

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).

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

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

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

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	1975, n° 2
	1975, n° 3
	1975, n° 4
	1976, n° 1
	1976, n° 2
	1976, n° 3
	1976, n° 4
	1977, n° 1
	1977, n° 2
	1977, n° 3
	1977, n° 4
	1978, n° 1
	1978, n° 2
	1978, n° 3
	1978, n° 4
	1979, n° 1
	1979, n° 2
	1979, n° 3
	1979, n° 4
	1980, n° 1
	1982, n° spécial

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

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Volume	1971, n° 2
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1971

Collation	1 vol. (42 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	48
Cote	INDNAT (95)
Sujet(s)	Industrie
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	03/09/2025
Date de génération du PDF	08/09/2025
Recherche plein texte	Non disponible
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT.95

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.

S. E. I. N.
Bibliothèque

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
1971 - N° 2



N° 2 - 1971

SOMMAIRE

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES.

- Remise à la Société Ugine-Kuhlmann du Grand Prix Lamy
p. 3
- Contribution d'Ugine-Kuhlmann au développement nucléaire français,
par M. J.-E. LEGER, p. 7
- Préparation du fer de très haute pureté et propriétés particulières de ce métal,
par Mme S. TALBOT-BESNARD, p. 17

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

- Prix et Médailles décernés le 12 septembre 1970
p. 37

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 : 40 F

le n° : 15,00 F

C.C.P. Paris, n° 618-48

*Revue de la Société d'Études Scientifiques
du Grand Est
de la Société d'Études Scientifiques
par l'Université de Strasbourg*

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Remise à la Société Ugine-Kuhlmann du Grand Prix Lamy de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale

Introduction

par M. le Président Jacques TRÉFOUËL

Membre de l'Institut

C'est une bien agréable tâche qui m'incombe aujourd'hui : décerner le Grand Prix Lamy au grand ensemble que représentent les Sociétés Ugine-Kuhlmann.

Permettez-moi de rappeler tout d'abord que le Grand Prix Lamy, donné pour la première fois en 1943, a consacré la valeur de nos plus importantes réalisations françaises. Remontant le cours du temps, je citerai, au hasard, la Société Nationale des Chemins de Fer Français ; les Sociétés des Automobiles Citroën, Renault, Peugeot, les Fonderies de Pont-à-Mousson ; l'Air Liquide.

Le choix s'est porté, cette année, sur la Société Ugine-Kuhlmann : il ne pouvait être plus judicieux.

Résumer les activités d'un tel groupement me paraît une ambition démesurée ; je me bornerai à rappeler quelques noms parmi les principaux savants dont les travaux ont servi de base à l'édification de l'un des ensembles les plus remarquables du monde moderne.

C'est le Professeur Kuhlmann, de Lille, qui fonda, en 1825, l'usine qui porte son nom et produisait alors le vitriol. Les principaux conseillers de cette affaire furent le Professeur Lebeau et le Professeur Pascal, spécialiste de la catalyse industrielle (ammoniaque, acide nitrique).

Par ailleurs, se développait, dès 1889, la Société d'Electrochimie, base de la future société Ugine.

Nous arriverons très vite aux travaux les plus frappants. Ce fut, tout d'abord, la transposition industrielle d'une découverte de ce grand savant que fut Henri Moissan, Membre de l'Académie des Sciences, qui reçut en 1906, le premier prix Nobel de Chimie minérale. Il s'était attaché, entre autres, à la chimie des hautes températures et, avec le modeste appareillage dont il disposait à l'Ecole de Pharmacie, il avait dégagé les principes essentiels de la fabrication du carbure de calcium, puis ceux de la réduction des minerais pour en obtenir des ferro-alliages carburés et affinés. Henri Gall,

après avoir réussi la première application industrielle de l'électrolyse pour la fabrication des chlorates, comprit l'importance des travaux de Moissan dont il était l'ami et le fidèle collaborateur. En 1894, il fondait, avec Bullier, la Société des Carbures Métalliques destinée à la production du carbure de calcium : ce fut l'origine de la production industrielle de l'acétylène. Les mêmes travaux de Moissan inspirèrent Jules Barut qui, dans l'usine d'Electrochimie du Giffre, se consacrait à la fabrication des ferro-alliages. Ce furent ensuite les travaux de Paul Héroult qui aboutirent à la production de l'aluminium et à l'emploi du four électrique pour la fabrication des aciers spéciaux. La première coulée d'acier eut lieu en 1910. Entre-temps, Paul Girod, en analysant un bistouri aux propriétés étonnantes confié par le Professeur Reverdin, y découvrait des traces de vanadium et cherchait les moyens d'incorporer à l'acier des éléments d'addition capables d'en modifier les propriétés. Il fondait alors les Acieries Electriques d'Ugine qui devaient s'assembler à la Société d'Electrochimie du Giffre pour renforcer cet outil industriel à vocation unique : l'utilisation de l'énergie électrique pour l'élaboration d'une métallurgie fine.

Conseiller scientifique d'Ugine, le Professeur Portevin, Membre de l'Institut, fut avec Guillet, l'inventeur de l'acier inoxydable tandis qu'à la même époque, c'est-à-dire vers 1930, René Perrin, Membre de l'Académie des Sciences, se penchait sur le problème du brasage de l'acier avec des laitiers de composition déterminée ; les procédés Ugine-Perrin donnaient à l'acierie d'Ugine une position technique d'avant-garde.

La continuité de l'œuvre de tous ces savants est très remarquable ; c'est ainsi que les idées de Perrin furent amplifiées par André Greffe et aboutirent à l'élaboration d'alliages à très bas carbone, notamment de ferro-chrome et de ferromanganèse. M. Jean Etienne Léger, Directeur à la Société Ugine-Kuhlmann, nous fera découvrir tout à l'heure les rôles de l'uranium et du zirconium dans

le développement nucléaire français. Auparavant, je voudrais encore rappeler que sa position d'aciériste a conduit Ugine à s'intéresser à la transformation des aciers et l'on doit tout particulièrement citer la mise au point du procédé de filage de l'acier connu sous le nom d'Ugine-Séjournet. Une collaboration fructueuse entre le Comptoir Industriel d'Etirage et de Profilage des métaux et les Acieries Electriques d'Ugine, et plus précisément entre Jacques Séjournet qui avait eu l'idée d'une lubrification par le verre des produits à filer et Louis Labataille, aboutit en 1941 aux premiers brevets de filage de l'acier. La mise en œuvre industrielle de cette technique est le fruit du rapprochement de ces deux entreprises.

Puis-je me permettre, entre parenthèses, de rappeler que la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale a honoré la plupart de ces grands réalisateurs ?

Après la dernière guerre, la Société Ugine, en association avec la Compagnie Pechiney, a mis au point un nouveau procédé de fabrication du magnésium par réduction au ferro-silicium et condensation en phase liquide, l'opération s'effectuant dans le vide. C'est ainsi que la France peut suivre le large développement du marché du magnésium.

Enfin, en 1966, s'opérait la fusion Ugine-Kuhlmann. Au passage je noterai que ce groupe est, de très loin, le premier producteur d'aciers inoxydables : 300.000 tonnes exportées par an.

Tout ce que nous venons de survoler ne constitue qu'une partie de l'activité du groupe Ugine-Kuhlmann. Son importance s'est affirmée depuis longtemps dans le domaine de la chimie minérale et des engrais ; un document, récemment élaboré par la Direction des relations extérieures, précise que la Division produit 20 % de l'acide sulfurique français, la quasi-totalité des produits sulfatés. Dans le domaine de l'azote la Division représente 14 % de la production française et dans celui du chlore 17 %. Il faudrait aussi parler des produits pétroliers, de la production du méthanol,

des phosphates, des anti-détonnants : plomb - tétraéthyle et - tétraméthyle représentant 100 % de la production française : des solvants, tels ceux utilisés pour la fabrication des polyuréthanes.

Par ailleurs, en 1969, la production d'engrais atteignait 600.000 tonnes : cette même année se créait avec Pechiney- St-Gobain, la Sté Anonyme Générale d'Engrais qui adjoint un secteur de produits de défense des cultures et des produits pour l'alimentation du bétail.

Enfin, la partie matière colorante a pris une extraordinaire extension depuis les colorants histologiques et bactériologiques de Roux, Agulon, Legroux (R.A.L.) jusqu'aux dernières réalisations des matières colorantes pour fibres synthétiques, papier, cuir, matières plastiques. En 1969, la qualité de l'effort était récompensée par l'attribution à la Sté Française des Matières colorantes, de

l'Oscar de la meilleure promotion à l'exportation.

Nous terminerons ce brillant palmarès en notant le récent débouché d'Ugine-Kuhlmann dans le domaine pharmaceutique : la belle carrière de l'Ergadyl en est le premier succès.

Il me semble inutile de vous affirmer que c'est avec une joie toute particulière que je vais remettre la médaille que la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale décerne pour le Grand Prix Lamy,

à Monsieur Jean Gall, Vice-Président de la Société Ugine-Kuhlmann.

J'ajoute qu'il est, en outre, Président de l'Union des Industries Chimiques.

Monsieur Gall, voici donc l'emblème de notre admiration. Je vous passe maintenant la parole pour le rôle qui vous a été confié par votre Société.

Réponse de M. LE GALL

Vice-Président de la Société Ugine-Kuhlmann

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

Très reconnaissant de la haute distinction dont, sur votre rapport, notre Groupe vient d'être l'objet, notre Président, Monsieur Pierre Grézel, avec toute sa délicatesse, m'a chargé de vous présenter l'expression de nos remerciements et de notre gratitude.

Les raisons qui ont motivé ma désignation sont, d'une part la durée exceptionnelle de mon appartenance à ce Groupe, près de 50 ans aujourd'hui, mais surtout le fait que depuis mon enfance, et pendant toute ma jeunesse, j'ai été élevé avec des sentiments de déférente admiration pour l'œuvre accomplie par la Société d'Encouragement.

Mon père, Henry Gall, qui depuis 1887 dirigeait l'usine de Villers-Saint-Sépulcre, qui est la plus ancienne usine de notre Groupe en dehors de celles des Etablissements Kuhlmann, a eu l'honneur de présenter en 1889 à la Société d'Encouragement, un mémoire sur la production industrielle de l'acide carbonique

liquide, première application industrielle des travaux de Cailletet. Votre grande Médaille d'Or lui fut attribuée en 1892, et cette haute distinction décernée à un chimiste de 30 ans a beaucoup contribué à mettre sa personnalité en évidence et a ainsi facilité le départ de sa carrière. Par la suite, il est entré à votre Conseil et je peux dire que jusqu'à son décès survenu en 1930, parmi tous les titres honorifiques qui lui avaient été décernés, il en est peu qui lui aient été plus sensibles que son appartenance au Comité des Arts Chimiques dont il suivait régulièrement les séances.

Que de fois l'ai-je accompagné dans cette salle où nous sommes réunis aujourd'hui. Que de fois l'ai-je entendu me souligner ce qu'il y avait d'exact dans la dénomination « Comité des Arts Chimiques » qui rappelait que, malgré toutes les tentatives pour faire de la chimie une science de déduction, elle restait, par son essence même, une science d'expérience et de sens de la matière.

Ce n'est pas auprès de vous, Monsieur le Président, dont toute la carrière s'est déroulée — et avec quel succès — sous le signe de la recherche expérimentale, que j'ai besoin d'insister pour démontrer que les qualités demandées aux chimistes s'apparentent à celles qui déterminent la création artistique.

Mais bien d'autres distinctions de la Société d'Encouragement ont dans le cours des âges, été décernées à notre Groupe. Sans remonter à l'époque de Frédéric Kuhlmann qui fondait sa Société en 1825, je souligne que les Etablissements Kuhlmann ont été honoré en 1926 de la Grande Médaille Michel Perret et ce en raison de la part exceptionnelle que, sous l'impulsion du très regretté Raymond Berr, ils avaient prise à la création de l'industrie carbochimique dans le Nord de la France.

De même en 1933, Monsieur René Perrin, en raison des travaux qu'en association avec André Greffe il avait entrepris pour l'élaboration des aciers sous laitiers, a été lauréat de votre prix Bardy, préparation à la grande Médaille annuelle qui fut décernée en 1936 à la Société d'Electrochimie, d'Electrometallurgie et Acieries Electriques d'Ugine.

Aujourd'hui, vous voulez bien nous honorer du prix Lamy qui a été fondé dans le but de récompenser ceux qui sont à l'origine du développement des industries d'une région ou qui ont fait connaître par leurs expériences les produits français. Je vous remercie de reconnaître ainsi la part que les Etablissements Kuhlmann ont prise au développement de la région du Nord par la création qui leur est due de l'industrie de la carbochimie. Je vous sais gré aussi de souligner la part que notre Groupe a prise dans le développement de la région des Alpes : Isère et deux Savoies. Certes ce développement industriel s'est souvent accompagné de quelques sujétions sur le plan de l'environnement ; mais pensez qu'avant l'apparition de nos industries ces régions paraissaient pour toujours devoir rester des régions deshéritées. La cuve d'électrolyse et le four électrique ont transformé les perspectives qui

étaient les leurs. Quant aux exportations, qui représentent une part considérable de notre activité, notre Groupe a, sans contestation possible, contribué à faire connaître à l'extérieur la qualité de la production française.

Je vous remercie très sincèrement de la consécration officielle que le prix Lamy apporte aujourd'hui à nos efforts. Ces premiers jours de décembre sont, pour tous les Français, indissolublement liés à la gloire militaire la plus pure de votre fondateur. Mais n'était-ce pas une autre manifestation de son génie que la création de votre Société ? Pour réparer les ruines de la Révolution, il fallait industrialiser la France, et l'industrialiser dans l'ordre et la méthode. La Société d'Encouragement ne fut-elle pas la première tentative réussie d'un plan de développement ? Et n'était-ce pas une autre prescience que d'y réserver la part la plus grande à la chimie ? Berthollet et Vauquelin faisaient partie de son premier Comité, Chaptal fut son premier Président et orienta son activité créatrice. Il n'est que prendre connaissance de la liste de ses successeurs et des lauréats de vos prix pour apprécier que cette importance de la chimie s'est toujours maintenue dans votre Société. N'est-ce pas une coïncidence extrêmement heureuse aujourd'hui que cette distinction, dont nous apprécions toute l'importance, nous soit décernée par votre personnalité éminente. Nul d'entre nous n'ignore que vous avez consacré — et avec quel succès — toute votre vie à la recherche chimique dans son domaine le plus noble : la lutte contre la maladie dans ses formes les plus redoutables. Votre action a eu une répercussion qui vous assure la gratitude de l'humanité souffrante.

Dans l'évolution actuelle, les générations se succèdent, les structures se modifient, mais les exemples et les traditions demeurent. La distinction dont vous nous honorez aujourd'hui, et dont nous comprenons toute la valeur, sera pour nos successeurs une incitation à poursuivre nos efforts dans les voies qui depuis nos origines diverses ont toujours été les nôtres.

Contribution d'Ugine Kuhlmann au développement nucléaire français

(Uranium et Zirconium)

par M. Jean-Etienne LÉGER
Directeur à la Société Ugine-Kuhlmann

Cela se passait le 16 juillet 1945 à Alamogordo dans le Nouveau Mexique.

Il est 5 h du matin : une immense lueur vient d'embraser le ciel, et sa chaleur a fondu le sable du désert.

