

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)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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
	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	1950, n° 2 (avril-juin)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1950

Collation	1 vol. ([2] p. , p. [37]-68) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	54
Cote	INDNAT (7)
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.7

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.T.N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE



COMPTES RENDUS ET CONFÉRENCES
DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

1950

N° 2

L'INDUSTRIE NATIONALE

COMPTES RENDUS ET CONFÉRENCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

publiés sous la direction de **M. Louis PINEAU**, président,
avec le concours de la Commission des Publications
et du Secrétariat de la Société

N° 2 : AVRIL-JUIN 1950

SOMMAIRE

LES INDICATEURS RADIOACTIFS EN CHIMIE MINÉRALE ET LEURS
APPLICATIONS INDUSTRIELLES, par M. M. HAISSINSKY 37

LES INDICATEURS RADIOACTIFS EN BIOLOGIE ET LEURS APPLICA-
TIONS MÉDICALES, par M. François MOREL 51

★

COMPTES RENDUS DES SÉANCES PUBLIQUES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT.

Séance du 17 Novembre 1949. 61

Séance du 1^{er} Décembre 1949. 62

★

DIVERS

Assemblée générale du 22 Décembre 1949 64

Nécrologie 64

Bibliographie. 66

Congrès-Exposition des Ingénieurs pour la France d'Outre-Mer 67

44, rue de Rennes, PARIS 6^e (LIT 55-61)

Publication trimestrielle

**SYNDICAT des IMPORTATEURS
de PRODUITS PÉTROLIFÈRES**
du CENTRE et du SUD-EST de la FRANCE (*S.I.P.S.E.C.*)

12, rue de Presbourg, PARIS (XVI^e) Tél. KLÉber 78-95 et 78-96

FONDÉ EN 1928

Membres affiliés :

Établissements **MELIN & HOUGUENAGUE**, à GEVREY-CHAMBERTIN (Côte-d'Or).
Établissements **LABRUYÈRE & EBERLÉ**, 32, rue de Lyon, à MACON (Saône-et-Loire).
Établissements **COINEAU**, 24, avenue Marceau, St-YRIEIX-la-PERCHE (Haute-Vienne).
Établissements **Antoine BAUD**, 93, bld Lavoisier, CLERMONT-FERRAND (Puy-de-Dôme).
Société "**L'ALLOBROGE**", La Folatière, CHAMBÉRY (Savoie).
Société "**LA JEANNE D'ARC**", 38, rue des États-Unis, ÉPINAL (Vosges).
Établissements **DORSEMAINE**, 37, rue de Paris, VICHY (Allier).
Établissements **TAVERNIER, "Motoforce"**, 94, rue Bergson, SAINT-ÉTIENNE (Loire).
Établissements **ARROUIS-DALBIN**, 147, rue d'Entraigues, TOURS (Indre-et-Loire).
Société **EST-MÉTAUX**, à CHAMBÉRY (Savoie).
Établissements **Léon BARBIER**, rue Eugène-Sue, GRENOBLE (Isère).
Société des **HYDROCARBURES du GATINAIS**, à NARGIS (Loiret). **M. BOURDEAUX**, 5, route de
Varennnes, SOUPPES-sur-LOING (Seine-et-Marne).
Compagnie Française des PRODUITS PÉTROLIFÈRES, 55, av. des Champs-Élysées, PARIS.
Société FORÉZIENNE DES PÉTROLES, à SAINT-ÉTIENNE (Loire).
Établissements **BERTRAND & MIEGE**, 52, rue Jean-Jaurès, LUXEUIL-les-BAINS (Haute-Saône).

PÉTROFRANCE

Société de Distribution des Pétroles en France

SIÈGE SOCIAL : 8, rue de Berri, PARIS (8^e)

Téléph. : ELYsées 83-41 (5 lignes)

Adresse Télégr. : ZETNA-PARIS

CARBURANTS - LUBRIFIANTS - FUEL OILS - SOUTES DE NAVIRES

PÉTROFRANCE met gracieusement ses services techniques à votre disposition pour étudier vos problèmes :

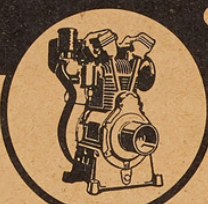
de STOCKAGE, de GRAISSAGE, de CHAUFFAGE

ÉQUIPEMENT AU MAZOUT

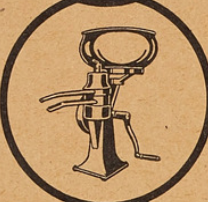
(Chaufferies et Fours individuels - Chauffage central)

Sociétés filiales :

PETROTANKERS
PETROTRANSPORTS
SOCIÉTÉ DES PRODUITS DU PÉTROLE
SOCIÉTÉ MAROCAINE DES PRODUITS DU PÉTROLE
STEUAU (AGENCIES) LIMITED



ESSENCE DIESEL
1 à 24 CH.



ÉCRÉMEUSES
150 - 225 - 300 litres



TRACTEURS 15 CH.
à chenilles

"BERNARD-MOTEURS"

PRODUCTIONS :

MOTEURS THERMIQUES
"BERNARD-MOTEURS"
"C.L".CONORD
"JAPY"

ÉCRÉMEUSES
"BERNARD-ÉCRÉMEUSES"
LACTINOX

TRACTEURS
"BERNARD-TRACTEURS"

CATALOGUES ET RENSEIGNEMENTS SUR DEMANDE

S.A. "BERNARD-MOTEURS" - 12, rue Médéric, PARIS (17^e) - Wagram 96.30
Adresser toute la correspondance : BOÎTE POSTALE 163-17- PARIS (17^e)

C.I.C.R.A

ROBINETTERIE
T U B E S

RACCORDS
OUTILLAGE

C^{IE} INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE DE ROBINETTERIE,
RACCORDS & ACCESSOIRES

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 150 MILLIONS DE FRANCS
31, RUE DE LA FOLIE-MÉRICOURT, **PARIS (XI^e)**

Tél. ROQ. 77-20 à 77-27 R. C. Seine 179.644

AGENTS de CRANE C^o

USINE A LA COURNEUVE (Seine)

ÉTABLISSEMENTS **KUHLMANN**

SOCIÉTÉ ANONYME au CAPITAL de 2.745.000.000 de FRS
Siège Social : **11, rue de La Baume, PARIS (8^e)**

★

PRODUITS CHIMIQUES

DÉRIVÉS DU SOUFRE - DÉRIVÉS DU CHLORE - PRODUITS
AZOTÉS - DÉRIVÉS DU BARYUM - DÉRIVÉS DU BROME
DÉRIVÉS DU CHROME - DÉRIVÉS DU COBALT - DÉRIVÉS
DU NICKEL - DÉRIVÉS DU CERIUM - DÉRIVÉS DU PHOS-
PHORE - LESSIVES - SILICATES - DÉRIVÉS DE L'ÉTYLÈNE
DÉRIVÉS DU PROPYLÈNE - ALCOOLS DE SYNTHÈSE
HYDROCARBURES DE SYNTHÈSE

★

PRODUITS POUR L'AGRICULTURE

ENGRAIS PHOSPHATÉS - ENGRAIS AZOTÉS - ENGRAIS
COMPLEXES - PRODUITS INSECTICIDES ET ANTICRYPTO-
GAMIQUES - PRODUITS POUR L'ALIMENTATION DU
BÉTAIL - AMÉNDEMENTS - HERBICIDES - DÉSINFECTANTS

★

PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES

RÉSINES SYNTHÉTIQUES - COLLES SYNTHÉTIQUES
MATIÈRES PLASTIQUES - TANINS SYNTHÉTIQUES
PRODUITS INTERMÉDIAIRES - PRODUITS AUXILIAIRES
INDUSTRIELS - PRODUITS R. A. L.

★

TEXTILES CHIMIQUES

RAYONNE VISCOSE - FIBRANNE VISCOSE - CRINODOZ

WORMS et C^{ie}

45, bld Haussmann, PARIS (9^e)

Téléphone : OPÉra 62-50 et 21-36

Télégrammes : LOCATOR-PARIS

**IMPORTATEURS DE CHARBON
ARMATEURS – BANQUIERS
LIGNES RÉGULIÈRES DE CABOTAGE
AGENCE – TRANSIT – MANUTENTION
TRANSPORTS AÉRIENS**

C . I . C . O . L

CARBURANT-AUTO

GAS-OIL



FUELS

HUILES

105, rue St-Lazare, PARIS (9^e)

Téléphone : TRI 95-38 et la suite

PECHELBRONN

LA MINE FRANÇAISE DE PETROLE



PECHELBRONN

Société anonyme d'exploitations minières au capital de 397.880.000 de francs.

Siège social à **MERKWILLER-PECHELBRONN (Bas-Rhin)**

Direction générale : **4, rue Léon-Jost, PARIS (17^e)**



Tous les Produits Pétrolifères

IMPORTATION – DISTRIBUTION



“ RÉNOIL ”

L'HUILE IDÉALE pour AUTOS

Compagnie PÉTROSTAR

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.000.000 DE FRANCS

★ ★

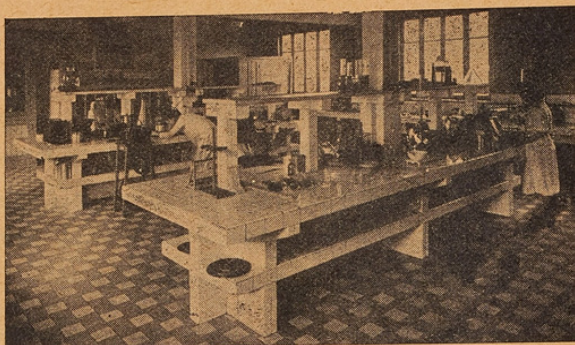
191, rue de Courcelles – PARIS (XVII^e)

Téléphone ÉTOILE 49-75

— — 49-76
— — 49-77

R. C. Seine 260.523 B





**VERNIS - RÉSINES - ADHÉSIFS
POUDRES A MOULER
"BAKÉLITE"**

L'ancienneté de "La Bakélite", fondée en 1922, sa spécialisation, sa puissance inégalée de production, enfin l'équipement unique en Europe de ses laboratoires lui confèrent la

Supériorité dans la Qualité

LA BAKÉLITE

25, Quai Voltaire - BEZONS (S-et-O)

Société Générale d'Entreprises

Société Anonyme au Capital de 1.085.000.000 de francs

56, rue du Faubourg-St-Honoré, PARIS (8^e)

Registre du Commerce Seine N° 37.997

ENTREPRISES GÉNÉRALES en FRANCE, dans L'UNION FRANÇAISE et à L'ÉTRANGER

CONSTRUCTION ET ÉQUIPEMENT D'USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES
ET DE CENTRALES THERMIQUES

RÉSEAUX DE TRANSPORT D'ÉNERGIE A HAUTE-TENSION

ÉLECTRIFICATION DE CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS - ELECTROBUS

RÉSEAUX D'ÉLECTRIFICATION RURALE

USINES, ATELIERS ET BATIMENTS INDUSTRIELS

CITÉS OUVRIÈRES - ÉDIFICES PUBLICS ET PARTICULIERS

ASSAINISSEMENT DES VILLES - ADDUCTIONS D'EAU

ROUTES - CHEMINS DE FER - TRAMWAYS

OUVRAGES D'ART

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

Compagnie Française de Raffinage

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 6.000.000.000 DE FR.S.

R. C. Seine n° 239.319 B.

SIÈGE SOCIAL : **11, rue du Docteur-Lancereaux, PARIS (8^e)**

RAFFINERIE DE NORMANDIE

à **GONFREVILLE-L'ORCHER (Seine-Inf.)**

RAFFINERIE DE PROVENCE

à **MARTIGUES (Bouches-du-Rhône)**

Hauts Fourneaux Forges et Aciéries de **POMPEY**

61, rue de Monceau, PARIS (8^e) — Tél. : LAB. 97-10 à 97-19 et 91-74 à 91-76

USINES : { POMPEY et DIEULOUARD (M.-et-M.)
 { MANOIR (EURE) — LORETTE (LOIRE)

ACIERS THOMAS, MARTIN et ÉLECTRIQUE
ACIERS FINS AU CARBONE et ACIERS ALLIÉS
ACIERS RÉSISTANT A LA CORROSION (acide et saline)
ACIERS MOULÉS ET FORGÉS
ACIERS ÉTIRÉS ET COMPRIMÉS
FONTES HÉMATITES — SPIEGEL — FERRO-MANGANÈSE

Aciers de Construction et d'Outillage

M. Louis PINEAU
(1888-1950)

*Président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale
(1945-1950) (1)*

Cette année, qui avait été marquée pour notre Société par les manifestations d'une activité brillante et féconde, vient d'être brusquement assombrie par la disparition de celui qui en avait été le fervent animateur.

En la personne de M. Louis Pineau nous avons eu le privilège de posséder un Président d'une magnifique autorité et d'un incomparable dévouement. L'expérience qu'il avait acquise au cours de sa belle carrière, sa compétence particulièrement étendue, sa connaissance des vastes et difficiles problèmes où l'Économie et la Technique se rejoignent, le respect qu'inspiraient, en France comme à l'Étranger, la vigilance de son patriotisme et la droiture de son caractère faisaient de lui une haute et belle figure.

Ce portrait serait incomplet s'il n'était permis à ses Collègues de la Société d'Encouragement d'évoquer aussi la courtoisie, l'objectivité, l'affabilité avec lesquelles il dirigeait leurs débats et leur proposait le programme de leurs travaux.

Programme toujours soigneusement étudié, inspiré du souci de maintenir l'équilibre entre les diverses formes de nos activités et de faire concourir tous nos Comités à ces mémorables Conférences qui, au

(1) Le présent numéro allait paraître quand est survenue la perte cruelle qui vient de frapper notre Société. Un hommage solennel sera rendu à la mémoire de notre très regretté Président, à l'occasion de la Séance publique de Rentrée, le 9 novembre prochain. M. l'Inspecteur Général Dumanois, Président du Comité des Arts Mécaniques, retracera la carrière de M. Pineau. La X^e Conférence Bardy aura lieu ensuite. Elle sera faite sur le sujet : « Le pétrole, matière première des Industries chimiques », par M. Léon Jacqué, Professeur à l'École Polytechnique, Président de l'Institut Français du Pétrole.

cours des dernières années, ont tant contribué au rayonnement de notre Société.

Notre hommage de reconnaissance à l'égard de ce grand Président va enfin aux éminents mérites de l'administrateur grâce auxquels ce renforcement de notre activité a pu se poursuivre dans des conditions financières satisfaisantes malgré la difficulté des circonstances.

Aussi bien, si ce deuil qui vient affliger l'Industrie Française tout entière est particulièrement ressenti parmi nous, c'est que nulle part, sans doute, on n'a pu mieux apprécier le rare ensemble de qualités qui faisait de M. Pineau un guide sûr pour tous, un ami éprouvé pour chacun.

LES INDICATEURS RADIOACTIFS EN CHIMIE MINÉRALE ET LEURS APPLICATIONS INDUSTRIELLES [1]

par M. HAÏSSINSKY

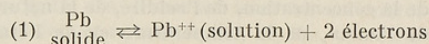
Maître de Recherches à l'Institut du Radium, Paris.

Un bref rappel historique des circonstances qui ont conduit à l'idée de l'utilisation des isotopes radioactifs comme indicateurs dans les recherches physico-chimiques constituera sans doute le moyen le plus efficace de faire comprendre la nature et la portée de la méthode. L'origine de celle-ci remonte à l'année 1912, à l'époque héroïque de la radioactivité, lorsque dans 3 centres principaux de recherche : Paris, Vienne et Manchester, les physiciens et les chimistes se débattaient pour déchiffrer les propriétés d'une quarantaine de corps radioactifs, tous différents par leur comportement nucléaire (nature et énergie des rayons émis, vie moyenne, intensité) mais présentant souvent des propriétés chimiques apparemment identiques, puisque leur séparation s'avérait dans ces cas impossible. En particulier, Rutherford à Manchester désirait obtenir à l'état pur le radium D, mélangé, à l'état de traces, avec de grandes quantités de plomb. Ne pouvant y parvenir il chargea G. Hevesy, alors jeune chimiste dans son laboratoire, de s'acquitter de cette tâche. Hevesy, malgré ses efforts et l'imagination scientifique fertile dont il a donné plus tard des preuves éclatantes, n'y réussit pas davantage. Nous savons maintenant qu'il ne pouvait pas en être autrement, puisque le radium D est un des isotopes du plomb, et donc inséparable de celui-ci par les méthodes physiques et chimiques ordinaires. A ce moment la notion de l'isotopie n'était pas encore connue.

Au cours de la même année, un autre jeune chimiste et futur maître en radiochimie F. Paneth, à l'Institut du Radium de Vienne, essuya le même échec sur le même problème. C'est alors que Hevesy, venu entre-temps travailler à Vienne, et Paneth eurent l'idée vraiment ingénieuse d'incorporer du radium D pur, obtenu par extrac-

tion du radium [2], à certains composés de plomb inactif et de suivre les déplacements et les pérégrinations de ce dernier, au moyen des mesures de l'activité qui l'accompagne fidèlement, dans différents processus chimiques ou physiques qu'ils lui ont fait subir. Pour rendre plus claire la réalisation pratique de cette idée nous allons rappeler une des premières expériences de Hevesy, faite peu après la découverte de l'isotopie¹⁾ [3].

Lorsqu'on plonge une lame d'un métal peu électropositif et pur (par ex. une lame de plomb) dans une solution aqueuse neutre d'un de ses sels simples ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), il s'établit rapidement un équilibre entre les deux phases : le métal n'est pas attaqué et les ions ne se déposent pas spontanément sur la lame. La théorie osmotique de la pile de Nernst enseigne que cet équilibre est dynamique, c'est-à-dire qu'il y a échange continu entre les atomes métalliques et les ions :



Les méthodes chimiques et physiques habituelles ne permettent cependant pas de mettre cet échange en évidence. Mais il suffit d'ajouter à la solution des traces de radium D ou de thorium B, autre isotope de plomb, comme le fit Hevesy, pour constater rapidement, à l'aide d'un appareil de mesure approprié, qu'une partie de l'activité est passée sur la lame métallique, initialement inactive : des atomes de Pb dans le métal ont été remplacés par des ions de l'isotope actif de la solution. Comme les propriétés chimiques des isotopes sont pratiquement identiques, cela signifie que d'autres atomes de Pb en nombre encore beaucoup plus grand, ont été remplacés par d'autres ions Pb^{++} inactifs de la solution, puisque le rapport initial $\text{Pb}^{++}/\text{ThB}^{++}$ dans

1. Conférence faite le 17 novembre 1949 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

2. Le radium D dont on dispose aux laboratoires peut avoir deux origines différentes : résidus plombifères du traitement des minerais de l'uranium en vue de l'extraction du radium, et il est alors très impur; extraction directe du radium ou des ampoules de radon provenant de celui-ci.

3. V. Références bibliographiques en fin d'article.

la solution est très grand. La mesure du nombre des atomes de ThB dans le métal sert précisément comme *indication* permettant de calculer à l'aide de ce rapport l'étendue de l'échange représenté par l'équation (1) :

$$(2) \frac{\text{atomes Pb échangés}}{\text{ions Pb solution}} = \frac{\text{ThB métal}}{\text{ThB solution}}$$

Cet exemple typique de l'emploi des indicateurs radioactifs montre que leur fonction n'est pas semblable à celle des indicateurs d'acidimétrie ou d'oxydo-réduction destinés à déceler la fin d'une réaction. Leur rôle se rapproche plutôt de celui des indicateurs de police qui doivent dénoncer les actions de leurs semblables auxquels ils se mêlent sans se distinguer.

