

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](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 possible 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
	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
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1976, n° 3
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1976

Collation	1 vol. (36 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	40
Cote	INDNAT (116)
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.116

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 reporterà 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 abondant, 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, publient 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 Emtoz, [« 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 EMTOZ, [« 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

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

*fondée en 1801
reconnue d'utilité publique*

Revue trimestrielle
1976 - N° 3

• • •

N° 3 - 1976

SOMMAIRE

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

- Caractéristiques et applications les plus marquantes du Gallium
et de ses composés,
par M. P. de LA BRETEQUE, p. 3

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

RAPPORTS sur les Prix et Médailles 1975-1976 :

I. — Distinctions Exceptionnelles	p. 31
II. — Médailles d'Or	p. 32
III. — Médailles de Vermeil	p. 32
IV. — Médailles et Prix spéciaux	p. 33
V. — Médailles d'Argent	p. 34
VI. — Médailles de Bronze	p. 35
VII. — Titre Social	p. 36

Publication sous la direction de M. Henri NORMANT

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 : 60 F le n° : 20,00 F C.C.P. Paris, n° 618-48

*Caractéristiques
et applications les plus marquantes
du gallium et de ses composés*

par P. de LA BRETECHE
Institut de recherches à l'université de Paris
TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Vous avez entendus dire que le gallium, élément n° 31 de la classification périodique, avait fait l'objet de très nombreuses recherches depuis 25 ans environ. C'est effectivement son évolution, jusqu'à l'obtention d'un métal très pur qui a été l'objet de très nombreuses recherches, mais cette fois-ci extrêmement moins intéressante aussi bien pour l'élément qu'en grand nombre de ses composés, soit en raison de la nécessité d'oxygénation pour remplir nos objectifs certains de ses réactions et certains de ses composés, soit pour renseigner les utilisateurs possibles de cet élément et encourager ses applications pratiques.

Il n'est pas question, bien sûr, d'aborder tous les aspects de la chimie et de la physique du gallium, car il faudrait pour cela des heures, mais nous nous proposons toutefois de nous attacher sur les éléments les plus marquants de la connaissance de ce corps, et notamment sur sa géochimie, son extraction, ses propriétés physiques et chimiques, et sur ceux parmi ses composés qui sont à l'heure actuelle les plus intéressants dans le domaine de

la recherche, soit sur les applications pratiques, soit pour ces applications pratiques.

Mais le moment tombe d'autant mieux que c'est il y a environ 100 ans que cet élément a été découvert, puisque c'est dans une soirée du 20 août 1875 que le français Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran fit une étincelle et déclara en 1877 à l'Académie la découverte de ce nouvel élément.

Cette fois-ci je propose sans doute pour commencer un hommage reconnaissant à ce maestro de ce siècle.

La découverte du gallium est particulièrement remarquable, car son auteur a également obtenu la première fois à cette occasion un résultat assez peu de ses connaissances, élémentaire pour l'époque de la spectrographie d'émission. Il faut ajouter qu'il avait à ce propos un précurseur : son maître était en effet le fabricant du camphre avec sa famille.

1. Communication présentée à la Société d'Imprimerie et pour l'industrie graphique le 10 octobre 1950.

UNIVERSITY LIBRARY OF THE UNIVERSITY OF TORONTO

Caractéristiques

et applications les plus marquantes du gallium et de ses composés ()*

par P. de LA BRETEQUE

Directeur de Recherches à Alussuisse France S.A.

Nous nous entretiendrons aujourd'hui du gallium, élément n° 31 de la classification périodique, qui a fait l'objet de nos soucis depuis 25 ans environ. C'est surtout son extraction, jusqu'à l'obtention d'un métal très pur, qui a été l'objet de nos préoccupations, mais ceci nous a entraînés à nous intéresser aussi bien à l'élément qu'à un grand nombre de ses composés, soit en raison de la nécessité de connaître, pour remplir nos objectifs, certaines de ses réactions et certains de ses composés, soit pour renseigner les utilisateurs possibles de cet élément et encourager ses applications pratiques.

Il n'est pas question, bien sûr, d'aborder tous les aspects de la chimie et de la physique du gallium, car il faudrait pour cela des heures, mais nous essaierons d'attirer votre attention sur les éléments les plus marquants de la connaissance de ce corps, et notamment sur sa géochimie, son extraction, ses propriétés physiques et chimiques, et sur ceux parmi ses composés qui sont, à l'heure actuelle, les plus intéressants dans le domaine de

la recherche pure ou les plus prometteurs dans celui des applications pratiques.

**

Mais il convient tout d'abord de rappeler que c'est il y a environ 100 ans que cet élément a été découvert, puisque c'est dans une note du 30 août 1875 que le français Paul-Emile Lecoq de Boisbaudran (né en 1838 et décédé en 1912) a annoncé la découverte de ce nouvel élément.

Aussi cet exposé sera-t-il pour commencer un hommage reconnaissant à la mémoire de ce savant.

La découverte du gallium est particulièrement remarquable, car son auteur a appliqué pour la première fois à cette occasion un raisonnement issu de ses connaissances, étendues pour l'époque, de la spectrographie d'émission. Il faut ajouter qu'il avait à ce propos un grand mérite ; son métier était en effet de fabriquer du cognac avec sa famille,

(*) Conférence prononcée à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale le 29 avril 1976.

tâche noble certainement, mais bien éloignée des questions scientifiques qui l'intéressaient.

Au bout d'un certain temps, il a quand même rencontré auprès de l'un de ses oncles, polytechnicien, une aide qui lui a permis de se procurer, à Paris, un matériel de spectroscopie rudimentaire. Dès 1864, il a ainsi commencé, dans la cave de la maison familiale, une étude des spectres de flamme ou d'étincelle. Ceci l'a conduit à publier, en 1871, un premier mémoire dans les Comptes rendus de l'Académie des Sciences, sur les variations des longueurs d'ondes des spectres des éléments, mémoire qui lui valut, dès l'année suivante, un prix de l'Académie.

Par ses études, Lecoq de Boisbaudran avait compris qu'il y avait des lacunes dans la suite des éléments alors connus, en les classant dans l'ordre de leur masse atomique croissante. Il aurait pu, avant Mendeleïev, annoncer ainsi l'existence d'éléments non encore connus, mais il a préféré attendre une vérification de sa théorie par l'expérience et c'est seulement en 1895 qu'il a publié dans les Comptes rendus de l'Académie le résultat de ses recherches, permettant de prévoir l'existence et certaines propriétés d'éléments inconnus. D'ailleurs, cet autodidacte modeste n'a travaillé que par amour de la science.

Nous terminerons ce bref historique en insistant à nouveau sur l'originalité des travaux de ce chercheur, premier spécialiste de l'utilisation en chimie de la spectrographie.

*

**

Depuis lors, la connaissance et les applications de ce nouvel élément auraient pu connaître un grand développement s'il n'y avait eu à cela un obstacle très sérieux. En effet, si la valeur de son « clark » — ou teneur moyenne dans la lithosphère — est de l'ordre de 15 à 20 grammes par tonne, teneurs voisines de celles d'éléments aussi communs que le plomb ou l'arsenic, il faut ajouter que

le gallium est un élément très dispersé dans la nature, et que l'on n'en connaît pas de minerai riche. Les minéraux dans lesquels on le rencontre en renferment des teneurs la plupart du temps de l'ordre de quelques grammes par tonne et, seulement dans des cas tout à fait exceptionnels, des concentrations pouvant atteindre 0,1 ou 1 %.

Aussi la géochimie et la pétrographie de cet élément présentent-elles un intérêt tout particulier.

La gallium se rencontre principalement dans la nature en association avec certains de ses voisins de la classification périodique des éléments, à savoir le zinc et le germanium (même ligne), et l'aluminium (même colonne). Rappelons que c'est dans une blende des Pyrénées que le gallium a été découvert par Lecoq de Boisbaudran.

Mais la très grande abondance de l'aluminium dans la croûte terrestre fait que la géochimie du gallium est pour une grande part dominée par celle de l'aluminium.

En ce qui concerne les autres éléments, mentionnons l'association ou « corrélation positive » du gallium dans la nature avec certains d'entre eux et dans certaines conditions. Ces corrélations positives sont dues à des propriétés chimiques voisines, ainsi qu'à des rayons ioniques voisins. Dans d'autres cas, la corrélation peut être négative, les propriétés chimiques des éléments respectifs étant éloignées les unes des autres.

Ces corrélations, positives ou négatives, sont d'autant plus sensibles que le gallium existe dans les milieux naturels à de faibles concentrations, à côté d'autres éléments à des teneurs beaucoup plus élevées.

Le tableau n° 1 montre les caractéristiques atomiques et ioniques de quelques éléments avec lesquels on le rencontre dans la nature.

Outre le zinc, le germanium et l'aluminium déjà mentionnés, d'autres éléments

TABLEAU N° 1.

Caractéristiques atomiques et ioniques de quelques éléments

	Ga	Al	Ti	Cr	Fe	Zn	Ge
Rayon atomique, Å ...	1,38	1,41	1,46	1,28	1,26	1,37	1,39
Rayon ionique, Å ...	$Ga^{3+} + 0,62$	$Al^{3+} + 0,51$	$Ti^{4+} + 0,68$	$Cr^{3+} + 0,63$	$Fe^{2+} + 0,74$	$Zn^{2+} + 0,74$	$Ge^{4+} + 0,53$
Potentiel d'ionisation, V	6,00	5,98	6,82	6,76	7,87	9,39	7,88

ont avec le gallium une corrélation positive ; c'est le fait notamment, dans certains cas, du fer, du titane, du chrome ou du manganèse par exemple. Le fer trivalent peut être la cause d'une accumulation du gallium dans les zones oxydées, l'hydroxyde de fer jouant le rôle d'un adsorbant.

Parmi les éléments présentant une corrélation négative avec le gallium, nous mentionnerons principalement le silicium sous forme de quartz et le calcium dans les calcaires.

Divers auteurs émettent aussi l'hypothèse d'un « camouflage » des ions gallium par les ions aluminium, leur charge étant la même et leurs rayons ioniques relativement voisins ; ceci expliquerait que le rapport gallium/aluminium ne varie pas considérablement, ainsi que nous le verrons plus loin, au cours des diverses étapes de la transformation des roches.

Enfin, l'acidité du milieu ambiant est favorable à une concentration plus élevée en gallium, en raison de l'acidité relativement élevée de l'oxyde de gallium.

Nous allons illustrer, par quelques tableaux relatifs aux teneurs en gallium de milieux naturels caractéristiques, les indications un peu arides et sommaires que nous venons de donner.

Nous avons eu l'occasion d'examiner (1), parmi plus de 500 publications parues sur la géochimie du gallium (dont plus de 50 % datent de moins de dix ans), des analyses représentant des milliers d'échantillons de roches ou de minéraux de toutes origines. Parmi ces nom-

breux résultats, nous avons choisi ceux qui sont relatifs à des roches ou minéraux parmi les plus significatifs :

- les roches intrusives acides, représentant à elles seules environ 65 % de la lithosphère (tableaux n° 2 a et 2 b) ;
- les bauxites, principale source actuelle du gallium ; elles comprennent les bauxites karstiques, où l'alumine est sous forme de monohydrate, et les bauxites latéritiques, où l'alumine est trihydratée (tableaux n° 3 et 4) ;
- les blendes ou sphalérites, à teneurs assez variables en gallium (tableau n° 5) ;
- les minéraux sulfatés, certains d'entre eux, les alunites, étant des sources, entre autres, d'alumine et de gallium (tableau n° 6) ;
- les charbons, à partir de certains desquels l'on extrait le germanium, et comme sous-produit, du gallium (tableau n° 7) ;
- enfin les micas, qui sont les plus riches en gallium parmi les minéraux silicatés ; une extraction de gallium a été envisagée dans un dépôt de lépidolite du Canada (tableau n° 8).

Un dernier tableau (n° 9) montre une récapitulation des teneurs en gallium dans les différents types de roches et permet de retrouver assez bien la teneur moyenne de la lithosphère, mentionnée plus haut, et qui se situe vers 15 à 20 grammes par tonne.

TABLEAU N° 2 a.