Dans le long cheminement des hommes pour s'imposer à la matière, la première explosion atomique vient de marquer une étape, qui, comme presque toujours, s'illustrera par des œuvres de destruction puisque trois semaines plus tard Hiroshima était anéantie par une seule bombe.

Partout on cherchait à comprendre l'événement, les hommes d'état pour en supputer les conséquences politiques, l'homme de la rue pour alimenter son imagination.

Plus modestement, les savants et les ingénieurs songeaient à tirer partie de la nouvelle et prodigieuse source d'énergie et l'on inventa le mot d'« Applications pacifiques de l'énergie atomique ».

Il fallut attendre dix ans pour que le secret militaire détenu par les Etats-

Unis et à un moindre degré par l'Angleterre et le Canada, se levât sur la fission de l'atome.

C'est pendant ces dix années que l'Industrie Française, bien que livrée à ses seuls moyens, commença à se familiariser avec les problèmes nucléaires et c'est à cette époque, en particulier, que Kuhlmann, Société Chimique, et Ugine, Société Chimique et Métallurgique, commencèrent à jeter les bases de leur future politique nucléaire.

Vingt ans après le bilan est à faire. Ugine et Kuhlmann ont lié leurs destins, et Ugine-Kuhlmann se penche sur son passé.

En fait, tout ce qui est chimique et tout ce qui est métallurgique dans la discipline nucléaire, a, à des degrés divers, intéressé UK.

Avec ses participations minières en France et à l'étranger, ses travaux dans le domaine du fluor, et de la fluoration, dans celui des radioéléments et du traitement des effluents, dans celui de la sé-

* Conférence prononcée à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, le 3 décembre 1970 à l'occasion de la remise du Grand Prix Lamy à la Société Ugine-Kuhlmann.

paration isotopique où son premier brevet déclassifié vient d'être publié, de même que dans la métallurgie des aciers spéciaux et des métaux non ferreux, Uguine-Kuhlmann peut témoigner d'un éclectisme exceptionnel.

Mais surtout, l'activité nucléaire d'UK se manifeste dans deux secteurs qui constituent en quelque sorte les deux piliers de son action : celui de l'uranium et celui du zirconium, respectivement combustible et métal de gainage des réacteurs.

La position d'UK dans l'industrie de l'uranium est l'héritage de Kuhlmann qui, dès 1954, avait été pressenti par le C.E.A. pour construire la première usine d'extraction de l'uranium des minerais.

Depuis, six usines au total ont été réalisées dont je rappellerai brièvement l'histoire et que nous visiterons dans un voyage qui nous conduira successivement en Vendée, dans le Limousin, puis dans les Monts du Forez, au Gabon, au Portugal, et enfin au Niger, autant d'étapes qui jalonnent la création d'une industrie nouvelle française ou d'inspiration française.

Cette création dans laquelle le C.E.A. organisme d'état, et une société privée, ont été étroitement associés, résulte de la conjonction de plusieurs facteurs.

C'est d'abord la volonté des pouvoirs publics d'assurer l'autonomie des approvisionnements français en combustible nucléaire.

C'est aussi l'effort considérable entrepris par le C.E.A. dans le domaine de la prospection minière.

C'est enfin la présence en France d'une industrie chimique évoluée et à la dimension du problème posé.

Les premiers gisements d'uranium commencèrent à être exploités au début du siècle en vue de la récupération du radium, qui lui est associé dans une proportion fixe de 0,34 ppm :

L'uranium n'était alors qu'un sous-produit qui ne trouvait quelques débouchés que dans l'industrie des pigments pour la coloration des faïences et de certains verres.

Les besoins étaient satisfaits à partir de gisements très riches comme celui de Joachimstal en Bohême, constitué par de la pechblende très pure, puis plus tard, à partir de certaines carnotites du Colorado qui sont des vanadates doubles d'uranium et de potassium.

Entre les deux guerres, deux autres sources d'uranium à teneurs élevées avaient été également découvertes :

Le gisement de Port Radium, dans le grand Nord Canadien, et le gisement de Shinkolobwe dans l'ancien Congo Belge, exploité par l'Union minière du Haut-Katanga et dont on sait le rôle primordial qu'il joua dans la politique de guerre des alliés.

Les techniques de récupération de l'uranium utilisées à l'époque, directement influencées par les hautes teneurs de la matière de base, sont aujourd'hui dépassées et ne sauraient convenir au traitement des minerais pauvres d'une teneur de 1 à 4 % sur lesquels s'appuie aujourd'hui toute une politique d'approvisionnement.

En 1945, rien ne permettait d'apprécier de façon quelconque l'importance des ressources françaises en uranium, et dans le domaine du traitement, tout était à faire.

Ce sont les premières découvertes minières du C.E.A. en 1948, à la Crouzille en Haute-Vienne, qui furent le point de départ d'un développement dont nous allons suivre l'histoire à travers son aspect chimique.

La première étape du programme français comportait la mise en service, pour le compte de la Société Industrielle des Minerais de l'Ouest (S.I.M.O.), de l'usine de l'Ecarpière près de Clisson en Loire-Atlantique.

La capacité de cette usine de 300.000 tonnes de minerai par an, correspondant à une production de 300 tonnes d'uranium, a été réalisée en deux tranches :

Commencée en octobre 1955, la première tranche était achevée en 1957, et sortait son premier gramme d'uranium le 13 mars de la même année.

Cette réalisation couronnée par l'inauguration solennelle par M. Guille, Secrétaire d'Etat à l'Energie atomique, le 24 septembre 1957, fut incontestablement une grande première. Elle a marqué une étape dans l'histoire de Kuhlmann.

La deuxième tranche, de capacité rigoureusement identique, fut mise en service un an après.

La décision de construire une deuxième usine avait été prise avant même le démarrage de l'Ecarpière.

Cette seconde usine qui, comme la précédente, appartient à la S.I.M.O. est située à Bessines, à 30 km au nord de Limoges, à proximité de la division minière du C.E.A. de la Crouzille, et, comme la précédente, a été construite en deux tranches.

La première tranche correspondait à une capacité de 200.000 tonnes/an, de minerai et 450 tonnes d'uranium. Elle fut mise en service le 1^{er} juillet 1958.

La deuxième tranche, démarrée en octobre 1959, devait porter ces chiffres à respectivement 600.000 tonnes de minerai et 900 tonnes d'uranium.

L'usine de Bessines a été prévue pour traiter des minerais à une teneur de 1,5 ‰ environ, contre 1 ‰ à l'Ecarpière. Ces teneurs ont été, par la suite, sensiblement relevées par les mineurs et se rapprochent aujourd'hui de 2 ‰.

Le produit fini, à Bessines comme à l'Ecarpière, est constitué par un uranate de magnésie d'une teneur en uranium de 70 % environ ; le minerai de départ se trouvait donc concentré approximativement 700 fois.

La mise en route de Bessines se fit, comme celle de l'Ecarpière, dans des conditions très favorables, et un des hauts moments de son histoire fut la visite que devait lui rendre le Général de Gaulle le 15 mai 1962.

L'usine du Forez, troisième de la série, appartient au C.E.A. mais comme les deux précédentes est exploitée par la S.I.M.O.

Elle est située à Saint-Priest dans la Loire, sensiblement à mi-chemin entre Vichy et Roanne.

Elle fut un peu délicate à construire à cause de la nouveauté et de l'originalité du procédé qu'elle utilise, et qui lui confère des avantages techniques et économiques tout à fait particuliers sur lesquels je reviendrai tout à l'heure.

Sa capacité de traitement est de 180.000 tonnes/an, correspondant à 330 tonnes d'uranium, ce qui implique une teneur d'entrée du minerai voisine de 1,65 ‰.

Poursuivant notre voyage, il nous faut maintenant prendre la ligne aérienne régulière pour nous rendre au Gabon.

Décollant de Paris à la nuit tombée, nous atterrissons au petit jour à Libreville d'où nous nous envolons à nouveau pour nous poser après plusieurs étapes de brousse, hautement colorées, sur la piste de l'aéroport de Mohanda à proximité des exploitations de manganèse de la Compagnie minière de l'Ogoué.

Il nous reste 25 km à faire, à travers la forêt et la savane, et nous arrivons à Mounana où se trouve l'usine de la Compagnie des Mines d'Uranium de Franceville.

Il faut bien comprendre le problème qui se posait à Mounana. Le gisement y est à une teneur particulièrement élevée : 3 à 4 fois plus riche que les minerais français. Il est donc particulièrement intéressant.

Mais Mounana se trouve à 600 km de la côte, à la limite de la Forêt vierge et de la savane, dans une région bien entendu extrêmement mal desservie.

Les seuls moyens d'accès étaient à l'époque l'avion et une piste de 400 km prolongée par un chemin de fer à voie unique (le Congo-Océan) jusqu'à Pointe-Noire ou Brazzaville.

Pointe-Noire et Brazzaville étaient les deux centres importants les plus proches de Mounana, mais des centres dont l'équipement industriel est encore tout à fait insuffisant pour subvenir aux besoins nécessités par la création et l'exploitation d'un complexe chimique comme celui qui a été réalisé et qui comprend une usine d'acide sulfurique en plus de l'usine de traitement chimique.

Pratiquement, la totalité du matériel a été fabriqué en France, et le montage a été réalisé par des entreprises françaises ; les pièces de rechange et de magasin doivent être également approvisionnées pour une large part en France. Il en est de même aussi des réactifs de fabrication.

On comprend donc qu'il était tout à fait nécessaire, au moins dans une première étape, de limiter l'exploitation au strict minimum.

C'est pourquoi on se borne à y fabriquer un concentré intermédiaire à 35 % d'uranium seulement, mais capable de supporter économiquement le transport sur piste et par bateau vers la France où s'achève son élaboration.

Notre périple nous conduit maintenant de Gabon, au Portugal. Urgeirica est une petite ville portugaise située à 70 km au N.-E. de la ville universitaire de Coïmbra, près de Visèri sur la voie ferrée Paris-Lisbonne, et à proximité d'un gisement d'uranium qui porte son nom.

Une usine avait été construite sur ce gisement avant la première guerre mondiale par une compagnie anglaise, en vue de la récupération du radium.

Pendant la première guerre, elle fut exploitée en vue, cette fois-ci, de produire de l'uranium, puis fermée en 1962 et remise par les propriétaires à l'Etat Portugais.

Elle était capable de traiter 150 tonnes de minerai par jour, en produisant un concentré à 12 % d'uranium.

L'objectif était de moderniser cette installation en lui permettant d'obtenir un concentré à 70 % et de préparer la voie à une extension de capacité.

Les travaux ont commencé en 1967, et l'installation a été mise en exploitation au début de 1969.

La dernière étape de notre voyage sera le Niger. La construction de l'usine du Niger s'achève seulement en ce moment, et l'on procède aux premières séquences du démarrage.

Cette usine est la propriété de la Société Nigérienne des Mines de l'Aïr

(S.O.M.A.Î.R.) et se trouve située à Arlit à 800 km au Nord-Est de Niamey.

Elle constitue la première exploitation d'uranium du Niger. Il y en aura certainement d'autres dans l'avenir, compte tenu des importantes réserves que le C.E.A. français a découvert dans ce pays.

Les installations actuelles de la S.O.M.A.Î.R. seront capables de traiter 350.000 tonnes par an d'un minerai à un peu plus de 2 %, et pourront produire 750 tonnes d'uranium. Elles ne constituent d'ailleurs que la première tranche d'un programme plus vaste et une deuxième tranche suivra, d'une capacité identique à la première.

On retrouve au Niger les mêmes difficultés que celles rencontrées au Gabon et qui tiennent à l'éloignement des centres industriels et à l'incidence considérable sur le coût de l'exploitation, des frais de transport du matériel et des réactifs. Que l'on songe simplement que l'acheminement à pied d'œuvre de toute manière pondéreuse se fait par voie maritime jusqu'à Cotonou, capitale du Dahomey, puis par chemin de fer pendant 470 km de Cotonou à Parakou et, enfin, par piste routière, en plein désert, sur 1.500 km, par Dosso et Agadès.

5.000 tonnes d'appareillage ont été transportées de cette façon, ce qui a nécessité la rotation permanente, pendant deux années, d'une flotte de 70 camions.

Le produit élaboré par l'usine est un concentré conventionnel à 75 % d'uranium.

Compte tenu de la forme retenue pour la Société, les concentrés produits par la S.O.M.A.Î.R. seront répartis entre le Japon, l'Allemagne et la France...

... la France, où, si vous le voulez bien, au terme d'un circuit de plus de 12.000 km, nous allons maintenant revenir pour y réfléchir un peu.

Six usines ont été construites ; elles représentent un investissement de près de 400 millions de francs. Elles emploient environ 1.000 personnes et représentent une capacité de traitement de près de 1.700.000 t de minerai/an, correspondant à une capacité de production de plus de 3.000 tonnes d'uranium.

Toutes ces usines sont implantées sur le gisement qui les alimente ; il ne saurait, en effet, être question de transporter sur de longues distances une matière première dont on a dit justement qu'elle contenait 99,9 % d'impuretés.

L'étude et le développement des procédés qu'elles utilisent, a naturellement nécessité la mise en place de moyens importants dans la recherche de base, l'expérimentation, le génie chimique et l'engineering.

D'autres procédés ont même été mis au point, chemin faisant, qui n'ont pas encore reçu la consécration industrielle, si bien que l'arsenal de techniques et savoir faire constitué presque sans interruption pendant quinze années, est considérable.

C'est pourquoi, laissant de côté l'aspect descriptif et touristique de notre propos, je voudrais vous inviter maintenant à examiner le contenu de ces techniques et comment elles se raccordent à la pensée scientifique d'aujourd'hui.

Toute opération de traitement de minerai d'uranium comporte deux phases distinctes :

La première est une lixiviation par un réactif d'attaque, généralement l'acide sulfurique, fabriqué sur place comme à Bessines et au Gabon, ou importé de l'extérieur, et qui a pour objet de libérer l'uranium de sa structure chimique pour le faire entrer en solution. Cette lixiviation se fait en milieu dilué, mais exceptionnellement l'usine du Niger comporte à cet égard une originalité, car, pour la première fois au monde, la solubilisation s'y fera directement sur le minerai sec.

La seconde phase consiste à extraire l'uranium de ses solutions pour en faire un concentré.

Cette opération, qui est le véritable nœud du problème du traitement, est réalisée de trois façons différentes dans les usines que nous venons de visiter.

A l'Ecarpière et à Bessines, on utilise la technique des échanges d'ions. C'est le développement de l'industrie de l'ura-

nium concomitant à la mise au point par la chimie de certains hauts polymères synthétiques de cette méthode d'extraction.

Le principe en est que ces polymères solides, mis en présence d'électrolytes en solution peuvent échanger leurs ions avec ceux de l'électrolyte.

Cette propriété s'applique directement à l'uranium qui, au sein des liqueurs de lixiviation, est engagé dans une formation ionique complexe, et peut ainsi se fixer par un phénomène d'inter-action solide-liquide. Ce phénomène, obéissant aux lois des équilibres chimiques, on conçoit que par action de masse, on puisse amener la totalité de l'uranium présent à se retrouver sur l'échangeur.

L'uranium est ensuite remis en solution par une opération symétrique de la précédente, et qu'on appelle l'élution.

