiques d'atelier. Il contribua ainsi à la formation de plusieurs générations de Conducteurs Electriciens Mécaniciens.

Au début de 1939, E. Perriard fut attaché au Service de M. P. Dupin, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur adjoint à l'E.N.S.E.E.H.T. Directeur de l'Option Electronique. Dans ce nou-

veau domaine, il construisit les premiers dispositifs pour l'étude systématique de la propagation des ondes centimétriques et divers autres dispositifs de recherches et travaux pratiques.

Par la suite, responsable de l'Atelier de Mécanique Générale, il a apporté sa collaboration à tous les Services de notre Ecole et à nos Laboratoires. Il organisa aussi les travaux pratiques d'atelier, d'essais de matériaux et de métrologie pour nos étudiants et participa très efficacement aux travaux de recherches en concevant et faisant construire les appareils de précision et prototypes indispensables pour ces travaux (guides d'ondes millimétriques, système de mesure de puissance rayonnée, mesure du débit sanguin cérébral, avec traceurs radioactifs, etc...).

Examinateur aux épreuves pratiques de l'Ecole des Conducteurs, il participa à ce même titre au recrutement du personnel technique de la Faculté des Sciences.

La très haute qualité professionnelle de M. E. Perriard, son constant dévouement, ses aptitudes physiques et intellectuelles en ont fait notre plus précieux collaborateur et, pour ces raisons, nous estimons que M. Perriard mérite, sans nul doute, la distinction attribuée.

*Rapport présenté par M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille d'Argent à M. Christian Sauvaire, pour ses recherches concernant l'étude microgéométrique et microstructurale des surfaces usinées.*

M. Christian Sauvaire est Ingénieur au Laboratoire Central de l'Armement, où il effectue des recherches importantes concernant l'étude microgéométrique et microstructurale des surfaces d'acier usinées. D'une façon plus précise, il a analysé les transformations de phase et de structure dans les surfaces rectifiées d'aciers de construction, et a

élucidé l'origine et la composition de la « couche blanche » très dure qui apparaît à la surface des aciers pour certaines conditions de rectification.

Il a étendu ses études aux surfaces usinées par étincelles ou par bombardement électronique ou photonique. L'analyse des transformations microstructurales qu'ils produisent localement

dans les surfaces métalliques lui a permis d'approfondir les mécanismes fondamentaux des transformations dans l'état solide au cours des flashes thermiques.

Ingénieur de valeur, Docteur ès Sciences depuis 1967, M. Christian Sauvaire est digne de se voir attribuer une Médaille d'Argent de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

•

### *Médailles de Bronze*

•

*Rapport présenté par M. Michel, au nom du Comité des Arts Chimiques, sur l'attribution d'une Médaille de Bronze à M. Alain Rouault, pour ses études et travaux en métallurgie et métallographie.*

DIPLÔMES UNIVERSITAIRES :

Baccalauréat C, Sciences Expérimentales ; certificats de métallurgie et de structure de la matière au Conservatoire National des Arts et Métiers.

FONCTION ACTUELLE :

Chimiste adjoint qualifié.

TRAVAUX :

C.E.A. — Participation à des études sur les alliages fer-aluminium. Emploi

des moyens classiques d'investigation d'un laboratoire de métallurgie : fusions et coulées sous vide, transformation, martelage, étirage, essais de diffusion ; métallographie ; dilatométrie ; essais de traction, de dureté...

C.N.R.S. — Montage d'un appareil de mesure de moments magnétiques. Etude sur des cémentites substituées au manganèse et au chrome. Etude par diffraction X du carbure  $Cr_7C_3$  : structure et mâcles.

•

*Rapport présenté par M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Bronze à M. Jean Blancheton, pour ses services, comme Mécanicien à l'Atelier de La Londe.*

M. Blancheton est depuis trente ans environ mécanicien à l'Atelier de La Londe (Var) dépendant de l'Etablissement de Saint-Tropez de la Marine Nationale. Il a actuellement le titre de fraiseur de précision.

Mécanicien de métier, M. Blancheton excelle en menuiserie et son originalité d'esprit, son ingéniosité l'ont conduit à être chargé des travaux les plus déli-

cats, souvent hors de sa compétence normale.

M. Blancheton personnifie parfaitement les qualités d'initiative, d'intelligence, d'habileté manuelle qui sont les bases des plus belles réalisations de l'Industrie Nationale. La Médaille de Bronze de notre Société est une juste récompense de ses rares mérites.

*Rapport présenté par M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Bronze à M. Christian Dolin, pour ses précieux services comme collaborateur technique de laboratoire.*

Depuis son entrée au Laboratoire le 15 avril 1966, M. C. Dolin s'est révélé comme un collaborateur très précieux. L'expérience qu'il a acquise dans l'industrie comme dessinateur d'études, lui a permis de mener à bien l'élaboration des projets qui lui ont été confiés et pour lesquels de difficiles questions étaient à résoudre Citons : un microfour pour microscope électronique, une caméra goniométrique pour orientation très précise de monocristaux, une Microchambre de Faraday pour la mesure

des intensités des faisceaux ioniques, la modification d'ensemble d'un diffracteur à électrons lents.

Il a fait preuve, dans tous ces cas, de connaissances techniques étendues, de conceptions originales, d'un très bon esprit de collaboration avec les chercheurs.

Le concours intelligent et dévoué qu'il apporte au développement des recherches a justifié l'attribution de la distinction proposée.

