

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

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

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1959, n° 2 (avril-juin)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1959

Collation	1 vol. (p. [21]-40, [4] p. de pl.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	40
Cote	INDNAT (47)
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.47

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

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

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

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

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

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

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

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

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

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

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

S. E. I. N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE

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

PUBLIÉS AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1959
N° 2

Revue trimestrielle

L'INDUSTRIE NATIONALE

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

publiés sous la direction de **M. Georges CHAUDRON**, Membre de l'Institut, Président,
avec le concours du Secrétariat de la Société.

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

N° 2 : AVRIL-JUIN 1959

SOMMAIRE

UTILISATIONS MÉDICALES DES ISOTOPES RADIOACTIFS ARTIFICIELS,	<i>par M. le Dr. Gérard MILHAUD.</i>	21
TEMPS ET FRÉQUENCES - NOUVEAUX ÉTALONS,	<i>par M. Bernard DECAUX</i>	29

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

Le n° 750 Fr.

C. C. P. Paris n° 618-48

UTILISATIONS MÉDICALES DES ISOTOPES RADIOACTIFS ARTIFICIELS (1)

par M. le Dr Gérard MILHAUD

Professeur agrégé,

Chef de Laboratoire à l'Institut Pasteur.

Nous allons passer en revue les principales applications cliniques des radioisotopes en abordant rapidement celles qui sont devenues de pratique courante et en insistant sur les développements récents et les perspectives d'avenir.

Un mot d'histoire... On sait que les Joliot-Curie découvrirent en 1934 la radioactivité artificielle; les moyens de production des isotopes radioactifs demeurèrent très limités, malgré les cyclotrons et les accélérateurs linéaires, jusqu'à la mise au point des réacteurs atomiques. Ceux-ci fournissent, à partir de 1946, des radioisotopes sur une grande échelle et, dès lors, les applications cliniques se multiplient d'année en année.

Les radioisotopes permettent le marquage d'une molécule que l'on va pouvoir suivre pas à pas dans l'organisme, en étudiant sa répartition, ses transformations biochimiques et son élimination. La radioactivité incorporée dans la molécule assure une extraordinaire sensibilité dans la détection, sans que l'organisme puisse distinguer la molécule marquée de la molécule stable correspondante. Les rares exceptions à cette règle concernent des isotopes dont le poids atomique diffère notablement de celui de l'élé-

ment ordinaire. Le tritium, isotope de l'hydrogène de poids atomique trois fois plus lourd, est plus lentement incorporé dans le glycogène du foie que le deutérium, autre isotope de l'hydrogène de poids atomique double. L'algue, pour la même raison, incorpore moins de $^{14}\text{CO}_2$ radioactif que de $^{12}\text{CO}_2$ ordinaire. Mais ces effets sont faibles.

Les utilisations des isotopes sont de trois ordres : scientifique, diagnostique et thérapeutique.

1^o Du point de vue scientifique pur, l'étude de divers métabolismes devient possible.

2^o Du point de vue clinique, l'étude directe de diverses fonctions : thyroïdienne, hépatique, rénale, permet de définir les valeurs normales, de déceler les altérations pathologiques même légères et d'établir un diagnostic avec précision. Il est particulièrement commode de pratiquer ces mesures en utilisant un compteur placé hors de l'organisme, ce qui est possible sous deux conditions : a) le composé doit se concentrer électivement dans un organe donné; b) il doit contenir un isotope émettant un rayonnement gamma pénétrant.

3^o Enfin, un certain nombre d'applications thérapeutiques ont donné de brillants

(1) Conférence faite le 20 mars 1958 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (23^e Conférence Carrion).
L'Industrie nationale. — avril-juin 1959.

résultats : Le traitement par l'Iode 131 de la maladie de Basedow (1) et le traitement par le Phosphore 32 de la polycythémie (2).

Cette affection était considérée comme grave avant l'introduction du traitement radioactif.

Propriétés et préparation des corps marqués.

Le tableau ci-après rapporte quelques propriétés des radioéléments les plus communément utilisés en médecine.

Nous allons brièvement énumérer les divers modes de préparation des corps marqués.

Les éléments, tels que l'Iode 131, le Phosphore 32, le Carbone 14, le Fer 59, le Sodium 24, sont fabriqués dans les piles atomiques.