Pour peu que l'échangeur utilisé ait une certaine sélectivité vis-à-vis de l'ion uranifère à fixer et que les liqueurs d'élution soient suffisamment actives pour ne nécessiter que des volumes réduits, on voit que l'on peut en même temps purifier et concentrer les liqueurs de départ : c'est tout le problème.

Les échangeurs d'ions utilisés le plus couramment pour l'extraction de l'uranium sont des résines synthétiques du type ammonium quaternaire sur support de polystyrène.

C'est au Canada, dont les immenses ressources en uranium avaient été mobilisées par les U.S.A. après la guerre, que ce procédé fit pour la première fois son apparition vers les années 1955-1958, puis, peu après, en France et aux U.S.A. On peut dire qu'il fut véritablement le promoteur de l'industrie de l'uranium dans le monde.

L'extraction de l'uranium peut aussi se faire, comme au Portugal et au Niger, en recourant à des solvants organiques par une méthode qui repose sur le principe de la solubilité sélective d'un corps entre deux phases. Le mécanisme est tout à fait identique à celui qui vient d'être décrit pour les résines synthétiques, et les solvants, tout au moins certains d'entre eux, se comportent comme

des échangeurs d'ions liquides, la technologie d'application étant cependant tout à fait différente.

Les solvants utilisés peuvent être des esters de l'acide phosphorique, mais on a mis récemment au point certaines amines tertiaires plus avantageuses.

Compte tenu des perfectionnements continus dont ils sont l'objet, et qui découlent des potentialités pratiquement illimitées de la chimie organique, à cause aussi de leur facilité d'application, les solvants tendent de plus en plus à remplacer les échangeurs d'ions solides.

Les usines du Forez et du Gabon n'utilisent ni échangeurs d'ions ni solvants. Elles appliquent un troisième procédé unique en son genre et qui présente deux caractéristiques essentielles.

La première est de permettre l'interruption du traitement à un stade d'élaboration intermédiaire ou de semi-concentration, mais où le produit est déjà transportable économiquement.

On évite ainsi l'étape finale de chimie fine des échanges d'ions ou des solvants, ce que n'autorisent pas les modes opératoires précédents.

On comprend l'intérêt d'une telle technique lorsqu'il s'agit comme au Gabon, d'exploiter des installations dans un faible environnement industriel et avec une main-d'œuvre rudimentaire.

La deuxième caractéristique du procédé est de délivrer en fin d'opération, au lieu du concentré classique, un produit de pureté pratiquement nucléaire : le nitrate d'uranyle.

A cause de ces particularités, et de son économie très élaborée, je pense réellement que ce mode opératoire exclusivement français est appelé à un grand avenir.

Je le pense d'autant plus qu'à été développé au cours de ces dernières années un procédé original, plus simple et plus économique que la méthode classique, de transformation du nitrate d'uranyle en tétrafluorure d'uranium.

Le tétrafluorure d'uranium est, vous le savez, un intermédiaire obligé entre le concentré lui-même et l'hexafluorure, qui, à son tour, est la forme sous laquelle

CONTRIBUTION D'UGINE-KULHMANN

le l'uranium peut se prêter aujourd'hui à l'enrichissement isotopique.

Ce procédé a été retenu par une société internationale groupant 8 pays pour la conversion du nitrate d'uranyle sortant de l'usine européenne de reprocessing de Mol en Belgique.

Son application à l'usine du Forez dont l'intérêt est évident, par l'économie qu'elle peut apporter au cycle de l'uranium en le raccourcissant, serait certainement chose faite, si, ne s'appliquait aux techniques industrielles, ce qu'Alexandre Dumas, je crois, disait des tableaux modernes : « leur tort est de n'avoir pas eu le temps de devenir des tableaux anciens ».

Je m'en voudrais, enfin, avant de clore cette liste, de passer sous silence, un nouveau procédé de traitement révélé par Ugene Kulhmann pour la première fois au symposium de São-Paulo au Brésil, qui s'est tenu en août dernier et qui associe une usine de traitement d'un caractère spécial à une usine de récupération intégrale des réactifs mis en œuvre de sorte que pratiquement l'exploitation se fait sans consommation de matière première.

Ce procédé n'a pas reçu à ce jour de consécration industrielle. Il suscite cependant déjà de l'intérêt dans les milieux spécialisés. Son caractère universel devrait lui conférer dans l'avenir une large audience.

Echanges d'ions, solvants, procédés chimiques divers, telle est la panoplie dont dispose aujourd'hui la jeune industrie de l'uranium, mais une panoplie qui ne peut prétendre cependant résoudre tous les problèmes posés par l'extraordinaire diversité de la nature des minerais et de leur localisation géographique.

A côté des minerais classiques, en effet, dont les prototypes sont représentés par quelques districts uranifères bien définis au Canada, aux U.S.A., en Afrique du Sud, en France, en Afrique Noire, et dans quelques autres pays, il y a tous les autres, et spécialement les minerais très pauvres qui, un jour seront peut-être nécessaires aux besoins du monde, et pour

lesquels une solution économique est encore à trouver.

Je pense ici, en particulier, aux phosphates uranifères comme ceux du Maroc, dont la teneur en U est de 100 ppm, ou aux réserves d'uranium contenues dans l'eau de mer qui, avec une teneur de 2 mmg/m³, représentent(compte tenu du volume des océans évalué à 2 milliards de km³ environ, 4 milliards de tonnes d'uranium, c'est-à-dire une quantité pratiquement inépuisable de métal fissible.

Et puis, il y a le problème économique.

L'industrie de l'uranium traverse aujourd'hui sa seconde crise. La première est apparue lorsque, fin 1959, les U.S.A., après avoir assuré la couverture de leurs stocks stratégiques, révisèrent brutalement leur politique en refusant de renouveler leurs contrats d'achat avec le Canada, obligeant ce pays à fermer 16 usines sur 19, ce qui ébranla son économie.

La crise d'aujourd'hui, essentiellement de conjoncture, n'est pas moins sérieuse et touche indifféremment tous les pays.

Provoquée par le retard apporté dans l'exécution du programme de construction de réacteurs et à un moindre degré par l'amélioration des performances de ces derniers en matière de consommation de combustible, elle se traduit par la limitation des débouchés et un abaissement des prix qui en 10 ans, sont passés de 10 dollars à moins de 6 dollars par livre d'oxyde.

La récente et sensationnelle découverte de réserves considérables à Nabarlek à 180 km au Sud-Sud-Est de Darwin en Australie, constituées de pechblende presque pure (on parle de 50.000 tonnes à 20 à 30 % et d'une quantité énorme à 1 %), n'est certainement pas de nature à accélérer le retournement de situation que l'on espère malgré tout vers 1975.

Problèmes techniques, crise du marché et détérioration des prix, ne sont probablement que maladies de croissance dans une industrie qui n'a pas 20 ans d'âge ; on conviendra cependant qu'elles incitent à ne relâcher ni la vigilance, ni les efforts.

Je voudrais maintenant vous parler d'un autre métal : le Zirconium, qui bien que moins spécifiquement nucléaire que l'uranium, n'en est pas moins un métal dont l'épanouissement industriel est étroitement lié au développement de l'énergie atomique, sa faible section de capture en faisant un excellent métal de gainage des combustibles de réacteurs.

C'est en 1949, que l'Amiral Rickover, chargé par le gouvernement des U.S.A. de la mise au point d'un réacteur de sous-marin en préconisa l'emploi.

La Société américaine Wah Chang commença à en produire en 1954, et accéda très vite à la première place qu'elle occupe encore aujourd'hui.

Ugine, poursuivant logiquement une action qui avait abouti deux ans auparavant à la mise au point de la fabrication du Titane, s'y intéressa à partir de 1952 et Ugine-Kuhlmann est aujourd'hui le second producteur mondial.

L'histoire du Zirconium chez Ugine, comme celle de l'Uranium chez Kuhlmann s'étale sur 15 années. 15 années marquées par un intense effort de recherches à l'usine d'aluminium des Clavaux d'abord qui obtint son premier lingot en 1953, puis, ensuite aux usines de Jarrie d'Ugine et de Venthon.

Mais elle a aussi été marquée par un événement tout à fait caractéristique et exemplaire d'efficacité industrielle qui a consisté en un échange de techniques entre Wah Chang et Ugine-Kuhlmann, éminemment profitable aux deux parties.

La matière première du zirconium, le zircon, qui est un silicate de zirconium, contient des proportions allant de 0,5 à 3 % d'un autre métal : le hafnium.

Contrairement à celle du zirconium, la section de capture du hafnium pour les neutrons thermiques est très élevée (115 barns contre 0,18 pour le zirconium) au point que le hafnium est un absorbateur de neutrons très efficace et utilisé à ce titre pour la fabrication des barres de contrôle des réacteurs, c'est-à-dire pour ralentir ou arrêter la propagation de la réaction en chaîne. La première utilisation de ce genre, a eu lieu, sauf erreur de ma part, pour l'équipement du réacteur

argenté Atucha, et mettait en œuvre du hafnium provenant d'U.K.

Les propriétés du zirconium et du hafnium étant, au plan neutronique, symétriques et opposées, la cohabitation de ces deux métaux est évidemment impossible, et il faut les séparer l'un de l'autre. En fait, des traces de hafnium de 200 ppm dans le zirconium suffisent à l'empoisonner, et on cherche à ne pas dépasser 50 ppm.

Différents procédés ont été proposés pour cela, mais le problème n'était pas simple car les deux métaux, situés l'un au-dessous de l'autre dans la classification périodique, ont des propriétés chimiques extrêmement voisines.

Il a alors semblé à UGINE vers 1966 que la méthode de séparation du zirconium et du hafnium utilisée par Wah Chang et qui reposait sur l'utilisation d'un solvant particulier : la Méthyl-Isobutyl-Cétone, était la plus avantageuse à condition que l'on choisisse un mode opératoire impliquant à un moment donné la présentation de ces deux métaux sous forme de tétrachlorure.

Parallèlement Wah Chang avait constaté que la technique utilisée précisément par UGINE pour la chloration, c'est-à-dire pour la production de ces tétrachlorures, était, elle aussi, la meilleure.

Telle fut la matière de l'échange.

Je n'entrerai pas dans le détail des opérations de préparations du Zirconium.

Le procédé prévoit chronologiquement deux stades de chloration : l'une du Zircon lui-même, et l'autre de la Zircone déhafniée.

La réduction du tétrachlorure de zirconium qui résulte de cette deuxième chloration s'effectue par le procédé Kroll au magnésium liquide.

On obtient finalement, après distillation, une éponge que l'on fond sous vide dans un four à électrode consommable : c'est la partie métallurgique du procédé qui aboutit au lingot que l'on pourra ensuite forger, laminier et filer.

En 1968, U.K. possédait déjà une chaîne complète de fabrication depuis le minerai jusqu'au produit fini, d'une capaci-

té de 600 tonnes/an de métal transformable en tubes et tôles respectivement par Cefilac et UGINE-Gueugnon.

Un des débouchés intéressants du Zirconium nucléaire est constitué par les réacteurs de sous-marin, mais son développement est spécialement lié à celui des réacteurs de puissance à eau légère qui en moyenne peuvent utiliser 40 tonnes par réacteur sous forme de tubes de gainage, tôles et profilés divers.

La décision de la France d'abandonner au profit de l'eau légère la filière uranium naturel-gaz-graphite ne peut naturellement que favoriser ce développement, mais la stagnation des constructions de réacteurs provoque, sur le marché du Zirconium, la même dépression que sur le marché de l'uranium.

Voici donc deux industries : celle de l'uranium et celle du zirconium, entourées à leur naissance de perspectives étonnamment prometteuses et qui se trouvent aujourd'hui frappées durement par un destin contraire. C'est qu'à l'encontre de ce qu'on a pu croire à un moment donné, les sources d'énergie fossiles ont encore devant elles une longue vie et sont encore capables de contraindre la jeune énergie atomique à la dure loi de la compétition.

« Ni celui qui plante, ni celui qui arrose, disait l'apôtre, ne verra la moisson ». Mais si la moisson n'est pas mûre, certaines gerbes sont cependant déjà prêtes à être engrangées : je veux parler du retentissement sur les disciplines industrielles classiques des progrès scientifiques techniques accomplis dans le nucléaire et c'est par là, si vous le voulez bien, qu'élargissant le sujet, je terminerai cet exposé, au demeurant fort incomplet.

Une constatation s'impose au départ : C'est le rôle largement prédominant joué par la chimie dans le cycle de l'uranium et la préparation des matériaux nucléaires, et spécialement par la chimie minérale, petite revanche vis-à-vis de la chimie organique dont le dynamisme l'éclabousse un peu depuis vingt ans.

Les techniques pratiquées dans le nucléaire y sont en effet, avant tout, des

lixiviations solubilisantes, des électrolyses, des halogénations de métaux, des distillations de chlorures, des réductions d'oxydes et surtout, dans le cas des éléments à valences multiples des réactions ioniques d'oxydo-réduction.

Il s'en suit que la première retombée du nucléaire sur le classique est un enrichissement et un perfectionnement des méthodes de l'hydrométallurgie qui utilise tout ou partie de ces techniques.

C'est, en particulier, dans l'hydrométallurgie que se révèlent particulièrement adaptées et efficaces, les techniques de chromatographie d'échange d'ions et des solvants.

Je citerai comme exemple, la séparation du Niobium et du Tantale, celle du Nickel et du Cobalt ; celle des composés de terres rares avec, en particulier, la récupération de l'Europium utilisé dans les écrans de télévision en couleurs et enfin celle de nombreux éléments à usage médical ; chose étonnante et intéressante l'application des principes de la chromatographie d'échanges d'ions, à divers systèmes chimiques, a même permis d'élaborer certaines méthodes originales de séparation isotopique et une usine de séparation des isotopes du Bore est en cours de construction en France sur ces méthodes.

En second lieu, l'industrie atomique a introduit dans la chimie classique la notion exceptionnellement féconde de « pureté nucléaire », qui vise à déceler et à éliminer des traces d'éléments allant jusqu'à la ppm et à la ppb. C'est à la recherche de cette pureté que l'on doit l'amélioration des méthodes classiques d'analyse, de contrôle ou d'identification (je pense ici en particulier à l'emploi des traceurs) et par voie de conséquence la possibilité d'élaboration de corps extra purs doués de caractéristiques particulières : c'est par exemple l'amélioration de la pureté du Niobium et du Molybdène qui confère à ces métaux la malléabilité et la ductilité grâce auxquelles on peut aujourd'hui les transformer en plaques et en tubes. C'est également grâce à ces méthodes que l'on peut contrôler l'élimination à plus de 99,9 % des impu-

retés de certains effluents qui sont des sources de pollution.

Une troisième retombée du nucléaire concerne certains métaux, mis au point spécialement pour les réacteurs atomiques, et qui ont vu leurs applications exaltées dans les secteurs classiques de l'industrie.

Un exemple est fourni par certains aciers inoxydables et surtout par le zirconium doté d'une grande résistance à la corrosion, et qui, à cause de cela, va tendre de plus en plus à se développer pour la fabrication de matériels (pompes, tuyauteries, réservoirs, vannes) destinés à être mis en contact avec des milieux agressifs.

On doit également à l'énergie atomique l'apparition d'une réelle industrie du fluor élémentaire, modeste encore, mais qui ira se développant à mesure que se multiplieront les usines de séparation isotopique par diffusion gazeuse ou ultracentrifugation.