*Rapport présenté par M. Escande, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Bronze à M. René Fadel, pour la collaboration technique de plus en plus efficace qu'il a apportée à la Recherche scientifique.*

#### SITUATIONS SUCCESSIVES :

- Collaborateur technique à l'Atelier de l'E.N.S.E.I.H.T. de novembre 1954 à janvier 1956 ;
- Agent spécialiste 2<sup>e</sup> catégorie à l'Enseignement Technique de 1956 à 1957 ;
- Aide-Technique à l'Enseignement Supérieur de 1957 à 1967 ;
- Collaborateur Technique, 2<sup>e</sup> catégorie au C.N.R.S. (5<sup>e</sup> échelon).

#### TRAVAUX :

M. Fadel est un des plus anciens collaborateurs du Laboratoire du Génie Electrique, puisqu'il y est entré en novembre 1954.

Si on fait le bilan de ces 14 années consacrées au Laboratoire, on peut affirmer que M. Fadel représente le modèle du Collaborateur efficace et dévoué, qui n'a jamais relâché son effort, au cours de ces longues années, en vue d'élargir et d'approfondir ses connaissances, tant sur le plan professionnel que sur le plan des études universitaires.

Embauché comme ouvrier spécialiste

2<sup>e</sup> catégorie, M. Fadel est, 14 ans plus tard, Chef de l'Atelier de Mécanique du Laboratoire d'Automatique et de ses Applications Spatiales et investi d'importantes responsabilités. Sur le plan des études universitaires, un travail solitaire et acharné l'a amené, échelon après échelon, au diplôme d'Etudes Supérieures des Facultés, quelques années après l'obtention du baccalauréat.

On peut souligner que son goût de l'étude, son travail acharné et son souci de la minutie et du travail fait parfaitement, lui ont permis d'acquérir la maîtrise de techniques fort difficiles ; on ne citera que les techniques spatiales, délicates et nouvelles, où il faut être un pionnier pour avancer, les méthodes particulières sur pont vibrant, et enfin, les techniques d'ultra-vide où il a toujours apporté sur le plan mécanique des solutions originales et hautement efficaces. On peut résumer notre pensée en disant que M. Fadel est le modèle du technicien qui, parfaitement maître de son art, a su élargir son domaine et accroître son efficacité par le support d'une culture scientifique de haut niveau.

*Rapport présenté par M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Bronze à M. Jack Novi, pour les services techniques rendus par lui tant dans la Marine Nationale qu'au Laboratoire des hautes pressions du C.N.R.S.*

M. Novi a travaillé 15 ans à la Marine Nationale en qualité de Maître mécanicien adjoint à l'ingénieur de l'escorteur rapide « Le Savoyard ». A bord des sous-marins il assurait notamment l'entretien et la réparation des matériels hydrauliques et pneumatiques. Depuis son entrée au Laboratoire des hautes pressions du C.N.R.S., M. Novi a mis à profit les compétences acquises pour la mise au point d'une installation de moulage à chaud (2.000 bars, 1.000 à 1.500 °C). Son initiative et ses qualités professionnelles ont permis l'avancement satisfaisant des recherches dans ce domaine,

recherches qui présentent un grand intérêt non seulement dans le domaine du moulage mais aussi dans celui du chemisage et du frittage (procédés connus aux Etats-Unis sous le nom de gas-pressure bonding). Je dois ajouter que lors d'un incident survenu récemment la présence d'esprit de M. Novi a permis d'éviter des dégâts sérieux.

L'attribution d'une Médaille de Bronze de la Société pour l'Encouragement pour l'Industrie Nationale est une juste récompense des services rendus par M. Novi à la technique et à la Science françaises.

*Rapport présenté par M. Escande, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques, sur l'attribution d'une Médaille de Bronze à M. Jacques Roux, pour sa haute qualification professionnelle et le précieux concours qu'il a apporté aux chercheurs.*

SITUATIONS SUCCESSIVES :

- 11 octobre 1952 : Collaborateur Technique, Catégorie 2B, 1<sup>er</sup> échelon ;
- 1<sup>er</sup> juillet 1965 : Physicien, Catégorie 1B, 5<sup>e</sup> échelon ;
- Actuellement : Physicien, Catégorie 1B, 6<sup>e</sup> échelon.

TRAVAUX :

M. J. Roux, diplômé de l'Ecole de Conducteurs Electriciens Mécaniciens de l'Université de Toulouse, est, parmi nos plus anciens collaborateurs, celui qui, de par sa formation d'Electricien a apporté au Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique industrielle une très précieuse collaboration à un moment où le développement de l'électronique intéressait toutes les disciplines.

Nous avons pu apprécier ses connaissances lors de l'application aux machines électriques des propriétés des convertisseurs statiques contrôlés par thyristors et thyristons. A ce titre, il a

collaboré avec beaucoup de chercheurs préparant des thèses en Electrotechnique, auxquels il a apporté ses connaissances étendues en Electronique, courant fort, courant faible et en métrologie électronique dont les applications se sont largement étendues ces dernières années.

M. J. Roux, qui a déjà une longue carrière au sein du Centre National de la Recherche Scientifique, a participé au surplus à des travaux originaux qui ont fait l'objet de vingt-deux Notes aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences et d'articles parus dans une revue spécialisée et touchant plus particulièrement l'utilisation de l'effet Hall dans le calcul analogique.

Par le concours constant de ses connaissances qu'il apporte aux chercheurs de nos Laboratoires, sa haute qualification professionnelle, son dévouement et ses aptitudes intellectuelles et physiques, nous considérons que M. J. Roux mérite la distinction attribuée.

---

*Le Président de la Société, Directeur de la publication : J. TRÉFOUËL, D.P. n° 1.080*

I.F.Q.A.-CAHORS. — 90.678 — Dépôt légal : I-1970

---