GALLIUM DANS LES ROCHES INTRUSIVES ACIDES

DIVERS PAYS	Ga, 10 ⁻⁶	Ga, 10 ⁻⁶
Granites		
Canada (moyenne)	17	
G-B, Worcester	12	
Île de Man	14-31	
Cornouailles	18-21	
Shap	24	
Laggan Dam, Ecosse	17	
Irlande, Galway	13-17	
Île d'Orney	12-16	
Oweeney	16	
Finlande, divers	11-20	
Vakkara (Finl. Ouest)	43	
Rhodesie, Bulawayo	22	
Groenland, Skaergaard	20	
Japon, divers (86 éch.)	20-210	
Ouest (8 éch.)	16-20	
Divers	16-18	
Suisse, Argovie	5-25	
USA, Rhode Isl., Westerly	22	
Portugal Nord (88 éch.)	32	
Granites à biotite et hornblende		
G-B, Newry	18	
Guernesey	19	
Indes, Madras	20	
Granites à biotite		
Finlande, Suodieniemi	21	
Nigéria Nord	45	
Granites à biotite et epidote		
G-B, Shetland	17	
Granites à amphibole		
Nigéria Nord	18	
Granitoïdes divers		
Granophyres		
G-B, Mourne, Slieve Gullion	40-70	
Granites-Spaths		
Pologne, Basse-Silésie	34-51	
Granite alcalin		
Irlande, Murvey	21	
Granite-gneiss		
G-B, Inchbae, Ecosse	19	
Granite à tourmaline		
Finlande Ouest, Lillaijen	14	
Granite à albite-riebeckite		
Nigéria Nord	47-60	

TABLEAU N° 2 b.

GALLIUM DANS LES ROCHES INTRUSIVES ACIDES

U R S S	Ga, 10 ⁻⁶	10 ⁴ Ga/A	Ga, 10 ⁻⁶	10 ⁴ Ga/A
Granites				
Presqu'île de Kola	14	2,1	Granite-porphyré	
Nord Karélie	17	2,4	Caucase, massif Sugan	19 2,6
Caucase, massif Santchar	18	2,3	Kazakhstan, Shalgiya	19 2,6
Oural, Arakul	20	2,4	Baikal, Adun-Tchelon	24 3,2
Oural, Karabash	16	2,2	Altai, massif Ubino-Beloretsch	17 2,4
Alatau du Kouznetsk	20	2,7	Granitoïdes	
Kazakhstan, Sari Sou-Tenghiz	20	2,7	Caucase, intrusion de Meriz	18 2,3
Kazakhstan, Shalgiya	17	2,3	Diorite quartzeuse	
Kazakhstan, Munglu	18	2,5	Caucase, massif Santchar	17 2,1
Kazakhstan, Kytcha	18	2,6	Adamellite	
Kazakhstan, Kuu	19	2,6	Oural, Arakul	18 2,2
Baikal, Petite Kulinda	15	2,2	Tian-Shan, Susamyr	16 2,1
Baikal, Tsagan	24	3,2	Tonalite	
Tva Sud-Est	18	2,5	Tian-Shan, Susamyr	13 2,2
Yakoutie, Sibérie orientale	18	2,6	Alaskite	
Kryaj (Iénisséï)	20	2,9	Sibérie Est, Aldan	17 2,6
Presqu'île de Taimir	17	2,3	Aplite (ultra-acide, > 75 % SiO ₂)	
Tchukotka	17	2,4	Caucase, Uruk	21 2,9
Granites à biotite				
Caucase, massif Sugan	17	2,4		
Ukraine	18	2,4		
Altai, massif Ubino-Beloretsch	18	2,6		
Tian-Shan, Susamyr	17	2,4		
Grano-diorites				
Caucase, Uruk	18	2,3		
Alatau de Kouznetsk	18	2,2		
Kazakhstan, Sari Sou-Tenghiz	20	2,6		
Kazakhstan, Munglu	15	2,0		
Tian-Shan, Susamyr	16	2,1		
Presqu'île de Taimir	18	2,2		
Tchukotka	18	2,3		

TABLEAU N° 3.

BAUXITES D'ORIGINES DIVERSES

		$\text{Ga}, 10^{-6}$	min. et max.	moy.	$10^4 \text{ Ga}/\text{Al}$
<u>Bauxites karstiques</u>					
Albanie			10-30	-	-
Chine					
71 échantillons divers			14-120	-	-
Yu Nan			31-80	-	-
Etats-Unis d'Amérique					
Jamaïque			72	-	2,5
France					
Bauxites rouges (Var et Hérault)			40-90	60	1,7-2,9
Bauxites rouges (moy. de 10 éch., Var)			-	77	2,3
Bauxite blanche (Hérault)			-	107	2,7
Grèce					
diverses			37-46	-	1,6-1,8
bauxite à diaspose			41	-	1,3
Hongrie					
100 échantillons divers			10-622 (?)	-	-
24 échantillons divers			26-61	-	-
divers			43-49	46	1,5
Italie					
Pouilles			35	-	1,2
divers			40-71	-	-
Yougoslavie					
Herzégovine (50 échantillons)			41-70	-	1,9
Montenegro			80	-	-
Viasenica			27	-	1,0
Herzégovine (120 échantillons)			15-100	40	-
Istrie			46-49	-	1,7
Mostar			45-52	-	-
URSS					
Ouzbekistan, Chatkal (à diaspose)			131	-	-
Oural nord, dévonien			46	-	-
Timan sud			46-65	-	-

TABLEAU N° 4.

BAUXITES D'ORIGINES DIVERSES

	$Ga, 10^{-6}$		$10^4 Ga/A1$
	min. et max.	moy.	
<u>Bauxites latéritiques</u>			
Australie			
Cove	50-60	-	2,0
Weipa	77	-	2,5
Etats-Unis d'Amérique			
Arkansas	50-100	86	-
Arkansas	60-90	-	-
Ghana	44	-	1,5
Guinée	55	-	1,9
Inde			
9 échantillons divers	20-80	48	-
9 échantillons divers	17-77	-	-
35 échantillons divers	5-122	60	2,0
Mariyanshola	20-30	-	-
Palni Hills	35-40	-	-
Kodaikanal Taluk	45-50	-	-
divers	67-97	-	-
Indonésie	43-63	-	2,2
Japon	22-85	46,8	-
Malaisie			
Sarawak (16 échantillons)	22-47	-	1,3
Sierra Leone	30-34	-	1,1
Surinam	90	-	2,9

TABLEAU N° 5.

GALLIUM DANS LES SPHALERITES

 $\text{Ga}, 10^{-6}$

Allemagne (Rép. Fédérale), Alpes du Nord, 200 échantillons de 23 gisements dans le calcaire	10-1600 (moy. 85)
Bulgarie, Madzharovo	10-180 (moy. 69)
Grande-Bretagne, 3 échantillons	59-190
Italie	
Gorno (Bergamo)	50-800 (moy. 230)
Sardaigne, Mannu-Oridda (rapporté à Zn)	14
URSS	
Yavlensk	10-100
Transbaïkal Est	max. 100
Rudnyi Altai ($10^4 \text{ Ga/Al} = 15,2$)	10-400
Khrustal	2,6-6,4
Nerchinski	50-5000
Kadaya	10-100
Caucase (de dépôts polymétalliques)	16-31
Caucase (de dépôts de troilite)	12,5
Ouzbekistan, Karamazar	20-170
Beregovo	100
Rudnyi Altai	200-350
Rudnyi Altai	
Zolotushinsk (x)	{ 20-90 70-360
Zmeinogorsk	5
Nikolaevsk	15
Rulikhinsk	60
Shemonaikhinsk (x)	{ 220 65
Lazursk (x)	{ 5-100 35
Caucase Nord	
Urup (x)	{ 3-190 3-60
Oural	
divers (55 échantillons)	25-48
Kirghizes, Kurgan	10-20
Baïkal Est	
divers (3 échantillons)	10-20
divers (150 échantillons)	5-200
USA	
Vallée du Mississippi	10-500
Yougoslavie	
Serbie (sphalérites foncées, plus riches que les claires)	70
Serbie (Majdan)	moy. 7,1-max. 37

(x) Sur des échantillons différents

TABLEAU N° 6.1 GALLIUM DANS LES MINERAUX SULFATES

		$\text{Ga}, 10^{-6}$	$10^4 \text{ Ga}/\text{Al}$
Alunites	Japon	13-75	-
	URSS, Azerbaïdjan	30	2,6
	URSS, Ouzbek., Zaglik	3-56 (moy. 17)	-
	URSS, divers	20	1,6
	URSS, Ouzbek., Gushai	10-50	-
	URSS, Ouzbek., Aksakata	14-340 (moy. 170)	-
	URSS, Ouzbek., Chatkal	22-140	-
	URSS, Ukr., Beregovo	30-115	-
	URSS, Ouzbek., Chatkal-Kuramin	6-350 (moy. 48)	-
	URSS, Ouzbek., Shavas	88	4,8
	URSS, Ouzbek., Karamazar	8-9	-
	Corée, Pekam	60-550	-
Anhydrite	Suède	0,05	-
Célestite	divers pays	0,03	-
Gypse	divers pays	0,1	-
Kieserite	Allemagne, Stassfurt	0,1	-
Fleischerite (x)	Afrique S.-O., Tsumeb	6400	-
Sulfates (sédim. argileux)	France, Jura	22	2,6

(x) Fleischerite : sulfate complexe de Ge et Pb

TABLEAU N° 7.

GALLIUM DANS LES CHARBONS ET LIGNITES

	Ga, 10 ⁻⁶	sur cendres	sur charbon
Espagne, Asturias (moy. de 50 échantillons)		4	
Norvège, Svalbard (Spitzberg)		10-100	
Grande-Bretagne			traces-30(moy.7)
Nigéria : Onitsha, Owerra et Benue		30-70	
Italie (Sulcis, Ribolla, Thouille)			30-150
USA : grandes plaines du Nord { sur cendres, intérieur Est { rapporté } aux charbons }	5,5 4,1 4,9		
Appalaches			
Iles Falkland, Mts Theron		30-60	
URSS, bassin Nord-Est Tunguska (moyenne et maximum)		10-100	
Japon, valeurs moyennes de diverses mines		35-75	3,6-15,4
Japon, diverses cendres volantes		14-75 (moy.35)	
Bulgarie, lignites de Pernik : moyenne cendres volantes, max.	20 90		
Allemagne, Rhénanie		10-100	
Roumanie : Codlea ($10^4 \text{Ga}/\text{Al} = 2,87$)	63		
Sorecani ($10^4 \text{Ga}/\text{Al} = 1,72$)	47		
URSS, lignite, région Baïkal : échant. global fraction de d = 1,35		- 5,8 - 166	
URSS, Vyatka, tourbe		40	-
USA, régions Ouest, âge pennsylvanien, moyenne			2,0
Bulgarie, moyenne de 1 176 échantillons		56,45	7,84
Inde, Umaria (3 échantillons)		10-500	1,7-114
Tchécoslovaquie, Ostrava, charb. bitumeux, max. :			25
Bulgarie, mines Dimitrov et Temelko Nenkov			1-21
Pologne, Jawiszowice		40-350	

TABLEAU N° 8.