Le prix du fluor ne pourra alors que baisser et les utilisations de cet élément pour les besoins classiques s'en trouveront développées et facilitées.

Dans le domaine de l'appareillage enfin, l'énergie nucléaire a conduit les constructeurs à étudier des matériels d'une fiabilité accrue par rapport aux matériels courants, comme les chaudières, les échanges de chaleur, l'appareillage sous vide.

Mais par-dessus tout, l'énergie atomique a contraint l'engineering et le génie chimique à faire un inventaire sincère de leurs méthodes et à se repenser profondément.

L'engineering, peut-être plus spécialement l'engineering français, a malheureusement trop souvent cédé dans le passé à l'improvisation ; et cela pour des raisons qui ne sont pas toutes siennes, car le maître d'œuvre duquel il dépend, soucieux du coût de ses investissements, a eu trop souvent tendance à réduire abusivement les volumes des études de projets, prenant ainsi des risques qui, au démarrage d'une installation, sont à l'origine de retards, de difficultés, voire mêm-

me d'accidents se traduisant finalement par des pertes d'argent sans commune mesure avec l'économie faite sur les études de base.

L'énergie atomique, par la perfection qu'elle a toujours exigé dans les réalisations — elle y était d'ailleurs obligée, et heureusement pour elle le cadre financier consenti à son développement, tout au moins au départ, lui rendait les choses plus faciles — apporte dans ce domaine un enseignement de première valeur dont il est éminemment souhaitable qu'il soit bien compris et suivi.

Mesdames et Messieurs, le tableau très fragmentaire que j'ai essayé de brosser devant vous, d'un des secteurs, à la vérité celui qui, peut-être, a fait le moins parler de lui, de la grande aventure industrielle de notre siècle, n'a pas fait, vous vous en êtes rendus compte, une part très belle à la science fondamentale qui eut peut-être retenu plus directement votre attention.

La raison tient certainement pour une part au fait que je suis un ingénieur et pas un savant, mais elle relève aussi d'une intention profonde qui est de montrer à un auditoire éclectique comme le

vôtre, que les problèmes de l'industrie d'avant-garde sont enracinés autant dans la technique que dans la science pure.

A un moment où beaucoup de jeunes ingénieurs à la culture générale très poussée, et peut-être même à cause de cela, paraissent douter de leur art traditionnel, il n'était pas sans intérêt, me semble-t-il, de rappeler cette évidence.

A l'affirmation d'Aristote — et Dieu sait combien elle est vraie — selon laquelle « il n'y a de science que du général », Bacon a apporté, il y a 700 ans, le complément qui trace avant l'heure, le rôle de ce praticien qu'est l'ingénieur en nous enseignant que son art est : « l'art de l'expérimentation, et ne reçoit pas la vérité des sciences supérieures, mais que l'expérience est son maître ».

L'un sans l'autre, le savant et l'ingénieur, restent frappés d'inefficacité.

L'un et l'autre forment au contraire cette merveilleuse synthèse dont la fécondité suscitait en avril 1952, l'étrange extase de Teilhard de Chardin devant le cyclotron de Berkeley qui l'entraînait vers cette vue générale de l'Évolution « qui seule peut sauver l'Homme du ^{xx}e siècle de ses anxiétés en face de la vie ».

*Préparation du fer de très haute pureté et propriétés particulières de ce métal **

par SIMONE TALBOT-BESNARD,
Maître de Recherche au C.N.R.S.

C'est un grand honneur pour moi de prononcer cette 29^e Conférence Bardy et j'en remercie très vivement la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale et son Président, M. Tréfouël. Lorsque je considère la liste des noms prestigieux de ceux qui m'ont précédée à cette tribune, je suis très reconnaissante à mon Maître, le Professeur Chaudron, Président de l'Académie des Sciences, ancien Président de la Société, d'avoir proposé qu'on y ajoute le mien.

A. — PURIFICATION DU FER.

La purification du fer a été entreprise au Laboratoire de Vitry il y a longtemps. Dès 1953, Jean Talbot préparait un fer électrolytique (1) beaucoup plus pur que les fers étudiés jusque-là et aussitôt, il observait que ce métal avait des propriétés nouvelles extrêmement intéressantes (2 a et b).

En 1955, quand je suis entrée à Vitry, on utilisait déjà couramment sur l'aluminium la méthode de Pfann de purification par fusion de zone (3). Jean Talbot entreprit alors de l'appliquer au

fer. Tout en commençant un travail sur l'hydrogène dans le fer (4), je participai donc aux débuts de la grande aventure du « fer de zone fondue ». Les fusions furent d'abord réalisées sous argon, mais l'oxydation était importante et il nous apparut nécessaire de travailler sous hydrogène. Depuis ces premiers barreaux obtenus en 1956 (5), la qualité du métal fabriqué n'a cessé d'augmenter grâce à des améliorations d'une part de la qualité du métal de départ et d'autre part, de la méthode de préparation.

En effet, la zone fondue dont nous aurons l'occasion de reparler de façon détaillée, est une méthode de purification très fine, qu'il est nécessaire d'utiliser pour éliminer seulement des traces d'impuretés et de plus, certaines impuretés sont plus touchées que d'autres par ce traitement. C'est pourquoi nous avons été amenés à appliquer au métal commercial une série de purifications en cascade qui fait appel à plusieurs techniques différentes, chacune apportant sa contribution à la purification du métal mais chacune étant incapable à elle seule d'amener toutes les impuretés à un niveau suffisamment bas.

* Conférence prononcée à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale le 18 février 1971 à l'occasion de la XXIX^e Conférence Bardy.

I. — MÉTAL DE DÉPART

Le métal commercial que l'on utilise actuellement est le fer « OH » fabriqué par la Société A.P.C. (ancien Onia) qui vaut environ 2 F le kg. Il est obtenu par réduction par l'hydrogène d'un minerai de fer très pur de la Sierra Leone (Afrique), puis fusion sans qu'il soit fait

d'additions polluantes. Sur le tableau 1 se trouve l'analyse de ce fer. Les teneurs supérieures à la partie par million (0,0001 % en poids ou 10^{-6}) sont décalées vers la gauche. En dehors des impuretés métalloïdiques dont nous ne nous occuperons pas pour le moment, nous trouvons des teneurs élevées en manganèse (métal facilement éliminé

	Fer "OH"	Fer échangé électrolytique	Fer de zone fondue		
			Vitry	Mapren	Battelle 1963
Ni	14,7	0,2	<0,09	1,2	<0,3
Cu	5,54	0,05	0,4	<0,02	0,2
Co	5,1	0,4	<0,01	0,3	4
As	0,32	<0,001	<0,001		0,6
Sb	0,08	<0,001	0,0012		<0,05
Au	<0,0001	<0,0001	<0,0001		<0,04
Mo	0,12	0,22	0,081	0,2	0,3
Al			0,5		<0,1
W	0,14	<0,003	0,002	<0,1	<0,04
Zr	<0,05		<0,01	<0,06	0,04
Mn	87	0,2	0,002	0,1	<0,06
Zn	<0,02	<0,01	<0,01	<0,8	<0,3
Alcalins	<0,1	0,3	0,02	0,1	<0,2
Cr	11,2	0,1	0,35	0,6	3
Se	<0,1	<0,1	<0,05		<0,04
Hg	<0,05		<0,05		<0,2
P	34,5		0,8		3
Ag	<0,01	0,04	<0,02	<0,04	<0,05
Alcalino terreux	<0,1	<0,1	<0,1	2 Mg 8	<0,05
Terres rares	<0,01	<0,005	<0,005		<0,05
S	12,3		0,15	1,2	5
C	95	26	7	8	8
N	102	<5	10	7	1,7 F.I.
O	1000		13	7	2,3
Dosage par radioactivation					Spectro.masse

TABLEAU I. — Analyse en 10^{-6} de différents fers. Les éléments marqués d'une étoile sont dosés par des méthodes particulières signalées dans le texte

par distillation qui devrait donc partir lors de la zone fondue), du cuivre (dont on sait par les travaux de J. Talbot qu'il est bien éliminé par électrolyse (2), mais aussi du cobalt (faiblement touché par l'électrolyse) et du nickel. Nous avons donc envisagé un traitement préliminaire destiné essentiellement à éliminer ces deux derniers éléments et ce fut la chromatographie d'échange d'ions au cours de laquelle la teneur en chrome s'est trouvée abaissée également.

II. — CHROMATOGRAPHIE D'ÉCHANGE D'IONS

L'étude en a été entreprise par Blanc (6), puis par Vu Quang Kinh qui, après avoir mené à bien une étude systématique de la purification d'une solution de chlorure ferreux par cette méthode, a mis au point le mode opératoire (7).

Le fer « OH » est tout d'abord mis en solution dans l'acide chlorhydrique et

forme une solution de chlorure ferreux 11 N, HCl qui contient 20 mg Fe/ml environ sous forme d'anion complexe $(FeCl_3)^-$.

Une colonne de résine anionique, comme la Dowex 1 $\times$ 8 par exemple, est constituée de petits grains de matière plastique (divinylbenzène) portant des ions Cl^- susceptibles de s'échanger avec les anions apportés sur la colonne. Lorsque l'échange $Cl^- (FeCl_3)^-$ se produit, le fer se trouve donc fixé sur la colonne. Quel est dans ces conditions, le comportement des impuretés ? Le Co forme aussi un anion complexe et se fixe, le Ni n'en forme pas et passe. On a donc réussi une première séparation. Il va falloir séparer Fe et Co lors de l'opération d'élution. Elle consiste à modifier la concentration du milieu, ce qui entraîne une variation de l'énergie de liaison des anions.

Les données de Kraus et Col. qui ont étudié des solutions d'acide chlorhydrique contenant des traces d'impuretés indiquent que la séparation Fe Co est possible en milieu 2 N HCl (8). Lors de

la préparation du fer, on travaille en présence de traces de Co, mais avec une concentration très élevée en Fe et en solution HCl 2 N, Fe et Co sortent ensemble.

Avec du Co radiotraceur, on a constaté qu'en solution HCl 5 N, le Co est retenu sur la colonne alors que le Fe passe. Il sera donc tout à fait indispensable d'utiliser dans cette partie de l'opération un acide extrêmement pur (acide distillé) car il ne doit pas réintroduire d'impureté dans le fer recueilli déjà purifié.

La suite du traitement sera la suivante : une solution HCl 0,5 N est passée sur la colonne pour éliminer les impuretés fixées (Co-Cr-Fe³⁺-Mo) après un lavage à l'eau, le cycle peut reprendre.

Vu Quang Kinh a déterminé la quantité de solution à charger et la longueur de la colonne, puis a construit les colonnes qui fonctionnent toujours à Vitry (Fig. 1). Elles ont 75 cm de hauteur, 12 cm de diamètre et contiennent chacune 5 kg de résine.

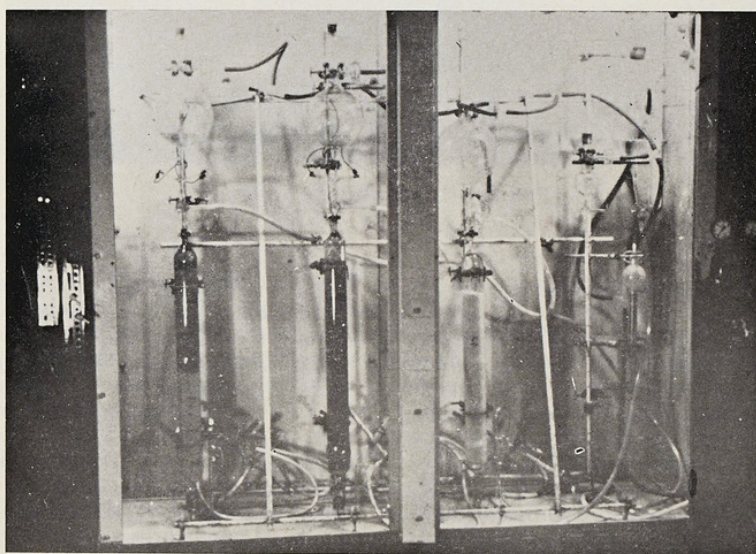


FIG. 1. — Colonnes de résine pour l'échange d'ions

Lors de ces opérations, si la solution descend par gravité sur la colonne, le débit est de 1 l/h environ et une opération dure 12 à 14 heures au cours desquelles la solution a tendance à s'oxyder. Pour accélérer le passage et protéger la solution du contact de l'air, on applique, au sommet de la colonne, une pression de gaz inerte. La méthode est efficace car une surpression de 0,1 à 0,2 bar suffit pour augmenter le débit à 2,5 l/h et ramener la durée de passage à 7 heures. Initialement, l'azote a

été utilisé mais le fer final contenait $10 \cdot 10^{-6}$ d'azote. Nardin qui a, par ailleurs, beaucoup étudié l'échange d'ions (9), a remarqué qu'on abaisse fortement cette teneur au-dessous de la limite de sensibilité du dosage ($< 5 \cdot 10^{-6}$) en utilisant l'argon.

La solution obtenue n'est pas directement électrolysable car elle est trop acide. Après évaporation à sec et reprise par l'eau, la solution a un pH de l'ordre de 2 et peut être électrolysée.

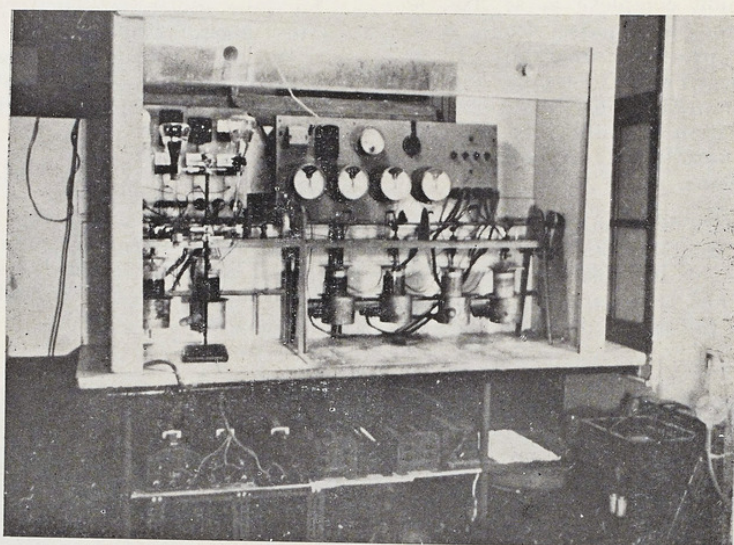


FIG. 2. — Cellules d'électrolyse

III. — ELECTROLYSE

L'électrolyse d'une part dépose le fer à l'état métallique et d'autre part apporte une purification supplémentaire. Elle est réalisée en deux temps : dans un premier stade, on dépose sur une cathode tournante de fer quelconque les impuretés plus nobles que le fer qui se déposent avant lui à une densité de courant de 3 à 4 A/dm² pendant 3 à 4 heures. L'anode est un fil de platine, la solution est portée à 50 °C. Un verre frit-

té sépare les compartiments anodique et cathodique (Fig. 2). La cathode est alors remplacée par une lame de fer très pur pour l'électrolyse définitive qui dure 24 heures à une densité de courant de 10 à 15 A/dm². L'analyse de ce fer est portée sur le Tableau I. Plus aucune impureté métallique ne se trouve à une teneur supérieure à la partie par million, elles sont, en général, de l'ordre du dixième de partie par million. Il y a également beaucoup de chlore mais il s'élimine très facilement à la fusion.