Les composés organiques marqués sont obtenus par synthèse chimique : albumine

Isotopes employés en médecine.

ISOTOPE	PÉRIODE	TYPE DE RAYONNEMENT	EMPLOI
¹³¹ I	8 j.	β	Fonction thyroïdienne.
		γ	Fonction hépatique.
¹³² I	2,4 h.	β	Fonction thyroïdienne.
		γ	
⁵⁹ Fe	45 j.	β	Métabolisme du fer et de l'hémoglobine.
		γ	
⁶⁰ Co	5,2 ans	β	Diagnostic des anémies à l'aide de B ₁₂ marquée. Radiothérapie.
		γ	
⁴⁵ Ca	5 mois	β	Métabolisme de l'os.
⁴⁷ Ca	4,6 j.	β	
³² P	14,3 j.	β	Radiothérapie. Métabolisme du phosphore.
		γ	
¹⁹⁸ Au	2,7 j.	β	Radiothérapie.
		γ	
²⁴ Na	14,8 h.	β	Débit cardiaque.
		γ	
⁵¹ Cr	27 j.	γ	Survie des hématies. Volume sanguin.

iodée (mesure du volume plasmatique), rose bengale (fonctions hépatiques), diodone (fonctions rénales), acide triiodophenoxybutyrique (opacifiant biliaire).

D'autres composés sont obtenus plus commodément par voie biologique. On prépare la vitamine B₁₂ marquée au Cobalt 60 en introduisant un sel de Cobalt 60 dans le milieu de culture d'une bactérie, qui incor-

pore cet élément dans la vitamine B₁₂ marquée. En faisant assimiler de l'anhydride carbonique radioactif à une feuille verte, on obtient grâce à la photosynthèse des glucides marqués au Carbone 14 : glucose, fructose et saccharose. Enfin on prépare des protéines et des acides aminés marqués, en faisant pousser un microorganisme sur un milieu simple contenant un composé du Carbone 14.

(1) La Maladie de Basedow est caractérisée par une exophthalmie, un goitre, de la tachycardie, un tremblement menu des extrémités, de l'amaigrissement.

(2) Cette maladie se traduit par une augmentation des globules rouges du sang jusqu'à 7 à 8 millions au lieu de 4 à 5 millions par millimètre cube. Ces malades sont exposés à de nombreux accidents circulatoires.

Fonction thyroïdienne.

Abordons maintenant l'étude de la *Fonction thyroïdienne*. La glande thyroïde règle les échanges énergétiques de l'organisme par l'intermédiaire d'hormones thyroïdiennes iodées : thyrosine et triiodothyronine. En règle générale l'hyperthyroïdie s'accompagne d'un excès de production hormonale tandis que l'hypo-thyroïdie est caractérisée par une faible sécrétion hormonale.

Nous ne nous attarderons pas sur l'exploration de la fonction thyroïdienne à l'aide d'Iode 131, pratiquée pour la première fois par Hamilton et Soley en 1939. On sait que l'iode est capté par la glande thyroïde qui l'incorpore dans la thyroxine et la triiodothyronine, décelée indépendamment par Roche et ses collaborateurs et par Pitt-Rivers. Grâce au rayonnement pénétrant de l'iode, on peut évaluer l'état fonctionnel de la thyroïde en plaçant un compteur à scintillation à l'extérieur de l'organisme. On mesure la radioactivité de la thyroïde 6 et 24 heures après l'ingestion d'Iode 131, ce qui permet de mettre en évidence des hyperfonctionnements ou des hypofonctionnements parfois avant leur traduction clinique. Dans le premier cas, la captation d'iode par la glande est exagérée; dans le second, elle est diminuée par rapport aux valeurs normales (25 à 30 p. 100 à la 6^e heure, 30 à 35 p. 100 à la 24^e heure). En utilisant cette méthode, Bernheim, Berger et leurs collaborateurs ont constaté des anomalies dans le métabolisme de l'iode — fixation élevée — chez les parents, les frères et les sœurs apparemment normaux des enfants atteints de myxoedème congénital.

L'épreuve de fixation d'Iode 131 peut être utilement complétée, comme l'ont montré Courrier, Tubiana et Morel, en suivant la répartition de la radioactivité entre la plasma et les globules rouges, ce qui permet de différencier l'iode minéral et l'iode organique. En effet, seul l'iode minéral peut pénétrer à l'intérieur des globules rouges, l'iode organique, dont la formation est dépendante de l'activité thyroïdienne, est lié aux grosses molécules protéiques, qui ne peuvent diffuser à travers la membrane des globules rouges.