GALLIUM DANS LES MICAS

	$Ga, 10^{-6}$
<u>Muscovite</u>	
Canada, Québec, Pied des Monts	174
URSS, Sibérie Est, Sayan	200-260
URSS, Caucase, Vaza Khokhsk (dans les roches greisenisées)	100-300
URSS, divers	28-33
URSS, région mer d'Azov	80
<u>Lépidolite</u>	
Grande-Bretagne, Cornouailles	109
URSS, région mer d'Azov	10-250
<u>Phlogopite</u>	
Canada, Québec, Portland	100
<u>Biotite</u>	
Canada, Ontario, Sébastopol	33
URSS, Ouest mer d'Azov	100-1000
URSS, divers	14-40
URSS, région mer d'Azov	moy. 37 (max. 120-160)
Tchécoslovaquie, Carpates Ouest (du granit)	12-68
URSS, divers (18 échantillons) $10^4 Ga/Al = 7,0$	15-71 (moy. 45)
<u>Micas divers (mélangés)</u>	
URSS, Turkm., Kugitanga	19-30
URSS, Ouest mer d'Azov	10-500

TABLEAU N° 9.
GALLIUM DANS LES ROCHES. RELATION Ga-Al. MOYENNES GÉNÉRALES

Nombre total d'origines (x) et moyennes proportionnelles (xx)

	Nombre d'origines	$Ga, 10^{-6}$	$10^4 Ga/Al$
Roches ignées			
Roches intrusives			
<ultra-basiques< td=""><td>29</td><td>4</td><td>1,4</td></ultra-basiques<>	29	4	1,4
basiques	33	19	2,0
alcalines	51	32	7,7
moyennes	21	17	2,0
acides	91	21	2,4
Roches effusives	55	21	2,5
Phases pneumatol.-hydrothermales	19	14	2,4
Phases postmagmatiques	24	48	4,4
(total et moyennes)	(323)x	(22)xx	(3,3)xx
Roches métamorphiques			
Métamorphisme important	36	20	2,2
Métamorphisme moyen	26	22	2,4
Métamorphisme de contact	28	14	2,0
(total et moyennes)	(90)x	(19)xx	(2,2)xx
Roches sédimentaires			
Roches détritiques			
grès, sables, lais	30	16	2,3
roches argileuses	37	24	2,6
Roches chimiques ou biochimiques			
roches carbonatées	28	3	5,5
sédiments récents	22	17	2,3
Minéraux de Fe et Mn	36	15	2,7
Charbons, lignites	13	19	-
Bauxites	76	55	2,2
(total et moyennes sans les bauxites)	(166)x	(16)xx	(2,8)xx
(total et moyennes avec les bauxites)	(242)x	(28)xx	(2,8)xx

Nous terminerons cet aperçu géochimique et cosmochimique par quelques indications sur les météorites et sur divers astres. Les météorites, sidérites principalement, sont souvent assez riches en gallium, sans doute en raison de la présence simultanée de fer et de germanium. Dans les roches lunaires rapportées par les missions « Apollo », l'on retrouve des teneurs du même ordre de grandeur que sur terre. Enfin, certaines étoiles (53 Tauri, HD 1909, π_1 Bootis) présentent, par rapport à leur teneur en hydrogène, des teneurs remarquablement élevées en gallium.

**

Mais revenons à de plus proches horizons et voyons comment est extrait le gallium dans la pratique.

Les quelques données géochimiques que nous avons examinées montrent que l'on pourrait obtenir du gallium à partir d'un assez grand nombre de sources, comme sous-produit notamment du zinc, du germanium et surtout de l'aluminium en raison des quantités considérables de ce métal produites dans le monde. En réalité, seulement une faible proportion du gallium ainsi disponible est extraite, du fait d'une demande trop faible de cet élément, et ceci malgré les nets progrès de cette demande constatés depuis une dizaine d'années.

Voyons cependant les principales méthodes d'extraction utilisées.

Dans l'industrie du zinc, par laquelle nous commencerons, puisque les minerais de zinc ont constitué, chronologiquement, la première source de gallium, ce dernier se concentre dans des résidus de distillation ou des boues. Ces résidus sont traités par des méthodes assez diverses ; elles aboutissent le plus souvent à des solutions aqueuses de chlorures, desquelles le gallium est extrait, en milieu acide, par un solvant organique tel que l'éther ordinaire. Après distillation du solvant et reprise du résidu par une solution de soude caustique, la solution de gallate (III) de sodium obtenue,

soumise à une électrolyse, donne un dépôt de gallium métallique.

Par des méthodes voisines, l'on obtient du gallium au cours de l'extraction du germanium, soit à partir de la germanite ou de minéraux voisins, soit à partir des suies ou des fractions légères des cendres de certains charbons (rappelons-nous à ce propos le tableau n° 7 vu ci-dessus).

Mais venons-en à la source principale du gallium que constitue l'industrie de l'alumine. Au cours de l'attaque des bauxites par le procédé Bayer, utilisé dans la presque totalité des cas, le gallium passe en solution dans les liqueurs caustiques d'attaque et s'enrichit notablement dans les solutions d'aluminate de sodium obtenues. D'assez nombreux procédés ont été imaginés pour l'extraction du gallium contenu, et nous nous bornerons à une brève description des principales méthodes effectivement utilisées.

Le procédé Beja-Péchiney, datant de 1946 (2), utilise le fait que l'oxyde de gallium ou galline a un caractère plus acide que celui de l'alumine ; par carbonatation fractionnée et éventuellement répétée des solutions d'aluminate de sodium, l'on parvient à une alumine suffisamment enrichie en gallium pour permettre, après redissolution dans une solution de soude caustique, le dépôt électrolytique du gallium métallique. La figure n° 10 schématisse ces opérations.

Le procédé Frary-Alcoa, apparu l'année suivante (3), enrichit l'alumine en gallium en précipitant une partie de l'alumine en solution par action d'un lait de chaux. Les solutions d'aluminate résultantes sont précipitées par carbonatation, comme le montre la figure n° 11, et l'alumine enrichie en gallium ainsi obtenue est traitée comme dans le procédé Beja.

Les méthodes d'extraction du gallium des solutions d'aluminate de sodium que nous venons de voir ont l'inconvénient d'altérer ces solutions : la carbonatation entraîne la nécessité d'une caustification

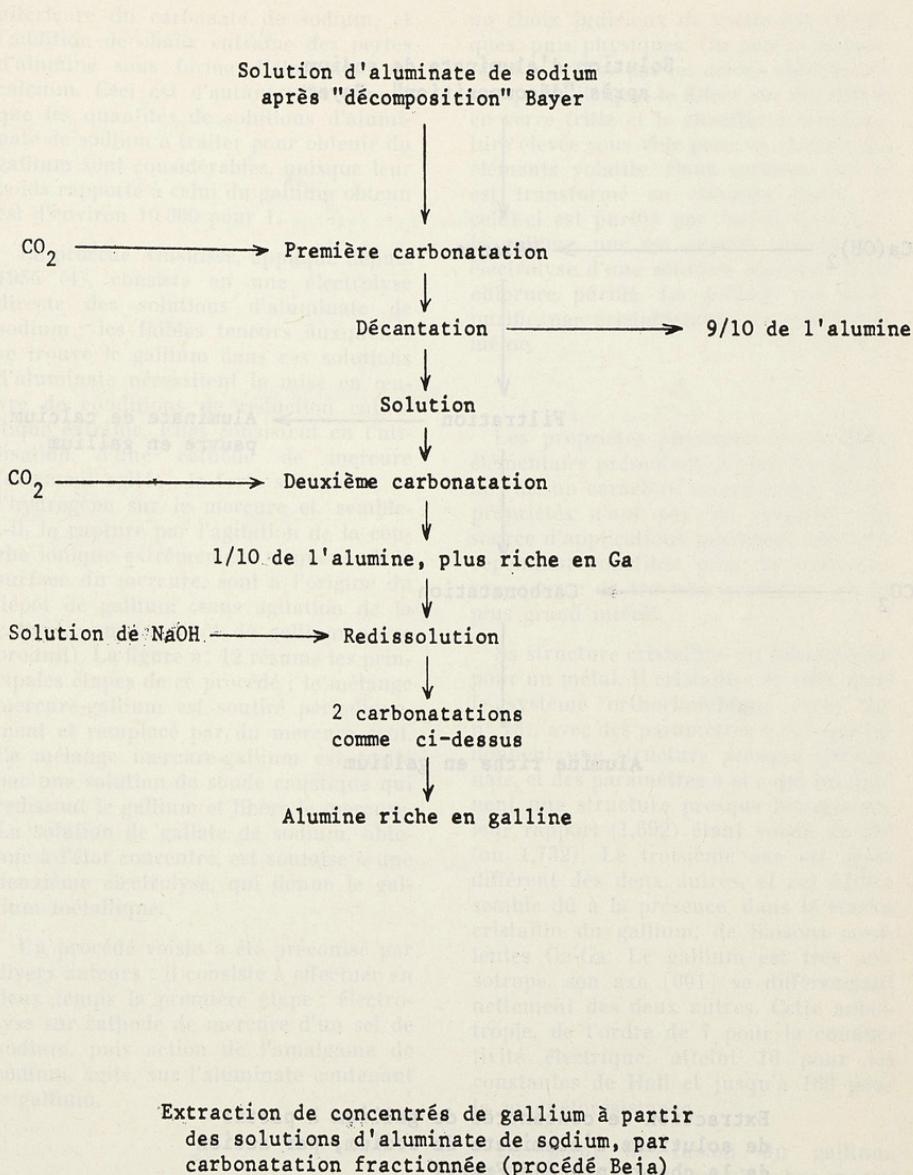
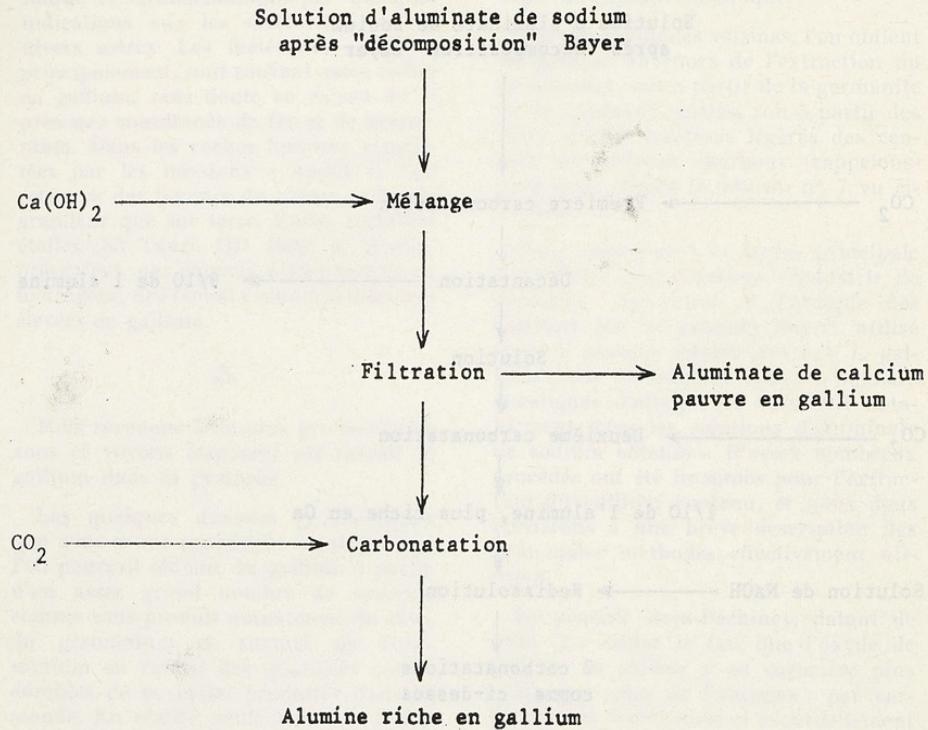


FIG. N° 10.



Extraction de concentrés de gallium à partir
de solutions d'aluminate de sodium, par action
de la chaux (procédé Frary)

FIG. N° 11.

ultérieure du carbonate de sodium, et l'addition de chaux entraîne des pertes d'alumine sous forme d'aluminate de calcium. Ceci est d'autant plus gênant que les quantités de solutions d'aluminate de sodium à traiter pour obtenir du gallium sont considérables, puisque leur poids rapporté à celui du gallium obtenu est d'environ 10 000 pour 1.

Le procédé Alusuisse, appliqué depuis 1955 (4), consiste en une électrolyse directe des solutions d'aluminate de sodium ; les faibles teneurs auxquelles se trouve le gallium dans ces solutions d'aluminate nécessitent la mise en œuvre de conditions de réduction cathodique extrême. Elles consistent en l'utilisation d'une cathode de mercure fortement agitée ; la forte surtension de l'hydrogène sur le mercure et, semble-t-il, la rupture par l'agitation de la couche ionique extrêmement visqueuse à la surface du mercure, sont à l'origine du dépôt de gallium (sans agitation de la cathode, aucun dépôt de gallium ne se produit). La figure n° 12 résume les principales étapes de ce procédé ; le mélange mercure-gallium est soutiré périodiquement et remplacé par du mercure seul. Ce mélange mercure-gallium est traité par une solution de soude caustique qui redissout le gallium et libère le mercure. La solution de gallate de sodium, obtenue à l'état concentré, est soumise à une deuxième électrolyse, qui donne le gallium métallique.