C'est enfin sur ce fer appelé « échangé électrolytique » qu'est réalisée la fusion de zone.

IV. — LA FUSION DE ZONE

Le principe en est le suivant : les impuretés d'un métal sont en général plus solubles dans le métal liquide que dans le métal solide. Si l'on fond une tranche d'un barreau de métal et que l'on déplace doucement cette « zone fon-

due », le métal qui se solidifie est moins riche en impuretés que le métal fondu. Si l'on déplace la zone fondue d'une extrémité à l'autre du barreau et ceci un nombre suffisant de fois, on va drainer les impuretés vers la queue du barreau. Ceci n'est valable que si les impuretés sont plus solubles dans le métal liquide que dans le métal solide. Si c'est le contraire qui a lieu, les impuretés vont se rassembler en tête du barreau, ce qui en soi n'est pas gênant, si toutes les impuretés ont le même comporte-

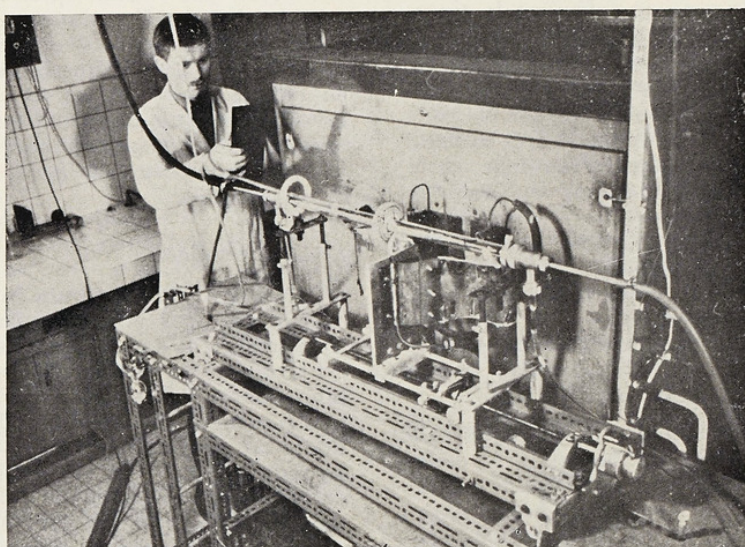


FIG. 3. — Installation de zone fondue

ment. Dans le fer, les impuretés se rassemblent en queue sauf une : le manganèse, et on a déjà vu que cet élément s'élimine par distillation. On peut donc espérer ne pas le retrouver en grande quantité en tête du barreau.

La figure 3 montre comment, pratiquement, on réalise le traitement de zone fondue. On distingue le barreau dans la nacelle de cuivre refroidie par un courant d'eau. L'ensemble est placé dans un tube de silice transparente relié par

des joints wilson contenant des joints vithon à la tuyauterie en cuivre de circulation gazeuse. On voit à l'arrière-plan le générateur haute fréquence de 20 kW de fréquence 400 K cycles. La self inductrice crée des courants induits dans le métal qui s'échauffe. La nacelle en cuivre entraîne une perte de puissance car elle a tendance aussi à s'échauffer. La circulation d'eau maintient la température à une valeur relativement basse. Le tube de silice qui ne couple pas est échauffé seulement par

rayonnement. Nous verrons cependant qu'il est à l'origine des difficultés que nous avons encore quant à la purification du fer en éléments métalloïdiques. On aperçoit, fixée sur le tube, une arrivée d'air comprimé destinée à le refroidir. La self, solidaire d'un chariot, est susceptible de se déplacer à l'aide d'une vis sans fin. Nous allons examiner en détail certains éléments de ce système.

1° Nacelles.

Initialement, on a utilisé des nacelles réfractaires très pures qui avaient pour inconvénient essentiel d'être très fragiles. Pour s'affranchir de ce problème, la zone verticale sans creuset a été utilisée mais les conditions n'étaient pas bonnes, les améliorations n'ont pas été considérables et la surveillance très difficile devait être permanente, de telle sorte que nous sommes revenus aux nacelles de chaux. Puis, en 1966, elles ont été employées pour la zone fondue du chrome et le résultat fut franchement mauvais car le choc thermique était encore plus grand qu'avec le fer puisque le chrome fond à plus haute température, et Bigot eut alors le grand mérite de mettre au point au Laboratoire les nacelles de cuivre refroidies (10)

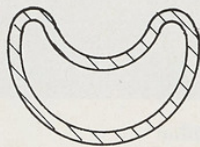


FIG. 4. — $\times 1$ Coupe d'une nacelle de cuivre refroidi

(Fig. 4). L'épaisseur et la forme des nacelles devaient être très étudiées pour que :

- le refroidissement soit suffisant, sinon le cuivre s'échauffe et pollue le fer ;

- le refroidissement ne soit pas trop important. En effet, lorsqu'on place le métal dans la nacelle pour la première fois, il n'épouse pas la forme de la nacelle et repose seulement en quelques

points ou suivant quelques génératrices. Lors de la fusion, le métal s'écoule dans la nacelle et se trouve au contact d'une beaucoup plus grande surface froide, il en résultait qu'après la première fusion, on ne pouvait plus fondre à nouveau le métal ;

- enfin, l'eau ne bout pas dans les pointes destinées à concentrer le champ sur le barreau et à obtenir une meilleure fusion, ébullition qui se traduit par des coups de béliet dans l'installation.

Ces nacelles utilisées pour la zone fondue du fer ont conduit après traitement complet de zone à une augmentation de la teneur en cuivre de $0,01 \cdot 10^{-6}$ à $0,1 \cdot 10^{-6}$. Il y a donc une contamination en cuivre, mais comme elle n'est pas excessive et que les avantages de ces nacelles sont très grands (elles sont inusables et d'un dégazage aisé), nous les avons adoptées.

2° Le tube laboratoire.

Il est en silice transparente. Après chacun des deux premiers passages de zone fondue, il doit être nettoyé car il est recouvert de très nombreuses projections dues à l'élimination du chlore du fer électrolytique échangé. L'installation n'est plus réouverte du 3° au 10° passage de manière à ne plus introduire de pollution par l'air ambiant. La tension de vapeur du fer est telle qu'un miroir de fer se forme sur le tube en regard du barreau. Il suffit de tourner légèrement le tube entre chaque passage de manière à surveiller la fusion suivante. De plus, si le miroir n'est pas trop épais, il ne couple pas dans la haute fréquence. S'il devient plus épais, il se met à rougir, il provoque un échauffement du tube et la silice dans ces conditions devient poreuse et les pollutions importantes. C'est la raison d'être de l'arrivée d'air comprimé signalée précédemment. C'est aussi la raison pour laquelle il n'est pas possible de travailler sous vide car la distillation du fer serait trop grande, le miroir couplerait rapidement empêchant la poursuite de l'opération.

3° *Atmosphère.*

Il est par ailleurs avantageux d'adjoindre à la purification physique apportée par la zone fondue une purification chimique en utilisant l'hydrogène comme atmosphère de fusion.

Il y a cependant quelques inconvénients à utiliser l'hydrogène : sa solubilité est beaucoup plus grande dans le fer liquide que dans le fer solide. Il en découle que si le refroidissement de la partie fondue se produit de manière brutale (à la suite d'une coupure de courant par exemple), l'hydrogène a tendance à s'échapper rapidement du métal qui se solidifie : il se forme de grosses bulles de métal (ce qu'on appelle le rochage) qui risquent d'aller toucher la paroi du tube et entraîner sinon sa rupture, du moins des pollutions.

L'hydrogène utilisé est de l'hydrogène « U » du commerce, purifié par diffusion au travers du palladium. A la sortie du purificateur, la chromatogra-

2 cm/h		Tête : Co	:	$0,8.10^{-6}$	Queue Ni	$14,9.10^{-6}$
4,5 cm/h		Tête : Co	:	$0,16.10^{-6}$	Queue Ni	$4,1.10^{-6}$

C'est donc la vitesse de 4,5 cm/h qui a été retenue.

Au-delà de 10 passages, on n'observe pas de purification supplémentaire.

5° *Résultats d'analyse.*

Si je puis me le permettre, je tiens à féliciter et à remercier M. Albert qui, avec son équipe et en particulier M. Deschamps, dose 40 éléments d'impuretés sur 1 g de ce fer grâce aux méthodes d'activation qui ont été mises au point dans son service. Ces méthodes sont parfaitement adaptées au métal de haute pureté, elles sont très sensibles et utilisent peu de métal (11).

Les impuretés métalliques se trouvent à présent à 2 ou 3 exceptions près, à une teneur de l'ordre du centième de ppm. Si l'on considère la somme des impuretés décelées et des limites de sensibilité

phie gazeuse ne décelé plus aucun pic d'impureté. On vérifie périodiquement de cette manière la qualité du gaz et de l'installation : un raccord un peu desserré se traduit immédiatement par l'apparition d'un pic d'azote important.

4° *Vitesse de déplacement de la zone et nombre de passages.*

A priori, on pourrait penser que plus la vitesse de déplacement est faible, plus on se rapproche des conditions d'équilibre et meilleure est la purification. En fait, l'influence de la vitesse est complexe et peut être due aux irrégularités à l'échelle atomique de progression de la zone en nacelle refroidie. A la suite d'essais aux vitesses suivantes : 0,5 - 2 - 4,5 - 10 et 20 cm/h, c'est la vitesse de 4,5 cm/h qui a été choisie. Voici un ordre de grandeur des différences obtenues qui sont loin d'être négligeables. Avec le même fer de départ, on effectue un passage à 2 cm/h, l'autre à 4,5 cm/h. On obtient les teneurs suivantes en Co en tête, en Ni en queue :

des impuretés non décelées, elle est inférieure à 2.10^{-6} en éléments métalliques. Les résultats sont hélas moins satisfaisants en ce qui concerne les éléments métalloïdiques (Tableau I).

a) Le carbone : Sans entrer dans les détails des controverses des analystes, il faut signaler qu'il est important lorsqu'on considère un dosage d'élément métalloïdique, de préciser par quelle méthode il a été obtenu. Nous avons choisi de donner les résultats de la méthode par combustion et chromatographie gazeuse.

Les traitements en atmosphère hydrogène-vapeur d'eau, ont été préconisés (12). En effet, la chromatographie gazeuse montre que le carbone s'élimine essentiellement sous forme d'oxyde de carbone et en très faible proportion sous forme de CH_4 . Pour éliminer le carbone,

il sera donc favorable de travailler sous atmosphère oxydante (13), or, le résultat n'est pas meilleur, nous allons voir pourquoi on retrouve toujours entre 5 et $10 \cdot 10^{-6}$ C.

Une certaine purification a été obtenue de deux façons différentes qui ont abouti à la même teneur de $2 \cdot 10^{-6}$. Ce sont, d'une part, la combustion vive du fer électrolytique suivie d'une réduction par l'hydrogène, puis d'une fusion (14), c'est une méthode longue et difficile à mettre en œuvre, et d'autre part la fusion au four à plasma (15) qui fournit de petites billes dont il est difficile de tirer des éprouvettes d'étude.

L'obtention des éprouvettes s'accompagne la plupart du temps d'une pollution en carbone. Ainsi, par exemple, un laminage sur des rouleaux soigneusement dégraissés à l'acétone peut faire passer la teneur en carbone de 6 à $75 \cdot 10^{-6}$. On parvient à ne plus polluer le métal lors des opérations de mise en forme en donnant un état de surface parfait aux rouleaux du laminoir par polissage à l'alumine.

Le problème de pollution n'est pas réglé pour autant car la pollution se produit aussi par simple maintien à l'air ambiant (il y a adsorption de CO et de CO₂ qui peuvent pénétrer dans le métal lors d'un traitement thermique ultérieur) par recuit sous vide secondaire classique (on atteint $330 \cdot 10^{-6}$ C par utilisation d'une pompe secondaire à Hg et d'une pompe primaire à huile). Elle se produit aussi lors de la fusion de zone par le tube de silice dont on a déjà parlé : même si ce tube est peu chauffé, même s'il a été soigneusement dégazé, même s'il s'agit d'un tube de quartz synthétique, la chromatographie gazeuse a montré qu'il existe toujours une pression partielle de CO et de CO₂ qui a empêché jusqu'à présent d'obtenir des teneurs en carbone très basses.

b) *L'azote* : L'azote est dosé par micro Kjeldahl et colorimétrie (16). La zone fondue entraîne une pollution

puisque la teneur en azote croît de 5 à $10 \cdot 10^{-6}$. Ceci n'est pas surprenant car la chromatographie gazeuse a montré (17) qu'il apparaît un important pic d'azote dès que la température du tube de silice dépasse 600 °C.

c) *L'oxygène* : L'oxygène est dosé par combustion et chromatographie. Il a été peu pourchassé car l'hydrogène purifié par diffusion au travers du palladium en est totalement exempt. Il s'agit donc, là encore, d'une pollution due au dégazage ou à la porosité de l'enceinte et lorsque le problème aura été résolu pour l'azote, il se pourrait bien qu'il le soit aussi pour l'oxygène.

Pour le moment, on ne voit pas comment on pourrait éliminer ces trois éléments simultanément, car un traitement qui abaisse la teneur de l'un d'entre eux augmente celle des deux autres.

Les recherches se poursuivent activement à Vitry dans ce domaine.

Le tableau I présente encore deux analyses de fer de zone fondue. Le fer « Mapren » est un fer commercial qui valait, il y a deux ans, 600 F HT le pouce de longueur pour un diamètre de 1,2 cm. Le fer Battelle, fabriqué en 1963, met en évidence ce qu'on obtient par zone fondue sans purification préliminaire : certaines impuretés mal éliminées par ce traitement ou en teneur trop élevée dans le métal de départ, se retrouvent à des teneurs de plusieurs 10^{-6} . Le dosage d'azote indiqué est obtenu par frottement interne : notre méthode de Kjeldahl et colorimétrie indique $50 \cdot 10^{-6}$ d'azote dans ce métal.

B. — PROPRIETES DU FER DE HAUTE PURETE.

Il ne rouille pas. Conservé à l'air, à l'abri seulement des empreintes digitales, il demeure brillant pendant des années. Il est polycristallin. Les cristaux sont allongés dans le sens du déplace-

ment de la zone et peuvent atteindre 2 ou 3 cm de long mais il y en a toujours une dizaine dans la section.

Les propriétés de ce métal ont été très étudiées et ont fait l'objet de deux Colloques du C.N.R.S. (18-19). Je vais décrire maintenant deux études récentes qui montrent l'intérêt du fer de haute pureté et les deux types de recherches que l'on effectue actuellement sur lui.