On peut aussi délimiter les contours de la

thyroïde, dresser une véritable carte thyroïdienne en utilisant un dispositif automatique de comptage et d'enregistrement. Un compteur, relié au bras d'un pantographe, balaie lentement et systématiquement la région à explorer. Chaque fois que le compteur a émis un certain nombre d'impulsions, vingt par exemple, le bras du pantographe trace un trait. L'ensemble de ces traits fait apparaître une image exacte de la thyroïde, qui s'appelle « scintillogramme » ou « gammagraphie » (fig. 1). C'est, avec la téléautoradiographie mise au point par Kellersohn et Pellerin, le seul procédé non chirurgical qui permette de préciser l'activité d'un nodule thyroïdien.

On a proposé récemment l'emploi d'Iode 132, dont la période est de 2,4 heures. Il permet de procéder aux investigations thyroïdiennes en diminuant notamment l'irradiation de l'organisme et en répétant fréquemment cet examen, si cela est nécessaire.

Le traitement de l'hyperthyroïde par l'Iode 131 a été publié par Hertz et Roberts en 1942; il consiste à diminuer l'activité fonctionnelle de la glande en la détruisant par irradiation. En quinze ans plusieurs milliers de malades ont été traités et l'efficacité de cette thérapeutique est pleinement reconnue; elle est plus agréable pour le malade que l'intervention chirurgicale et n'est grevée d'aucune mortalité. On s'adressera à elle de plus en plus dans les années à venir. Après plus de 15 ans, nous pouvons affirmer que le risque de cancérisation consécutive à ce traitement est extrêmement faible, puisqu'aucun cas n'en a été rapporté jusqu'à présent.

La fixation du radioiode dans une métastase de cancer thyroïdien, observée par Keston et ses collaborateurs, est à l'origine du traitement récent du cancer thyroïdien. Plusieurs centaines de malades ont reçu chacun des doses atteignant plusieurs centaines de millécuries d'Iode 131. Les résultats ont été d'autant meilleurs que le cancer fixait fortement l'isotope. Il faut cependant reconnaître que les cancers thyroïdiens fixant l'iode ne sont pas la règle mais l'exception. Néanmoins, les résultats sont loin d'être négligeables.

Fonction rénale.

La fonction rénale peut être schématisée par une filtration du sang dans les glomérule suivi d'une excretion de certaines substances au niveau des tubes rénaux. Pour apprécier l'intégrité du fonctionnement rénal, on utilise, entre autres, des composés organiques iodés, dont le dosage est difficile.

Tout récemment, Taplin et ses collaborateurs, ont simplifié cet examen à l'aide de diodone marquée à l'Iode 131. La diodone se concentre dans les reins dont on enregistre automatiquement la radioactivité à l'aide

de deux compteurs à scintillation placés sur les lombes (fig. 2). L'étude des courbes obtenues permet de comparer chaque rein et d'obtenir des renseignements sur la vascularisation du rein, la fonction sécrétrice des cellules des tubes et enfin sur la perméabilité de la voie urinaire supérieure (fig. 3, 4). La durée du test est d'une vingtaine de minutes. Il est évident que grâce à cette technique élégante et rapide, la décision opératoire est considérablement facilitée dans les cas d'hypertension maligne ou de lésions rénales unilatérales.

Fonctions hépato-biliaires.

L'exploration fonctionnelle du foie est extrêmement complexe du fait des innombrables activités métaboliques de cet organe. L'exploration de la fonction excrétrice du foie est entrée dans la pratique médicale sous forme du test au rose bengale. Cette fonction consiste à éliminer un certain nombre de substances qui passent dans le sang et vont dans la bile. On injecte dans le sang du rose bengale, qui est normalement capté par le foie et éliminé rapidement par la bile. Dans les atteintes cellulaires du foie, une certaine quantité de colorant demeure dans le sang, le foie étant incapable de le fixer.