Un procédé voisin a été préconisé par divers auteurs : il consiste à effectuer en deux temps la première étape : électrolyse sur cathode de mercure d'un sel de sodium, puis action de l'amalgame de sodium, agité, sur l'aluminate contenant le gallium.

**

Pour beaucoup parmi les applications pratiques du gallium, une pureté élevée est demandée.

Le gallium, issu des procédés que nous venons de décrire, avec une pureté de 99 à 99,9 % environ, doit être traité par

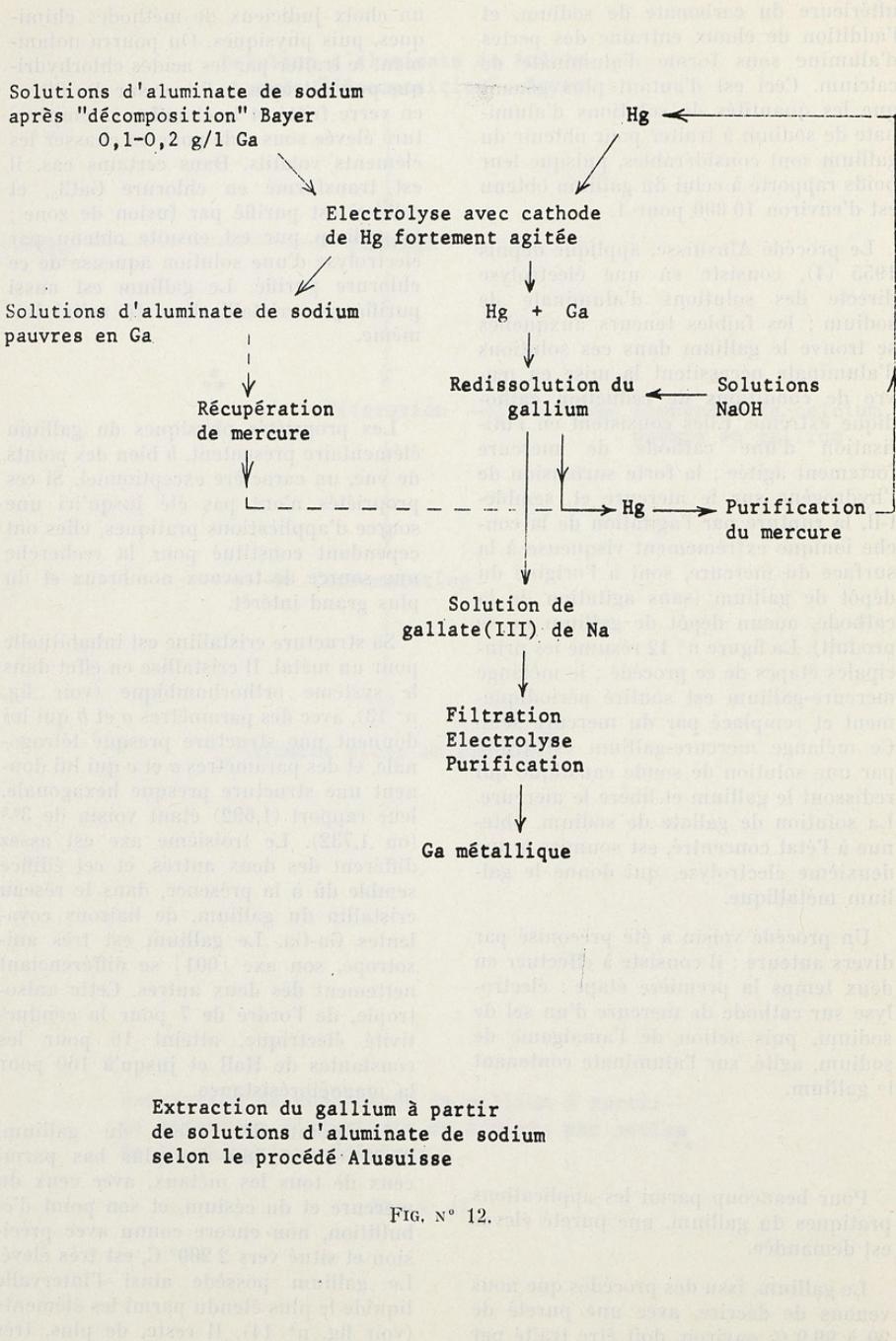
un choix judicieux de méthodes chimiques, puis physiques. On pourra notamment le traiter par les acides chlorhydrique puis nitrique, le filtrer sur des filtres en verre fritté et le chauffer à température élevée sous vide pour en chasser les éléments volatils. Dans certains cas, il est transformé en chlorure GaCl_3 , et celui-ci est purifié par fusion de zone ; le gallium pur est ensuite obtenu par électrolyse d'une solution aqueuse de ce chlorure purifié. Le gallium est aussi purifié par cristallisation du métal lui-même.

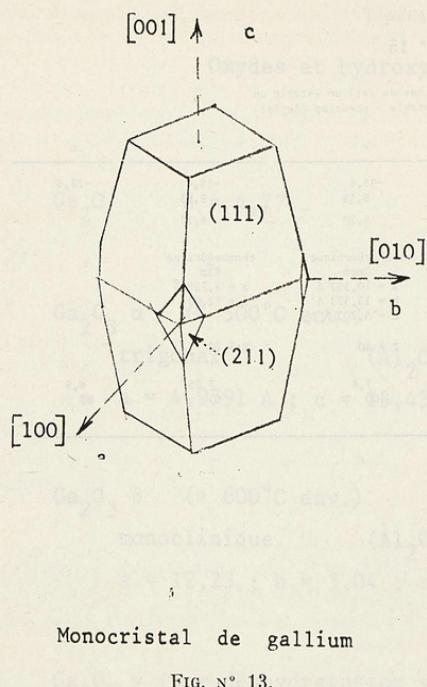
**

Les propriétés physiques du gallium élémentaire présentent, à bien des points de vue, un caractère exceptionnel. Si ces propriétés n'ont pas été jusqu'ici une source d'applications pratiques, elles ont cependant constitué pour la recherche une source de travaux nombreux et du plus grand intérêt.

Sa structure cristalline est inhabituelle pour un métal. Il cristallise en effet dans le système orthorhombique (voir fig. n° 13), avec des paramètres a et b qui lui donnent une structure presque tétragonale, et des paramètres a et c qui lui donnent une structure presque hexagonale, leur rapport (1,692) étant voisin de $3^{0,5}$ (ou 1,732). Le troisième axe est assez différent des deux autres, et cet édifice semble dû à la présence, dans le réseau cristallin du gallium, de liaisons covalentes Ga-Ga. Le gallium est très anisotrope, son axe [001] se différenciant nettement des deux autres. Cette anisotropie, de l'ordre de 7 pour la conductivité électrique, atteint 10 pour les constantes de Hall et jusqu'à 160 pour la magnétorésistance.

Le point de fusion du gallium, $29,78^\circ\text{C}$, est l'un des plus bas parmi ceux de tous les métaux, avec ceux du mercure et du cézium, et son point d'ébullition, non encore connu avec précision et situé vers $2\,200^\circ\text{C}$, est très élevé. Le gallium possède ainsi l'intervalle liquide le plus étendu parmi les éléments (voir fig. n° 14). Il reste, de plus, très





facilement en surfusion ; avec des précautions particulières pour éviter toute germination hétérogène, notamment en employant du gallium aussi pur que possible et en le mettant en suspension sous forme de fines gouttelettes dans des liquides visqueux, tels qu'une solution alcoolique d'oléate de sodium, on a pu l'obtenir à l'état liquide jusqu'à vers 150 K, soit environ 150°C en-dessous de son point de fusion.

Cet état surfondu a été à l'origine de la découverte de plusieurs phases métastables du gallium (β , γ , δ ...), dont le tableau n° 15 donne quelques caractéristiques ; ces phases métastables ont été et sont encore l'objet de nombreux travaux (citons notamment ceux d'Epelboin, Defrain, Curien, Bosio, Cortes et de leurs collaborateurs, 5 à 12). Elles sont distinctes des phases stables du gallium à haute pression (II, III...) ; certaines phases métastables à pression atmosphérique ont été également étu-

diées à haute pression ; le diagramme n° 16 montre l'ensemble des phénomènes constatés, avec les points triples obtenus (Bosio, 10).

Les phases métastables peuvent également être obtenues par dépôt de couches minces, à partir de vapeur de gallium, sur des supports refroidis à basse température (Lafourcade et collaborateurs) ; on peut obtenir aussi de cette manière du gallium amorphe.

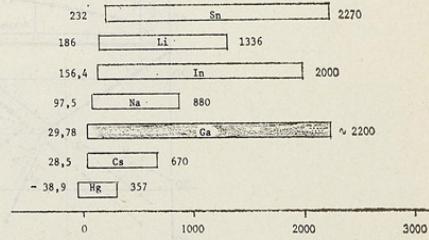
Signalons encore, parmi les propriétés anisotropiques du gallium α , le fait remarquable signalé par Pennington *et al.*, que la mise en contact de certaines de ses faces avec du gallium surfondu ne fait pas cesser cette surfusion, d'autres faces entraînant aussitôt la cristallisation (13) : le gallium n'est donc pas, selon toutes les directions, un support épitaxial idéal pour lui-même.

Rappelons aussi que le gallium α se dilate à la solidification, contrairement à toutes ses variétés allotropiques ; il ne partage cette propriété qu'avec un autre corps simple, le bismuth.

Les autres propriétés physiques du gallium élémentaire sont inhabituelles ou complexes du fait de sa structure particulière. Sa surface de Fermi a fait ainsi, par exemple, l'objet de nombreux travaux très délicats (14).

*

**



Intervales liquides de quelques éléments (températures en °C)

FIG. N° 14.

TABLEAU N° 15.

Propriétés physiques des variétés cristallines du gallium (stable ou métastables à la pression atmosphérique ; stable à pression élevée)

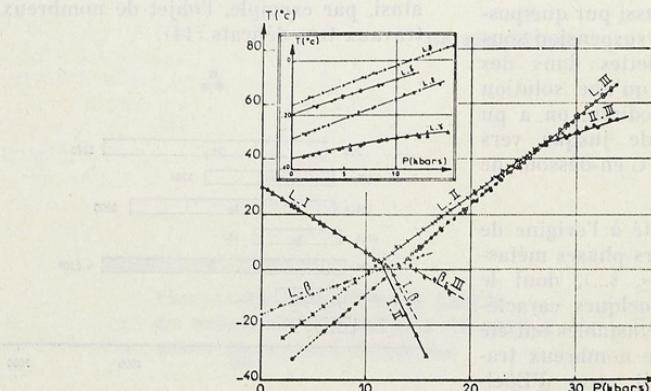
Pression atmosphérique	I ou a	B	v	δ	c
fusion temp., °C	29,78	-16,3	-35,6	-19,4	-28,6
chal., cal/g	19,14	9,09	8,35	8,85	
masse vol. au pf, g/cm³	5,904	6,23	6,20	6,22	
orthorhométrique Abma	monoclinique C2/c	orthorhométrique Cmcm	orthorhométrique R3m		
structure et données crystallographiques	a = 4,5186 Å b = 4,5258 Å c = 7,6570 Å Z = 8	a = 2,766 Å b = 8,053 Å c = 3,332 Å β = 92,03° Z = 4	a = 10,593 Å b = 13,523 Å c = 5,203 Å Z = 40	a = 7,729 Å a = 72,03° Z = 22	
supraconducteur de transition, K	1,08	6,0	7,6	7,85	
ductivité (champ critique, kA/m)	4,7	44	100	65	88

Hautes pressions

II

tétragonal I4/cmnm
a = 3,96 Å } c = 4,37 Å } 35 kbar
Z = 4 }
a = 2,808 Å } c = 4,458 Å } 20 kbar
Z = 2 }

TABLEAU N° 16.



Courbes de fusion du gallium en fonction de la température et de la pression (Bosio)

TABLEAU N° 17.