Les expériences de Hevesy ont été reprises plus tard par divers auteurs sur d'autres métaux tels que Au, Ag, Cu, Bi, Sb, Zn, Ta, Mn, etc.²⁾ Dans tous les cas examinés, sauf dans celui de Ta, on a observé un échange rapide et généralement important, intéressant dans un temps assez court des dizaines et même des centaines de couches atomiques de la surface du métal. La vitesse du processus dépend, pour un métal donné, de la concentration, de l'acidité, de la nature de l'anion, de la température et de l'état initial de la surface. En outre, l'étude cinétique de ces échanges conduit à admettre que la surface métallique ne reste pas inaltérée au cours du processus, mais qu'elle subit selon le cas, soit une désorganisation plus ou moins profonde (état de *pré-corrosion*), soit une recristallisation; un grand nombre de couches se trouve ainsi exposé à l'échange.

Par contre, lorsque l'échange a lieu entre des ions en solution et certains sels solides, par exemple entre Ba⁺⁺ et BaSO₄, seuls les atomes superficiels des cristaux semblent participer à l'échange. Ceci a permis à Paneth³⁾ d'établir une méthode de mesure des aires d'une surface cristalline, à l'aide d'une équation analogue à (2) :

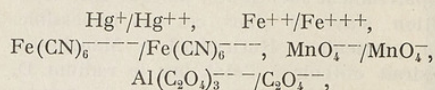
$$(3) \frac{\text{Rd-Ba surface}}{\text{Rd-Ba solution}} = \frac{\text{Ba total surface}}{\text{Ba total solution}}$$

En mesurant la quantité de Rd-Ba dissous et celle qui s'est fixée sur la surface et connaissant la concentration totale des

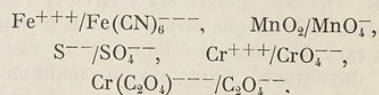
ions Ba⁺⁺ dans la solution, on en déduit facilement le nombre total des atomes de Ba dans la couche superficielle des cristaux et, par conséquent, l'aire de celle-ci.

Les expériences d'échange entre les métaux et leurs ions sont d'une importance considérable pour l'électrochimie⁴⁾, car elles constituent un moyen particulièrement approprié à l'étude du mécanisme du *transfert électronique* entre les électrodes et les solutions et à l'examen de divers problèmes liés à la structure des surfaces. D'autre part, de nombreuses questions sur la nature de la *liaison chimique*, la *structure des molécules* et le *mécanisme des réactions* peuvent être résolues par l'emploi d'atomes marqués *en solution*. Nous nous limiterons à quelques exemples⁵⁾.

On a pu constater que l'échange isotopique entre deux espèces ioniques ou moléculaires en solution est généralement rapide, lorsqu'il s'agit d'un simple transfert électronique ou d'une rupture d'une électrovalence, par exemple

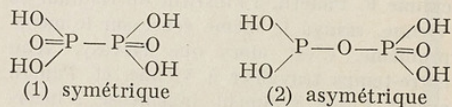


mais qu'il est nul ou très lent, si le processus implique la rupture d'une liaison de covalence :



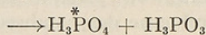
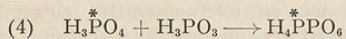
La vitesse de l'échange peut ainsi constituer un critère de la nature de la liaison, électrovalence ou covalence et de la stabilité de cette dernière.

Pour l'acide hypophosphorique H₄P₂O₆ on peut imaginer deux formules de structure :



Pour résoudre la question, Wilson⁶⁾ a d'abord condensé l'acide phosphorique contenant du radio-phosphore avec l'acide phosphorique inactif. Il a ensuite décomposé par hydrolyse l'acide hypophosphorique ainsi

obtenu avec reformation des produits initiaux :

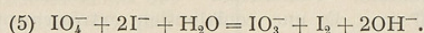


(les astérisques

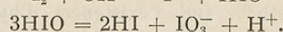
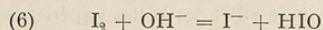
indiquent les atomes radioactifs).

Si la constitution de l'acide hypophosphorique correspondait à la formule (1), il est très probable que le phosphore radioactif se serait réparti uniformément entre les deux acides produits par l'hydrolyse. Comme l'auteur avait constaté qu'en réalité le radio-phosphore se retrouve entièrement dans H_3PO_4 , on doit en conclure que la formule asymétrique est exacte.

Lorsqu'on fait réagir une solution aqueuse d'un périodate avec un iode, il se forme de l'iodate et de l'iode selon l'équation :



On peut se demander⁷⁾ si l'iodate provient uniquement de la réaction (5) ou bien s'il se forme encore par le mécanisme des réactions suivantes :



L'emploi d'iodure marqué a montré qu'en solution neutre, seule la réaction (5) a lieu, tandis qu'en milieu alcalin, l'iodate se produit également dans les réactions (6). En effet, dans le premier cas seul l'iode est radioactif et non l'iodate; par addition d'un alcali l'iodate devient également actif.

Les exemples donnés jusqu'ici se rapportent à des expériences dans lesquelles la méthode des indicateurs ne peut être remplacée par aucun autre procédé aussi certain et aussi immédiat, puisqu'elle permet de suivre les transformations étudiées directement et non pas de les interpréter à l'aide d'hypothèses plus ou moins fondées. L'emploi des indicateurs est non moins important dans les cas où on pourrait, en principe, utiliser d'autres méthodes physico-chimiques, dont la sensibilité cependant ne peut rivaliser avec celle des radio-isotopes. Les appareils et les techniques modernes de mesure de radioactivité (compteurs, plaques photographiques) permettent, en effet, de déceler facilement des quantités de matière de l'ordre de 10^{-13} à 10^{-16} grammes.

C'est ainsi qu'on a pu mesurer récemment⁸⁾, à l'aide du radio-phosphore, la tension de vapeur du phosphore jaune, qui n'est, suivant ces mesures, que de l'ordre de 10^{-4} mm. de mercure à la température ordinaire. On a mesuré également les tensions de vapeur de certains composés peu volatils du thorium, notamment de l'acétylacétate. Cette technique a trouvé une application dans une usine de lampes de fluorescence⁹⁾. La fabrication de celles-ci demande la soudure d'un tube latéral contenant une gouttelette de mercure, opération qui se fait par soufflage à la bouche et pourrait donc être dangereuse par suite de la toxicité des vapeurs du métal. Il fallait s'assurer que la quantité inhalée au cours de l'opération est inférieure à la limite tolérée. Les mesures effectuées à l'aide du radio-mercure ont montré que 1 m^3 de l'air contaminé contenait 0,01 mg de Hg environ, la limite de tolérance étant 10 fois plus forte.

La sensibilité très élevée des indicateurs permet de déterminer avec une grande précision la solubilité de composés dits « insolubles », par simple dosage de l'activité restée en solution après la séparation du précipité. On a mesuré ainsi les solubilités de divers composés de Pb, Bi, Ra, etc. Pour la solubilité de $\text{Co}(\text{OH})_2$, déterminée à l'aide de Rd-Co , on a trouvé la valeur $5,6 \cdot 10^{-3}$ mg/lit¹⁰⁾, tandis que d'après les mesures chimiques elle dépasserait 3 mg/lit. D'ailleurs, la comparaison des solubilités déterminées, d'une part, par les méthodes physico-chimiques ordinaires et, d'autre part, par les méthodes radioactives, a montré¹¹⁾ que la conception même de « solubilité » et de « produit de solubilité » pour les composés très peu solubles et susceptibles de former des précipités colloïdaux doit être révisée. Il semble, en effet, que ces systèmes ne soient pas en équilibre thermodynamique et que les valeurs de solubilité trouvées puissent, par conséquent, varier avec le mode de préparation des solutions, avec leur âge, avec la méthode de mesure, etc.

Les possibilités que les indicateurs offrent pour l'analyse chimique, quantitative et qualitative, et pour la micro-analyse, sont innombrables et nous ne pouvons ici que mentionner quelques types d'applications déjà réalisées ou facilement réalisables :

1° Détermination quantitative d'un ou de plusieurs constituants d'un mélange complexe par les transmutations qu'ils subissent sous l'action de divers rayonnements, notamment des neutrons. Souvent cette méthode ne demande aucun traitement chimique et laisse ainsi le mélange inaltéré. Elle a été appliquée avec succès, en particulier, au dosage de certaines *terres rares*^{12, 13}, dont les difficultés analytiques, dues à la grande similitude de leurs propriétés chimiques, sont bien connues. Ces éléments cependant n'ont pas du tout les mêmes propriétés nucléaires et leur irradiation par neutrons conduit à la formation d'isotopes radioactifs ayant des vies moyennes très différentes. Les rendements des transmutations peuvent également varier d'un élément à un autre dans un rapport de 1 à 10.000.

2° La même technique est applicable à la détection de *traces* et d'impuretés, par exemple de Fe dans Co, de Cu dans Ag (détection de 1/10.000)¹⁴, de Ga dans Fe (6/1.000.000)¹⁵, de P et de S dans le papier ou d'autres substances.

3° *Microdosages*, par exemple de chromates à l'aide de Rd-Pb qui forme un chromate insoluble ou d'Ag à l'aide d'un chromate inactif en excès et de Rd-Pb; dosage de C et de P dans l'acier.

4° *Augmentation* considérable de la sensibilité et de la *précision* d'une méthode analytique classique, par exemple détermination de Mg par précipitation de $MgNH_4PO_4$ avec un phosphate radioactif. On peut ainsi doser 0,02 mg/cm³ avec une précision de 2 p. 100.

5° Vérification d'une *séparation complète* dans un dosage gravimétrique d'un mélange, par exemple de Pt, Ir et Au¹⁶.

6° Vérification d'une *précipitation complète*, par exemple de l'étain par un ferrocyanure.

7° Étude de *syncristallisations* et de *coprécipitations*¹⁷.

8° *Adsorption* d'ions ou de micelles colloïdales sur des précipités ou sur des adsorbants tels que l'alumine, le charbon, les résines synthétiques¹⁸; applications *chromatographiques*¹⁹.

Nous attirons particulièrement l'attention sur les deux derniers points. De nombreuses études faites à l'aide des indicateurs radio-

actifs ont permis d'établir les règles et les lois qui régissent la *répartition d'un composé* ou d'un ion en micro-quantités entre 2 phases (cristaux ou précipité/solution) et d'éclaircir l'influence des nombreux facteurs qui interviennent dans le processus. Ce sont ces recherches qui ont conduit à la compréhension et à l'élaboration de la chimie des radio-éléments, réalisée généralement sur des quantités infimes de matière. Parmi les 96 éléments du système périodique, une dizaine environ, en effet, ont pu être étudiés principalement à l'échelle des indicateurs, c'est-à-dire en quantités impondérables et invisibles. Ce sont parmi les radio-éléments naturels, le polonium, l'actinium, le francium et le radon, auxquels on peut ajouter le protactinium, et parmi les artificiels le technécium, le prométhium, l'astate, le neptunium, l'américium et le curium²⁰. Il y a là une contribution extrêmement importante à la chimie minérale. Mais les indicateurs ont souvent enrichi nos connaissances même sur les propriétés chimiques d'éléments communs qu'on peut se procurer à volonté chez le droguiste. Il suffit de rappeler à ce sujet les belles expériences de Paneth²¹ sur l'existence d'hydrures volatils, peu stables, du plomb et du bismuth.

Nous allons maintenant passer à une autre catégorie d'applications des indicateurs, probablement les plus importantes, celles qui intéressent les *réactions à l'état solide*, plus particulièrement les *phénomènes de diffusion et d'auto-diffusion* des métaux. On connaît bien le rôle capital que ceux-ci jouent dans de nombreux processus physico-chimiques et métallurgiques : croissance de grains et recristallisation, transformation de phase, transformation ordre-désordre dans les alliages, recuit, ségrégation, frittage, carburation, nitruration, shérardisation et autres cémentations, oxydations et sulfuration, corrosion humide, etc. Malgré cette importance et malgré de nombreux travaux déjà faits sur le sujet, celui-ci reste encore, du point de vue théorique, peu avancé. Dans son excellente monographie sur la diffusion, Barrer²² insiste sur la nécessité de disposer de données expérimentales bien plus abondantes pour pouvoir réaliser des progrès sérieux dans ce domaine.

La méthode des indicateurs est parti-

culièrement appropriée à cette tâche. Si elle facilite seulement et augmente la sensibilité des mesures de la diffusion des atomes d'un élément dans un autre (par ex. de Cu dans Ni ou bien de C ou P dans l'acier), elle est irremplaçable dans les

les constantes d'auto-diffusion par la méthode des indicateurs sont l'or, l'argent, le cuivre, le fer, le zinc, l'étain et le bismuth²⁴⁾. Pour le dernier métal on a observé une considérable anisotropie, c'est-à-dire que la vitesse de diffusion perpendiculairement à l'axe hexa-

métal	Au	Ag	Cd	Bi	Tl	Sn	Pb
Const. diffus.	46.000	910	20	4,4	3,1	1,6	0,7
Chaleur d'activation	13.000	15.200	18.000	18.600	21.000	24.000	28.000

mesures d'auto-diffusion, c'est-à-dire de la vitesse de déplacement des atomes d'un métal dans sa phase pure ou dans un de ses alliages ou sels, par exemple des atomes de Pb dans Pb métallique ou dans PbCl. Cette vitesse ne peut être mesurée, tout au moins directement, qu'à l'aide d'atomes marqués.

Les premières expériences sur l'auto-diffusion ont été faites par Hevesy et ses collaborateurs²⁵⁾ qui ont montré qu'elle est plus lente que la diffusion dans un métal étranger et que la chaleur d'activation du processus est plus grande. Le tableau ci-dessus permet de comparer les constantes de diffusion (exprimées en 10^{-10} cm²/sec) et les chaleurs d'activation (en calories/atome) dans Pb à 285° C (fig. 1).

On peut constater que la différence entre la diffusion dans un métal étranger et l'auto-diffusion décroît avec la différence chimique entre le plomb et le « solvant ». Ceci s'explique par le fait que la perturbation du réseau croît avec cette dernière différence et que les atomes se déplacent plus facilement dans un réseau déformé.

Les autres métaux dont on a mesuré

gonal du cristal est environ 10^6 fois supérieure à la vitesse de déplacement parallèlement à l'axe.

Pour le fer, on a constaté qu'à 910° C,

point de transformation de α -Fe en γ -Fe, la vitesse d'auto-diffusion dans la première phase est environ 100 fois plus élevée que dans la seconde; des différences du même ordre de grandeur ont été trouvées pour la diffusion du molybdène²⁶⁾ et du carbone²⁶⁾ dans les deux phases du fer.

Parmi les applications des mesures d'auto-diffusion aux problèmes métallurgiques²⁷⁾ il est intéressant de noter les expériences sur le mécanisme de l'oxydation du cuivre. On

sait que d'après la théorie de Wagner²⁸⁾ l'oxydation d'un métal progresse par la diffusion des places vacantes dans l'oxyde vers le métal, c'est-à-dire par diffusion des ions métalliques vers l'oxyde et non pas par diffusion de l'oxygène vers l'intérieur. Bardeen, Brattain et Shockley²⁹⁾ ont oxydé, à 1.000° C, la surface d'un échantillon de cuivre marqué et ensuite mesuré la distribution de l'activité dans les couches superficielles successives. La diffusion de

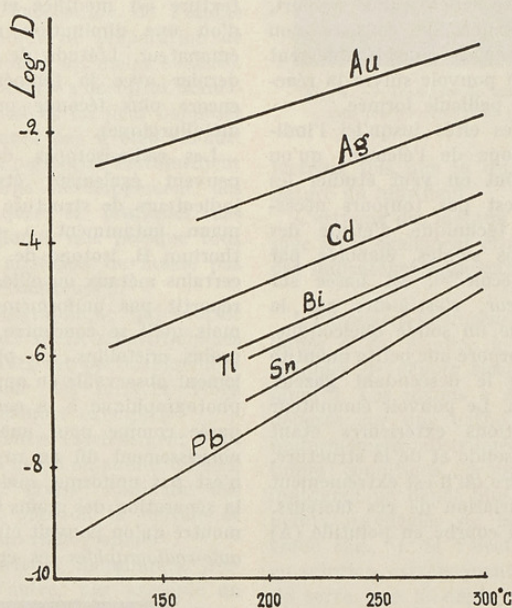
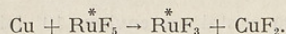


Fig. 1. — Variation du coefficient de diffusion (D) du plomb avec la température.

Rd-Cu ainsi déterminée se trouvait en accord quantitatif avec la théorie de Wagner. D'autres expériences sur l'oxydation du fer semblent cependant avoir donné des résultats moins satisfaisants^{27b)}. Il est évident que la question, très complexe, est loin d'être complètement élucidée.

Une nouvelle technique d'étude des réactions solide-gaz vient d'être proposée par Beck³⁰⁾. Il l'a appliquée à la réaction



Le composé gazeux RuF_5 est marqué par Ru radioactif, il est réduit par le cuivre en RuF_3 solide qui se dépose sur le support. L'avantage de la méthode consiste non seulement à augmenter considérablement la sensibilité mais à pouvoir suivre la réaction sans altérer la pellicule formée.

Dans les exemples cités jusqu'ici l'indicateur est un isotope de l'élément qu'on veut déceler ou dont on veut étudier les propriétés. Ceci n'est pas toujours nécessaire. Toute une technique d'étude des propriétés des corps solides, élaborée par O. Hahn et son école^{17a)}, est basée sur le *pouvoir émanateur*, c'est-à-dire sur la facilité avec laquelle un solide quelconque, dans lequel on a incorporé une petite quantité de radium, dégage le descendant gazeux de celui-ci, le radon. Le pouvoir émanateur dépend, les conditions extérieures étant égales, de l'aire du solide et de la structure, et l'expérience montre qu'il est extrêmement sensible à toute variation de ces facteurs. Dans la figure 2, la courbe en pointillé (A)

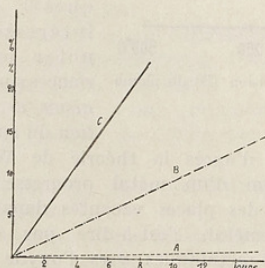


Fig. 2. — Variation avec le temps du pouvoir émanateur du verre Iéna (A) et du verre au baryum (B et C).

représente la variation avec le temps du pouvoir émanateur d'un verre d'Iéna con-

servé dans une atmosphère humide; les deux autres courbes se rapportent à un verre au baryum conservé dans une atmosphère sèche (B) et humide (C). On voit que le dernier verre est beaucoup plus poreux et plus attaqué par l'humidité que le verre d'Iéna.

Werner a appliqué³¹⁾ la méthode à l'étude des *déformations mécaniques* de Zn, Al, Tl et d'alliages Ba-Zn contenant une petite quantité de radium. Pour de faibles déformations, le pouvoir émanateur augmente avec la déformation par suite de la production d'espaces vides entre les grains. En augmentant encore la déformation, la texture est modifiée et le vide disparaît, d'où une diminution rapide du pouvoir émanateur. L'étude de la variation de ce dernier avec la température semble être encore plus féconde pour les recherches métallurgiques.

Les radio-isotopes de Pb, Bi et Ra peuvent également être utilisés comme indicateurs de structure des métaux. Tammann notamment a constaté³²⁾ que le thorium B, isotope de Pb, incorporé dans certains métaux ou alliages en fusion, ne se répartit pas uniformément dans la masse mais qu'il se concentre sur la surface des grains cristallins. Le phénomène est facilement observable en appliquant une plaque photographique à la coupe du métal, préparée comme pour une micrographie : le noircissement dû au rayonnement de ThB n'est pas uniforme, mais donne l'image de la séparation des grains (fig. 3). Tammann a montré qu'on pouvait étudier à l'aide de ces *auto-radiographies* les cristallisations et les

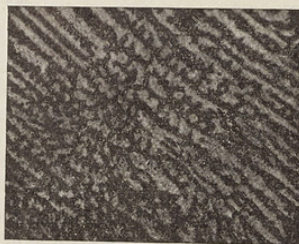


Fig. 3. — Répartition du Thorium B entre les grains cristallins du bismuth.

recristallisations, les ségrégations, les inclusions, les transformations de phase, etc.