Ce test hépatique a été considérablement perfectionné par Taplin et ses collaborateurs. Ils injectent par voie intraveineuse une très petite quantité de rose bengale marqué à l'Iode 131 et enregistrent automatiquement la radio-activité du foie en plaçant un compteur à scintillation sur l'abdomen (fig. 5). Le foie capte en effet le rose bengale (fig. 6); en cas d'atteinte du parenchyme hépatique, la captation du colorant marqué est diminuée (fig. 7). En 40 minutes, on peut donc pratiquer une épreuve hépatique fidèle et particulièrement sensible.

Renault, Jaquier et Jammet ont obtenu un scintillogramme du foie en injectant à l'homme des quantités relativement importantes de rose bengale 131.

Fauvert et Benhamou proposent le test hépatique suivant : ils déterminent la clérance de la brome-sulfone-phtaléine et de l'Or colloidal 198 pour différencier l'insuffisance circulatoire de l'insuffisance cellulaire du foie.

Certains corps très riches en iode sont éliminés par la bile. Ils sont opaques aux rayons X et on les utilise pour rendre visible sur les clichés radiographiques la vésicule biliaire qu'ils ont remplie. On pourra ainsi reconnaître des calculs vésiculaires, des anomalies morphologiques de la vésicule ou des canaux biliaires.

Avec Le Canuet, Louis Martin, Aussagé et Le Rudulier, nous avons marqué à l'Iode 131 un de ces opacifiants biliaires, l'acide tri-iodophénoxybutyrique, le vésipaque, ce qui nous a permis de suivre, à l'aide d'un compteur extérieur à l'organisme, la concentration de cet opacifiant biliaire dans la vésicule et de mesurer quantitativement la contraction vésiculaire sous l'effet du repas d'épreuve (fig. 8). Quelques dizaines de milligrammes suffisent à réaliser une exploration vésiculaire, ce qui supprime les signes d'intolérance qui accompagnent parfois les ingestions d'opacifiants biliaires. Enfin ce produit pourrait être utilisé pour irradier sélectivement les voies biliaires, en cas de cancer par exemple.

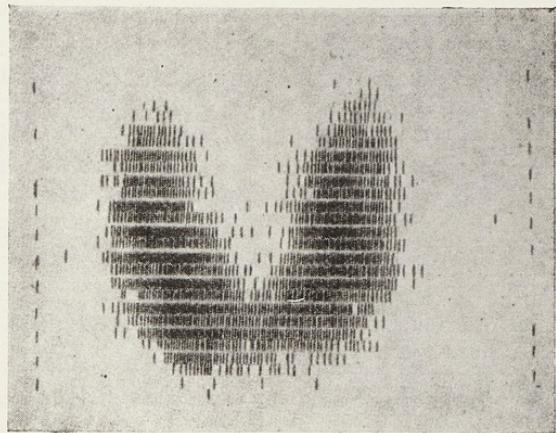


Fig. 1.

Scintillogramme de la glande thyroïde.

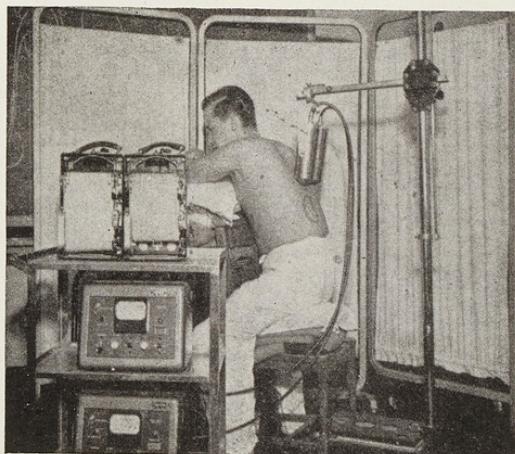


Fig. 2.

Dispositif de comptage et d'enregistrement pour l'exploration d'une fonction rénale (Dr. Taplin).

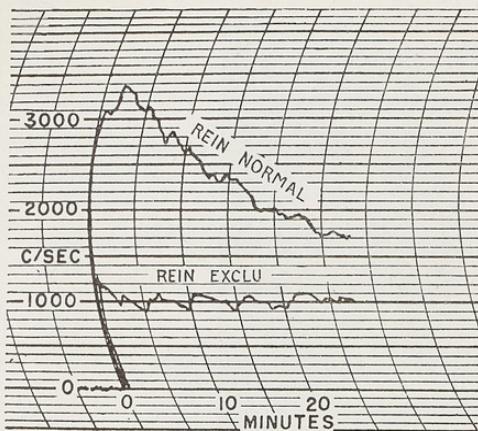


Fig. 3.