Oxydes et hydroxydes de gallium

Ga_2O $d = 4,77$

Ga_2O_3 α ($< 500^\circ\text{C}$ env.)
trigonal $(\text{Al}_2\text{O}_3 \alpha)$
 $a = 4,9791 \text{ \AA}$; $c = 13,437 \cdot \text{A}$; $Z = 6$

Ga_2O_3 β ($> 600^\circ\text{C}$ env.)
monoclinique $(\text{Al}_2\text{O}_3 \beta)$ $C2/m$
 $a = 12,23$; $b = 3,04$; $c = 5,80 \text{ \AA}$; $\beta = 103,7^\circ\text{C}$; $Z = 4$

Ga_2O_3 γ (par déshydratation rapide de gels vers 400°C)
cubique (spinelle) $Fd\bar{3}m$
 $a = 8,22 \text{ \AA}$

Ga_2O_3 δ (par décomposition de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_3$ vers 250°C)
cubique (Mn_2O_3) $Ia\bar{3}$
 $a = 10,0 \text{ \AA}$

Ga_2O_3 ϵ (par chauffage bref de la forme δ à 550°C)
orthorhombique $(\text{Al}_2\text{O}_3 \chi)$

GaOOH
orthorhombique (diaspore) $Pbnm$
 $a = 4,51$; $b = 9,75$; $c = 2,965 \text{ \AA}$

Ga(OH)_3 gels instables

Chimiquement, le gallium ressemble à l'aluminium, bien qu'étant moins réactif que ce dernier. A température ambiante, il se recouvre d'une fine couche protectrice d'oxyde. Dans ses composés, il est mono ou trivalent.

Le tableau n° 17 montre ses oxydes ou hydroxydes existants ; en général, l'on rencontre surtout l'oxyde β , forme stable à température élevée et subsistant après refroidissement. L'oxyde α est stable en dessous d'une température d'environ 500° C. Les autres formes d'oxyde ne sont obtenues que dans des conditions particulières.

L'hydroxyde $\text{Ga}(\text{OH})_3$ n'est pas isolable ; on l'observe dans des gels, lors de la neutralisation de solutions contenant du gallium. La seule forme stable d'hydroxyde est le composé GaOOH , isomorphe du diaspore et obtenu notamment par attaque du métal par de l'eau en autoclave vers 200° C.

Le caractère amphotère de l'oxyde de gallium est très prononcé ; les solutions de gallates (III) alcalins ne s'hydrolysent pas, contrairement aux solutions d'aluminates.

Le gallium est attaqué par les halogènes en donnant des composés dérivés de Ga(I) , de Ga(III) , ou mixtes :

GaX	$X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$
Ga_2X_4 ou $\text{Ga}^{\text{I}}[\text{Ga}^{\text{III}}\text{X}_4]$	$X = \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$
Ga_3X_7 ou $\text{Ga}^{\text{I}}[\text{Ga}_2^{\text{III}}\text{X}_7]$	$X = \text{Cl}, \text{Br}$
GaX_3	$X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$

La structure de ces composés, en particulier celle des halogénures Ga_3X_7 et de beaucoup de composés ternaires ont fait l'objet de nombreux travaux de Pottier (21-23), de Hagenmuller (20) (fluorures, oxyhalogénures), et de leurs collaborateurs.

Les trihalogénures donnent de nombreux composés de coordination que nous reverrons un peu plus loin.

Le gallium est également attaqué, à chaud, par le soufre, le sélénium ou le

tellure, en donnant les composés des types suivants :



$\text{GaS}, \text{GaSe}, \text{GaTe}$: dans ces composés, le gallium est trivalent ; leur structure se présente sous forme de couches constituées d'éléments tels que $\text{S}-\text{Ga}-\text{Ga}-\text{S}$; chaque atome de gallium est entouré d'un tétraèdre formé de 3 S et de 1 Ga ; les liaisons à l'intérieur des couches sont covalentes, tandis qu'entre couches elles sont du type de Van der Waals. Il en résulte une structure lamellaire.

$\text{Ga}_2\text{S}_3, \text{Ga}_2\text{Se}_3, \text{Ga}_2\text{Te}_3$: ces composés cristallisent dans le système cubique, mais avec des sites vacants. Ga_2Te_5 , quadratique, a été récemment décrit.

La structure cristalline de nombreux chalcogénures ternaires a été étudiée par Flahaut et ses collaborateurs (voir notamment 24-27).

Le gallium réagit également à chaud avec le phosphore, l'arsenic, l'antimoine et, plus difficilement, avec l'azote : il en résulte les composés $\text{GaN}, \text{GaP}, \text{GaAs}, \text{GaSb}$.

Nous reviendrons tout à l'heure sur les propriétés électroniques et les intéressantes applications pratiques de certains de ces composés.

Le gallium est corrosif vis-à-vis de la plupart des métaux aux températures élevées, exception faite du tungstène et, dans une moindre mesure, du niobium, du tantal ou du molybdène. La plupart des systèmes binaires du gallium avec les métaux ont été décrits, et il en résulte un grand nombre de composés intermétalliques. De nombreux systèmes à plus de deux composants ont été également décrits.

A froid, le gallium métallique agit sur certains métaux, surtout l'aluminium et le zinc, par diffusion très rapide aux joints de grains ; ces métaux deviennent aussitôt fragiles dans cette zone. Cette

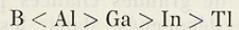
« décohésion intergranulaire » a été et continue d'être un sujet très fructueux de recherche sur les propriétés cristallines de certains métaux (mentionnons notamment à ce propos les travaux de Lacombe et de ses collaborateurs, par exemple 28, 29).

Enfin, un nombre important de composés organométalliques du gallium a été étudié.

**

La chimie de coordination du gallium a fait l'objet de nombreux travaux. Elle concerne principalement les halogénures, quelques hydrures complexes et les composés organométalliques du gallium (voir notamment les travaux de Gallais, Laurent et de leurs collaborateurs).

En général, la force, comme accepteur, du gallium trivalent, le place en dessous de l'aluminium et au-dessus de l'indium et du bore :



Dans certains cas limités, cependant, un composé de gallium peut présenter un avantage par rapport au composé analogue de l'aluminium ; par exemple, le triphénylgallium présente une force, comme accepteur, supérieure à celle du triphénylaluminium vis-à-vis de l'azote de la diphenylcétimine $\text{Ph}_2\text{C} = \text{NH}$.

**

Les applications pratiques du gallium sont, pour l'industriel qui produit ce métal, l'un de ses soucis majeurs. Elles sont en effet encore en nombre très limité, de sorte qu'une baisse de la demande dans un secteur n'est pas compensée par une hausse dans les autres secteurs. La croissance des besoins en gallium — qui est, rappelons-le, l'un des 92 éléments naturels et devrait suivre, logiquement, une courbe dans l'ensemble ascendante — se produit ainsi en très fortes « dents de scie ».

Nous allons passer en revue les applications pratiques actuelles du gallium ou de ses composés ; nous examinerons ensuite celles qui semblent avoir quelque chance de voir le jour dans un avenir raisonnablement proche.

APPLICATIONS ACTUELLES DANS LES SEMI-CONDUCTEURS

C'est surtout dans l'industrie électronique que l'on trouve les applications actuelles du gallium. En tout premier lieu, il convient de mentionner les diodes électroluminescentes, constituées à partir de l'arsénure ou du phosphure de gallium, GaAs ou GaP ; ces diodes sont faites de couches minces convenablement dopées de ces composés, puisqu'il faut une jonction $p-n$ pour obtenir l'électroluminescence ; les composés utilisés sont en général $\text{Ga}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)$ / GaAs ou $\text{Ga}(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)$ / GaP, ou encore GaP / GaP. Ces diodes émettent en général une lumière rouge-orangée ; il en existe aussi sur le marché qui émettent dans le jaune ou le vert. On a pu réaliser des diodes qui émettent à volonté l'une des couleurs rouge, jaune ou verte, selon la tension appliquée.

Les diodes électroluminescentes sont connues de tous à l'heure actuelle, puisqu'elles équipent avec un affichage rouge beaucoup de calculatrices de poche, ainsi que de montres à affichage numérique. Parmi les dispositifs concurrentiels, il y a lieu de citer surtout les « cristaux liquides » ; il semble toutefois qu'un avenir assez favorable puisse être prévu pour ces deux dispositifs — diodes électroluminescentes et cristaux liquides — chacun de ces deux types présentant des avantages ; ainsi les cristaux liquides qui sont visibles en permanence mais n'émettent pas de lumière, auraient-ils un avenir surtout dans les montres, les diodes électroluminescentes conservant leurs avantages dans beaucoup d'autres cas.

Il faut ajouter, à propos des diodes électroluminescentes, qu'elles sont

actuellement constituées des couches que nous avons mentionnées, déposées sur un support isomorphe beaucoup plus épais qu'elles-mêmes, ou substrat, constitué de l'un des composés GaAs ou GaP. Des recherches sont actuellement effectuées en vue de remplacer ce substrat par un composé ne comportant pas de gallium ; il en découle un élément d'incertitude si l'on essaie d'effectuer des prévisions de besoins en gallium pour les années à venir.

D'autres applications de l'arséniure de gallium existent dans le domaine des semi-conducteurs et sont déjà commercialisées. Mentionnons notamment les diodes de Gunn, pouvant émettre des ondes à de très hautes fréquences, de 5 à 40 GHz par exemple. Il est intéressant de citer à ce propos une déclaration récente du directeur d'un grand laboratoire français d'électronique : « L'arséniure de gallium est supérieur au silicium dans presque toutes ses propriétés. Si le silicium a une avance technologique considérable, l'arséniure de gallium aura sa place à prendre pour les performances de pointe. Dans le domaine des hyperfréquences, l'arséniure de gallium a déjà pris une place importante. » (Industries et Techniques, 31-3-1976).

Toujours dans le domaine des semi-conducteurs, le gallium est utilisé aussi comme élément « dopant » pour d'autres semi-conducteurs. Les quantités ainsi mises en jeu sont toutefois assez faibles.

Encore dans le même domaine, le gallium, grâce à son bas point de fusion, entre dans la composition d'alliages pour soudures à basse température, afin de fixer des contacts électriques sur des semi-conducteurs sans risque de les dégrader par échauffement excessif.

AUTRES APPLICATIONS ACTUELLES

L'on utilise un peu de gallium dans la composition de certaines ferrites destinées à faire des tores pour des mémoires magnétiques.

Des gallates tels que le gallate de magnésium ou de zinc ($MgGa_2O_4$ ou $ZnGa_2O_4$), dopés convenablement (notamment par du manganèse ou par un élément des terres rares tel que l'euroium), ont été utilisés comme produits fluorescents pour des lampes à décharge ou des tubes de télévision en couleurs.

Il est difficile de discerner si une application pratique est vraiment entrée dans l'ère de la commercialisation ou si les réalisations effectuées sont encore du domaine des essais. Aussi, et pour éviter des conclusions un peu hâtives, mentionnerons-nous maintenant les autres applications du gallium et de ses composés avec les applications possibles dans un futur assez proche.

APPLICATIONS FUTURES DANS LES SEMI-CONDUCTEURS

Comme nous l'avons vu, l'arséniure de gallium a de grandes chances pour de nouveaux débouchés dans les semi-conducteurs. Il en est ainsi des piles photovoltaïques ou piles solaires ; l'on est capable aujourd'hui de produire à l'échelle expérimentale de telles piles, fonctionnant avec un rendement satisfaisant (plus de 20 %), avec concentration du rayonnement solaire par un miroir, mais le prix de revient de ces piles est encore beaucoup trop élevé. Les travaux sont actuellement en cours pour réduire ce coût, notamment en mettant en œuvre des moyens d'élaboration moins onéreux des couches actives et en remplaçant le substrat par un corps ne contenant pas de gallium.