Il a, en particulier, examiné par cette méthode la transformation austénite-perlite.

Nous avons ici un premier exemple de l'emploi de la méthode photographique dans les applications des indicateurs. Bien que les résultats qu'elle fournisse soient plus difficilement utilisables pour les études quantitatives que les mesures aux compteurs ou aux chambres d'ionisation, elle présente l'avantage d'une plus grande sensibilité et surtout de permettre la *localisation* exacte de l'indicateur. Les procédés très récents de fabrication de plaques spéciales pour les rayons α permettent même d'identifier les trajectoires individuelles de chaque particule, donc la localisation de l'atome émetteur. La technique de préparation de plaques pour les rayons β est moins avancée, mais plusieurs laboratoires s'occupent actuellement de la question et on peut supposer que celle-ci ne tardera pas à être résolue. Cette mise au point permettra certainement un nouveau et large développement des applications théoriques et pratiques des indicateurs, étant donné que presque tous les radio-éléments artificiels de masse pas trop élevée sont des émetteurs β .

La méthode photographique qui fournit une image immédiate de la répartition des substances radioactives est particulièrement indiquée pour l'étude des surfaces. Nous allons en donner quelques exemples.

Pour déceler les fentes extrêmement fines sur une surface d'un métal on enduit celle-ci, sous pression, d'une graisse contenant des traces radioactives, puis on la nettoie et on en prend une auto-radiographie³³⁾.

Lorsque deux surfaces métalliques *frottent* l'une contre l'autre, par exemple un cylindre tournant contre un bloc fixe, il y a transfert de matière d'une surface à l'autre, qu'il est cependant extrêmement difficile de mettre en évidence, surtout lorsque les deux pièces sont du même métal, puisqu'il s'agit de quantités infimes de matière transportée.

La difficulté a été surmontée³⁴⁾ en rendant une des surfaces radioactives et en prenant, après l'opération de frottement, la photographie de l'autre. Ces expériences ont montré que le transfert a lieu même entre métaux très durs, comme le chrome ou l'acier nituré, et que la présence d'un *lubrifiant* entre les deux surfaces réduit considérablement la

quantité transportée sans toutefois l'annuler (voir clichés de la fig. 4). Les quantités transportées sont de l'ordre 10^{-8} à 10^{-10} g. En combinant les résultats des auto-radiographies avec les mesures au compteur on peut examiner l'influence de divers

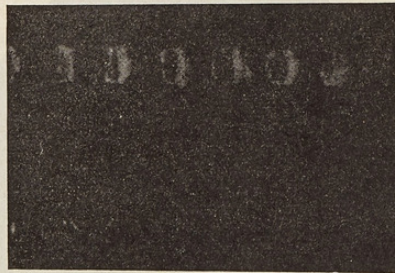


Fig. 4. — Transfert de matière par frottement, sans (en haut) et avec (en bas) lubrifiant.

facteurs tels que la dureté, la pression, la nature du lubrifiant.

L'attaque des métaux par l'huile de graissage a été également étudiée par la méthode des indicateurs radioactifs.

L'*ultramicro-hétérogénéité* de surfaces métalliques a été étudiée à l'aide d'auto-radiographies de dépôts électrolytiques du polonium³⁵⁾. Les rayons α émis par les atomes déposés sur une cathode d'or ne sont pas uniformément distribués, mais, dans certaines conditions, groupés en « étoiles », indiquant un dépôt plus concentré dans des points privilégiés de la surface de l'électrode (fig. 5). Si l'électrolyse est effectuée en solution extrêmement diluée ($\text{Po } 10^{-13} \text{ N}$), de sorte que le dépôt ne recouvre qu'une partie infime de la surface (de l'ordre d'un millionième), on constate par le raccourcissement des trajectoires α qu'un grand nombre d'atomes déposés ont partiellement pénétré dans le support (fig. 6). Dans les mêmes conditions, la mesure du potentiel critique de la cathode, auquel le dépôt commence à se produire, indique l'apparition d'une affinité entre les atomes déposés et l'or qu'on n'observe pratiquement pas ou qu'on observe beaucoup moins pour les dépôts plus importants. Ces résultats sont attribués à la présence de « *centres actifs* » ou de « *plages actives* » sur la surface, où les liaisons entre les atomes du métal-

support sont moins saturées, plus lâches qu'ailleurs et où, par conséquent, les atomes de Po s'insèrent plus facilement.

Ces études électrochimiques permettent,

donne, de plus, des indications sur l'affinité entre le dépôt et le support et sur sa variation éventuelle avec l'accroissement de la quantité déposée.

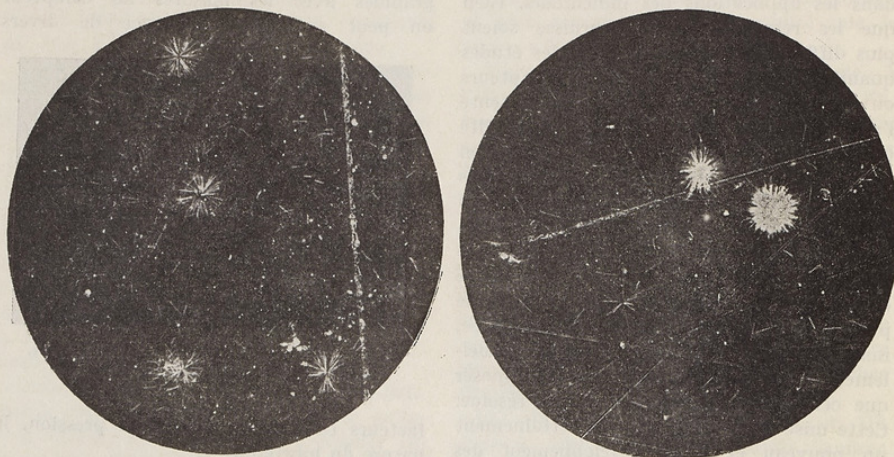


Fig. 5. — Distribution du dépôt électrolytique du polonium sur une cathode d'or.

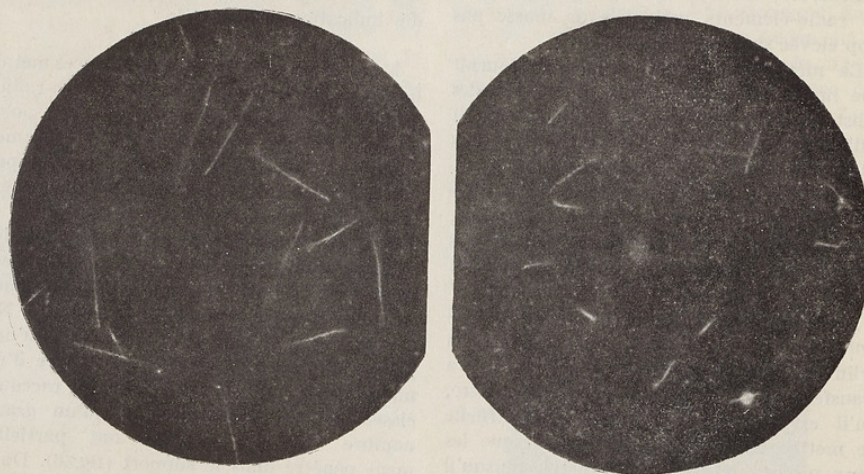


Fig. 6. — Raccourcissement des trajectoires α du polonium avec l'augmentation de la dilution (de 10^{-10} à 10^{-13} N Po).

en outre, d'examiner³⁶⁾ le comportement des ions en solution très diluée et la cinétique de formation de couches monoatomiques et des tout premiers germes d'un dépôt d'un métal ou d'un oxyde sur une électrode. En faisant varier la nature de celle-ci, la mesure du potentiel du dépôt

Les indicateurs radioactifs peuvent être utilisés pour l'étude de la structure des surfaces par bien d'autres procédés. Emmett et Kummer³⁷⁾ ont couvert, à basse température, la surface d'un fer catalytique avec CO contenant du radio-carbone (^{14}C), puis le reste de la surface avec CO inactif.

Ils ont ensuite éliminé par pompage le gaz adsorbé par fractions successives en augmentant graduellement la température. Les mesures de l'activité au compteur ont montré que la teneur du radio-carbone augmentait de la première fraction à la dernière dans le rapport de 1 à 60. Si le gaz avait été uniformément adsorbé sur la surface, l'activité des différentes fractions aurait été la même. Le résultat obtenu signifie donc que l'adsorption se fait d'abord sur une petite partie de la surface, la plus active, et que le gaz se fixe ensuite sur les parties de moins en moins actives.

Les exemples que nous avons considérés jusqu'ici se rapportent généralement à des problèmes fondamentaux de la chimie ou de la physique, dont la solution à l'aide des indicateurs conduit soit à des applications pratiques, soit à une meilleure compréhension de processus physico-chimiques intéressant l'industrie. Nous allons maintenant mentionner brièvement d'autres applications à caractère plus empirique, plus « utilitaire », en les groupant suivant les diverses industries.

Métallurgie. — 1° On sait que le soufre dans le coke métallurgique est de deux origines, pyritique et organique, les deux formes étant présentes en proportions variables d'un échantillon à l'autre. A l'aide de Rd-S on a établi³⁸⁾ que la proportion du soufre retenue par le coke lors de sa fabrication et, par conséquent, par l'acier ensuite, est indépendante de cette origine. Ces expériences ont été réalisées avec 85 millicuries de Rd-S et 12 tonnes de coke et constituent probablement l'essai industriel le plus important d'utilisation d'un indicateur radioactif sur grande échelle.

Ce même isotope pourrait être utilisé pour évaluer l'importance du soufre retenu par l'acier, lorsqu'on alimente un four Martin avec un combustible liquide contenant cet élément.

2° Dans le traitement thermique de l'acier, lorsqu'on utilise les gaz de combustion pour maintenir la neutralité de l'atmosphère du four, on pourrait introduire ^{14}C dans le gaz d'admission. Si la teneur en Rd-C se trouvait inchangée à la sortie, on aurait une vérification de la neutralité; une diminution de cette teneur indiquerait, par

contre, une atmosphère carburante^{37 a)}.

3° L'équilibre de répartition du phosphore entre le laitier et l'acier, lors de la fabrication de celui-ci, a été étudié, pour diverses températures, à l'aide du radiophosphore³⁹⁾. La même technique pourrait évidemment s'appliquer à la répartition de Ca, Ti, Mn, etc.

4° La préparation de surfaces métalliques parfaitement dégraissées et propres est un problème très délicat, en partie par suite de l'insuffisance des méthodes de détection des impuretés résiduelles. On a fait la synthèse⁴⁰⁾ avec Rd-C de la N, N-di-n-butylstéréamide qu'on a introduite dans une huile paraffinique de propriétés très voisines. L'action de divers détersifs et celle de divers procédés de nettoyage ont été ensuite examinées en suivant à l'aide d'un compteur l'élimination de l'amide + huile. On a atteint ainsi une sensibilité de $2 \cdot 10^{-9}$ g/cm², tandis que celle des méthodes gravimétriques est de l'ordre de 10^{-4} g/cm².

Industrie du pétrole. — En dehors de la synthèse Fischer que nous avons déjà mentionnée, les indicateurs sont utilisés pour la détection de fuite ou d'obturations dans les pipe-lines : dans le premier cas on fait circuler dans les conduites un liquide radioactif et on suit son déplacement avec un compteur; dans le second cas, on fixe une substance émettrice de rayons γ à un piston qui est entraîné par la pression du pétrole et arrêté à l'endroit où se trouve le dépôt obturant.

2° La vitesse d'écoulement du pétrole dans les conduites est déterminée par une technique analogue.

3° Lorsqu'un forage d'un puits de pétrole traverse une couche aqueuse, il est nécessaire de renforcer la paroi avec du ciment. Pour s'assurer de la solidité de la construction on incorpore au ciment de la carnotite, minéral radioactif, et on mesure à l'aide d'un compteur l'épaisseur de la paroi⁴¹⁾.

Textiles. — 1° Au cours de la fabrication de la rayonne on introduit dans la viscosse du sulfure de carbone qu'on élimine à un stade ultérieur. L'addition de Rd-S permet de suivre ces opérations et de contrôler l'élimination complète du soufre.

2° Les fibres de rayonne sont couvertes d'une couche très mince d'une huile contenant de l'oléate de sodium. En introduisant

du Rd-Na dans ce composé on a vérifié l'uniformité du recouvrement (à 2 p. 100 près sur une longueur de 1 mm), condition importante pour le traitement ultérieur des fibres.

3° La quantité d'un colorant réellement absorbée par un tissu peut être exactement déterminée en dosant l'activité d'un indicateur incorporé dans le tissu.

Matières plastiques. — 1° Le processus de la vulcanisation du caoutchouc a été étudié à l'aide du radio-soufre.

2° On a mesuré la vitesse de diffusion de plastifiants dans des matières plastiques en y introduisant du radio-phosphore.

Industrie Électrique. — 1° Les redresseurs de courant au silicium contiennent quelques pour cent d'aluminium et il est important de s'assurer de la répartition uniforme du métal. En exposant un échantillon à une source de neutrons, les deux composants deviennent radioactifs, mais l'activité du silicium est très faible et elle disparaît au bout de quelques heures. Une autoradiographie donne alors la localisation de l'aluminium.

2° Certains défauts de fonctionnement de tubes électroniques proviennent de l'évaporation des oxydes ($\text{BaO} + \text{SrO}$) de la cathode et leur dépôt en d'autres points de la lampe. En y incorporant Rd-Ba et Rd-Sr, on a pu mesurer⁽⁴²⁾ les pertes cathodiques et les quantités qui se déposent sur les grilles et sur l'anode. On a montré, en plus, que l'évaporation se produit essentiellement pendant la formation et l'activation des lampes et non pas pendant leur fonctionnement. Le poids total du baryum était dans ces expériences de 8 mg, celui de Sr de 5 mg.

3° Dans certaines installations de radar, les tubes à décharge de gaz doivent répondre à la tension appliquée au cours d'une fraction de micro-seconde. En l'absence d'ions dans le gaz, la décharge peut cependant être considérablement retardée et le fonctionnement du radar est defectueux. Mais il suffit d'introduire dans le tube une petite quantité de radium ou de radio-cobalt dont les radiations ionisent le gaz pour que la décharge s'effectue avec la rapidité nécessaire.

Applications diverses. — 1° La perméabilité de filtres industriels aux fumées, brouillards et poussières a été examinée à l'aide du phosphate de tricrésyle contenant du radio-phosphore. Déjà pendant la guerre 1914-18 on vérifiait l'efficacité de masques à gaz en mesurant leur perméabilité au radon³⁾.

2° L'intensité d'un rayonnement radioactif est réduite par son passage à travers de la matière. Pour un rayonnement donné et pour une épaisseur donnée d'un corps solide déterminé, l'absorption est proportionnelle à la surface de l'absorbant. L'aire d'une surface irrégulière peut ainsi être mesurée en intercalant la surface entre la source du rayonnement et l'appareil de mesure. Une technique analogue est appliquée aux mesures d'épaisseur de films très minces, sans qu'on risque de les déformer mécaniquement. On utilise dans ce cas ^{14}C , dont les rayons β sont très absorbables.

3° Dans les usines de production de substances toxiques telles que mercaptans, CS_2 , H_2S , etc., l'introduction du radio-soufre dans ces produits permettrait de déceler toute fuite dangereuse, plus rapidement et plus efficacement que par n'importe quel autre procédé.

4° En introduisant du pentachlorure de phosphore radioactif dans une encre d'imprimerie on a pu évaluer la quantité d'encre déposée par page, en mesurant son activité. Ceci a permis d'établir la quantité optimum d'encre nécessaire pour une bonne impression.

On notera que dans quelques-unes des applications qui viennent d'être mentionnées on n'utilise pas les indicateurs en tant qu'*atomes* matériels marqués, mais ce sont les propriétés de leurs *radiations* qui sont mises à profit. Il a été utile d'en donner quelques exemples, étant donné que les techniques impliquées dans ces utilisations sont les mêmes que dans celles des indicateurs proprement dits.

On pourrait encore multiplier les exemples des deux types d'application, mais ceux qui ont été énumérés doivent suffire pour montrer les possibilités, pratiquement illimitées, qu'offrent les indicateurs dans les domaines les plus variés de la chimie, de la physique et de l'industrie. Il faut cependant faire remarquer que la plupart des

applications citées n'ont pas encore été réalisées au-delà d'essais de laboratoire et que souvent il ne s'agit que de *projets* d'application. On doit reconnaître que la méthode est entrée trop peu encore dans la pratique des laboratoires de recherches et qu'elle est même à peine connue dans nos laboratoires industriels.

Cette carence n'est d'ailleurs pas propre à notre pays, elle se manifeste, bien qu'à un degré moindre, par exemple aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne. Sur les 3.136 livraisons de radio-isotopes par la Commission d'Energie Atomique de Oak Ridge (E. U.) du premier juillet 1946 au 30 juin 1948, 110 seulement ont été demandées pour des recherches industrielles, dont 20 pour la métallurgie. On comparera ces nombres avec les 1.291 livraisons pour les recherches médicales, 1.148 pour la physiologie animale et végétale, 262 pour la chimie, 257 pour la physique. En Angleterre, la Division des Isotopes de la pile de Harwell a eu, sur 1.174 livraisons entre octobre 1947 et novembre 1948, 288 pour la médecine, 149 pour la physiologie, 301 pour la chimie, 413 pour la physique et 21 seulement pour l'industrie.

Cette situation est due sans doute surtout aux deux raisons suivantes. D'une part, le nombre et les quantités des radio-éléments facilement disponibles étaient, il y a encore peu d'années, très restreints. D'autre part, le manque de coordination entre la recherche dite pure et la recherche appliquée a contribué encore à un décalage considérable, dans le temps, entre les découvertes scientifiques et leurs utilisations pratiques. On peut dire que la première cause a disparu depuis la découverte, en 1934, de la radioactivité artificielle par F. et I. Joliot-Curie et surtout depuis que la pile nucléaire de Châtillon est mise en marche. Le tableau n° 1, qui m'a été communiqué par le Service des Isotopes du Commissariat à l'Energie atomique, contient la liste des principaux isotopes dès maintenant disponibles en France.

La liste n'est d'ailleurs pas exclusive. Certains autres isotopes peuvent être pré-

parés au Cyclotron du Collège de France, en quantités faibles, mais suffisantes pour de nombreuses recherches et applications. On doit encore y ajouter les radio-éléments naturels, dont les principaux isotopes sont donnés dans le tableau 2.

La deuxième cause est certainement plus grave. Les principes de l'utilisation des indicateurs, de même que les appareils pour les détecter et pour les mesurer, sont relativement simples. Leurs applications pratiques présentent cependant parfois des difficultés qui demandent l'intervention du spécialiste. Le choix de l'isotope, le mode de son introduction dans le système à examiner, la réalisation et l'interprétation correcte des mesures, les précautions particulières que demandent les manipulations des corps radioactifs, constituent autant d'éléments d'une nouvelle technique, avec laquelle nos ingénieurs et même nos ouvriers qualifiés ne tarderont pas à se familiariser, mais qui n'est pas encore actuellement à la portée de tous. Il faut dire aussi que les acquisitions théoriques de la recherche, même celles qui touchent de près la technique, ne pénètrent pas avec la rapidité désirée dans les bureaux d'étude et les laboratoires des usines.