Le tracé supérieur correspond à un rein normal; le tracé inférieur indique un rein exclu.

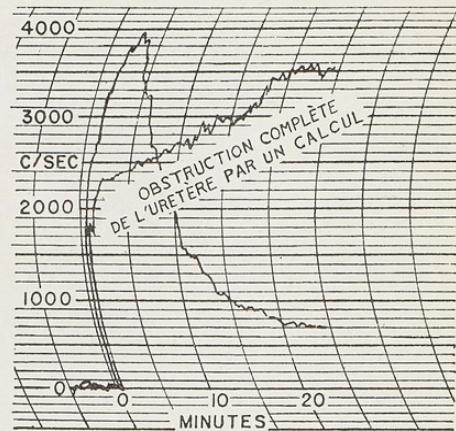


Fig. 4.

Le tracé en clocher correspond à un rein normal; l'autre révèle une obstruction de l'uretère due à un calcul (Dr. Taplin).

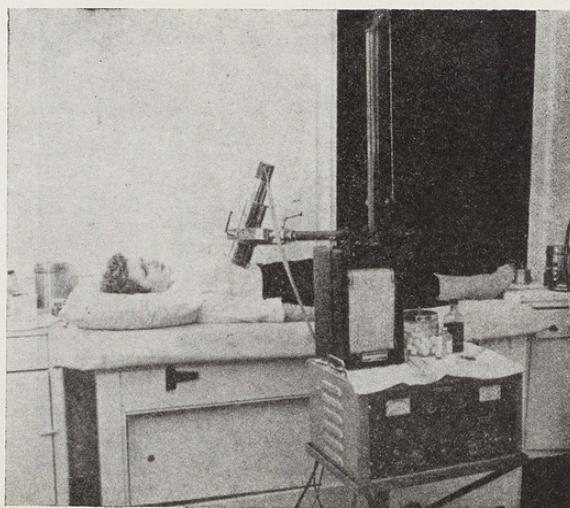


Fig. 5.

Dispositif de comptage et d'enregistrement permettant l'étude d'une fonction hépatique (Dr. Taplin).

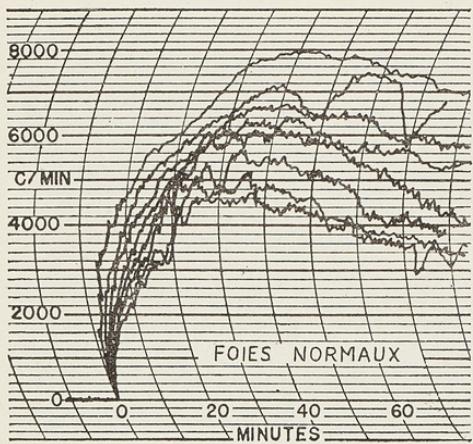


Fig. 6.

Tracés montrant la concentration du rose bengale dans le foie d'individus normaux.

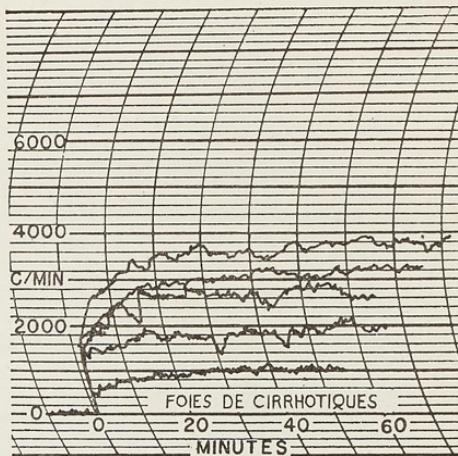


Fig. 7.

Concentration déficiente du rose bengale dans le foie de cirrhotiques (Dr. Taplin).

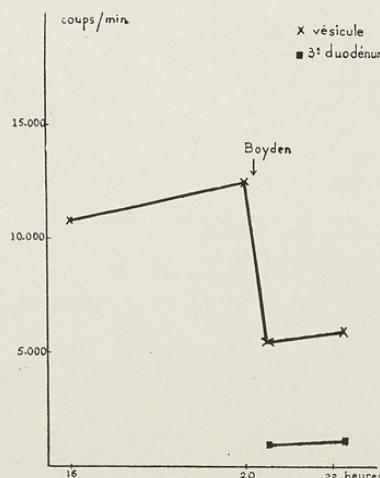


Fig. 8.