Une application très prometteuse est celle des diodes-laser. Si, dans les diodes électroluminescentes, l'on produit de la lumière non cohérente, il est possible, en choisissant judicieusement les propriétés du dispositif (conductivité électrique, propriétés optiques, dimensions), d'obtenir que l'amplitude de la lumière émise soit en phase, c'est-à-dire d'obtenir de la lumière cohérente (fig. 18). L'on doit utiliser des intensités élevées et,

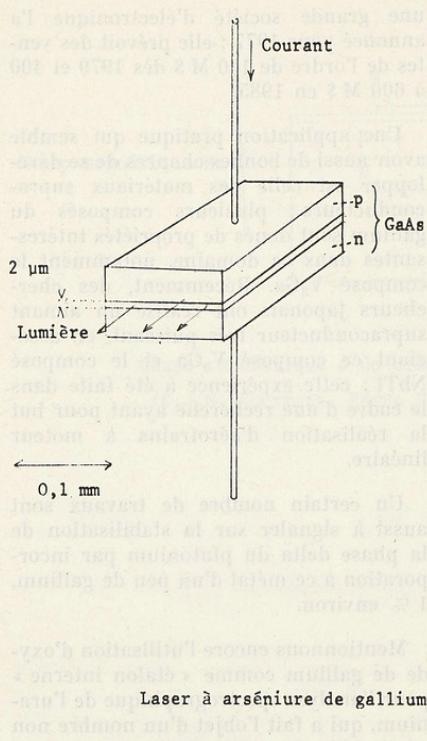


FIG. N° 18.

pour éviter un échauffement rapide, le courant est envoyé sous forme d'impulsions très brèves, de l'ordre de 200 nanosecondes. Les composés employés sont, par exemple, l'arsénure GaAs ou l'arsénure mixte $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$. Les puissances émises par de tels lasers sont en général faibles, de l'ordre d'une fraction de Watt, mais leur modulation est possible aisément, par modulation du courant d'alimentation. Aussi est-ce surtout dans le domaine de l'envoi d'« informations » que de tels lasers peuvent trouver leur emploi, combinés avec des fibres de verre comme guides d'onde.

Une grande société française d'électronique a mis au point récemment des transistors à effet de champ à l'arsénure de gallium destinés à l'amplification ou l'oscillation, dans le domaine des hyperfréquences (domaine déjà cité ci-dessus à propos des diodes de Gunn).

Un composé qui semble offrir un avenir prometteur est le nitrate de gallium GaN. Avec une largeur de bande interdite de 3,5 eV, il permet d'obtenir une émission de la limite de l'ultraviolet à l'orange, les meilleurs rendements étant obtenus dans le bleu ou le vert. Mais son élaboration est plus délicate que celle du phosphore ou de l'arsénure de gallium, et il faudra encore des travaux de recherche avant d'en voir des applications commerciales.

D'autres composés du gallium sont aussi étudiés en raison de leurs propriétés semi-conductrices intéressantes ; ce sont notamment les chalcogénures binaires, et principalement le sélénium GaSe, ainsi que certains chalcogénures ternaires, tels que le sulfure double d'argent et de gallium AgGaS_2 .

AUTRES APPLICATIONS FUTURES

Une autre application qui semble pleine d'avenir pour le gallium est celle des mémoires à « bulles magnétiques ».

Leur principe est lié aux propriétés microscopiques des composés ferromagnétiques. Pour obtenir des dispositifs à bulles magnétiques, l'on utilise des plaquettes monocristallines minces de certains matériaux : grenats notamment de gallium, fer et éléments des terres rares tels que le montre le tableau n° 19. Ces grenats, constituant la partie active du dispositif, sont préparés sous forme de couche mince, de 5 μm d'épaisseur environ, obtenue par croissance épitaxique sur des substrats de grenat non magnétique, en général $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$, d'environ 400 μm d'épaisseur (comme pour les semi-conducteurs vus ci-dessus, l'on notera la faible proportion que représente la partie active par rapport à l'ensemble).

Dans des conditions particulières, des domaines cylindriques stables peuvent être créés sous l'action d'un champ magnétique extérieur : ces cylindres sont appelés « bulles » magnétiques. Les bul-

les peuvent être porteuses d'« informations », la présence d'une bulle représentant l'état « 1 » et l'absence de bulle l'état « zéro ». Les plaquettes monocristallines dont nous venons de parler sont placées dans un champ magnétique pulsé ou tournant, et des électrodes en alliage ferromagnétique en forme d'Y ou de T, chargées de concentrer ce champ, sont déposées sur le film magnétique (schéma fig. 20). On obtient ainsi des registres à décalage, susceptibles de concurrencer avantageusement les mémoires à disques magnétiques. Il semble que l'industrialisation de ce type de mémoire puisse être envisagé pour un avenir assez proche ;

TABLEAU N° 19.

Dispositifs à bulles magnétiques
(préparés par épitaxie en phase liquide)
sur substrat de $Gd_3Ga_5O_{12}$ (sauf indication contraire)

$Eu_2Er_1Ga_{0,7}Fe_{4,3}O_{12}$
$Eu_1Er_2Ga_{0,7}Fe_{4,3}O_{12}$
$Eu_{0,6}Y_{2,4}Fe_{3,85}Ga_{1,15}O_{12}$
$Gd_{0,47}Y_{2,53}Fe_{3,95}Ga_{1,05}O_{12}$
$Er_2Eu_1Ga_{0,7}Fe_{4,3}O_{12}$
$Er_{1,99}Gd_{1,01}Ga_{0,22}Fe_{4,78}O_{12}$
$Y_{0,94}Gd_{1,07}Yb_{0,57}La_{0,42}Al_{0,7}Fe_{4,3}O_{12}$
$Y_{1,03}Gd_{1,29}Yb_{0,68}Al_{0,7}Fe_{4,3}O_{12}$
$Y_{1,5}Eu_{1,5}Al_{0,7}Fe_{4,3}O_{12}$
$Y_{1,3}Eu_{1,7}Al_{1}Fe_{4}O_{12}$
$Y_1Gd_1Tm_1Fe_{4,2}Ga_{0,8}O_{12}$
$Gd_{0,86}Y_{1,52}Yb_{0,62}Ga_{0,89}Fe_{4,11}O_{12}$
$Eu_2Y_1Fe_5O_{12}$ (x)
$Sm_{0,4}Y_{2,6}Ga_{1,2}Fe_{3,8}O_{12}$
$Y_{1,88}Lu_{0,2}Ga_{0,92}Ge_{0,92}Fe_{4,08}O_{12}$

(x) sur substrat de $Sm_3Ga_5O_{12}$

(E.P. Wohlfarth - Magnetic Bubbles - p. 137
North Holland/American Elsevier, 1975)

une grande société d'électronique l'a annoncé pour 1977 ; elle prévoit des ventes de l'ordre de 100 M \$ dès 1979 et 400 à 600 M \$ en 1985.

Une application pratique qui semble avoir aussi de bonnes chances de se développer est celle des matériaux supraconducteurs ; plusieurs composés du gallium sont doués de propriétés intéressantes dans ce domaine, notamment le composé V_3Ga . Récemment, des chercheurs japonais ont réalisé un aimant supraconducteur très puissant, en associant ce composé V_3Ga et le composé $NbTi$; cette expérience a été faite dans le cadre d'une recherche ayant pour but la réalisation d'aérotrains à moteur linéaire.

Un certain nombre de travaux sont aussi à signaler sur la stabilisation de la phase delta du plutonium par incorporation à ce métal d'un peu de gallium, 1 % environ.

Mentionnons encore l'utilisation d'oxyde de gallium comme « étalon interne » pour l'analyse spectrographique de l'uranium, qui a fait l'objet d'un nombre non négligeable de publications.

On a aussi envisagé d'utiliser le gallium, seul ou associé à des poudres de graphite par exemple, comme lubrifiant pour des travaux dans des vides élevés, pour des engins spatiaux par exemple, en raison de la très faible tension de vapeur du gallium.

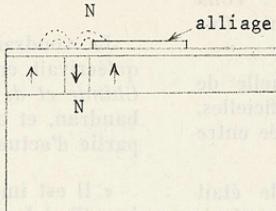
**

Plus de 20 000 publications originales ont été faites sur le gallium, dont 15 000 depuis moins de dix ans, sur ses propriétés physiques ou chimiques, sur ses alliages, ses composés minéraux ou organiques. Aussi peut-on aisément imaginer que même si seulement une très faible proportion de ces travaux est suivie d'applications pratiques, le gallium semble avoir un avenir assez prometteur. Mais ce serait très hasardeux de tenter d'établir un calendrier de ce développement.

différentes formes possibles de la surface du film et diverses tailles et formes des bulles magnétiques qui peuvent être créées.

Coupe schématique d'un dispositif à bulle magnétique (C.J.M. Rooymans, Revue Phys. Appliquée, mai 1975)

Installation utilisant un fil de cuivre enroulé sur une bobine en métal et une couche magnétique $Y_{2,7}Sm_{0,3}Fe_4Ga_{10}12$ déposée sur un substrat $Gd_3Ga_5O_{12}$.



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

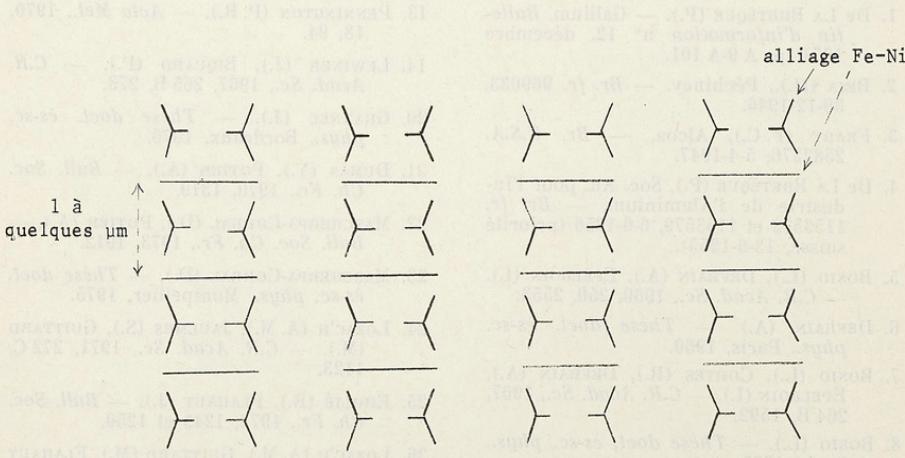


Schéma d'un registre à décalage à bulles magnétiques

FIGURES N° 20.

Qu'en est-il des quantités actuellement produites de gallium et des quantités qu'il serait possible de produire ? Voilà une question qui nous a été maintes fois posée.

La production mondiale actuelle de gallium, faute de statistiques officielles, peut être raisonnablement estimée entre 25 et 40 tonnes par an.

Si tout le gallium extractible était effectivement extrait des bauxites traitées, la production mondiale de ce métal pourrait atteindre 2 000 à 3 000 tonnes par an au moins. A ces quantités, il faudrait ajouter le gallium que l'on peut obtenir à partir d'autres sources (minéraux de zinc, de germanium, micas). Ceci

montre que les possibilités sont considérables, comparées aux besoins actuels.