D'autre part, le physicien du noyau et le radiochimiste ignorent généralement les problèmes concrets qui se posent devant le technicien ou l'industriel qui cherche à perfectionner ses moyens de fabrication. Et même lorsqu'ils se trouvent devant de tels problèmes, il leur manque l'équipement et les moyens techniques nécessaires pour les résoudre. Non seulement il n'est plus vrai que le laboratoire du savant est son cerveau, mais le plus souvent son laboratoire est trop petit, trop mal équipé, trop peu peuplé pour satisfaire même de loin aux exigences de la science moderne. C'est par conséquent uniquement par une coordination rationnelle des efforts de l'ingénieur, du métallurgiste, du physicien et du chimiste et par leur coopération confiante que les nouvelles techniques pourraient s'implanter et se développer à l'avantage de l'essor économique du pays.

TABLEAU 1. — Principaux radio-éléments pouvant être produits en quantités utilisables par irradiation à la pile de Châtillon.

RADIO-ÉLÉMENT DE MASSE	PÉRIODE	ÉNERGIE DU RAYONNEMENT (en millions électron-volts, MéV)		ACTIVITÉ PAR G. D'ÉLÉMENT IRRADIÉ	OBSER- VATIONS (¹)
		β	γ		
Antimoine 122. .	2,8 j	1,3-1,9	0,57	2,5 mc (²)	
Arsenic 76. .	26,8 h	3,04-2,5	0,57-1,25	4,4 mc	+
		1,3	1,84-2,15		
Brome 80. .	4,4 h	2,0-0,73	0,05-0,04	1,5 mc	+
— 82. .	34 h	0,46	0,55-0,8; 1,35	1,1 mc	+
Calcium 45. .	180 j	0,26	pas de γ	20 μ c	
Chrome 51. .	26,5 j	pas de β	0,32	8 mc	
Cobalt 60. .	5,3 a	0,3	1,1-1,3	20 mc	
Cuivre 64. .	12,8 h	0,6	1,2	2,5 mc	
Europium 152. .	9,2 h	1,6-0,75	1,2	130 mc	
Or 198. .	2,7 j	0,96	0,44	39 mc	
Iridium 192. .	70 j	0,6	0,47	170 mc	
— 194. .	20,7 h	2,1	1,65-0,4	32 mc	
Fer 55. .	4 a	capt. K (³)	pas de γ	20 μ c	
— 59. .	47 j	0,26-0,46	1,1-1,3	1,5 μ c	
Lanthane 140. .	40 h	1,4-2,3	2,1-0,3	5 mc	+
Manganèse 56. .	2,6 h	0,7-1,1	0,8-1,8	18 mc	+
		2,9	2,13		
Phosphore 32. .	14,3 j	1,7	pas de γ	0,6 mc	
Potassium 42. .	12,4 h	1,07-3,5	1,5	0,12 mc	
Sodium 24. .	14,8 h	1,4	1,4-2,8	2,2 mc	
Soufre 35. .	87 j	0,17	pas de γ	24 μ c	
Phosphore 32. .	14,3 j	1,7	pas de γ	15 μ c	+
Iode 131. .	8 j	0,6	0,4	5,5 μ c	+
Tungstène 186. .	24 h	0,6-1,4	0,86-0,5	4,3 mc	

(¹) Peuvent être facilement concentrés sur de faibles quantités d'entraîneurs.
(²) Un millicurie (mc) est la quantité d'un radio-élément qui subit $3,7 \cdot 10^7$ désintégrations par seconde.
(³) La capture K est un mode de transformation radioactive, dans laquelle le noyau n'émet pas une particule, mais au contraire s'approprie d'un électron appartenant à la couche périphérique K.

TABLEAU 2. — Principaux radio-éléments naturels.

RADIO-ÉLÉMENT	PÉRIODE	ÉNERGIE DU RAYONNEMENT EN MéV
Bismuth 210 (Radium E). . . .	5,0 j	β 1,17
Plomb 210 (Radium D). . . .	22 a	β et γ des descendants
— 212 (Thorium B)	10,6 h	β 0,362; γ 0,11-0,38; α des descendants
Polonium 210	140 j	α 5,4
Potassium 40	$4 \cdot 10^8$ a	β 1,35; γ 1,5
Radium 226	1.590 a	α 4,87
— 228 (Mesothorium 1)	6,7 a	α , β , γ des descendants
Radon 222	3,825 j	α 5,58
Thorium 228 (Radiothorium) . .	1,9 a	α 5,42
— 230 (Ionium)	82.300 a	α 4,7
— 234 (Uranium X1). . .	24,1 j	β 0,2 et 1,1 (de UX2); γ 0,39
Uranium	$4,5 \cdot 10^9$ a	α 4,19; 4, 76

Références bibliographiques :

- 1) HEVESY, *Physik. Zeit.* 16 (1915), 52.
- 2) Pour Au, Cu, Mn, Bi, Sb, Te et La, voir HAISSINSKY, COTTIN et VARJABEDIAN, *Jour. Chim. Phys.* 45 (1948), 212; pour Zn, HAENNY et MIVELAZ, *Helv. Chim. Acta* 31 (1948), 633; pour Ag, ROLLIN, *Journ. Amer. chem. Soc.* 62 (1940), 86. COFFIN et TINGLEY, *Jour. Chem. Physics*, 17 (1949), 502; pour Ta, COTTIN et GLUZBARG, résultats non publiés.
- 3) Paneth, Radioelements as Indicators, Mac GRAW-HILL Cy New-York, 1928; *Jour. Chim. Phys.* 45 (1928), 205.
- 4) HAISSINSKY, *ibid.*, p. 224.
- 5) Pour les généralités sur les échanges isotopiques voir SEABORG, *Chem. Rev.* 27 (1940), 199. HAISSINSKY et DAUDEL, *Bul. Soc. Chim. France*, 1947, p. 552 et *Colloque Internat. sur les Echanges Isotopiques*, CNRS, Paris, 1948 (ou *Jour. Chim. Phys.* 45 (1948), 141-250).
- 6) WILSON, *Jour. Amer. chem. Soc.*, 60 (1938), 2697.
- 7) MAGNIER, KHRROUNOFF, MARTIN, P. et R. DAUDEL, *Bul. Soc. Chim. France*, 1947, p. 626.
- 8) DANTON, communication personnelle.
- 9) ATEN et HEYN, *Philips techn. Rev.* 8 (1946), n° 10; Ce mémoire contient d'autres exemples d'applications industrielles, de même que SELIGMAN, *Chem. and Indus.* 1949, p. 311 et IRVINE, *Analyt. Chem.*, 21 (1949), 364; plusieurs exemples du texte ont été empruntés à ces 3 mémoires.
- 10) CACCIAPUOTI e FERLA, *Atti Acad. Lincei*, 28 (1938), 385.
- 11) HAISSINSKY, *Acta Physica Chimica U. R. S. S.*, 3 (1935), 517; Les Radio-colloïdes, *Actualités Scient. Hermann*, n° 185, Paris, 1934.
- 12) HEVESY et LEVI, *Danske Videnskab. Math. fys. Medd.*, 14 (1936), n° 5; 15 (1938), n° 11.
- 13) GOLDSCHMIDT et DJOURKEVITCH, *Bul. Soc. Chim. France*, 6 (1939), 718.
- 14) KING et ANDERSON, *Phys. Rev.* 56 (1939), 1169.
- 15) SEABORG et LIVINGOOD, *Jour. Amer. chem. Soc.*, 60 (1938) 1784.
- 16) ERBACHER et PHILIPP, *Angewand. Chem.*, 48 (1935), 409.
- 17) HAHN. Applied Radiochem., Cornell University Press, New-York, 1936; b) PANETH, *loc. cit.* à 3; c) FAJANS et ERDEY-GRUZ, *Zeit. Phys. Chem.* 158 (1931), 97; d) CHLOPINE et collaborateurs, *C. R. Acad. U. R. S. S., Ber. et Zeit. anorgan. Chem.* depuis 1924.
- 18) *Loc. cit.*; à 17 a, b, c.
- 19) TOMPKINS, Spedding, Boyd etc. *Jour. amer. chem. Soc.*, 69 (1947), 2769-2881.
- 20) Pour les nouveaux éléments, voir HAISSINSKY, *Bul. Soc. Chim. France* (1949), 668.
- 21) PANETH et collab. *Ber.*, 1918-22.
- 22) BARRER, Diffusion in a. through solids, chapitre VI, *Cambridge University Press*, 1941.
- 23) HEVESY et collab., *Ann. Physik*, 63 (1920), 85; *Nature*, 115 (1925), 674; *Zeit. Elektroch.*, 37 (1931), 528; *Trans. Faraday Soc.*, 31 (1938), 841.
- 24) Pour Au voir, a) SAGRUBSKI, *Zeit. Sowiet-Union*, 12 (1937), 118; MAC KAY, *Trans. Faraday Soc.*, 34 (1940), 1067; pour Cu, b) ROLLIN, *Phys. Rev.*, 55 (1939), 231; STEIGMANN, SHOCKLEY et NIX, *ibid.*, 56 (1939), 13; pour Zn, c) MAC KAY, *Nature*, 139 (1937), 283; DAY, BANKS et MILLER, *Phys. Rev.*, 57 (1940), 1067; 59 (1941), 376; 61 (1942), 648; pour Ag, d) JOHNSON, *Amer. Inst. Metal. Eng.*, 143 (1941), 107; pour Fe, e) BIRCHENAL et MEHL, *J. appl. Phys.*, 19 (1948), 217; pour Bi, f) Seith, *Zeit. Elektroch.*, 33 (1939), 538; pour Sn, g) BOAS et FENSHAM, *Nature*, 164 (1949), 1127.
- 25) HAM, *Amer. Soc. metals*, 35 (1945), 331.
- 26) STANLEY, *Phys. Rev.*, 75 (1949), 1627.
- 27) Pour les applications métallurgiques des indicateurs voir : a) STANLEY, *Nuc-*

- leonic, 1947, p. 70; b) HARWOOD, *ibid.*, 1948, p. 57.
- 28) WAGNER, *Zeit. Physik. Chem.*, B 21 (1933), 42; 23 (1933), 469.
- 29) BARDEEN, BRATTAIN et SHOCKLEY, *Phys. Rev.*, 70 (1946), 105.
- 30) BECK, *Science*, 110 (1949), 371.
- 31) WERNER, *Zeit. Elektroch.*, 39 (1933), 611; *Zeit. Metallkunde*, 26 (1934), 263.
- 32) TAMMANN, *Zeit. Elektroch.*, 38 (1932), 530; TAMMANN et BANDEL, *Zeit. Metallkunde*, 25 (1933), 153, 207.
- 33) KAISER, cité d'après Johnson, *Jour. appl. Phys.*, 12 (1941), 304.
- 34) GREGORY, *Nature*, 157 (1946), 443; SAKMAN et BURWELL, *Jour. appl. Phys.*, 15 (1944), 459; BURWELL, *Nucleonics*, 1947, p. 38.
- 35) HAISSINSKY, FARAGGI, COCHE et AVIGNON, *Phys. Rev.*, 75 (1949), 1963; *Jour. Phys.*, 10 (1949), 312.
- 36) HAISSINSKY, Electrochimie des substances radioactives, *Actualités Scient. Hermann*, n° 1009, Paris, 1946.
- 37) EMMETT et KUMMER, Colloque International. C. N. R. S. Cinétique hétérogène Lyon, 1949 (sous presse).
- 38) LITTLE, *Iron Age*, 161 (1948), 85.
- 39) WINKLER et CHIPMAN, *Metals Technol.*, 13 (1948), n° 3.
- 40) HARRIS, Kamp, Yanko, *Amer. soc. test. materials Bul.*, 1949, p. 49.
- 41) RYMER, *Chem. Age*, 1949, p. 588.
- 42) BEYDON, BEAUDOIN, CHALLANSONNET et DEBIESSE, *C. R. Acad. Sci.* 229 (1949), 353.

LES INDICATEURS RADIOACTIFS EN BIOLOGIE ET LEURS APPLICATIONS MÉDICALES ⁽¹⁾

par M. François MOREL,

Médecin-biologiste attaché au Commissariat à l'Énergie atomique.

Je tiens, pour commencer, à remercier M. Dautry pour le grand honneur qu'il m'a fait en acceptant de me présenter ici.

Je tiens aussi à remercier très vivement la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale qui m'a demandé, sur la proposition de mon maître, le Professeur Courrier, de prendre la parole ici ce soir.

L'emploi des radio-isotopes artificiels comme traceurs en biologie remonte à quelque 15 ans à peine. C'est en 1933, en effet, que M. et Mme Joliot-Curie découvraient les radio-éléments artificiels. Ces auteurs comprirent très vite les perspectives prodigieuses qu'offraient pour la biologie et la médecine leur découverte capitale, aussi M. Joliot fit-il installer, dès cette époque, des laboratoires de biologie à la station de synthèse atomique d'Ivry, laboratoires destinés aux études biologiques que permettaient les nouveaux isotopes artificiels.

Depuis lors, les recherches dans ce domaine se sont énormément multipliées. Dans les pays occidentaux elles furent évidemment considérablement ralenties par la guerre. Il faut citer, néanmoins, qu'en France elles se poursuivirent au Collège de France d'une part, sous l'impulsion de MM. Joliot-Curie, Courrier et leurs collaborateurs, à l'Institut du radium d'autre part, grâce à l'école de M. Lacassagne.

Si, aujourd'hui, l'on désire établir un bilan complet de tout ce qui a été accompli en biologie grâce aux radio-isotopes artificiels, on s'aperçoit que les travaux publiés se comptent déjà par milliers.

Aussi n'ai-je ni l'intention, ni la compétence d'ailleurs, de donner un aperçu général, même sommaire, de la contribution que cette méthode a apporté jusqu'ici à nos connaissances des phénomènes de la vie.

D'ailleurs, comme le soulignait il y a 15 jours M. Haüssinsky à propos de leur emploi en chimie, les isotopes employés comme indicateurs n'ont nullement déterminé l'apparition en biologie d'une nouvelle discipline bien définie. Il s'agit avant tout d'une nouvelle méthode d'investigation biologique, riche de promesses, permettant d'aborder de très nombreux problèmes sous un jour entièrement original. Cette méthode est applicable — et a déjà été appliquée — à l'étude d'une quantité de questions extrêmement diverses, touchant à la physiologie, à la biochimie, à la botanique, à la génétique, à la pathologie, etc.

Nous avons surtout l'intention ce soir d'insister sur l'aspect méthodologique du problème qui nous intéresse, et de l'illustrer à l'aide de quelques exemples précis, peu nombreux mais largement développés.

Ces exemples, nous les avons choisis parmi ceux que nous connaissons le mieux, pour les avoir étudiés en équipe au Collège de France sous la haute direction de MM. Joliot-Curie et Courrier.

Nous espérons de la sorte mettre en évidence les ressources et les limites de cette méthode si fructueuse et originale, plutôt que la somme des connaissances nouvelles qu'elle a permis d'acquérir dans les domaines les plus disparates de la biologie et de la médecine.

Avant d'exposer les modalités de leur emploi en biologie, nous pensons qu'il n'est pas inutile de rappeler brièvement les propriétés physiques fondamentales des radio-isotopes, car ces propriétés physiques constituent le fondement même de la technique des traceurs radioactifs.

Chacun sait aujourd'hui que l'atome se compose d'un noyau central, positivement

(1) Conférence faite le 1^{er} décembre 1949 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

chargé, représentant pondéralement la presque totalité de l'atome, et d'un nombre défini d'électrons satellites qui gravitent autour de lui. L'atome neutre comporte en nombre égal des charges positives dans le noyau et des électrons périphériques. Ce « nombre de charge » caractérise chaque élément chimique. Tous les atomes dont le noyau contient le même nombre de charges positives appartiennent au même élément chimique, et présentent les mêmes propriétés chimiques.

On appelle isotope d'un élément un atome qui possède le même nombre de charges que les atomes de cet élément, mais qui en diffère par son poids atomique : ses propriétés chimiques sont identiques à celles de l'élément : il est donc absolument impossible de l'en séparer chimiquement. Mais ses propriétés physiques pourront se révéler complètement différentes, et c'est même le cas d'un grand nombre d'isotopes préparés artificiellement. Ainsi bombarde-t-on du sodium ordinaire, par exemple, avec des neutrons, particules de masse 1 et de charge nulle : il arrive que des neutrons, venant frapper des noyaux de sodium, s'y fixent : le nouveau noyau ainsi formé sera encore un noyau de sodium, puisque sa charge n'a pas changé, mais le noyau d'un isotope du sodium, puisque sa masse a augmenté d'une unité.

Or ce nouvel arrangement nucléaire confère à l'atome une certaine instabilité, qui se traduit par une probabilité définie de désintégration avec émission d'un ou plusieurs rayonnements d'énergie déterminée.

Ces propriétés sont fondamentales à connaître.

1° La probabilité de désintégration détermine d'abord la *période* du radio-isotope, c'est-à-dire le temps nécessaire pour que la moitié des atomes radioactifs contenus dans une source aient explosé. Si l'instabilité du noyau est grande, la période sera courte, et inversement. Dans la pratique courante, cette notion de période est importante à considérer; la période de certains isotopes est extrêmement courte, se mesurant en minutes, en secondes ou en fractions de seconde même; il est évident que ces isotopes sont inutilisables en biologie, la radioactivité ayant complètement disparu en beaucoup moins de temps qu'il n'en faut à l'expérience elle-même. D'autres isotopes, au contraire,

possèdent des périodes très longues, se chiffrant parfois par milliers d'années, tel l'isotope 14 du carbone, si important, de période d'environ 4 000 ans. Dans ces cas, des précautions minutieuses doivent être prises, pour éviter la contamination progressive des locaux par les déjections d'animaux injectés, par exemple, ou pour éviter que l'absorption par les travailleurs de doses même minimes ne risque à la longue de causer d'irréparables dommages dans l'organisme.

D'une façon générale, les isotopes dont la période est de l'ordre d'un ou de quelques jours sont les plus commodes pour le biologiste.

2° Nous avons dit que le noyau d'un isotope radioactif possédait une certaine *probabilité* de désintégration. C'est dire, d'autre part, que le nombre de désintégrations observées par unité de temps dans une source résulte d'un phénomène statistique. Les écarts entre le nombre effectif des désintégrations mesurées pendant un temps donné et le nombre théorique que l'on devrait trouver obéissent à la loi de Poisson. L'écart est proportionnellement d'autant plus petit que la mesure porte sur un plus grand nombre de « coups ». La formule $\pm \frac{\sqrt{N}}{N}$ donne en

p. 100 l'ordre de grandeur de la fluctuation statistique que l'on est en droit d'attendre pour une mesure portant sur un nombre N de coups.

Ainsi, pour une mesure portant sur 100 coups, la précision sera de l'ordre de 10 p. 100. Sur 1 000 coups, de l'ordre de 3 p. 100, sur 10 000 coups, de l'ordre de 1 p. 100, etc. La précision des résultats d'une expérience de biologie avec les indicateurs radioactifs dépendra donc, entre autres, du nombre de désintégrations radioactives avec lequel chacun des échantillons biologiques aura été mesuré.

3° Enfin, la désintégration s'accompagne de l'émission d'un ou plusieurs rayonnements d'énergie déterminée. Ce sont ces rayonnements que captent individuellement nos appareils de mesure. La plupart des radio-isotopes artificiels sont des émetteurs de rayons β , c'est-à-dire d'électrons. La longueur du parcours de ces rayons β dans la matière est courte et dépend grandement de l'énergie initiale des particules. C'est ainsi que pour certains radio-isotopes dont le

rayonnement β est particulièrement mou, comme celui du Carbone 14 par exemple, il faut utiliser des compteurs de Geiger-Muller spéciaux, à paroi de mica très mince, car leurs rayonnements ne sont pas suffisamment énergiques pour traverser la coque des compteurs ordinaires. La question de la

réabsorption du rayonnement à l'intérieur même des échantillons biologiques dont on veut mesurer la radioactivité peut constituer, si l'on ne prend des précautions minutieuses, une importante source d'erreur, par exemple si l'épaisseur des prélèvements varie beaucoup d'un échantillon à l'autre.