I. — SUR L'HYDROGÈNE DANS LE FER

Si l'on place du fer à la cathode d'une cellule électrolytique contenant une solution d'acide sulfurique, de l'hydrogène va non seulement se dégager sur le fer, mais également pénétrer dans le métal. Si le fer n'est pas pur, du fer Armco par exemple, cette pénétration se révèle par la formation de soufflures (Fig. 5) qui sont parfois visibles à l'œil nu. A l'échel-

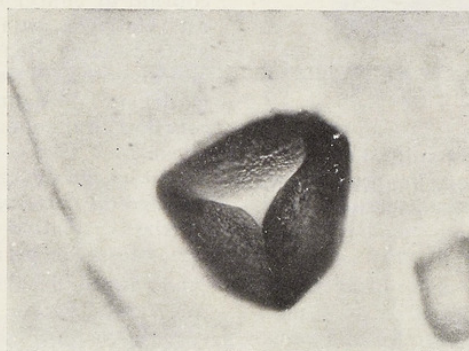


FIG. 5. — $\times 510$ Soufflure sur un fer Armco chargé en hydrogène

le du microscope électronique, la structure du métal est perturbée et l'introduction de l'hydrogène se traduit par la

formation de nombreuses dislocations enchevêtrées (Fig. 6). Par contre, si le fer est très pur, aucune soufflure ne se pro-

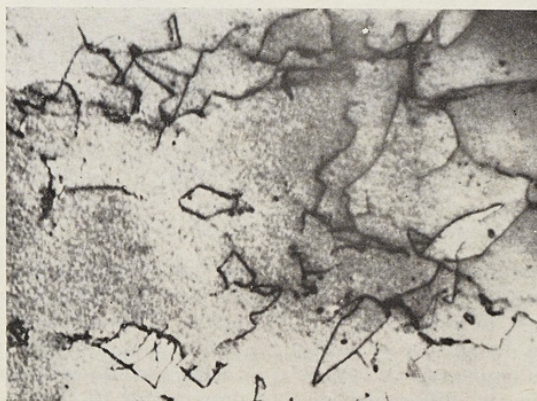


FIG. 6. — $\times 19.000$. Dislocations enchevêtrées dans le fer Armco chargé en hydrogène

duit et la microscopie électronique montre des joints très réguliers et des grains sans défauts (Fig. 7). Si le fer est physi-

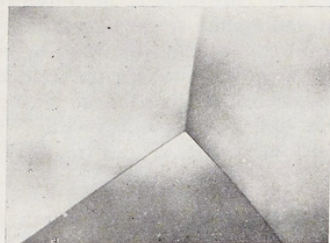


FIG. 7. — $\times 4.000$. Fer de haute pureté chargé en hydrogène

quement très parfait à la suite d'un traitement de polygonisation, l'apport d'hydrogène ne modifie pas l'aspect des sous-joints et les dislocations enchevêtrées n'apparaissent pas (Fig. 8) (20).

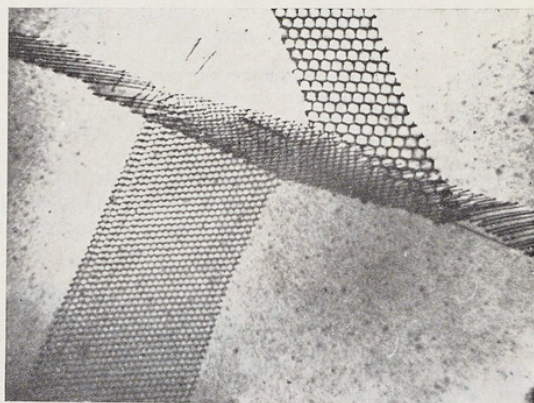


FIG. 8. — $\times 23.000$. Fer polygonisé chargé en hydrogène (d'après Dadian)

qui ne varie pas lorsqu'on augmente la densité de courant (c'est le nombre de soufflures formées qui augmente alors). Si on fait décroître la densité de courant, on ne retrouve pas la courbe A. Ce résultat met en évidence la différence de comportement du fer de haute pureté et du fer impur et permet de retrouver la

Dès lors, on peut s'attendre à ce que la diffusion de l'hydrogène ne se produise pas de la même façon dans un fer déformé par l'arrivée de l'hydrogène et dans un fer qui n'en est nullement modifié. C'est ce qui a été vérifié sur la figure 9, la vitesse de perméation de l'hydrogène (c'est-à-dire le volume d'hydrogène qui traverse pendant l'unité de temps l'unité de surface du métal quand le régime stationnaire est atteint) est portée en fonction de la racine carrée de la densité du courant de chargement (21). La courbe 1 est relative à du fer de zone fondue et a été obtenue en faisant croître la densité de courant. Puis on a fait décroître la densité de courant et on a tracé la courbe 1' qui se superpose exactement à la courbe 1. Ceci confirme qu'aucune perturbation n'a été créée dans le métal par passage de l'hydrogène. Au contraire, la courbe A relative au fer Armco révèle une vitesse de perméation très faible et

loi théorique $P = k \sqrt{I}$ (22) jamais vérifiée expérimentalement jusque-là pour de fortes concentrations en hydrogène. Ces recherches ont permis de déterminer le coefficient de diffusion de l'hydrogène dans le fer. Il a été obtenu par deux méthodes tout à fait différentes : une méthode sous vide par W. Raczynski (23)

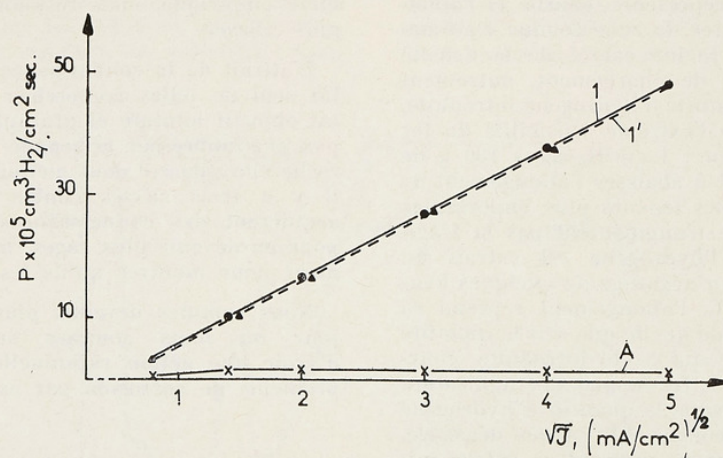


FIG. 9. — Vitesse de perméation de l'hydrogène en fonction de la racine carrée de la densité du courant de chargement

et une méthode électrochimique par J.-L. Dillard (24). La même valeur de $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$ a été trouvée, ce qui prouve que c'est bien le même phénomène qui a été cerné dans les deux cas.

Les propriétés mécaniques du métal chargé en hydrogène vont traduire également la différence de comportement à l'hydrogène des fers pur et impur. La courbe de la figure 10 obtenue par

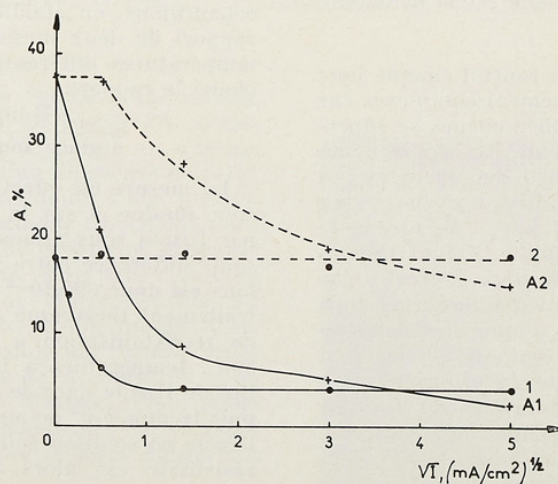


FIG. 10. — Variation de l'allongement à la rupture A % en fonction de la racine carrée de la densité de courant $\sqrt{I}$

a) en présence d'hydrogène (traction effectuée lors du chargement), 1 fer de zone fondue — A₁ fer Armco ;

b) sans hydrogène (traction effectuée après dégazage), 2 fer de zone fondue — A₂ fer Armco.

M. Cornet, représente (courbe 1) l'allongement du fer de zone fondue en fonction de la racine carrée de la densité du courant de chargement, autrement dit de la quantité d'hydrogène introduite. Elle montre l'extrême sensibilité du fer à l'hydrogène : 1 cm³H₂ dans 100 g de fer suffisent à abaisser l'allongement de 18 à 4 %. Des teneurs plus importantes d'hydrogène n'augmentent pas la fragilisation. Si l'hydrogène est extrait du métal par un dégazage de quelques heures à 100 °C, l'allongement reprend sa valeur initiale quelle que soit la quantité d'hydrogène qui a été introduite (courbe 2). Dans le fer Armco, la fragilisation s'accroît lorsque la quantité d'hydrogène augmente (courbe A1). Après dégazage, l'allongement ne reprend sa valeur initiale que dans une étroite zone correspondant à de petites quantités d'hydrogène introduites. Au-delà, l'allongement augmente partiellement à la suite du départ de l'hydrogène mais il n'atteint pas la valeur initiale en raison des défauts irréversiblement formés par l'hydrogène.

La poursuite de cette étude est évidente si l'on considère quelle est la démarche de la recherche.

L'expérience nous fournit chaque jour des données extrêmement complexes car une multitude de phénomènes se superposent et interagissent. En réduisant au maximum le nombre des facteurs, on arrive à saisir les lois qui régissent un phénomène à l'état pur. Une fois cette simplification accomplie, il faut remonter progressivement vers le réel : par exemple, en ajoutant une impureté, puis une autre, puis la somme des deux au métal pur et en observant quelles sont les répercussions sur la propriété choisie. L'étude des propriétés du fer pur était donc une première étape indispensable pour isoler des phénomènes simplifiés, mais à présent nous entrons dans la deuxième phase des recherches encore plus vaste et passionnante qui est la lente remontée vers le réel, vers le matériau complexe couramment utilisé, sur lequel on veut pouvoir agir non plus de ma-

nière empirique, mais rationnelle, donc plus efficace.

L'attrait de la connaissance justifie à lui seul de telles recherches mais que cet objectif lointain et pratique ne jette pas une ombre sur la grande idée de la recherche : Pascal nous mettait en garde il y a trois siècles contre ceux qui acquièrent des connaissances non pas pour en devenir plus sages, mais seulement pour montrer qu'ils les savent !

Nous sommes devenus plus sages le jour où nous sommes susceptibles d'avoir une action rationnelle sur un problème de corrosion par exemple.

II. — INFLUENCE DE LA PRÉSENCE D'AZOTE SUR LA RÉSISTIVITÉ DU FER

Voici un exemple d'une étude du deuxième type qui consiste à ajouter une impureté au fer de haute pureté, de manière à étudier l'influence spécifique de cette impureté.

Pour que les mesures de résistivité soient indépendantes de la forme des échantillons, on établit pratiquement le rapport de deux mesures faites à deux températures différentes. M^{me} Faudot a choisi le rapport

$$\frac{\rho_{\text{H liq.}}}{\rho_{\text{glace fondante}}}$$

La mesure est effectuée sur un fer de zone fondue et sur le même fer nitruré par fusion sous atmosphère d'azote. La seule différence entre les deux échantillons est donc 390.10⁻⁶ d'azote. Le même traitement thermique est donné : recuit de recristallisation à 850°, maintien à 590°, température à laquelle la solubilité de l'azote dans le fer est maximale, puis trempe à 0° de manière à maintenir l'azote en solution solide. Le rapport de résistivité est alors pour le fer pur 39.10⁻⁴ et pour le fer nitruré 740.10⁻⁴. L'azote a donc une influence notable sur la résistivité du fer.

Des revenus de deux heures ont alors été effectués à des températures crois-

santes suivis d'une trempe à 0° de manière que les résultats soient comparatifs. Le rapport de résistivité varie

selon les courbes de la figure 11. La courbe I est relative au fer pur, la courbe II au fer nitruré (26).

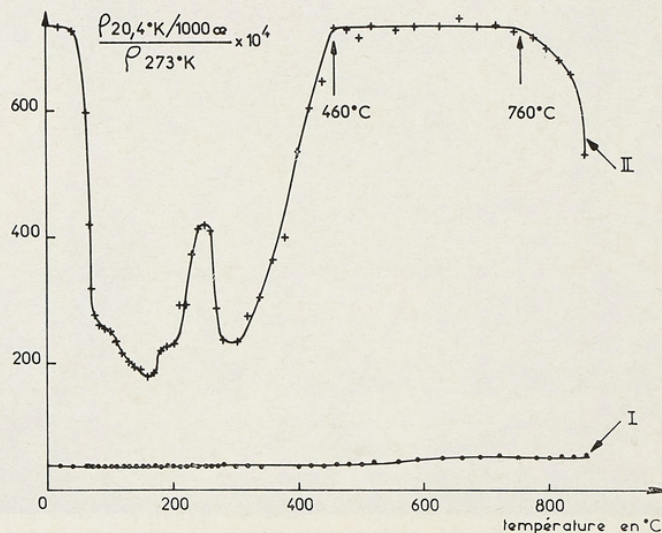


FIG. 11. — Rapport de résistivité en fonction de la température de revenu

Courbe I fer pur

Courbe II fer pur + 390.10^{-6} N

Au début de la courbe, sans revenu, la valeur initiale de résistivité correspond à la totalité de l'azote en solution solide. La diminution ultérieure de résistivité provient sans doute d'une précipitation mais on distingue trois domaines : une chute rapide de résistivité, un palier légèrement incliné, puis une nouvelle chute rapide dont l'interprétation est fournie par l'étude en microscopie électronique par transmission réalisée grâce à l'aide du groupe de M. Dimitrov et en particulier de M^{me} Rzepski. Cette étude montre successivement les trois types d'aspects représentés sur les figures 12, 13, 14.

Figure 12 : après des revenus jusqu'à 65°, la précipitation de nitrure de fer est ponctuelle et répartie de manière homogène dans les grains de fer.

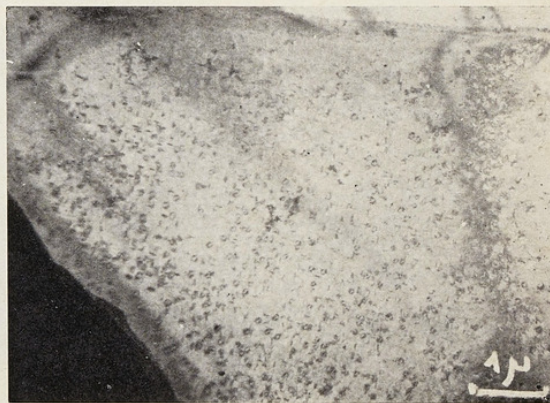


FIG. 12. — $\times 15.000$. Fer nitruré trempé revenu à 65°. La précipitation est ponctuelle et uniformément répartie

Figure 13 : le revenu a atteint 80° ce qui correspond au palier de la courbe et les

amas ont tendance à se rassembler : il y a coalescence des précipités.

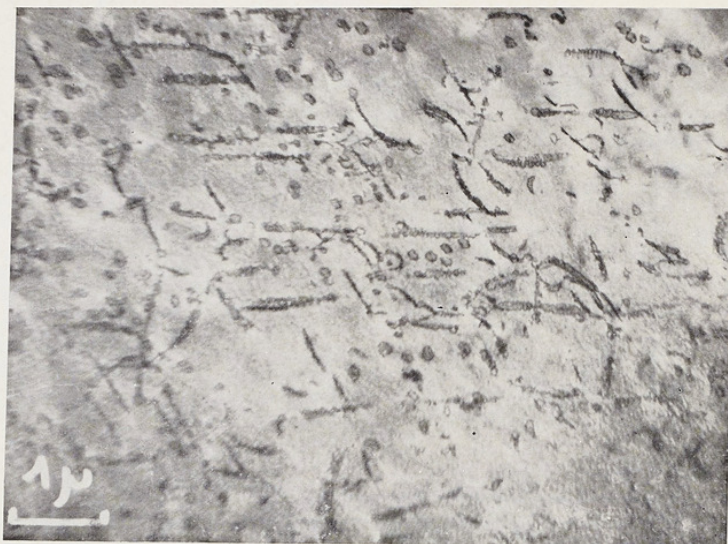


Fig. 13. — $\times 15.000$. Fer nitruré trempé revenu jusqu'à 80°. Il y a coalescence des précipités

Figure 14 : la température de revenu a été de 160°, le minimum de la courbe

est atteint, les précipités se présentent selon deux orientations principales.