Je voudrais terminer en lisant ce qu'écrivait, en 1877, dans les *Annales de Chimie et de Physique*, Lecoq de Boisbaudran, et qui reste encore en grande partie d'actualité :

« Il est impossible de déterminer aujourd'hui les usages auxquels servira le nouveau métal dans la science ou dans l'industrie ; mais il est aisément prévisible que ses propriétés si exceptionnelles seront utilisées pour réaliser des effets auxquels l'emploi des autres métaux ne permet pas d'atteindre. »

Bibliographie sommaire

1. De LA BRETÈQUE (P.). — Gallium. *Bulletin d'information* n° 12, décembre 1974, p. A 9-A 101.
2. BEJA (M.), Péchiney. — *Br. fr.* 969033, 30-12-1946.
3. FRARY (F. C.), Alcoa. — *Br. U.S.A.* 2582376, 5-4-1947.
4. De LA BRETÈQUE (P.), Soc. An. pour l'Industrie de l'Aluminium. — *Br. fr.* 1153573 et 1153579, 6-6-1956 (priorité suisse, 13-6-1955).
5. BOSIO (L.), DEFRAIN (A.), EPELBOIN (I.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1960, 250, 2553.
6. DEFRAIN (A.). — *Thèse doct. ès-sc. phys.*, Paris, 1960.
7. BOSIO (L.), CORTES (R.), DEFRAIN (A.), EPELBOIN (I.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1967, 264 B, 1592.
8. BOSIO (L.). — *Thèse doct. ès-sc. phys.*, Paris, 1965.
9. BOSIO (L.), DEFRAIN (A.), CURIEN (H.), RIMSKY (A.). — *Acta Cryst.*, 1969, B 25, 995.
10. BOSIO (L.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1970, 270, 1453.
11. BOSIO (L.), CURIEN (H.), DUPONT (M.), RIMSKY (A.). — *Acta Cryst.*, 1973, B 29, 367.
12. CORTES (R.). — *Thèse doct. ès-sc. phys.*, Paris, 1974.
13. PENNINGTON (P. R.). — *Acta Met.*, 1970, 18, 94.
14. LEWINER (J.), BIQUARD (P.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1967, 265 B, 273.
20. GRANNEC (J.). — *Thèse doct. ès-sc. phys.*, Bordeaux, 1970.
21. DUMAS (Y.), POTIER (A.). — *Bull. Soc. Ch. Fr.*, 1970, 1319.
22. MASCHERPA-CORRAL (D.), POTIER (A.). — *Bull. Soc. Ch. Fr.*, 1973, 1912.
23. MASCHERPA-CORRAL (D.). — *Thèse doct. ès-sc. phys.*, Montpellier, 1975.
24. LOZAC'H (A. M.), JAULMES (S.), GUITTARD (M.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1971, 272 C, 1123.
25. EHOLIÉ (R.), FLAHAUT (J.). — *Bull. Soc. Ch. Fr.*, 1972, 1245 et 1250.
26. LOZAC'H (A. M.), GUITTARD (M.), FLAHAUT (J.). — *Mat. Rest. Bull.*, 1973, 8, 75.
27. ALAPINI (F.), GUITTARD (M.), JULIEN-POUZOL (M.), FLAHAUT (J.). — *C.R. Acad. Sc.*, 1976, 282 C, 543.
28. ROQUES-CARMES (C.), AUGOUTURIER (M.), LACOMBE (P.). — *Metal Sci. J.*, 1973, 7, 128.
29. BUKALIL (R. H.), ROQUES-CARMES (C.), TIXIER (R.). — *Metal Sci. J.*, 1974, 8, 387.

PRIX ET MÉDAILLES

1974-1975

Cérémonie du 2 octobre 1976

PALMARES

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

La Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale a décerné la Médaille d'Or à M. André Génestet pour son travail de recherche et développement dans le développement de la technologie des matériaux de construction au sein du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille d'Argent a été attribuée à M. Henri Pichot pour son rôle dans la recherche et développement dans le développement de la technologie des matériaux de construction au sein du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille d'Or a été attribuée à M. Marcel Monnier pour ses réalisations scientifiques et techniques dans le domaine de la métallurgie industrielle, qui reposent sur l'application du principe de la métallurgie thermique.

La Médaille d'Or a été attribuée à M. André Génestet pour ses réalisations scientifiques et techniques dans le domaine de la métallurgie industrielle, qui reposent sur l'application du principe de la métallurgie thermique.

La Médaille d'Or a été attribuée à M. Jacques Courtois pour ses réalisations scientifiques et techniques dans le domaine de la métallurgie industrielle, qui reposent sur l'application du principe de la métallurgie thermique.

Les deux dernières pages sont destinées au public en dehors de l'Académie

Le regard devient alors moins critique et moins sévère que dans les années de l'adolescence. L'œuvre de Plauchut, lorsqu'il débute, est à ce point resté enraciné et grande

partie dans le style des auteurs qu'il aime, mais il réussit à faire émerger une forme d'écriture qui n'est pas celle de ses maîtres. Il réussit à faire émerger une forme d'écriture qui n'est pas celle de ses maîtres. Il réussit à faire émerger une forme d'écriture qui n'est pas celle de ses maîtres.

ACADEMIE DE LA SOCIETE D'ELOCUTION POUR APPRENDRE LA LOUANGE

PAR J. B. DE LA GRANGE, MEL. 1776.

PARIS, 1776.

PRIX ET MÉDAILLES

1974-1975

Cérémonie du 2 octobre 1976

PALMARÈS

I. - Distinctions exceptionnelles

La Grande Médaille de la Société d'Encouragement est attribuée au CENTRE D'ÉTUDES ET DE RECHERCHES DES PHOSPHATES MINÉRAUX (C.E.R.P.H.O.S.) pour l'exécution d'études et de recherches scientifiques et techniques se rapportant à l'exploitation et au traitement des substances minérales, plus particulièrement des phosphates, sur rapport de M. le P^r Laffitte, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Le Grand Prix Lamy est attribué à la Société Pierre ANGÉNIEUX dont les travaux de recherche ont abouti à des succès retentissants et à des réussites techniques exceptionnelles, sur rapport de M. Bézier, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Grande Médaille Michel Perret est attribuée à M. Henri PERDON pour son rôle important d'animation et de coordination dans le développement de la Thermique, sur rapport de M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques.

La Médaille Oppenheim est attribuée à la Société « LE MOTEUR MODERNE » pour ses résultats spectaculaires et mondialement connus dans le domaine de la compétition automobile, sur rapport de M. le P^r Rapin, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Louis Pineau est attribuée à M. Roger TREY, qui consacra son activité au matériel de forage, particulièrement aux tricônes S.M.F. dont la qualité internationale est établie, sur rapport de M. Labbens, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Le Chatelier est attribuée à M. Jacques TOURNIER pour ses recherches dans la fabrication d'eau oxygénée par synthèse organique et les dérivés aluminiques ainsi que pour ses études relatives à la construction d'usines, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

La Médaille de la Conférence Bardy a été attribuée à M. Pierre DE LA BRETEQUE pour ses études sur le gallium et ses dérivés, sur rapport de M. le P^r Normant, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Chimiques.

La Médaille de la Conférence Carrion a été attribuée à M. LUONG THANH THUY pour son travail de mise au point galénique à la Pharmacie Centrale des Hôpitaux de Paris et ses nombreuses publications dans les revues spécialisées, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

II. - Médailles d'Or

Une Médaille d'Or est attribuée à M. André MAUZIN pour son apport dans le domaine de la métrologie dynamique, dans celui de l'industrie mécanique en général et de la technique ferroviaire, sur rapport de M. le P^r Rapin, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

Une Médaille d'Or est attribuée à M. Pieuchard pour sa mise au point des réseaux holographiques et optiques, sur rapport de M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Or est attribuée à M. Gérard NOMINÉ pour ses travaux sur l'esculostide, la cortisone et l'hydrocortisone, sur la synthèse de la céphalosporine, travaux qui ont fait l'objet de 30 communications, sur rapport de M. le P^r Paul, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Or est attribuée à M. Michel ANQUEZ pour ses hautes qualités d'administrateur et ses connaissances scientifiques et techniques des problèmes posés par l'industrie frigorifique française et les industries alimentaires, sur rapport du Vétérinaire Biologiste Général Guillot, au nom du Comité de l'Agriculture.

Une Médaille d'Or est attribuée à M. Alfred SAUVY, Directeur Honoraire de l'Institut National d'Etudes Démographiques, pour la part éminente qu'il a prise au développement des études démographiques, en France et dans le Monde, en y introduisant les méthodes de la statistique moderne et pour le succès qu'il a rencontré en appliquant leurs résultats à l'Economie politique, sur rapport de M. le P^r Grivet, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Economiques.

III. - Médailles de Vermeil

Une Médaille de Vermeil est attribuée à M^{me} Joëlle CHEMOUIL pour ses contributions originales dans le domaine de la mécanique industrielle, sur rapport de M. le P^r Vinh, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

Une Médaille de Vermeil est attribuée à M. André COUREAU pour les études de réalisation et de mise au point très évoluées de la mécanique ferroviaire, sur rapport de M. Labbens, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

Une Médaille de Vermeil est attribuée à M. Pierre VERLACH pour sa contribution personnelle sur les difficiles questions d'interaction matière-rayonnement, sur rapport de M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille de Vermeil est attribuée à M. Jean JACQUEMART pour l'ensemble de ses travaux concernant les fibres textiles et pour l'impulsion qu'il a su donner aux recherches fondamentales et appliquées à l'Institut Textile de France, sur rapport de M. le P^r Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille de Vermeil est attribuée à M. Robert SOULAT pour sa contribution au développement du procédé original d'extrusion CELUKA, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Vermeil est attribuée à M. Claude BROUARD pour ses travaux sur les colorants azoïques, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Vermeil est attribuée à M. DÉDIT pour la réalisation d'appareils extrêmement complexes et d'une extrême finesse, sur rapport de M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques.

IV. - Médailles et Prix spéciaux

La Médaille Gilbert est attribuée à M. Bernard SALÉ pour l'ensemble de ses travaux sur la combustion et les mécanismes thermodynamiques dans les moteurs, recherches qu'il a récemment orientées avec un grand succès vers les procédés antipollution et les économies d'énergie, sur rapport de M. le P^r Grivet, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Economiques.

La Médaille Toussaint est attribuée à M. Charles MARCETTI, pour les travaux originaux et de retentissement mondial qu'il a menés, des principes aux applications, dans le domaine des hélicoptères et des appareils à voilure tournante, sur rapport de M. le P^r Grivet, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Economiques.

Le Prix Letort est attribué à M. André JAUDET pour ses travaux sur les « vibrations » et ses importantes contributions dans le domaine de l'aéroélasticité, sur rapport de M. le P^r Rapin, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Farcot est attribuée à M. Jean COUNE pour son étude des problèmes posés par l'évolution de la construction navale française dans le domaine des gros porteurs pétroliers, sur rapport de M. l'Ingénieur-Général de Leiris, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Massion est attribuée à M. Yves RENARD dont l'activité a couvert un large domaine qui va de la très petite à la très grande série, en passant par la commande numérique, sur rapport de M. Bézier, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Richard est attribuée à M^{me} PAUTHIER-CAMIER pour ses recherches dans le domaine élastique, visco-élastique, la réalisation de divers appareils optiques, sur rapport de M. le P^r Rapin au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Giffard est attribuée à M. Jean MOULIN pour les études et les recherches qu'il a menées dans le développement du moteur diesel, sur rapport de M. le P^r Rapin, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

La Médaille Bourdon est attribuée à M. BACHELET pour le travail important qu'il a fourni dans le domaine de la mesure absolue des pressions, sur rapport de M. Vodar, au nom du Comité des Arts Physiques.

Le Prix Osmond est attribué à M. Bernard HASSON pour l'étude métallographique des matériaux, la corrosion des métaux par le fluor, les problèmes des soudures, sur rapport de M. Bénard, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Le Prix de la Classe 65 est attribué à M. LAMOTHE pour sa mise au point d'un certain nombre de prototypes utilisés en vue des études des analyses des structures par les rayons X, sur rapport de M. Bénard, au nom du Comité des Arts Chimiques.

La Médaille Fauler est attribuée à M. Louis FRESSONNET, auteur de nombreuses communications techniques dans le domaine de la tannerie, sur rapport de M. Bénard, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Le Prix Thénard est attribué à M. Jean GUSTIN pour avoir su pousser activement les transformations et les modernisations dans le développement du machinisme agricole, sur rapport de M. Baratte, au nom du Comité de l'Agriculture.

Le Prix Parmentier est attribué à l'OFFICE NATIONAL INTERPROFESSIONNEL DES CÉRÉALES (O.N.I.C.) pour le rôle important qu'il a joué sur le plan technique et scientifique en favorisant la coordination des études, en commandant certaines recherches, en facilitant les grandes manifestations scientifiques et techniques concernant les diverses professions utilisatrices des Céréales, sur rapport de M. le P^r Buré, au nom du Comité de l'Agriculture.

La Médaille Jollivet est attribuée à M. VILLIÈRE pour ses études des propriétés physiques du bois, de sa protection et de sa conservation sur rapport de M. Pourtet, au nom du Comité de l'Agriculture.

La Médaille Aimé Girard est attribuée à M. Lucien BONNEMaison pour ses travaux d'une haute valeur scientifique consacrés, pendant plus de 40 ans, à la recherche fondamentale toujours associée à ses prolongements pratiques, sur rapport de M. le P^r Desaymard, au nom du Comité de l'Agriculture.