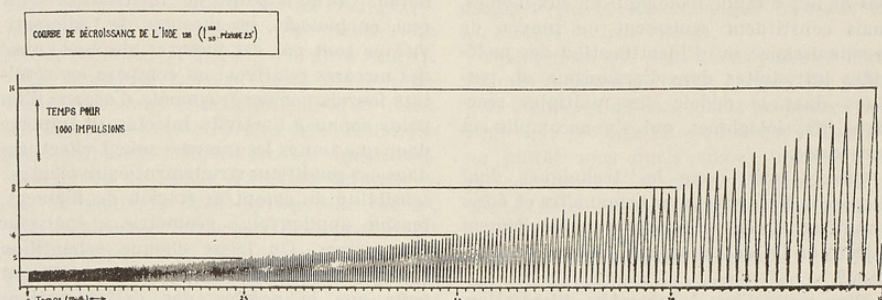


Fig. 1. — Courbe de décroissance de l'Iode $^{138}_{53}$ (période 25 minutes) qui illustre les notions de { période fluctuation statistique.

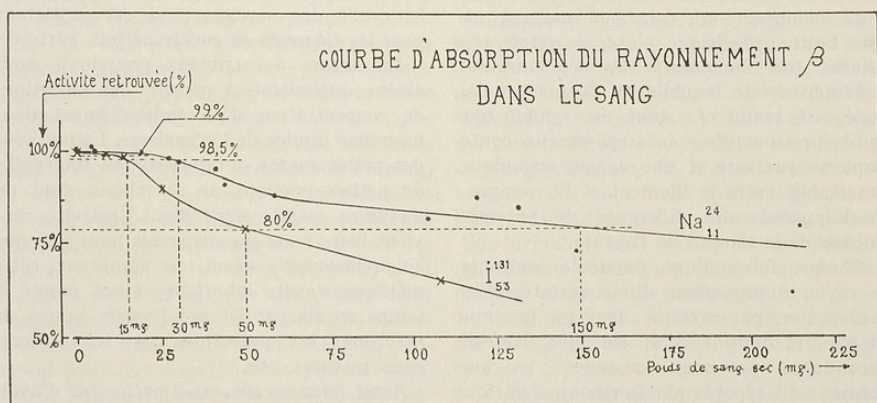


Fig. 2. — Réabsorption du rayonnement en fonction du poids du sang sec pour Na^{24}_{11} ($\beta = 1,4$ Mev) et I^{131}_{53} ($\beta = 0,3$ Mev).

LES MODALITÉS DE L'EMPLOI DES INDICATEURS RADIOACTIFS EN BIOLOGIE.

Le terme de radiobiologie peut prêter à ambiguïté : en effet, sous ce terme coexistent deux ordres de recherches biologiques complètement différentes :

Les premières, qui constituent une branche bien définie de la biologie, ont pour objet l'étude de l'action des rayonnements eux-mêmes sur la cellule vivante, qu'il s'agisse

de rayonnements provenant des isotopes artificiels ou des radio-éléments naturels ou encore des rayons X, ultra-violet, etc. On sait l'importance considérable de cette discipline, déjà ancienne, dans les domaines de la cancérologie, de la génétique, de la thérapeutique. Le problème du mode d'action des rayonnements sur les tissus vivants

apparaît fort complexe et commence à reconnaître de nos jours des explications physico-chimiques très intéressantes. Mais la question dont j'ai à vous parler ce soir est très différente : en effet, dans la radiobiologie qui utilise les radio-éléments comme « indicateurs », les rayonnements émis ne servent pas de but d'étude biologique en eux-mêmes, mais constituent seulement un moyen de reconnaissance ou d'identification des molécules introduites dans l'organisme et perdues dans le dédale des multiples réactions physiologiques qui s'y accomplissent sans cesse.

Quelles sont donc les techniques dont dispose le biologiste pour reconnaître et doser quantitativement la teneur en radio-élément injecté de tel ou tel organe ou fraction d'organe ?

Plus encore que la chambre d'ionisation, l'instrument de base actuellement est le compteur de Geiger-Muller. Qu'il s'agisse de compteurs en cloche ou de compteurs cylindriques, le principe en est toujours le même :

Le compteur est constitué souvent par une boîte cylindrique close, à parois très minces (de magnésium ou d'aluminium), à l'intérieur de laquelle un filament axial, isolé, est tendu. Le tout est rempli sous faible pression d'un mélange gazeux contenant un gaz rare et une vapeur organique. On établit entre le filament et la « coque » de l'appareil une différence de potentiel voisine de la tension de rupture.

Chaque fois qu'une particule ionisante, le rayon β provenant d'une désintégration radioactive, par exemple, traverse la coque et pénètre dans le compteur, des électrons secondaires prennent naissance; les ions formés sont séparés par le champ électrique et une « cascade » d'électrons atteint le filament, donnant naissance à un très léger courant. Ce courant est repris dans un système d'amplification convenable, puis envoyé dans une « échelle » qui permet, grâce à une chaîne de culbuteurs électroniques, de dénombrer et de compter individuellement chaque particule ionisante qui a pénétré dans le compteur. Le temps mort du compteur est presque nul, si bien qu'il est possible de mesurer l'activité de sources radioactives donnant jusqu'à 10 000 impulsions par minute. Si l'échelle est construite pour « compter » 100 impulsions, un numérateur télé-

phonique, placé à sa sortie, permet d'enregistrer les centaines, les milliers, les dizaines de milliers, etc.

On a proposé de nombreuses techniques de préparation des échantillons biologiques à mesurer au compteur Geiger-Muller. Nous n'avons pas l'intention d'entrer ici dans leur détail. Ce qu'il suffit de bien savoir c'est que, en biologie, les mesures de radio-activité ne sont pas des mesures absolues, mais des mesures relatives; on compare les résultats fournis par des fragments d'organe d'un poids connu à l'activité injectée. Il importe donc que toutes les mesures soient effectuées dans des conditions strictement équivalentes : sensibilité du compteur (région du filament, tension appliquée), « géométrie », épaisseur des sources. On laisse chaque échantillon en face du compteur un temps suffisant pour que le nombre des désintégrations mesurées donne dans les résultats la précision statistique désirée. Éventuellement on corrige les résultats en tenant compte de la décroissance du radio-élément pendant la durée des mesures (ceci est important pour les éléments de courte période surtout).

La nature des travaux poursuivis nous amène quelquefois à mesurer les variations de concentration d'un radio-élément dans un milieu liquide de l'organisme. La méthode des prélèvements, d'intervalle en intervalle, de petites portions de ce milieu, dont on mesurera ensuite séparément l'activité, convient bien, dans ces cas; mais pour peu que les prélèvements soient très nombreux, cette méthode s'avère laborieuse étant donné le temps requis par les nombreuses pesées de précision, la confection des échantillons, leurs mesures, etc.

Aussi, dans ces cas, est-il préférable d'avoir recours à des méthodes permettant l'enregistrement graphique automatique des variations de concentration en fonction du temps. Le principe est simple : il consiste, d'une part, à faire circuler le milieu biologique liquide dans un tube passant autour du compteur : le nombre d'impulsions enregistrées par unité de temps sera donc proportionnel à chaque instant à la concentration actuelle du radio-élément dans le milieu. L'on dispose, d'autre part, d'un cylindre enregistreur, tournant à vitesse constante en fonction du temps; un style inscripteur monte à vitesse constante, lui aussi. Chaque

fois que 1 000 impulsions exactement ont été « comptées » par le numérateur, un dispositif fait redescendre au zéro le style inscripteur. La hauteur de chaque trait correspond au temps pour 1 000 impulsions. Elle est donc inversement proportionnelle à la concentration. C'est un tel « intégrateur mécanique » qui a permis l'enregistrement de la décroissance d'un échantillon d'iode radioactif (I^{131}) que présente la figure 1.

Le biologiste dispose encore d'une autre technique complètement différente de celles employant des compteurs : c'est la technique photographique. Moins précise quantitativement — du moins à l'heure actuelle — que la méthode de comptage, elle permet une localisation beaucoup plus précise du radio-élément dans les tissus. Voici son principe : une coupe histologique très fine de l'organe étudié est placée au contact d'une émulsion photographique; l'ionisation provoquée par les rayonnements radioactifs impressionne la gélatine aux endroits précis où l'isotope s'est fixé. Coupe microscopique et plaque photographique restent accolées pour la coloration histologique, pour le développement de la gélatine et pour l'examen au microscope. Cependant, un obstacle limite encore actuellement l'emploi de cette technique. En effet, les rayonnements sont émis dans n'importe quelle direction de l'espace, et d'autre part, avec les gélatines ordinaires les trajectoires des particules ne sont pas individuellement discernables (sauf pour les rayons α , mais les isotopes émetteurs α et les radio-éléments naturels sont relativement peu intéressants pour le biologiste). Les phénomènes de diffusion qui en résultent ne confèrent pas à cette méthode un pouvoir séparateur suffisant pour permettre de localiser l'émission à l'échelle cellulaire ou même d'un constituant cellulaire. Il est hautement probable que les nouvelles plaques à électrons que l'on commence à fabriquer depuis peu, et qui permettent de photographier avec précision la trajectoire d'un électron individuellement, rendront d'immenses services aux biologistes et donneront à cette méthode photographique — « l'autohistoradiographie » — tout l'essor qu'elle mérite. Projections de deux exemples :

Radio-strontium dans un os (fémur) (Hevesy, p. 442) radio-iode dans une thyroïde de rat (Leblond).

Ajoutons que les biologistes français peuvent aujourd'hui aisément poursuivre des recherches mettant en œuvre les indicateurs radioactifs grâce, d'une part, à l'excellence des installations de comptage fabriquées en série par le Commissariat à l'Énergie atomique, grâce, d'autre part, aux nombreux isotopes que la pile atomique française est en mesure de leur fournir.

Maintenant que nous avons passé en revue les principales modalités de l'emploi des radio-indicateurs, examinons quels problèmes nouveaux de biologie ils permettent d'aborder, ou plutôt sous quels angles nouveaux ils permettent de les aborder. Ici, pour plus de clarté, nous distinguerons, un peu arbitrairement, leurs applications en physiologie et leurs applications en biochimie, en développant largement un exemple pour chacun de ces domaines.

D'une façon très générale, les indicateurs radioactifs permettent soit l'étude *dynamique* précise d'une quantité de phénomènes pour lesquels les méthodes classiques ne nous fournissaient que des *bilans*, soit de chiffrer quantitativement la pénétration de molécules déterminées dans des tissus où des organes où les méthodes d'analyse chimique habituelles ne seraient jamais parvenues à les discerner tant ces quantités sont infimes.

En physiologie, la méthode permet de mesurer des taux d'absorption digestive, de pénétration dans tel ou tel organe, d'excrétion urinaire, etc., etc., pour une foule de substances physiologiques, et dans des conditions normales ou pathologiques.

Voici dans son détail un exemple : celui de la mesure de la perméabilité capillaire à l'aide du radio-sodium.

C'est une donnée banale que le système vasculaire constitue un ensemble anatomiquement clos. C'est une donnée non moins banale que la circulation sanguine apporte aux cellules des différents organes les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires et en emporte les déchets. Il doit donc se produire continuellement des échanges entre liquides intravasculaires et extravasculaires à travers les parois de certains vaisseaux. En réalité ces échanges s'effectuent au niveau des vaisseaux les plus fins, les capillaires sanguins, extraordinairement abondamment distribués dans tous les territoires de l'organisme. Le diamètre de ces canalicules micro-

scopiques est de l'ordre de grandeur d'un globule rouge, donc quelques microns à peine; leur longueur, variable, ne dépasse jamais quelques centaines de microns. C'est dire que l'étude expérimentale des phénomènes d'échanges qui se produisent le long de leur paroi est totalement impraticable

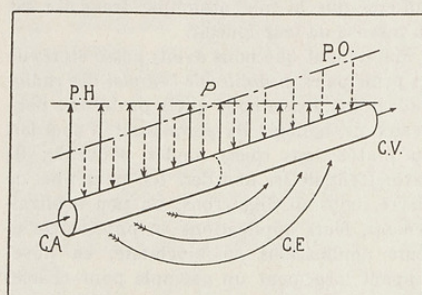


Fig. 3.

avec les méthodes de la physiologie classique, et pourtant ces échanges seraient très importants à mesurer quantitativement, puisqu'en définitive c'est d'eux que dépend toute la nutrition cellulaire.

Depuis de nombreuses années déjà, une théorie physiochimique séduisante a été proposée par Starling pour expliquer quelles forces et quels mécanismes permettent les échanges capillaires. Cette théorie, d'ailleurs, n'a pu recevoir encore ni infirmation, ni confirmation décisive.

La figure 3 en montre le schéma. Deux forces antagonistes s'exercent au niveau de la paroi capillaire : la pression colloïde-osmo-

tique (P. O.) (provoquée par la présence dans le sang des protéines plasmatiques pour lesquelles la paroi capillaire est imperméable) tend à faire entrer les liquides extravasculaires vers l'intérieur du capillaire. Cette force est égale en grandeur tout au long du capillaire. Au contraire la pression hémodynamique P. H., d'origine cardiaque, décroît le long du capillaire et s'exerce vers l'extérieur. A l'extrémité artérielle du capillaire (C. A.), la pression hémodynamique dépasse la pression colloïde-osmotique : le liquide filtre. Au point P, point d'inversion, les deux forces sont égales, rien ne traverse la paroi. Enfin, à l'extrémité veineuse du capillaire, la pression colloïde-osmotique domine et du liquide extravasculaire rentre dans le capillaire. Il en résulte une sorte de « courant extracapillaire », grâce auquel s'accompliraient les échanges nutritifs entre le sang et les cellules qui baignent dans les liquides extravasculaires.

Voici maintenant comment les radio-isotopes nous permettent d'aborder l'étude quantitative de ce problème.

Les liquides extracellulaires de l'organisme (dont nous appellerons le volume total V) peuvent se décomposer, grossièrement, en deux grands compartiments :

— Les liquides intravasculaires (dont nous appellerons le volume v_1)

— Les liquides extravasculaires ou interstitiels (de volume v_2).

Soit à mesurer les échanges physiologiques qui s'accomplissent sans cesse entre ces deux volumes, à travers les parois vasculaires qui les séparent.

Nous choisirons, comme « traceur » de ces

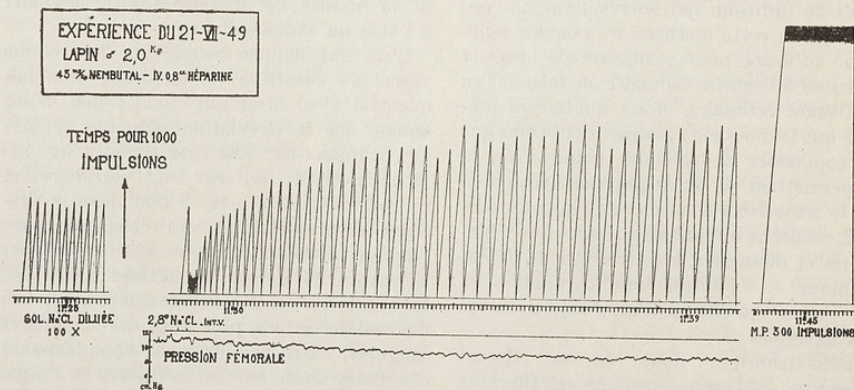


Fig. 4.

échanges, un élément typiquement extra-cellulaire, le Sodium, dont la concentration normale dans v_1 et $v_2 = 3,4$ mg/cm³.

Au temps $t = 0$ du début de la mesure, introduisons une quantité (Q) très faible et exactement connue de radio-sodium dans le compartiment intravasculaire, puis suivons en fonction du temps les variations de concentration du radio-élément traceur dans le sang. La figure 4 montre une courbe obtenue expérimentalement dans ces conditions, chez le lapin, à l'aide d'un intégrateur mécanique. Le sang circulait sans cesse autour du compteur de Geiger-Muller. La hauteur de chaque trait du graphique correspond au temps requis pour 1 000 impulsions. Elle est donc inversement proportionnelle à la concentration actuelle du radio-sodium dans le sang. Au début du tracé, on voit sur la figure 4 l'activité de la solution radioactive injectée après dilution au 100°. En fin d'expérience, le « mouvement propre » (M. P.), c'est-à-dire la radio-activité parasite provenant de l'animal, d'intensité négligeable.

La figure 5 montre la courbe de concentration du radio-sodium dans le plasma, obtenu point pour point à partir de la figure 4. Après une courte phase de mélange circulatoire, la décroissance de la concentration du radio-sodium dans le sang apparaît exponentielle et tend vers un équilibre. Les valeurs initiales (C_{max}) et finales (C_{min}) de la concentration permettent le calcul des volumes intervenant dans cet équilibre.

$$\text{En effet} \quad v_1 = \frac{Q}{C_{max}}$$

$$V = v_1 + v_2 = \frac{Q}{C_{min}}$$

Quant au taux de décroissance exponentielle (pente de la droite obtenue en coordonnées semi-logarithmiques), il permet le calcul quantitatif des échanges sodiques continus entre v_1 et v_2 , soit la perméabilité des capillaires pour le sodium ($P =$ mg de sodium par seconde et par kg de poids).

En effet, si à un temps t quelconque, la conc. du radio-sodium dans $v_1 = C$,

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{il sort de } v_1 : \\ \frac{C}{3,4} P \Delta t \text{ mg de radio-sodium} \\ \text{pendant } \Delta t \\ \text{il rentre dans } v_1 : \\ \frac{Q - C V_1 P \Delta t}{v_2 3,4} \text{ mg} \\ \text{de radio-sodium.} \end{array} \right.$$

Ce qui fournit l'équation suivante de la conc. C en fonction du temps :

$$C = (C_{max} - C_{min}) e^{-\frac{VP}{v_1 v_2 3,4} t} + C_{min}$$

$$\ln(C - C_{min}) = -\frac{VP}{v_1 v_2 3,4} t + \ln(C_{max} - C_{min}).$$

C'est l'équation d'une droite, dont la pente $K = \frac{VP}{v_1 v_2 3,4}$, peut être mesurée graphiquement (cf. fig. 5). Dès lors, connaissant K ,

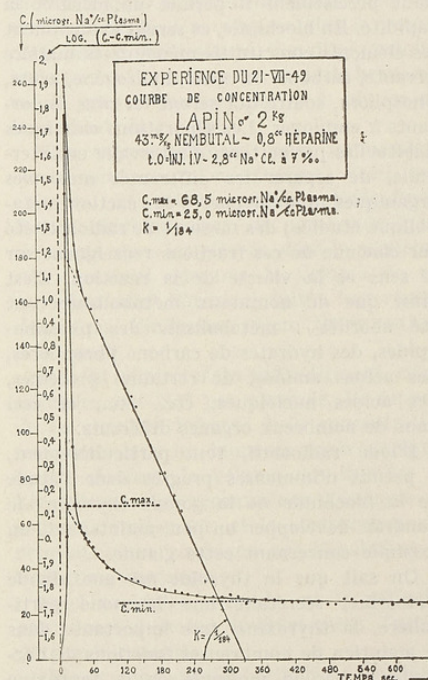


Fig. 5.

v_1 , v_2 et V , le calcul de P est facile. En effet,

$$P = \frac{v_1 v_2 3,4}{V} 2,3 K \quad \text{où}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 3,4 = \text{conc. du sodium dans les} \\ \text{humeurs (mg/cc).} \\ 2,3 = \text{coefficient de transfor-} \\ \text{mation des log en ln.} \end{array} \right.$$

Les échanges capillaires de sodium, mesurés chez le lapin par cette méthode, se montent en moyenne à :

$P = 2$ mg de sodium par seconde et par kg de poids.