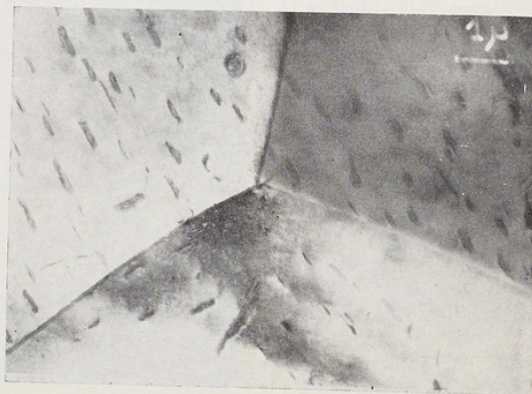


Fig. 14. — $\times 11.000$. Fer nitruré trempé revenu jusqu'à 160°. Les précipités se présentent selon deux orientations principales

Sur la courbe, un pic de résistivité présente ensuite son sommet à 250 °C, température de transformation du nitrure Fe_{16}N_2 en Fe_4N . La microscopie

électronique montre le changement de morphologie de la précipitation qui prend un aspect rubanné (Fig. 15).



FIG. 15. — $\times 7.000$. Fer nitruré trempé revenu jusqu'à 250°. La morphologie de la précipitation change

La suite de la courbe s'interprète facilement à l'aide des connaissances acqui-

ses et résumées dans le diagramme Fe-N (Fig. 16) (27). Il apparaît que la solu-

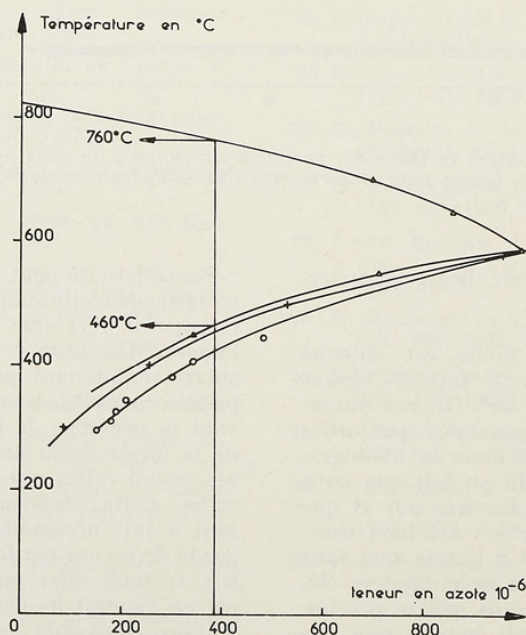


FIG. 16. — Diagramme fer-azote

bilité de l'azote croît lorsque la température augmente, les $390 \cdot 10^{-6}$ étant en solution solide à 460° la résistivité reste inchangée jusqu'à 760° , température à laquelle la solubilité de l'azote dans le fer diminue de nouveau, ce qui se traduit par un abaissement de la résistivité.

Les courbes isothermes ont alors été construites de manière à étudier la cinétique de la précipitation dans le premier domaine de température (Fig. 17). Les courbes I sont relatives au fer pur, les courbes II au fer nitruré. Elles mettent en évidence une seule cinétique de précipitation à $18, 40$ et 60° alors qu'à 90°

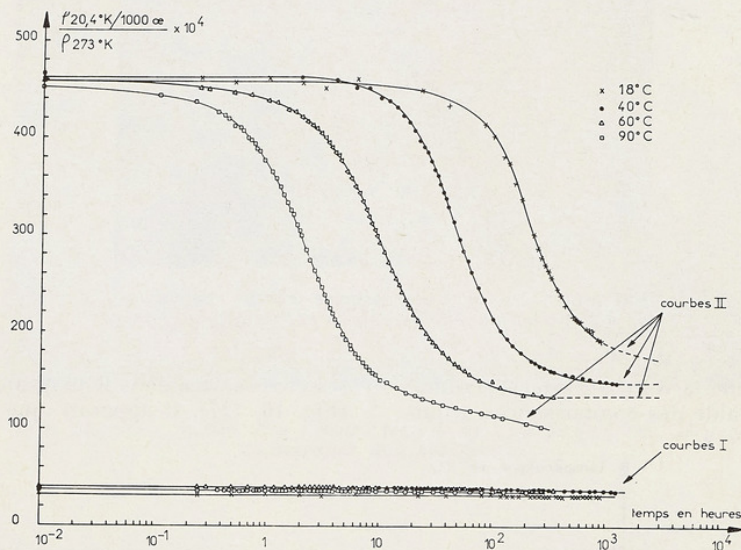


Fig. 17. — Courbes isothermes : variation du rapport de résistivité en fonction du temps pour des revenus aux températures indiquées

une différence apparaît, liée à la coalescence des précipités.

La précipitation totale est obtenue après 5.000 heures à 18°C , 1.500 heures à 40° , 300 heures à 60° . Or, ces durées sont beaucoup plus grandes que celles qui ont été relevées dans la bibliographie (28). Ceci est dû au fait que nous avons utilisé ici un fer très pur et que le phénomène observé a été bien isolé, il est dû à l'azote et à l'azote seul sans qu'il y ait interaction avec d'autres éléments d'impuretés, sans que la précipitation du nitrure soit induite par une autre.

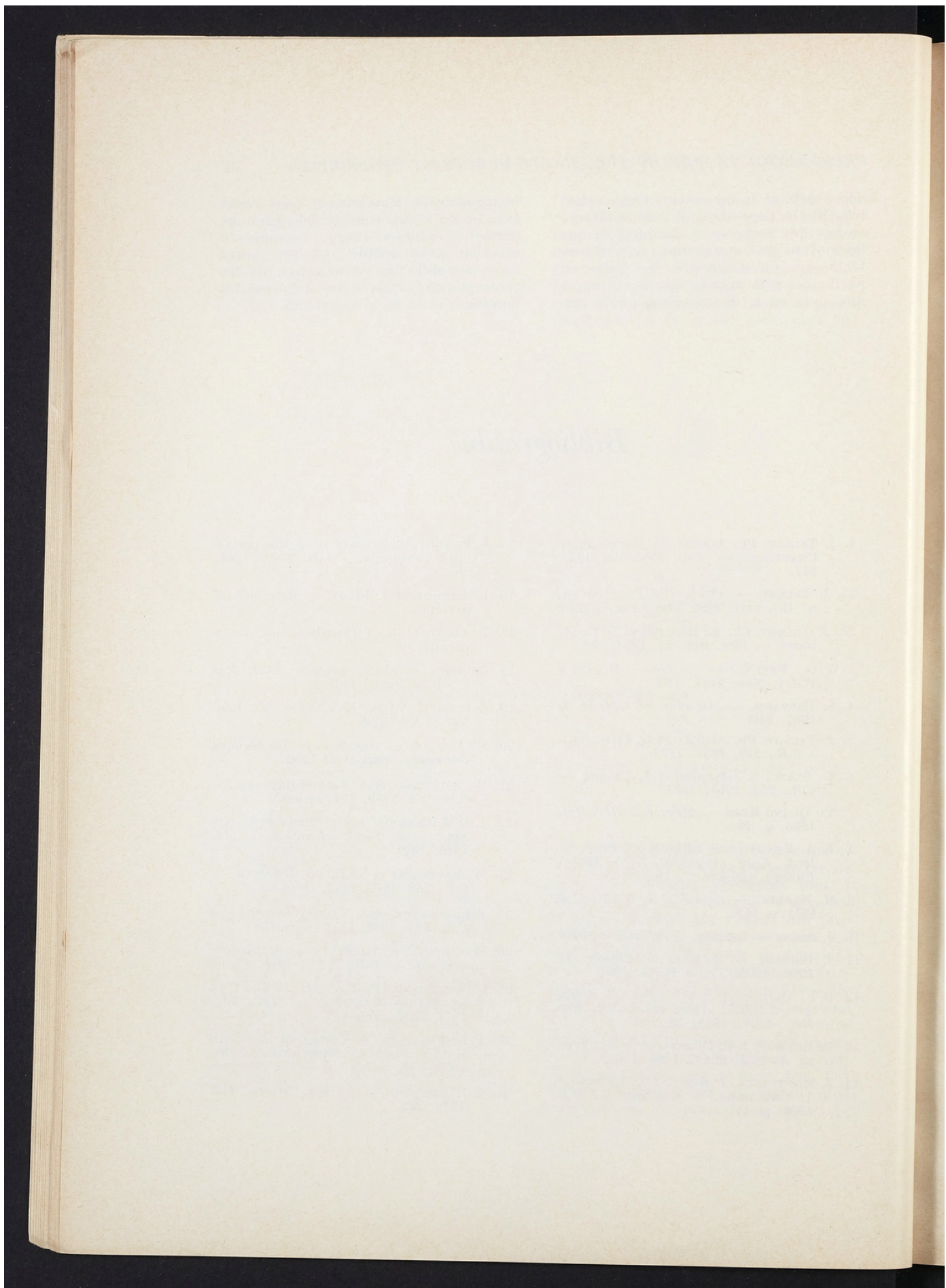
La résistivité peut paraître une mesure bien abstraite dans la perspective de retour au réel que j'évoquais tout à l'heure. Mais cette recherche va se poursuivre maintenant par l'étude des propriétés mécaniques et leur réaction devant la présence de l'azote va dépendre de la forme de la précipitation considérée parmi celles qui viennent d'être décrites. Cette première étape était donc tout à fait nécessaire : il faut prendre garde de ne pas perdre de vue nos objectifs surtout s'ils sont lointains, ce qui est en général le cas avec le fer. Les métaux nouveaux ont un attrait plus immédiat car ils permettent encore la

découverte et le fer est un vieux métal très étudié. Cependant, il nous a réservé encore des surprises à chaque fois que les moyens de l'appréhender se sont perfectionnés ou diversifiés. Je pense en particulier à la microscopie électronique qui nous en a donné récemment une

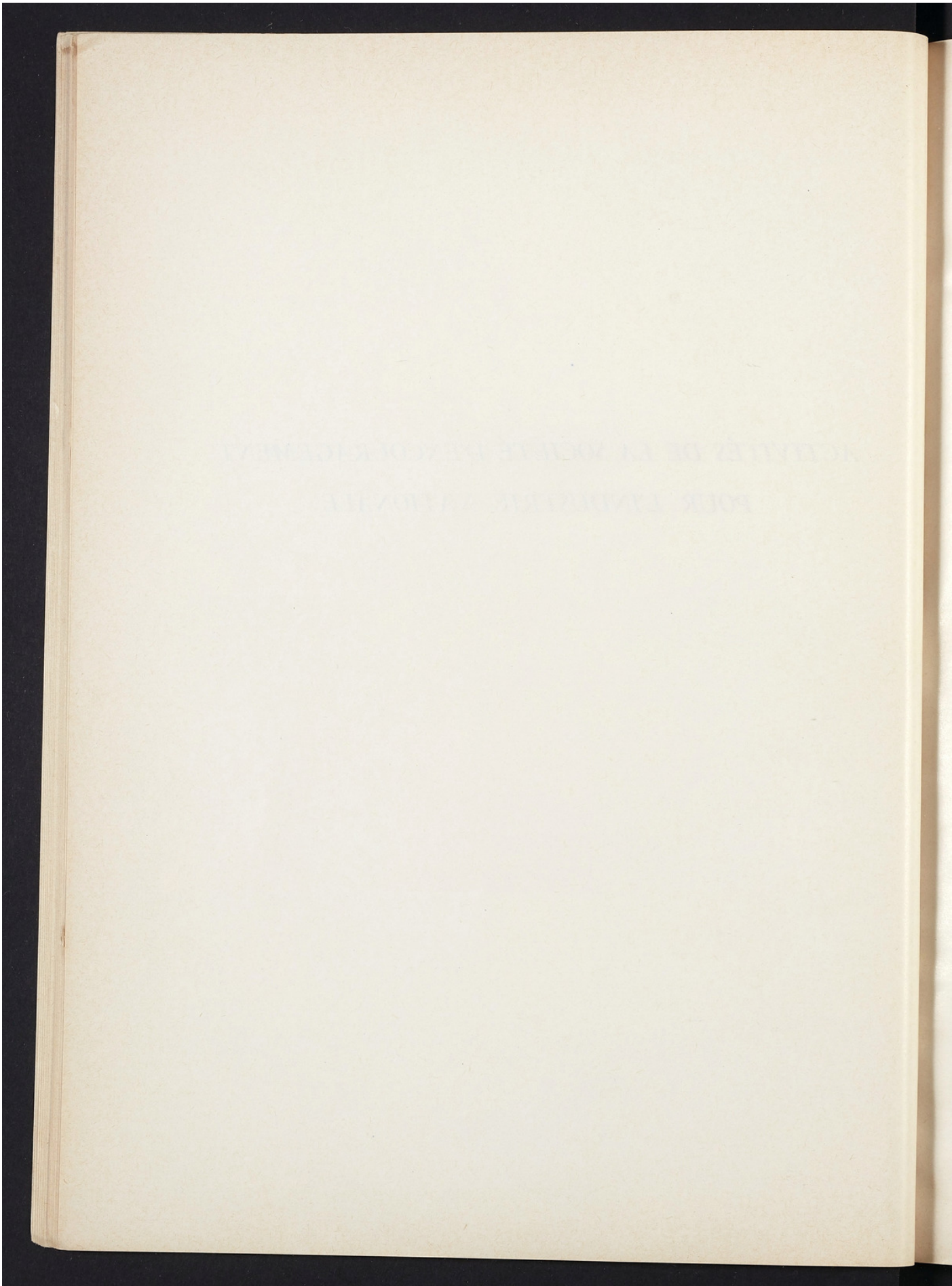
image nouvelle. Mais surtout, nous avons avec lui un acquis considérable qui nous permet d'entamer l'étape suivante, ô combien passionnante qui est, après avoir simplifié les phénomènes, de les recompliquer, mais cette fois en les dominant et en les comprenant.