V. - Médailles d'Argent

Une Médaille d'Argent est attribuée à M^{me} Germaine BOCA pour la collaboration qu'elle a apportée à de nombreux auteurs dont elle a illustré les publications scientifiques, sur rapport de M. Vayssiére, au nom du Comité de l'Agriculture.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Roger VERGER pour l'entretien d'une importante collection botanique, l'organisation de cultures expérimentales, l'entretien et l'extension d'un herbier, sur rapport de M. le P^r Le Moan, au nom du Comité de l'Agriculture.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Maurice VENON pour l'importance de sa contribution personnelle dans des études sur le calcul des enveloppes de révolution sous chargement axisymétrique et à celui des tuyaux cintrés, sur rapport de M. l'Ingénieur-Général de Leiris, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Jean RICARD pour ses recherches qui ont conduit à la production industrielle de fenêtres de saphir de grande dimension, sur rapport de M. le P^r Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Willy DEISS pour ses études appliquées à la préparation des feuilles d'aluminium pour les condensateurs électrolytiques et la protection de l'aluminium par les vernis, sur rapport de M. le P^r Trillat, Membre de l'Institut, au nom du Comité des Arts Physiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Gaston BLANDIN pour son animation très efficace des études des nouvelles unités d'ammoniac et d'urée à P.C.U.K., sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Michel DEMARcq auteur de nombreuses publications dans le domaine des produits organo-phosphorés, de leur synthèse et de leurs applications, sur rapport de M. Brocart, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M. Maurice BACCOT pour sa participation active à de nombreux travaux de normalisation nationale et internationale dans le domaine de la verrerie volumétrique et de la thermométrie, sur rapport de M. le P^r Paul, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille d'Argent est attribuée à M^{me} Marie-Thérèse LE BRIS pour ses recherches sur certains colorants, l'étude de leurs réactions et de leurs éventuelles applications, sur rapport de M. le P^r Wahl, au nom du Comité des Arts Chimiques.

VI. - Médailles de Bronze

Une Médaille de Bronze est attribuée à titre posthume à M. Lucien VERDIER pour le rôle de premier plan qu'il a exercé dans la fabrication des shampoings et lotions à la Société L'Oréal, sur rapport de M. Bénard, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Bronze est attribuée à M. Eugène-Mathurin LECOLLINET responsable de la préparation des échantillons et des solutions analytiques au C.N.A.M., sur rapport de M. le P^r Wahl, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Bronze est attribuée à M. Jacques WOZEK pour la mise au point d'un appareil de détermination de cycles d'hystérose au Laboratoire de Chimie Minérale du Centre d'Orsay, sur rapport de M. Bénard, au nom du Comité des Arts Chimiques.

Une Médaille de Bronze est attribuée à M. Robert DANVIN pour la réalisation de nombreux appareils de laboratoire, dont l'élasticimètre Le Rolland-Sorin, sur rapport de M. le P^r Rapin, au nom du Comité des Arts Mécaniques.

VII. - Titre social

Le Prix Fourcade est attribué à M. Roger ALINE qui totalise 48 années de présence aux Etablissements P.C.U.K., à l'usine d'Oissel.

MEDAILLES DES OUVRIERS, CONTREMAITRES ET CADRES D'EXECUTION

Chantiers de l'Atlantique : Pierre AOUSTIN, Léon BRICOUT, Emile GUIHENEUF, Albert ROUSSEAU, Clément GUILLOUX, Ernest LE LANN, Louis LECADRE, Auguste GAUTREAU, Alexandre DEZIAUX, Georges BENIZE.

Elf-R.E. : Marcel GASTON, Louis JAFFREDO, Jean BOUTET, Jean VIDAL, Marie-Ange de TROCONIZ, Robert DEMANGEON, Maurice JALBERT, Jean TISON, Jean LAULHÉ, René FAUROUX.

Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine : Marcel DUMAS, René DANTARD, Robert NALDA, Henri DUCASSE, Raoul MARGUINAL, Georges LAFFITTE, Robert ROYER, Jean LORDON, Claude GUICHEMERRE, Jean-Michel ETCHEVERRIA, Léon POTIN, Raymond GUIRAUD, Pierre ETCHEVERRIA, Antoine PERALES.

Société Immobilière des Prospecteurs de Pétrole : Jean-Paul MAURICE.

Société Nationale des Chemins de Fer Français : Henri BERHAULT, Robert BOUCHARD, Jean BLIVET, Louis CHEREL, Louis CUENOT, Camille DELCOURT, Fernand DINET, René GEAINS, Robert GRAS, Jean HUMBERT, Marcel LETOURNEAU, Guy MARCHANDISE, Jacques MATHIEU, Roger MICHEL, Martin NEFF, Lucien NICOLAS, Gilbert PARENT, René PERROT, Charles RICHER, René SIMONNET, Lucien TAULLET, Alexandre THAON, René VALLE, Georges VASSEUR, Léopold VIGIER.

Shell Française : Henri LOUSSOUARN, Alfred LEBRETON, Maurice RAGOT, Louis HOULET, M^{me} Renée TOMASI, M^{me} Gabrielle GRAT-LABORDE, Lucien DANIEL, Albert FERRELLEC, Roger VIAL, Georges CALVET.

Ardoisières d'Angers S.A. : René ROLLAND, Lucien EVENO, Lucien DESGRE.

Alsthom : Marcel ROBERT, Roger TOCK, Maurice DEVERGRANNE, André POULET.

Elf-France : Jean-Paul CORNET, Jacques EMERY, Robert BOURCEAU, M^{me} Josette DEGEILH, Henri CYRUS, Jean-Alban ROUDEY, M^{me} Marguerite de GEORGES, François BEAUPERTUIS, Michel DURY, René REVOUY.

Nobel-P.R.B. : Eugène CALCINE, Félix MARILL.

Esso s.a.f. : René LETAILLE.

Laboratoire Central de l'Armement : Robert VENRIE, Jean GOUJOUX, Paul FAYER, André BOUARD.

Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Paris : V. MOLLET.

Le Président de la Société, Directeur de la publication : H. NORMANT, D.P. n° 1080

I.T.Q.A.-CAHORS. — 60.363. — Dépôt légal : IV-1976
Commission paritaire n° 57.497

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Fondée en 1801

Reconnue d'Utilité Publique en 1824

44, rue de Rennes, 75006 PARIS

Tél. : 548-55-61 - C.C.P. 618-48 Paris



HISTORIQUE

La « SOCIETE D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE » fondée en l'AN X de LA REPUBLIQUE (1801) par NAPOLEON-BONAPARTE, Premier Consul et CHAPTAL, Ministre de l'Intérieur et premier Président de la Société, assistés de Berthollet - Brongniart - Delessert - Fourcroy - Grégoire - Laplace - Monge - Montgolfier - Parmentier... et de nombreux autres savants, ingénieurs, et hommes d'Etat,

RECONNUE D'UTILITE PUBLIQUE EN 1824,

a poursuivi son action pendant tout le XIX^e siècle, sous la présidence de Thénard - J.-B. Dumas - Becquerel et de leurs successeurs. On la voit encourager tour à tour Jacquard - Pasteur - Charles Tellier - Beau de Rochas.

Ferdinand de Lesseps - Sainte-Claire-Deville - Gramme - d'Arsonval furent titulaires de sa Grande Médaille.

BUT

LA SOCIETE S'EST PREOCCUPEE PARTICULIEREMENT, CES DERNIERES ANNEES, DE DONNER AUX MILIEUX INDUSTRIELS DES INFORMATIONS EXACTES LEUR PERMETTANT DE SUIVRE LES DERNIERS DEVELOPPEMENTS DE L'ACTIVITE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE.

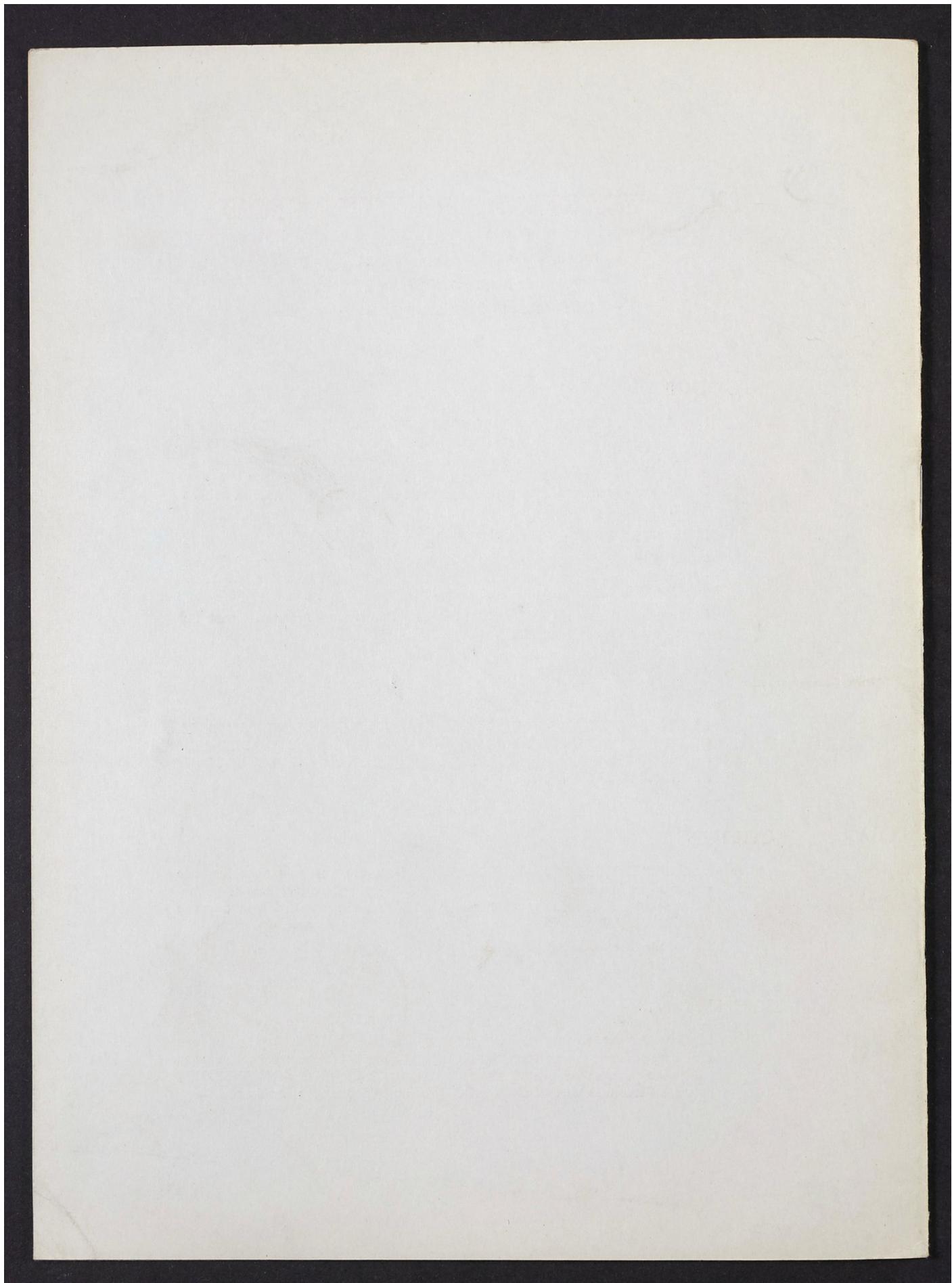
ACTIVITÉS

ELLE DECERNE DES PRIX ET MEDAILLES aux auteurs des inventions les plus remarquables et des progrès les plus utiles ainsi qu'aux ouvriers et contremaîtres qui se sont distingués par leur conduite et leur travail. Elle organise des CONFERENCES d'actualité scientifique technique et économique.

Elle publie une REVUE TRIMESTRIELLE : « L'INDUSTRIE NATIONALE ».

RECRUTEMENT

La Société recrute, en fait, ses Membres (Sociétés ou Individus) parmi ses anciens Conférenciers ou Lauréats. Ils ne sont soumis à aucune obligation particulière en dehors du paiement d'une cotisation annuelle de QUARANTE FRANCS pour les Personnes ou de CENT CINQUANTE FRANCS pour les Sociétés.



Droits réservés au [Cnam](#) et à ses partenaires