Cet exemple illustre bien, je pense, les ressources qu'apportent les indicateurs en physiologie : ils permettent l'étude de toute une « cinétique » dans l'organisme, dont nous étions incapables de mesurer l'importance.

En biochimie aussi, les indicateurs permettent d'aborder de nombreux problèmes dynamiques, mais dans cette discipline, par définition, c'est plus précisément de cinétique chimique qu'il s'agit, le radio-traceur prenant part à des réactions de synthèse dont précisément il permet de mesurer la rapidité. En biochimie, ce seront évidemment les éléments constitutifs même de la matière vivante, carbone, oxygène, hydrogène, azote, phosphore, soufre qui seront les plus importants à employer. Les séparations chimiques habituelles permettent, d'intervalle en intervalle, de séparer les différentes molécules organiques prenant part à la réaction métabolique étudiée; des mesures de radioactivité sur chacune de ces fractions renseignent sur le sens et la vitesse de la réaction. C'est ainsi que de nombreux métabolismes ont été abordés : métabolisme des phospholipides, des hydrates de carbone phosphorés, des acides aminés, de certaines protéines, des acides nucléiques, etc., etc., et ceci dans de nombreux organes différents.

L'iode radioactif, tout particulièrement, a permis d'immenses progrès dans l'étude de la biochimie de la glande thyroïde. Je voudrais développer un peu, maintenant, un exemple concernant cette glande.

On sait que la thyroïde est une glande endocrine, sécrétant une hormone particulière, la thyroxine, très importante dans le maintien de nombreuses fonctions de l'organisme. Or la molécule de la thyroxine renferme 4 atomes d'iode, si bien que la grande thyroïde, qui pourtant en poids représente une infime fraction du corps, constitue le principal organe d'accumulation de l'iode. L'iode radioactif, injecté à dose infinitésimale à l'animal, se précipite littéralement dans cette glande, et après quelques heures déjà la presque totalité de la dose s'y trouve localisée; les différentes étapes de la synthèse de l'hormone dans la glande ont pu être étudiées de la sorte.

Un autre problème de grand intérêt consiste à rechercher à l'aide de thyroxine marquée de quelle façon l'hormone thyroï-

dienne agit sur le métabolisme. On sait que l'activité sécrétoire de la thyroïde est sous la dépendance d'une hormone hypophysaire, la thyroïdostimuline; cette hormone stimule la production de thyroxine par la thyroïde. De même il semble que ce soit le taux de thyroxine circulante qui contrôle la sécrétion de thyroïdostimuline par l'hypophyse. Ce double contrôle hormonal permet un équilibre endocrinien constamment harmonieux. La question qui se pose est de savoir si la thyroxine agit directement sur l'hypophyse ou indirectement, par l'intermédiaire du système nerveux. Le taux de la thyroxine circulante est beaucoup trop faible pour que ce problème puisse être abordé avec les méthodes habituelles de la chimie biologique. Nous allons voir jusqu'à quel point l'emploi de thyroxine radioactive permet de répondre à cette question.

La thyroxine est la première hormone radioactive qui ait été synthétisée. Sa synthèse et les premiers travaux biologiques qu'elle permit furent réalisés en France par MM. Joliot, Courrier et leurs collaborateurs, en 1944. Cette synthèse s'opère *in vitro* de la façon suivante : on part de l'avant-dernière étape de la synthèse classique de Barger et Harrington, la diiodothyronine. En milieu alcalin, on ajoute à une solution contenant de l'iode radioactif et de la diiodothyronine une solution d'iodate. Le mélange iode-iodate libère de l'iode métalloïdique naissant (dont une partie est radioactive) qui se fixe sur la molécule de diiodothyronine pour donner de la thyroxine radioactive. On augmente autant que possible la radioactivité spécifique de la thyroxine (c'est-à-dire le pourcentage des molécules marquées par rapport aux non-marquées) en travaillant avec une source d'iodures aussi intense que possible et en réduisant la quantité de diiodothyronine.

Cette thyroxine marquée est ensuite administrée à l'animal, au lapin par exemple, par injection intra-veineuse. Des lapins témoins reçoivent la même dose en iode et en radioactivité sous formes d'iodures. Deux heures après l'injection, on tue les animaux, on prélève l'hypophyse et un échantillon de sang. On exprime les résultats en établissant le rapport de l'activité de l'hypophyse à l'activité d'un même poids de sang. Si ce rapport est supérieur à 1, il est évident que

de la thyroxine a pénétré électivement dans les cellules de l'hypophyse. Mais s'il lui est inférieur, la radioactivité trouvée dans l'hypophyse totale correspond-elle uniquement à la radioactivité des liquides extra-vasculaires de l'hypophyse, en équilibre avec le plasma sanguin, ou aussi à une légère activité intracellulaire? Deux méthodes permettent de répondre à cette question :

1° Injecter simultanément à la thyroxine un élément strictement extra-cellulaire comme le sodium : le rapport $\frac{\text{hyp}}{\text{sang}}$ pour le sodium mesurera le volume des liquides extra-cellulaires.

Si le rapport $\frac{\text{hyp}}{\text{sang}}$ pour la thyroxine lui est supérieur, l'écart correspondra à la pénétration intra-cellulaire.

2° Si la pénétration intra-cellulaire dans l'hypophyse est (en valeur absolue) indépendante de la dose de radio-thyroxine injectée, il faut travailler avec des doses beaucoup plus faibles d'une thyroxine beaucoup plus radioactive : la radioactivité des liquides extra-cellulaires deviendra faible par rapport à la radioactivité intra-cellulaire et le rapport $\frac{\text{hyp}}{\text{sang}}$ dépassera 1.

C'est ce qui se produit dans la pratique, et pour obtenir un rapport $\frac{\text{hyp}}{\text{sang}}$ de l'ordre de 2 à 3, il faut injecter une dose très faible (250 γ /kg) d'une thyroxine donnant 40.000 impulsions par γ . Dès lors, la mesure de la pénétration de la thyroxine dans les cellules hypophysaires devient possible. L'hypophyse se montre même l'un des seuls organes qui fixe électivement la radio-thyroxine, bien que l'ordre de grandeur de la pénétration soit, en 2 heures, fabuleusement faible, se montant pour une hypophyse de lapin à environ 1 millionième de milligramme par milligramme de tissu glandulaire.

Nous pensons que cet exemple illustre bien l'extraordinaire sensibilité de la méthode des indicateurs. Il montre aussi l'importance de cette notion primordiale pour le biologiste : la radioactivité spécifique. C'est d'elle que dépend, en fin de compte, la sensibilité de cette technique nouvelle.

Je m'excuse de ne pouvoir consacrer davantage de temps à tout le travail qui a été accompli en biochimie grâce aux indicateurs,

car je voudrais consacrer les quelques instants qui me restent aux applications médicales de cette méthode.

A vrai dire, dans ce domaine comme dans celui de la radio-biologie, nous constatons deux applications des radio-isotopes complètement différentes : la première les utilise comme traceurs et, à ce titre, ils rendront surtout des services en clinique comme moyen de diagnostic, et pour des épreuves de laboratoire. La deuxième se sert des propriétés biologiques de leurs rayonnements à des fins thérapeutiques proprement dites; bien que dans ces cas-là il ne s'agisse plus à proprement parler d'indicateurs, j'en dirai quelques mots tout à l'heure, car on en parle beaucoup — et même abusivement — à propos du traitement du cancer.

Mais voyons d'abord leurs applications comme *indicateurs* en clinique. Voici, par exemple, un malade souffrant d'une insuffisance cardiaque avec de nombreux épanchements, dans les plèvres, dans le péritoine, etc. Comment mesurer le volume de ces épanchements? Comment suivre leur régression sous l'influence d'un thérapeutique cardiaque?

Il suffit d'injecter un radio-élément extra-cellulaire, du Na^* par exemple. Le rapport de la quantité injectée à la concentration retrouvée dans les humeurs après quelques heures donnera le volume des liquides de l'organisme. On recommence l'épreuve en cours de traitement, et la comparaison des résultats nous renseigne sur l'évolution de l'affection cardiaque.

Voici un autre exemple, où le radio-élément sert à tester indirectement l'action d'un médicament.

On sait que l'une des hormones de la glande surrénale sert à assurer l'équilibre osmotique du sang, en permettant, notamment, au rein d'éliminer de l'eau tout en retenant du sodium. L'emploi de sodium radioactif comme traceur permet d'étudier comment cette hormone, la desoxyxorticoesterone, agit sur la concentration du sodium dans les urines chez les animaux normaux, carencés en hormone ou carencés en sodium.

Enfin, quelles sont les applications des radio-isotopes artificiels en thérapeutique?

D'une façon très générale les radiations ionisantes sont toxiques, à fortes doses, pour les tissus, détruisant tout particuliè-

rement les cellules qui se multiplient fréquemment. Or les cellules cancéreuses prolifèrent abondamment et sont particulièrement sensibles aux radiations. C'est sur ce principe que l'on utilise les rayons X et le radium en irradiation locale pour lutter contre les tumeurs malignes. Or, ne pourrait-on remplacer cette irradiation externe par une irradiation interne à l'aide d'une substance radio-marquée qui, introduite dans l'organisme, irait se localiser électivement dans le tissu cancéreux et y accomplirait une sorte de radiothérapie spécifique?

En réalité, nous ne connaissons pas, à l'heure actuelle, de substance qui possède un pareil tropisme pour le tissu cancéreux. Un seul cas particulier a apporté déjà quelques résultats heureux dans ce sens. Nous avons dit déjà que l'iode possède une affinité très particulière pour la cellule thyroïdienne, et qu'il se concentre abondamment, électivement, dans la glande. Or la thyroïde donne naissance, parfois, à des cancers, dont il existe même plusieurs formes différentes. Ces cancers sont d'autant plus dangereux qu'ils se disséminent souvent très précocement, donnant lieu à des cancers secondaires; ceux-ci se logent fréquemment dans le tissu osseux, dans les points les plus divers du squelette, et leur dépistage offre parfois de grandes difficultés; inutile d'ajouter qu'à ce stade de dissémination généralisée, aucune intervention chirurgicale n'est plus praticable. De même des applications de rayons X sont insuffisantes car elles ne parviennent pas à atteindre tous les foyers. En injectant, dans ces cas désespérés, de l'iode radioactif à fortes doses, l'iode se précipite et se concentre dans le tissu thyroïdien cancéreux partout où il s'en trouve; la toxicité du rayonnement émis sur place détruit peu à peu le tissu cancéreux.

Ce traitement a été appliqué déjà avec succès. Il convient, cependant, de bien

insister sur les faits suivants : ce mode de traitement du cancer n'est nullement susceptible de généralisation. En effet, le tissu thyroïdien est le seul à exercer un tropisme aussi particulier sur un élément chimique. Ensuite, même parmi les cancers thyroïdiens, toutes les formes ne conservent pas cette affinité pour l'iode que possède la cellule thyroïdienne dont elles dérivent. Enfin, il n'est pas du tout certain que la radio-activité de l'iode injecté à doses massives ne provoque pas de dommages sur d'autres organes — le rein par exemple — quoiqu'elle s'y exerce à des concentrations très inférieures. Même limitée à un nombre restreint de malades, on peut affirmer que, si cette thérapeutique apporte soulagement et répit à quelques cas sinon désespérés, elle constitue une brillante victoire de la radio-activité artificielle au service de la médecine.

Au cours de cet exposé bien incomplet et fragmentaire, je m'en excuse, j'espère avoir suffisamment souligné l'immense intérêt que présente, pour le biologiste, la méthode des indicateurs radioactifs; j'espère aussi avoir montré, sinon l'extraordinaire diversité des sujets qu'elle permet d'aborder, du moins les principales modalités de son emploi.

Je m'en voudrais de terminer sans insister sur l'une des limites de cette méthode, de ses graves limites : les rayonnements des corps radioactifs sont toxiques, ils sont dangereux. Il y a 50 ans, on ignorait tout de ces dangers. L'expérience, quelquefois douloureuse, que les radio-éléments naturels et les rayons X ont permis d'acquérir depuis cette époque doit nous servir de leçon : Il importe de ne généraliser l'emploi de ce splendide instrument de recherches que sont les radio-isotopes artificiels que si toutes les mesures indispensables de précaution et de contrôle sont largement mises en œuvre simultanément.

COMPTES RENDUS DES SEANCES PUBLIQUES

SÉANCE PUBLIQUE DU 17 NOVEMBRE 1949

Allocution de M. Louis PINEAU, Président.

Mesdames, Messieurs,

Je rappellerai simplement, que la Conférence d'aujourd'hui est la première d'une série de deux exposés consacrés aux Indicateurs radioactifs et organisés par notre Comité des Arts physiques. La seconde, qui aura lieu le 1^{er} décembre, sera faite par M. François Morel, médecin attaché au Commissariat à l'Energie atomique, sur les applications à la biologie et à la médecine.

Dans celle d'aujourd'hui, M. Haïssinsky va

traiter des applications proprement industrielles.

Je remercie Monsieur l'Ingénieur Général Garnier, Président du Comité des Arts physiques, d'avoir accepté de faire l'introduction de cette conférence, à la place de M. Chevenard, absent de Paris en raison d'un deuil de famille.

Avant de lui donner la parole, qu'il me soit permis de remercier M. Garnier pour l'active et précieuse contribution que le Comité des Arts physiques apporte, cette année encore, au programme de nos conférences.

Introduction par Monsieur l'Ingénieur Général GARNIER,

Président du Comité des Arts Physiques.

Mesdames, Messieurs,

Les indicateurs radioactifs n'offrent pas seulement un intérêt d'actualité scientifique. Ils permettent aujourd'hui d'envisager l'utilisation généralisée de méthodes qui ont fait leurs preuves dans les laboratoires de recherches. Ces problèmes sont donc parvenus au stade où ils doivent attirer tout spécialement l'attention d'une Société comme la nôtre, vouée à la coordination entre la Science et l'Industrie.

Les indicateurs radioactifs comportent deux grands domaines d'application : d'une part la *chimie* — chimie générale, chimie analytique, électro-chimie, métallurgie et industries apparentées; de l'autre la biologie et la médecine. C'est au premier de ces domaines qu'est consacrée la Conférence d'aujourd'hui.

Domaine extrêmement vaste, mais, par la diversité des travaux qu'il a poursuivis, M. Haïssinsky est tout à fait qualifié pour y être notre guide.

C'est au Laboratoire Curie, où il est entré en 1930 après avoir travaillé dans un laboratoire industriel sur le cracking catalytique du

Pétrole et où il est demeuré sans interruption, sauf pendant l'occupation, que se sont poursuivies les recherches de M. Haïssinsky.

Jusqu'à la guerre il s'est surtout occupé de l'électrochimie et de la physico-chimie des radio-éléments, en se proposant un double but :

1^o application des lois et des méthodes physico-chimiques générales à l'étude des propriétés de quantités infiniment petites;

2^o utilisation des substances radioactives comme indicateurs dans l'étude de certains problèmes physico-chimiques fondamentaux, notamment les processus aux électrodes.

Parmi les éléments qu'il a particulièrement étudiés, il faut noter le polonium, le protactinium, le radium, le bismuth, le baryum, le titane, le tantale. Toute l'électrochimie du protactinium (dépôts cathodique et anodique, valence inférieure) a été faite dans son laboratoire.

Parmi les problèmes examinés et souvent résolus citons l'application de la loi électrochimique de Nernst aux solutions extrêmement diluées, la structure des surfaces métalliques et notamment l'existence des « centres actifs », les radio-colloïdes, la signification

thermodynamique des produits de solubilité d'électrolytes très peu solubles, etc.

Après la guerre, tout en continuant ses travaux d'électrochimie, il s'est plus particulièrement consacré à l'utilisation des indicateurs radioactifs dans l'étude des phénomènes d'échange isotopique, en particulier entre les métaux et leurs ions en solution. Un Colloque International fut convoqué par le C. N. R. S. en 1948 à Paris sur son initiative, pour discuter de ces problèmes.

En marge de ces questions, mais en relation avec elles, M. Haïssinsky s'est occupé de certains problèmes de structure en chimie minérale en complétant et en utilisant l'échelle des électronégativités. Celle-ci lui a permis d'établir certaines règles sur la formation des peroxydes, des hydrures métalliques, d'expliquer les variations des cha-

leurs de formation dans le système périodique, etc.

En dehors de plus de 80 mémoires et notes publiés dans les périodiques français et étrangers, M. Haïssinsky est l'auteur de l'ouvrage : *L'atomistique moderne et la chimie* dans la collection Langevin-Perrin-Urbain, 1931 (couronné par l'Académie des Sciences), et des monographies : « Les radio-colloïdes » (1934), « Le polonium » (1936), « Electrochimie des substances radioactives » (1946), dans « Les Actualités Scientifiques et Industrielles ».

Ainsi la contribution personnelle que M. Haïssinsky a apportée à l'étude de toutes ces questions lui donne ici une compétence toute particulière et je le remercie de nous en faire profiter aujourd'hui.

Voir page 37, le texte de la Conférence :

Les Indicateurs radioactifs en chimie minérale et leurs applications industrielles

par M. M. HAÏSSINSKY,
Maître de Recherches à l'Institut du Radium, Paris.

Liste des nouveaux membres présentés à la séance du 17 novembre 1949.

M. CHAUMELLE (Pierre), Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique, Directeur du Centre de Documentation Sidérurgique, 12, rue de Madrid, Paris (8^e), présenté par M. Louis Pineau.

M. VEYSSIÈRE (Henri), Directeur des Forges et Chantiers de la Seyne, La Seyne (Var), présenté par M. Louis Pineau.

CENTRE DE DOCUMENTATION SIDÉRURGIQUE, 12, rue de Madrid, Paris (VIII^e), présenté par M. Louis Pineau.

CHANTIERS DE LA SEYNE (Société anonyme des Forges et Chantiers de la Méditerranée), La Seyne (Var), présentés par M. Louis Pineau.

SÉANCE PUBLIQUE DU 1^{er} DÉCEMBRE 1949

Allocution de M. Louis PINEAU, président.

Je suis particulièrement heureux de rappeler que notre éminent Collègue du Conseil, M. Maurice Roy, Directeur de l'O. N. E. R. A., vient d'être élu Membre de l'Académie des Sciences.

M. Maurice Roy a été lauréat de la Société d'Encouragement (médaille d'or en 1945)

pour ses travaux sur l'écoulement des fluides.

Il fait, depuis cette année, partie de notre Conseil, au titre du Comité des Arts mécaniques où, dès son entrée, il nous a apporté un précieux concours. Il a notamment participé au Colloque sur l'enseignement de la mécanique pour la formation des Ingénieurs, dans

lequel il a traité plus particulièrement de l'enseignement de la mécanique des fluides.

Je suis sûr d'être l'interprète de tous nos Collègues en adressant à M. Maurice Roy nos très vives félicitations.

Le Président remercie ensuite M. Raoul Dautry, Délégué Général à l'Energie atomique, qui a bien voulu, en honorant cette Séance de sa présence, lui apporter la consécration de sa haute autorité.

Allocution de M. Raoul DAUTRY.

M. Raoul Dautry présente le Conférencier, médecin attaché au Commissariat à l'Energie atomique, et le félicite de l'heureuse alliance qu'il incarne entre les sciences physiques et mathématiques et les sciences biologiques.

Évoquant l'œuvre poursuivie à Châtillon et les réalisations prévues à Saclay, effort indispensable étant donné le vaste champ d'application des radio-isotopes, M. Dautry

rappelle que ces magnifiques moyens nouveaux sont à la disposition de toutes les activités scientifiques et industrielles françaises.