Bibliographie

1. J. TALBOT, Ph. ALBERT, M. CARON et G. CHAUDRON. — *Rev. Mét.*, 50, 1953, 817.
- 2a. J. TALBOT. — *Publ. IRSID*, série A, n° 137, avril 1956, Thèse Paris, 1955.
- 2b. J. TALBOT, Ch. DE BAULIEU et G. CHAUDRON. — *Rev. Mét.*, 51, 1954, 839.
- 3 W. G. PFANN. — « Zone Melting » Wiley, New York, 1958.
4. S. BESNARD. — *Annales de Chimie*, 6, 1961, 245.
5. J. TALBOT, Ph. ALBERT et G. CHAUDRON. — *C.R.*, 244, 1957, 1577.
6. G. BLANC, S. BESNARD et J. TALBOT. — *C.R.*, 253, 1961, 1457.
7. VU QUANG KINH. — *Mém. Sci. Rev. Mét.*, 1968, p. 49.
8. K. A. KRAUS et G. NELSON. — *Proc. Intern. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy*, Genève, 7, 1956, 113.
9. M. NARDIN. — *Annales de Chimie*, 6, 1971, p. 143.
10. J. BIGOT. — *Annales de Chimie*, 5, 1970.
11. J. GAITTET. — *Annales de Chimie*, 77, 1960, 1266, Thèse Paris, 1959.
12. B. F. OLIVER et E. W. TROY. — *Colloque C.N.R.S.*, 1966, *Mém. Sci. Rev. Mét.*, LXV, 1968, 39.
13. B. RONDOT, J.-C. DURAND et J. MONTUELLE. — *C.R.*, 268 C, 1969, 1502.
14. J. MONTUELLE, J. BIGOT, J.-C. DURAND et T. CHAUDRON. — *Colloque C.N.R.S.*, 1966, p. 17.
15. B. RONDOT, P. ANTONIUCCI, J. MONTUELLE et G. CHAUDRON. — *C.R.*, 266 C, 1968, 363.
16. F. FAUDOT et J. BIGOT. — *Rev. Mét.*, à paraître.
17. J. BIGOT et S. TALBOT-BESNARD. — A paraître.
18. Colloque C.N.R.S., octobre 1959, Ed. C.N.R.S., Paris, 1960.
19. Colloque C.N.R.S., 1966, *Mém. Sci. Rev. Mét.*, LXV, 1968.
20. M. DADIAN. — *Soudage et Techniques Connexes*, mars-avril 1962.
21. W. RACZYNSKI et S. TALBOT-BESNARD. — *C.R.*, 269, 1969, 294, série C.
22. J. O'M. BOCKRIS, J. MC BREEN et L. NANNIS. — *J. Electrochem. Soc.*, 112, 1965, 1025.
23. W. RACZYNSKI et S. TALBOT-BESNARD. — *C.R.*, 269, 1969, 1253, série C.
24. J.-L. DILLARD et S. TALBOT-BESNARD. — *C.R.*, 269, 1969, 1173, série C.
25. M. CORNET, W. RACZYNSKI et S. TALBOT-BESNARD. — *C.R.*, 270 C, 1970, 1643.
26. C. BERTRAND, F. FAUDOT, J. BIGOT et S. TALBOT-BESNARD. — *C.R.*, 272, 1971, 1287, série C.
27. V. G. PARANJPE, M. COHEN, M. B. BÉVER et C. F. FLOE. — *Trans. Aimée*, 188, 1950, 261.
28. L. J. DIJKSTRA. — *Trans. Aimée*, 185, 1949, 252.



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



Prix et Médailles

décernés par la Société d'Encouragement pour l'année 1970

I. - Distinctions exceptionnelles

La Grande Médaille annuelle de la Société d'Encouragement est attribuée à la SOCIÉTÉ ALSACIENNE DE CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES DE MULHOUSE, pour les réalisations accomplies par elle depuis la date à laquelle cette firme obtenait le Grand Prix Lamy (1946), dans les deux domaines des moteurs diesels et des machines textiles, sur rapport de M. Raymond Brun, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La médaille Louis Pineau, qui est attribuée conjointement à MM. Jean ALLEAUME et Auguste GILLES, fera l'objet d'une remise en séance spéciale.

La Grande Médaille des activités d'Enseignement fait l'objet de deux attributions. L'une d'elle a pour titulaire M. André TENOT, qui, au cours de toute sa carrière, a préparé de nombreux ingénieurs, auxquels il a donné une formation théorique et pratique leur permettant d'assumer les tâches qu'exige l'industrie moderne, sur le rapport de M. Bézier, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

L'autre Grande Médaille est décernée à M. Roger BLAIS, tant pour son action directe d'enseignement que pour la façon éminente dont il sut accomplir les hautes missions qui lui furent confiées, sur rapport de M. Vayssière, au nom du Comité d'Agriculture.

La médaille Oppenheim est attribuée à M. André BELLIER, pour sa carrière à la COMPAGNIE PECHINEY où son travail et sa compétence lui ont permis en débutant comme aide-chimiste d'accéder au niveau le plus élevé, sur rapport de M. Lafitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

La Médaille de la Conférence Bardy et celle de la Conférence Carrion attribuées respectivement à M^{me} Simone TALBOT-BESNARD et à M. Jean GALLUT, leur ont été remises à l'occasion des séances correspondantes.

II. - Médailles d'or

Une Médaille d'Or est attribuée à M. Gaston DUPOUY, Membre de l'Institut, pour ses réalisations mémorables en matière de microscopie électronique, sur rapport de M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Or est attribuée à M. Marcel CHATEAU, pour ses précieuses réalisations techniques et scientifiques au Laboratoire de la Régie Nationale des Usines Renault, sur rapport de M. Jacques Pomey, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Or est attribuée conjointement à MM. Paul FOIX et Jean-Claude BERNIER, animateurs d'une remarquable équipe de recherches et d'études cristallographiques et magnétiques, sur rapport de M. André Michel, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Or est attribuée au Père Henri de FARCY, pour l'œuvre accomplie par lui, sous la forme de l'enseignement et de la publication, en particulier, pour son récent ouvrage sur « l'Economie Agricole », sur rapport de M. Hénin, au nom du Comité d'Agriculture.

Une Médaille d'Or est attribuée à M. Maurice ALLAIS, pour sa carrière consacrée aux études économiques et à l'enseignement, sur rapport de M. Majorelle, au nom du Comité des Arts Economiques.

III. - Médailles et prix spéciaux

La Médaille Menier est attribuée à M. Robert PRUDHOMME, professeur à la Faculté des Sciences de Paris, Chef du Laboratoire des Ultrasons de l'Institut Pasteur, pour l'ensemble de ses travaux, sur rapport de M. Chovin, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Le Prix de la Classe 51 est attribué à M. Louis BERNOUD, pour les mérites professionnels qui lui ont permis de prendre une place de plus en plus importante dans les fabrications industrielles relevant du domaine chimique, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

La Médaille Farcot est attribuée à M. André ROBERT, auteur de travaux de valeur qui ont fait l'objet de cinq mémoires présentés à l'Association Technique, Maritime et Aéronautique, sur rapport de l'Ingénieur Général Henri de Leiris, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Massion est attribuée à M. Jacques CAUBET, pour son action comme animateur du Centre Stéphanois de Recherches Mécaniques, Hydromécanique et Frottement, sur rapport de M. Chaffiotte, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Giffard est attribuée à M. Alain QUILLEVERE, pour les progrès importants accomplis, grâce à lui, dans le domaine de la combustion, sur rapport de M. L'Ingénieur Général Marchal, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

- Le Prix Parmentier* est attribué à M. Jacques ROZIER, pour ses travaux très importants concernant l'hygiène et l'industrie des produits carnés, sur rapport de M. le Vétérinaire-Biologiste Général Guillot, au nom du Comité d'Agriculture.
- La Médaille Jollivet* est attribuée à M. Robert DELATTRE, pour son rôle et son activité scientifiques, au sein de l'Institut de Recherches du coton et des textiles exotiques, sur rapport de M. Lhoste, au nom du Comité d'Agriculture.
- La Médaille Gaumont* est attribuée à M. Jean VIVIÉ, pour son activité dans le domaine de la cinématographie et de la photographie, sur rapport de M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.
- La Médaille Richard* est attribuée à MM. André FORTIN et Sylvain PRAT, pour leurs travaux personnels d'une part et pour les réalisations qui sont dues à leur collaboration dans le domaine des mesures dimensionnelles à l'aide de jauges pneumatiques, sur rapport de M. Bézier, au nom du Comité des Arts Mécaniques.
- La Médaille Bourdon* est attribuée à M. Henri MASSAT, pour ses réalisations dans le cadre du Laboratoire des Hautes Pressions du Centre National de la Recherche Scientifique, sur rapport de M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques.
- Une Médaille Dumas* est attribuée à M. Victor GIRAUD, pour sa carrière au cours de laquelle il a gravi, grâce à ses mérites, tous les échelons de la hiérarchie technique aux Chantiers Navals de la Ciotat, sur rapport de M. l'Ingénieur Général Henri de Leiris, au nom du Comité des Arts Mécaniques.
- Une Médaille Dumas* est attribuée à M. André HUMEZ, qui a accompli (lui aussi) dans le domaine de l'Industrie Chimique, une très brillante carrière, grâce à l'approfondissement de ses connaissances théoriques et de son expérience pratique, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.
- Une Médaille Dumas* est attribuée à M. Pierre CHOLLET, qui doit à son courage et à sa persévérance d'avoir parcouru toute la hiérarchie de son métier depuis l'emploi d'apprenti jusqu'au poste de Directeur-Général, sur rapport de M. Pommier, au nom du Comité des Arts Mécaniques.
- La Médaille Aimé Girard* est attribuée à M. Roger GERVY, Ingénieur et vulgarisateur, auteur d'un remarquable ouvrage intitulé « Les phosphates et l'agriculture », sur rapport de M. Hénin, au nom du Comité d'Agriculture.
- La Médaille Roy* est attribuée à M. Paul BOURRIÈRES, Directeur-Général du Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer, sur rapport de M. l'Inspecteur Général de Rouville, au nom du Comité des Arts Economiques et des Constructions et Beaux-Arts.
- Le Prix Fourcade* est attribué à M. Henri DERE.

IV. - Médailles de vermeil

- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Jean ROUQUEROL, pour ses travaux de recherches et ses réalisations de méthodes et d'appareils, sur rapport de M. Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Paul BIARNAIS, pour sa participation aux mises au point de procédés de fabrications importantes aux Usines de Melle de la Société Melle-Bezons, sur rapport de M. Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Jean BAGET, ancien préparateur du Professeur Dufraysse, pour son activité aux services de Recherches Pharmaceutiques de la Société Rhône-Poulenc, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Michel GAREIN, pour sa collaboration précieuse aux travaux de plusieurs sections du Laboratoire Central de la Préfecture de Police, sur rapport de M. Chovin, au nom du Comité des Arts Chimiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Jacques MARTEL, pour ses travaux qui ont abouti à la fabrication industrielle d'insecticides de faible toxicité et d'effet non-polluant, sur rapport de M. Jean Lhoste, au nom du Comité d'Agriculture.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Marcel BORREL, pour son rôle dans différentes fabrications à la Société Ugine-Kuhlmann, en particulier l'acrylinisation, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à MM. Jacques BADOZ et Michel BILLARDON, pour la mise au point au Laboratoire d'Optique Physique de l'Ecole Supérieure de Physique et de Chimie, de divers dispositifs de spectroscopie en lumière polarisée, sur rapport de M. Lucas, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à la Société CÉRÉS, pour le caractère scientifique de ses travaux en matière de semences sucrières sélectionnées et d'enrobage des semences, sur rapport de M. Desaymard, au nom du Comité d'Agriculture.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Eugène OGLOBEFF, qui a dirigé avec beaucoup de compétence, pendant de nombreuses années, le Centre de liquéfaction d'hydrogène et d'hélium qui alimente les laboratoires de l'Ecole Supérieure de Physique et de Chimie, sur rapport de M. Lucas, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Roger PICHARD du PAGE, pour les travaux nombreux par lesquels il a efficacement contribué à la promotion des échanges internationaux, sur rapport de M. Jean Lecerf, au nom du Comité des Arts Economiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. René MINGUET, pour son action efficace dans le domaine du groupement professionnel et du développement industriel, sur rapport de M. Jean Lecerf, au nom du Comité des Arts Economiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. William FRANÇOIS, pour les nombreuses études au cours desquelles il s'est efforcé de dégager et de faire connaître une doctrine économique fondée sur les réalités de la vie industrielle et financière, sur rapport de M. Jean Lecerf, au nom du Comité des Arts Economiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Jean FERRANDON, pour ses travaux personnels et son action d'animateur de recherche à l'Ecole Polytechnique, sur rapport de M. Majorelle, au nom du Comité des Arts Economiques.
- Une Médaille de Vermeil* est attribuée à M. Jacques BRIL, tant pour ses travaux personnels que comme Chef du Service Etudes analytiques et Mesures au Centre de Recherches Pechiney à Voreppe, sur rapport de M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

V. - Médailles d'argent

Une Médaille de Vermeil est attribuée à la Société NODET-GOUGIS, pour son action à la pointe du progrès dans le domaine des machines agricoles, semoirs et distributeurs d'engrais, sur rapport de M. Jacques Baratte, au nom du Comité d'Agriculture.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Jean SURGET, pour sa contribution importante au développement de la métrologie optique, sur rapport de M. Arnulf, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Charles GUILLOUX, pour son rôle d'organisateur et sa participation au fonctionnement des opérations de l'Usine de Saint-Fons de la Compagnie de Saint-Gobain, sur rapport de M. Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Pierre LANGLOIS, pour sa coopération technique à l'Usine de la Compagnie de Saint-Gobain, puis de Pechiney-Saint-Gobain, sur rapport de M. Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Jean COURTEIX, pour sa collaboration comme Ingénieur-Chimiste au laboratoire de recherches analytiques de la Société Rhône-Poulenc, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Marcel CUINET, pour son rôle dans la fabrication du chlorure de vinyle aux Etablissements Kuhlmann, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Pierre JACQUINOT, pour son rôle dans la lutte contre la pollution due aux installations thermiques, sur rapport de M. Chovin, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Jean-Pierre RAFFIN, pour ses travaux concernant la protection de la nature, sur rapport de M. Lhoste, au nom du Comité d'Agriculture.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Nguyen PHU LICH, pour ses travaux consacrés à la toxicologie analytique et biologique de différents pesticides, sur rapport de M. Le Moan, au nom du Comité d'Agriculture.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Henri LARIVE, pour son rôle d'animateur de Centres de Recherches et de Laboratoires ainsi que pour ses travaux personnels en chimie des colorants, sur rapport de M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. JACQUEMART, pour ses travaux sur l'application des méthodes optiques à l'étude et au contrôle des fibres textiles, sur rapport de M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Roger DELMAS, pour son activité comme Chef du Département Physique-Chimie au Laboratoire de la Direction Technique de la S.N.E.C.M.A. à Corbeil, ainsi que pour ses travaux personnels, sur rapport de M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Fernand FLORIO, pour les recherches et les réalisations poursuivies sous son impulsion à la Société l'Air Liquide, sur rapport de M. Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Lucien BURGAUD, pour ses travaux, notamment dans le domaine antiparasitaire, sur rapport de M. Desaymard, au nom du Comité d'Agriculture.

VI. - Médailles de bronze

Une Médaille de Bronze est attribuée à M. LAFAY, pour ses travaux et expériences relatifs aux problèmes phytosanitaires, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Bronze est attribuée à M. Valentin DEBOË, pour ses services à la Société des Produits Chimiques Péchiney-Saint-Gobain, sur rapport de M. Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Bronze est attribuée à M. Albert PERSON, pour son rôle dans la formation technique du personnel, sur rapport de M. Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Bronze est attribuée à M. René MARTY, pour les services rendus par lui, au cours d'une longue carrière, à l'Usine de Balaruc, sur rapport de M. Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

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

I.T.Q.A.-CAHORS. — 10966 — Dépôt légal : I-1972