Il était toutefois nécessaire qu'ils fussent bien connus de tous ceux qui peuvent avoir à y recourir. Leur en exposer les principales ressources c'est là le but essentiel des deux Conférences organisées par la Société d'Encouragement.

Voir page 51, le texte de la Conférence :

Les Indicateurs radioactifs en biologie et leurs applications médicales

par M. François MOREL,

Médecin-biologiste attaché au Commissariat à l'Énergie atomique.

Nouveau membre présenté à la séance du 1^{er} décembre 1949.

ÉTABLISSEMENTS MANINGUE ET PERSONNAZ
(Chantiers et fabriques de boulets), 9,

route de Vaugirard, Meudon (S.-et-O.),
présentés par M. Louis Pineau.

DIVERS

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DU 22 DÉCEMBRE 1949

L'Assemblée s'est réunie à 17 h. 30 sous la présidence de M. Louis PINEAU.

Le procès-verbal de l'Assemblée du 20 juin 1949 est approuvé.

RATIFICATION DES NOMINATIONS DE MEMBRES DU CONSEIL.

Sont déclarés membres du Conseil d'Administration :

M. ROY (Arts mécaniques); M. DUFRAISSE (Arts chimiques); M. AILLERET, M. GALLIENNE, M. ROUVILLOIS (Arts économiques); M. CARPENTIER (Constructions et Beaux-Arts).

ÉLECTION DU BUREAU POUR 1950.

Le quorum statuaire de 100 membres votants étant atteint, sont déclarés membres du Bureau :

M. PINEAU (Président); M. FIEUX, M. DUBRISAY, M. ROGER, M. PONTZEN, M. PÉRARD (Vice-Présidents); M. ROLLEY, M. JEAN (Secrétaires généraux); M. PETIT (Trésorier); M. MATHERON, M. OPPENHEIM (Censeurs).

FIXATION DU MONTANT DE LA COTISATION POUR 1950.

La cotisation est maintenue à 1.000 fr pour les particuliers (3.000 fr pour les Sociétés).

QUESTIONS DIVERSES.

Le Président indique le programme des prochaines conférences. Il rappelle le développement de l'activité de la Société au cours de l'année 1949, notamment la reprise de la publication du bulletin, rend hommage aux concours qui ont permis d'obtenir ces résultats et remercie d'avance ses collègues de bien vouloir s'associer à l'effort entrepris pour maintenir et accroître le rayonnement de la Société par le recrutement de nouveaux Membres.

Il rappelle d'autre part qu'un Comité d'Initiative a été institué pour préparer la commémoration en 1951 du Cent-Cinquantième de la Société. Parmi les projets à l'étude figure un ensemble d'exposés destinés à rappeler que, dans certains domaines, la technique française continue à jouer un rôle de premier plan.

NÉCROLOGIE

M. René OPPENHEIM

1^o *Extrait de l'allocution de M. Louis Pineau à la séance du 19 janvier 1950.*

J'ai le regret de faire part du décès de notre collègue M. René Oppenheim.

C'était une personnalité éminente de l'Industrie française, que notre Société s'honorait de compter parmi ses Membres.

Né en 1873, M. René Oppenheim était entré à l'Ecole Polytechnique en 1892 et il en était sorti dans le Corps des Ponts et Chaussées, auquel il appartenait jusqu'en 1908, au titre de

divers services : Travaux hydrauliques de la Marine, Navigation, Contrôle des Chemins de fer.

M. Oppenheim était devenu ensuite administrateur à la Société Le Carbone dont il fut plus tard l'administrateur délégué et le président. Il constitua ultérieurement « Le Carbone Lorraine », réunissant ainsi en une puissante Société deux entreprises industrielles parallèles, animées de l'esprit de progrès technique.

On sait que ce fut « Le Carbone » qui créa, avec le concours de notre regretté collègue Féry, l'accumulateur Fery-Carbone.

Mais l'activité de M. Oppenheim ne se bornait pas aux productions destinées à l'industrie électrique; il s'était occupé également du commerce et de la tannerie des cuirs et peaux comme président des Anciens Etablissements Sueur et vice-président des Anciens Etablissements Blumenthal.

Mobilisé en 1914 comme capitaine du Génie, M. Oppenheim avait terminé la guerre comme chef de bataillon. Il avait été fait chevalier de la Légion d'honneur et promu Ingénieur en chef honoraire des Ponts et Chaussées pour services rendus pendant la guerre.

Président du Syndicat des Industries chimiques spéciales et l'un des animateurs de l'Union des Industries chimiques, M. Oppenheim participa largement aux œuvres sociales; trésorier de la Fédération des centres sociaux, il s'occupa personnellement de plusieurs foyers où il apporta un concours généreux et actif.

Mais je dois surtout rappeler ici que M. Oppenheim, Membre de notre Conseil depuis près de 10 ans, fit toujours preuve d'un attachement particulier pour l'œuvre de la Société d'Encouragement. A notre Commission des Fonds et à notre Bureau, où il siégeait comme censeur, il nous accordait, grâce à la clarté de son jugement et à sa vaste expérience des affaires, une coopération précieuse et inlassable.

Je tiens à rappeler aussi la sympathie unanime qui entourait cet homme affable, discret et cultivé. C'est une très grande perte que notre Société vient de faire et c'est avec une profonde émotion que nous nous associons à la douleur des siens et aux regrets de ses Amis et Collaborateurs du Carbone Lorrain.

2° *Extrait de l'allocution de M. Louis Pineau à la séance du 9 février 1950.*

Au cours d'une de nos précédentes séances, j'ai eu le grand regret d'annoncer le décès de M. René Oppenheim.

Ainsi que je l'ai rappelé, en évoquant sa carrière M. Oppenheim, éminent animateur du Monde industriel, était une des personnalités les plus actives et les plus dévouées de notre Conseil. Membre de la Commission des Fonds et censeur de notre Société, il nous apportait avec assiduité le concours de sa compétence et de sa grande expérience des affaires.

J'ai le devoir aujourd'hui, après l'hommage au Collègue disparu, de rendre à M. Oppenheim celui qui est dû à un bienfaiteur.

Nous avons été avisés en effet que ses dispositions testamentaires comportaient un legs de cent mille francs au bénéfice de la Société d'Encouragement.

Je me suis fait par avance auprès de Mme Oppenheim l'interprète de la profonde gratitude de ses anciens Collègues et de tous ceux qui s'intéressent à l'œuvre de notre Société.

En renouvelant publiquement l'expression de cette gratitude, je tiens à dire que nous n'aurons pas seulement à cœur de faire un emploi judicieux des moyens d'action que M. Oppenheim a voulu nous remettre; ce lien nouveau et permanent qui nous rend tributaires de sa mémoire nous sera particulièrement cher. Sans préjuger des décisions de notre Conseil, je pense qu'en attachant son nom à l'une de nos activités, nous pourrions garder présents parmi nous la figure de cet homme savant et cultivé et le bel exemple qu'il sut donner de sérénité au milieu des épreuves et de confiance dans les destinées nationales.

BIBLIOGRAPHIE

COURS DE TECHNOLOGIE D'ATELIER LE FORGEAGE ET LE TRAVAIL DES MÉTAUX EN FEUILLES⁽¹⁾

par R. BARAT et M. J. ANDROUIN.

Cet ouvrage est le quatrième volume du Cours de technologie publié sous la direction de A. Druot, Inspecteur général de l'Enseignement technique. Ses auteurs, tous deux Ingénieurs des Arts et Métiers, ont tenu à faire une étude raisonnée des phénomènes qui se produisent dans le forgeage et le façonnage des métaux. Ils ont voulu, semble-t-il, faire mentir le vieil adage : « C'est en forgeant qu'on devient forgeron. »

Après avoir rappelé les propriétés physiques de la matière à ouvrer, M. Barat expose la loi qui régit les déformations et qui permet de fixer les conditions de forgeage les plus rationnelles et les plus économiques. Il établit ensuite une méthode générale pour la détermination de l'énergie nécessaire au travail de déformation, méthode particulièrement précieuse dans l'étude des cas d'espèces. Il passe en revue les moyens de chauffage de la matière et les engins de travail par choc, pression et laminage, et termine par un examen détaillé des différents procédés de forgeage.

Destiné à l'enseignement pratique donné dans les Écoles nationales d'Arts et Métiers, l'ouvrage se révèle indispensable à tous les techniciens qui doivent savoir décanter, clarifier et préciser les conditions d'hypothèses pour arrêter logiquement le processus d'exécution.

Bien que sa participation personnelle aux recherches sur le travail à chaud soit très importante, M. Barat a présenté la partie générale de l'ouvrage comme une synthèse des expériences et communications de nombreux auteurs, et a fait état à la fin de chaque chapitre d'une bibliographie abondante. C'est ainsi qu'il cite à plusieurs reprises les remarquables travaux de M. Prévost, notre collègue des Établissements Schneider, qui

avait bien voulu lui confier des documents rares et lui donner des avis éclairés sur certains points de doctrine. Par des exemples judicieusement choisis dans les diverses spécialités, il montre comment on doit appliquer les grands principes de base en s'aidant parfois d'artifices de détail ou de moyens particuliers de mise en œuvre.

La deuxième partie de l'ouvrage se rapporte au « Travail des métaux en feuilles ».

M. Androuin traite d'abord de l'élaboration et de la préparation des éléments destinés au laminage et à l'étrépage; puis il étudie une à une toutes les spécialités de façonnage : le coupage, le ployage, l'estampage repoussé, la frappe, l'emboutissage, l'étrépage des emboutis, l'expansion, la rétreinte, le repoussage au tour, le moulurage et le sertissage.

Pour chacun de ces procédés si différents les uns des autres, le but à atteindre est toujours défini clairement. Il en résulte que la méthode opératoire se dégage bien de l'exposé, jusque dans les détails intéressant le praticien.

L'auteur donne ensuite une place importante à l'étude des machines et des outillages. Là encore, un raisonnement serré fait prévoir l'anatomie des ensembles et la forme des outils.

Le dernier chapitre de l'ouvrage traite de l'expérimentation. On y trouve de très sages conseils.

Eminemment utile à l'ingénieur de fabrication, tant par l'ensemble des connaissances qu'il dispense harmonieusement que par les multiples occasions qu'il offre de raisonner et de concevoir, ce Cours reflète bien l'esprit de notre Enseignement technique supérieur.

J. FIEUX.

(1) 1 vol. broché 21 x 31,5, Eyrolles, éditeur, 1948.

Congrès-Exposition des Ingénieurs pour la France d'Outre-Mer.

La Société des Ingénieurs pour la France d'Outre-Mer et les Pays extérieurs, qui s'est montrée particulièrement agissante au cours de ces dernières années sous l'impulsion de son Président, M. Jules Ramas, formait, en 1948, le projet de réunir à Paris un Congrès international d'Ingénieurs s'intéressant au développement social et économique des pays d'Outre-Mer. Ce Congrès devait leur permettre de confronter leurs principes, leurs méthodes et leurs projets pour les coordonner de manière à réaliser, par les moyens les plus économiques et dans les plus courts délais, l'amélioration de la vie des populations autochtones et à mettre en valeur d'immenses ressources jusqu'ici mal connues et peu exploitées.

Le programme général de ce Congrès fut établi en harmonie avec celui de la Commission du plan de modernisation et d'équipement de la France d'Outre-Mer.

Le projet donna lieu à un mémorandum discours-programme du Président d'honneur de la Société, le regretté Président Albert Lebrun, et fut complété par l'idée d'une *Exposition* de matériel, d'outillage, de machines

et de matériaux adaptés au travail dans les pays d'Outre-Mer.

La réalisation, qui fit l'objet d'une résolution de l'Assemblée Nationale, obtint le concours du Ministère de la France d'Outre-Mer, des Départements et Territoires, du Gouvernement Général de l'Algérie et des Résidents Généraux du Maroc et de la Tunisie.

Cette double manifestation eut lieu en septembre-octobre 1949.

Le Congrès recueillit 640 inscriptions, avec la participation de 11 nations étrangères groupant une quarantaine d'ingénieurs des pays représentés.

Au cours du Congrès, ouvert sous la Présidence de M. Juglas, député de Paris, Président de la Commission de la France d'Outre-Mer à l'Assemblée Nationale, 350 mémoires ont été présentés. Répartis entre 10 sections, ils avaient été préalablement examinés par M. Dupuy, Vice-Président de la Société et du Congrès, puis ils furent étudiés, durant 27 séances de travail, au Conservatoire National des Arts et Métiers par 10 commissions correspondant aux catégories du Plan de Modernisation et d'Équipement des Pays d'Outre-Mer, savoir :

CATÉGORIE	SECTION	PRÉSIDENT EFFECTIF
I	Milieu Physique	M. Bourcart
II	— Humain	M. Charton
III	Agriculture	M. Guillaume
IV	Mines et carrières	M. Blondel
V	Équipement général	M. Coursin
VI	Énergie et Combustibles	M. Caquot.
VII	Transports et Communications	M. Cangardel
VIII	Industrialisation	M. Paul Bernard
IX	Matériel et matériaux	M. Dugue
X	Recherche scientifique	M. Combes

Les 10 rapports de commission ont été synthétisés par celui du Rapporteur Général M. Pommier.

L'Exposition, qui se tenait sur les bords de la Seine entre les ponts de la Concorde et de l'Alma (rive gauche), avait rassemblé plus de 500 exposants industriels et la Section « Rétrospective et Modernisation » 85.

Elle fut officiellement inaugurée par

M. Coste-Floret, Ministre de la France d'Outre-Mer, accompagné par M. Morice, Secrétaire d'État à l'Enseignement Technique, qu'entouraient nombre de personnalités officielles, administratives, industrielles, et sous la conduite de M. L. Dard, Commissaire Général.

Des visites commentées eurent lieu pour les Sociétés d'Ingénieurs, les Elèves des Gran-

des Ecoles, des groupes universitaires et scolaires, permettant de mieux faire connaître l'importance de l'Union française et de son équipement moderne.

Les milieux industriels métropolitains, par l'entremise de leurs Syndicats professionnels eurent l'occasion d'amorcer des contacts entre constructeurs et utilisateurs.

La Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale a tenu elle-même à s'associer à cette action avec la Conférence de M. Blondel sur l'Afrique du Nord.

Comme suite aux vœux émis, au cours du Congrès, la Société des Ingénieurs pour la France d'Outre-Mer :

1° Organise un Secrétariat permanent de liaison internationale entre les Pays intéres-

sés au développement technique et social des territoires d'Outre-Mer.

2° Prépare l'extension de son service d'orientation, de formation et de recrutement pour le personnel technique nécessaire à la réalisation du Plan de Modernisation des Pays d'Outre-Mer.

3° Organise un Centre permanent de liaison et de renseignements.

a) Entre les Administrations chargées du programme de travaux et les Constructeurs de matériel.

b) Entre ces Constructeurs de matériel (en principe leurs Syndicats) et les Utilisateurs (Administrations Publiques, Entreprises Privées).

Le Directeur Gérant : L. PINEAU.

D. P. n° 10803.

Imprimé en France chez BRODARD ET TAUPIN, Coulommiers-Paris. — 9-1950.

C^{ie} DE FIVES-LILLE

7, Rue Montalivet PARIS (8^e)

Téléphone : ANJOU 22-01

Reg. Com. Seine 75-707

INSTALLATIONS COMPLÈTES
DE SUCRERIES - RAFFINERIES - DISTILLERIES

MATÉRIEL ÉLECTRIQUE DE TOUTES PUISSANCES POUR
CENTRALES THERMIQUES ET HYDRAULIQUES

CHAUDIÈRES MULTITUBULAIRES " STIRLING "

PONTS ET CHARPENTES MÉTALLIQUES

BAIGNOL & FARJON

CRAYONS
PLUMES
P. PLUMES
P. MINES
GOMMES
PUNAISES

GILBERT & BLANZY-POURE

468

2. — B.

LES FILTRES DURIEUX



PAPIER A FILTRER

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52x52

SPÉCIALITÉS :

FILTRES SANS CENDRES

N^{os} 111, 112 et Crêpé N^o 113 extra-rapide

Filtres Durcis n^o 128 & Durcis sans cendres n^o 114

Cartouches pour extracteurs de tous systèmes

PAPIER " CRÊPÉ DURIEUX "

Toutes Dimensions, pour Filtres-Presses. (Envoi d'échantillons sur demande)

Registre du Comm. de la Seine N^o 722.521-2-3

Téléphone : ARCHIVES 03-51

MÉDAILLE D'OR de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Juillet 1918)

18, rue Pavée, PARIS (4^e)

Demandez le Catalogue donnant toutes les explications sur les emplois de mes différentes sortes



Compagnie Générale de GEOPHYSIQUE

Application des procédés tellurique,
électriques, sismiques, gravimétrique
aux recherches pétrolières, minières,
travaux de Génie Civil.

48, B^d de Latour-Maubourg, PARIS (7^e)

Téléphone : INVALIDES 46-24



HUILES, GOUDRONS & DÉRIVÉS

Service Commercial :
10, rue Alfred-de-Vigny
Tél. Wagram 63-21 à 25

S. A. au Capital de 570.000.000 de francs
Siège Social : 10, rue Alfred-de-Vigny
PARIS (8^e)

Usines à Vendin-le-Vieil (P.-de-C.)
Jouy-aux-Arches (Moselle)
Saint-Fons (Rhône)

MATIÈRES PREMIÈRES pour l'Industrie Organique de Synthèse, l'Industrie des Couleurs et Vernis et les Industries diverses

GOUDRONS et dérivés
BRAIS DE HOUILLE
HUILES de houille 1^{re} types
NAPHTALINE brute et pure
ANTHRACÈNE brut et pur
PHÉNOLS et Crésols purs
MÉTACRÉSOL
PARACRÉSOL
FORMOL
MÉTHYLCYCLOHEXANOL

CYCLOHEXANOL
HEXA-MÉTHYLENÉTRAMINE
TRIOXYMÉTHYLÈNE
PHTHALATES tous types
BENZOLS techniques et purs
LIANTS pour peinture
CARBONILEUM
CRÉSYL
GÉDANTHROL
VERNIS noir et incolore

MATIÈRES PREMIÈRES pour l'Industrie des matières plastiques et MATIÈRES PLASTIQUES

ANHYDRIDE phtalique
FORMOL - PHÉNOL
CRÉSOLS - XYLÉNOLS
PLASTIFIANTS
RÉSINES de coumarone
RÉSINES GÉDÉLITE

RÉSINES Synthétiques
(diverses)
GEDOSOL
(100% phénolique)
GEDOPALS (oléo-solubles)

POUDRES A MOULER

" GÉDÉLITE " thermo durcissable

PRODUITS pour l'Industrie Pharmaceutique et la Parfumerie

CHLORURE DE BENZYLE
CHLORURE DE BENZOYLE
ACIDES BENZOÏQUES
BENZOATE DE SOUDE
BENZONAPHTOL

BENZALDÉHYDE
ALCOOL BENZYLIQUE
BENZOATE DE BENZYLE
PEROXYDE DE BENZOYLE
ACÉTATE DE BENZYLE



La C. I. M. assure au Havre la réception des hydrocarbures à destination de la Région Parisienne et plus particulièrement la desserte des Raffineries de la Basse-Seine.

Bassins accessibles aux plus grands navires pétroliers avec stockage disponible prévu à un minimum de 200.000 m³

Distribution assurée dans la Région Parisienne par un dépôt spécialisé à Gennevilliers (40.000 m³)

COMPAGNIE INDUSTRIELLE MARITIME

Concessionnaire du Port Autonome du Havre

36, rue de Liège

PARIS

EUROPE 44-30

29, rue de Berri
• PARIS (VIII^e) •



Tél. : BALzac 16.50

— (8 lignes) —

CITERNA

TRANSPORTS RAPIDES DE COMBUSTIBLES LIQUIDES
==== PAR BATEAUX-CITERNES AUTOMOTEURS

APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES

P. CHEVENARD

- pour l'analyse dilatométrique et thermomagnétique des matériaux;
- pour l'enregistrement de la force thermoélectrique et de la résistivité des alliages en fonction de la température;
- pour l'essai mécanique et micromécanique des métaux à froid et à chaud;
Essais de traction, de flexion, de compression, de dureté;
Essais de fluage (Traction-Relaxation);
Essais de torsion continue et de torsion alternée;
Essais de choc. - Étude du frottement interne;
- pour l'étude des réactions chimiques par la méthode de la pesée continue;
- pour la mesure des températures et le réglage thermostatique des fours.



SOCIÉTÉ ANONYME DE
COMMENTRY-FOURCHAMBAULT et DECAZEVILLE
84, Rue de Lille — PARIS (7^e)

CHANTIERS NAVALS DE LA PALLICE

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE FR. 185.000.000

29, RUE GALILÉE, PARIS 16^e Tél. KLE 81-90

RÉPARATIONS DE NAVIRES

DEUX CALES SÈCHES : 107 ET 176 M.

CONSTRUCTIONS NAVALES

MÉCANIQUE - FORGE - FONDERIE

CHAUDRONNERIE GÉNÉRALE

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES CONSTRUCTIONS

BABCOCK & WILCOX

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 129.600.000 FRANCS

SIÈGE SOCIAL : 48, rue La Boétie, 48

PARIS (8^e) Téléphone : ÉLYSÉES 89-50



U S I N E S :

La Courneuve (Seine)

Cherbourg (Manche)

CHAUDIÈRES à VAPEUR - GROSSE CHAUDRONNERIE
RIVÉE ET SOUDÉE - MATÉRIELS POUR
RAFFINERIES DE PÉTROLE ET SUCRERIES

PROGIL

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 800.000.000 DE FRs

10, QUAI DE SERIN - LYON

77, RUE DE MIROMESNIL - PARIS

PRODUITS CHIMIQUES INDUSTRIELS

CHLORE-SOUDE-EXTRAIT DE JAVEL - CHLORURE DE CHAUX-HYDROGÈNE

SOLVANTS CHLORÉS : MONOCHLOROBENZÈNE - ORTHODICHLOROBENZÈNE - DICHLORÉTHANE - TRICHLORÉTHANE

SOLVANTS HYDROGÉNÉS ET DESHYDROGÉNÉS : TÉTRAHYDRONAPHTALÈNE - DÉCAHYDRONAPHTALÈNE - CYCLOHEXANOL - MÉTHYLCYCLOHEXANOL - DIMÉTHYLCYCLOHEXANOL - ISOPROPANOL - CYCLOHEXANONE - MÉTHYLCYCLOHEXANONE

SOLVANTS SPÉCIAUX : TÉRÉGIL - SOLVANT O. M.

PHOSPHATES DE SOUDE : MONO, DI ET TRISODIQUE, ANHYDRES ET CRISTALLISÉS - PYROPHOSPHATES DE SOUDE - MÉTAPHOSPHATES ET POLYPHOSPHATES

PRODUITS CHIMIQUES DIVERS : SULFURE DE CARBONE - SILICATES DE SOUDE - MÉTASILICATES - SILICATE DE POTASSE - SELS DE FUSION POUR FROMAGES - LESSIVES POUR LE LAVAGE DU LINGE - SPÉCIALITÉS PROGICLAIR POUR LE NETTOYAGE DE LA VERRERIE, DU MATÉRIEL LAITIER ET DES MÉTAUX - PARADICHLOROBENZÈNE - TÉTRACHLORONAPHTALÈNE - PLASTIFIANTS PHENOCLORS - CIRES CHLORÉES - CIRES ET BRAIS CHLORÉS IGNIFUGES - DIELECTIQUES "PYRALÈNES"

SELS MÉTALLIQUES : OXYDE D'ÉTAIN - BICHLORURE D'ÉTAIN - PROTOCHLORURE D'ÉTAIN - CHLORURE DE ZINC - ACÉTATE DE PLOMB

ACIDES ET SELS ORGANIQUES : ACIDE FORMIQUE - ACIDE OXALIQUE FORMIATE DE SOUDE - TRIFORMIATE D'ALUMINE

PROTECTION DES BOIS ET DES MATIÈRES ORGANIQUES

CRYPTOGILS POUR LA LUTTE CONTRE L'ÉCHAUFFURE, LES PIQURES D'INSECTES, LA MÉRULE ET LE BLEUISSEMENT DES RÉSINEUX

PRODUITS AUXILIAIRES POUR TEXTILE

BLANCHISSAGE INDUSTRIEL - PRÉPARATION - TEINTURE - APPRÊT MOUILLANTS ET DÉTERSIFS - EMOGIL - GILTEX

EXTRAITS TANNANTS - TANINS SYNTHÉTIQUES

EXTRAITS TANNANTS VÉGÉTAUX : CHATAIGNIER - CHÊNE - QUEBRACHO

TANINS SYNTHÉTIQUES - "ALBATANS" POUR PETITES PEAUX ET GROS CUIRS - HEMATINES - PRODUITS CHIMIQUES SPÉCIAUX, POUR TANNERIE ET MÉGISSERIE - TITANOR - QUINONE - SOLVANTS POUR DÉGRAISSAGE ET PIGMENTATION - CRYPTOTAN (ANTISEPTIQUE - FONGICIDE)

CELLULOSE - PAPETERIE

CELLULOSE DE CHATAIGNIER BLANCHIE - PROCÉDÉ POUR BLANCHIMENT DES FIBRES - PAPIERS D'IMPRESSION ET D'ÉCRITURE

PRODUITS AGRICOLES

INSECTICIDES - ANTICRYPTOGAMIQUES - HERBICIDES

NOTICES SUR DEMANDE

TECHNICIENS SPÉCIALISTES et LABORATOIRES à la disposition de toutes Industries.

KODAK

*met au service de l'Industrie
une gamme complète de*

SURFACES SENSIBLES

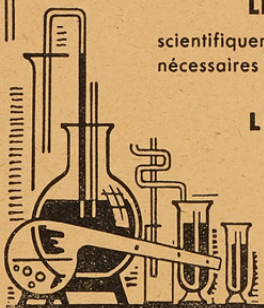
dont la renommée est mondiale et qui répond à tous ses besoins photographiques : Radio Industrielle, Photomicrographie, Reproduction de Documents, Prise de vue documentaire, Cinéma ultra-rapide et toute étude scientifique.

LES FILTRES KODAK WRATTEN

scientifiquement fabriqués et contrôlés, sont des accessoires nécessaires pour toute photographie appliquée à l'industrie.

LES PUBLICATIONS KODAK

Formulaire Aide - Mémoire Kodak
Films Kodak — Manuel pratique de
Radiographie Industrielle — La Photo-
graphie dans les Régions Tropicales,
sont indispensables aux techniciens.



KODAK-PATHÉ S.A.F. PARIS



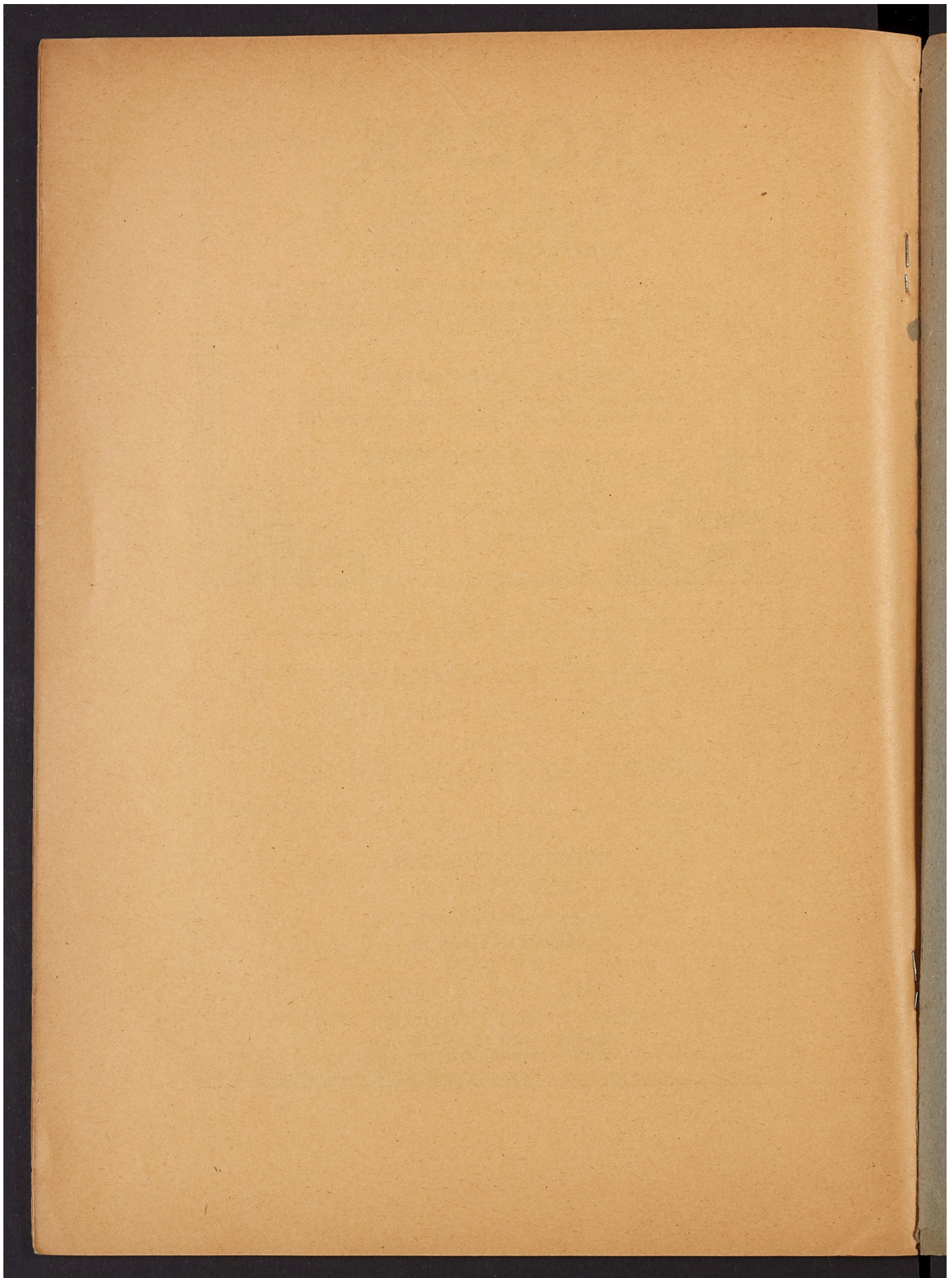
SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE D'ÉLECTRO-MÉTALLURGIE ET DES ACIÉRIES ÉLECTRIQUES D'UGINE

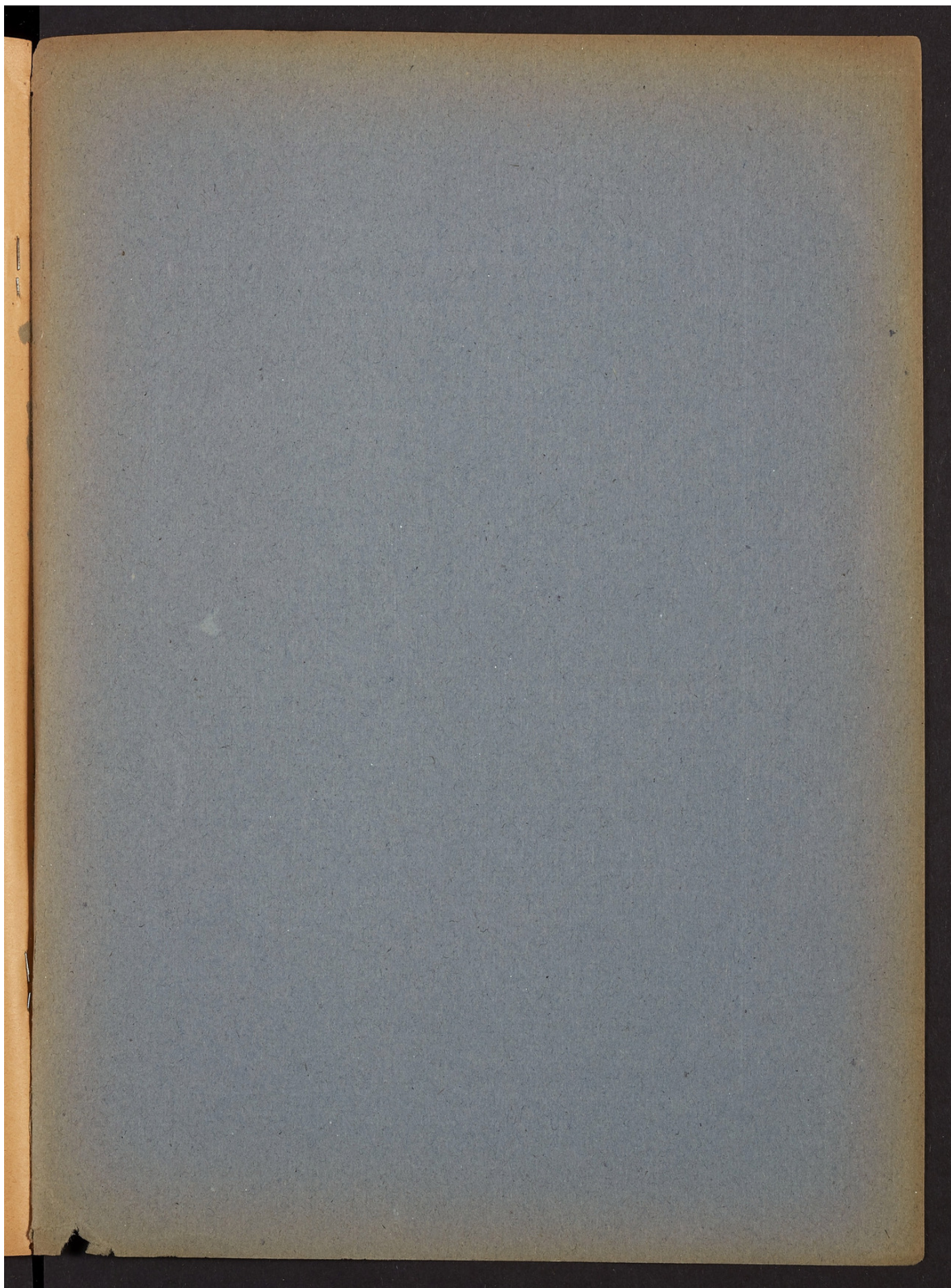
**ACIERS
PRODUITS CHIMIQUES
ALUMINIUM
MAGNÉSIUM
FERRO-ALLIAGES
ÉTAIN**

SIÈGE SOCIAL : 10, RUE DU GÉNÉRAL-FOY - PARIS (8^e)

TÉLÉPHONE : LABORDE 12-75 - 12-76 - 18-40

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : TROCHIM-PARIS





COMPAGNIE FRANÇAISE THOMSON-HOUSTON

Société Anonyme au Capital de 880 millions de Francs

SIÈGE SOCIAL : 173, Boulevard Haussmann, PARIS (8°)

R. C. Seine 60.343 - Téléph. : Élysées 83-70 - Télégr. : Elihu-42-Paris

DÉPARTEMENT RADIO-ÉMISSION

RADIODIFFUSION - RADIOCOMMUNICATIONS
TÉLÉVISION - TUBES ÉLECTRONIQUES
HAUTE FRÉQUENCE INDUSTRIELLE

Serv. Comm. : 4, r. du Fossé Blanc, Gennevilliers (Seine)

Tél. : GRÉSILLONS 33-05

Télégr. : ELIHURATEL-GENNEVILLIERS

Usines : 4, rue du Fossé Blanc, Gennevilliers (Seine)
45, rue de la Concorde, Amières (Seine)

DÉPARTEMENT RADIO-RÉCEPTION

RÉCEPTEURS DUCRETET-THOMSON
MACHINES PARLANTES - SONORISATION

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8°)

Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00

Télégr. : THOMELEC-PARIS

Usine : 37, rue de Vouillé, Paris (15°)

DÉPARTEMENT ÉLECTRO-MÉNAGER

CHAUFFAGE ET CUISINE DOMESTIQUES ET
PROFESSIONNELS - APPAREILS MÉNAGERS
APPAREILLAGE - TUBES ISOLATEURS

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8°)

Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00

Télégr. : THOMELEC-PARIS

Usines à Lesquin-les-Lille (Nord) et à Jarville (M.-et-M.)

DÉPARTEMENT FILS ET CABLES

FILS ET CABLES ÉLECTRIQUES ISOLÉS

Serv. Comm. et Usine : 78, av. Simon-Bolivar, Paris (19°)

Tél. : NORD 01-82 et 01-87

Télégr. : THOMSCABLE-PARIS

DÉPARTEMENT ÉLECTRO-MÉCANIQUE

MÉCANIQUE MOYENNE DE PRÉCISION
MATÉRIEL ÉLECTRIQUE - MICROFILM

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8°)

Tél. : ÉLYSÉES 12-07 et 14-00

Télégr. : THOMELEC-PARIS

Usine : 74, faubourg de Mouéssé, Nevers (Nièvre)

LABORATOIRE DE RECHERCHES EN HYPERFRÉQUENCES

RADAR EN ONDES CENTIMÉTRIQUES
RELAIS HERTZIENS

Serv. Comm. : 4, r. du Fossé Blanc, Gennevilliers (Seine)

Tél. : GRÉSILLONS 33-05

Télégr. : ELIHURATEL-GENNEVILLIERS

Laboratoire : 37, rue de Vouillé, Paris (15°)

LABORATOIRE THOMSONCOLOR

DÉVELOPPEMENT ET TIRAGE DE FILMS
EN COULEURS

Services Commerciaux : 173, bld Haussmann, Paris (8°)

Tél. : ÉLYSÉES 33-70 - Télégr. : ELIHU-42-PARIS

Laboratoire : 160, Quai de Polangis, Joinville-le-Pont (S)

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE RADIOLOGIE

APPLICATIONS MÉDICALES et INDUSTRIELLES
DES RAYONS X - TUBES DE RADIOLOGIE
TUBES REDRESSEURS - POMPES À VIDE

APPLICATIONS INDUSTRIELLES DU VIDE

Siège Soc. et Serv. Com. : 34, bld de Vaugirard, Paris (15°)

Tél. : SUFFREN 60-04 - Télégr. : RAYONIXAR-PARIS

R. C. Seine 70.761

Usines : 51, rue Lacordaire, Paris (15°)

53, rue Bokanowski, Amières (Seine)

SOCIÉTÉ DES TRÉFILERIES, LAMINOIRS ET FONDERIES DE CHAUNY

CONDUCTEURS en CUIVRE et en ALUMINIUM
LAMINÉS - FILS - CABLES

Siège Soc. et Serv. Comm. : 47, rue La Bruyère, Paris (9°)

Tél. : TRINITÉ 97-10 - Télégr. : FINTREFIF-PARIS

R. C. Seine 189.586

Usine à Chauny (Aisne)

SOCIÉTÉ FRIGECO

RÉFRIGÉRATEURS ÉLECTRIQUES MÉNAGERS
ET COMMERCIAUX

Siège Soc. et Serv. Comm. : 38, av. Kléber, Paris (16°)

Tél. : KLÉBER 75-70 - Télégr. : GÉCOFRI-PARIS

R. C. Seine 346.139 B

Usine : 85, rue du Général-Roguet, Clichy (Seine)