Enregistrement de la radioactivité de la région vésiculaire. Concentration d'un opacifiant biliaire dans la vésicule puis élimination par contraction de la vésicule sous l'effet du repas de Boyden.

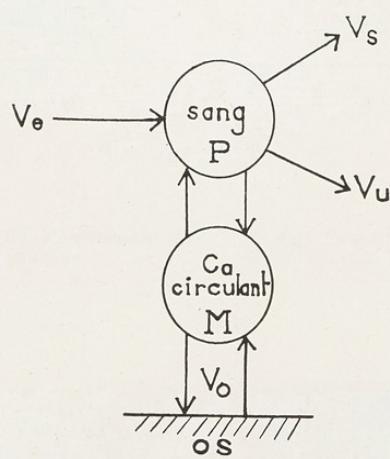


Fig. 9.

Représentation schématique du métabolisme du calcium.

Fonctions hémopoïétiques.

Fer 59. — L'hémoglobine, principal constituant des globules rouges, contient dans sa molécule un atome de fer. On peut suivre la formation des globules rouges dans l'organisme en injectant du Fer 59, qui est incorporé dans l'hémoglobine des globules rouges nouvellement formés.

L'école de J. Lawrence a étudié le métabolisme du fer plasmatique et son incorporation dans les erythrocytes. Dans la polycythémie vraie, l'utilisation du Fer 59 est très accélérée. Il en va de même dans l'anémie pernicieuse ou anémie de Biermer, les leucémies myéloïdes et lymphoïdes. L'incorporation du Fer 59 dans l'hémoglobine constitue le test le plus sensible de l'activité hématopoïétique. C'est ainsi que, récemment, J. Lawrence et ses collaborateurs ont montré l'existence, dans l'urine de patients anémiques, d'un facteur qui accélère la formation des globules rouges.

Chrome 51. — On peut marquer commodément de façon durable les hématies en les traitant avec du chromate 51 de sodium (Gray et Sterling). Il s'agit là évidemment d'un artifice. En réinjectant au patient une quantité connue d'hématies marquées, il est possible d'étudier leur survie en suivant la décroissance de la radioactivité globulaire en fonction du temps. Les syndromes hémolytiques ont pour effet de raccourcir considérablement la période de survie des hématies. On précise la nature du processus hémolytique en comparant le comportement de globules marqués normaux injectés dans le sang du malade avec le comportement de globules marqués du malade injectés à un individu normal. Enfin la mesure de la radioactivité qui s'accumule dans la rate fournit une évaluation de l'activité hémolytique de cet organe.

Vitamine B₁₂. — La vitamine B₁₂ est un facteur indispensable à la formation des globules rouges. L'homme ne peut en réaliser la synthèse et il est dépendant des apports alimentaires en vitamine B₁₂. L'absorption digestive de la vitamine B₁₂ nécessite la présence du facteur intrinsèque sécrété par la muqueuse gastrique. Les malades atteints d'anémie de Biermer sont dépourvus de fac-

teur intrinsèque et leur maladie est la conséquence d'une carence en vitamine B₁₂.

L'anémie pernicieuse de Biermer méritait bien son nom jusqu'à la découverte du traitement par le foie cru, puis par les extraits de foie, enfin par la vitamine B₁₂. En quelques jours, le malade est transformé et les signes cliniques s'améliorent de façon foudroyante. Mais le malade n'est pas guéri et il va falloir lui administrer pendant des années, à dose d'entretien, de la vitamine B₁₂ ou des extraits de foie pour éviter les récidives et pour prévenir l'apparition d'un redoutable syndrome neuro-anémique pouvant aller jusqu'à une sclérose combinée de la moëlle avec paraplégie et ataxie. On comprend l'importance qui s'attache au diagnostic de cette maladie. Avant la découverte de la vitamine B₁₂, ce diagnostic était assez facile en pratiquant une ponction sternale ou en recherchant les mégaloblastes dans le sang circulant. Aujourd'hui il est devenu presque impossible car tout malade fatigué a pris de la vitamine B₁₂ ou des extraits de foie, ce qui a effacé temporairement les signes hématologiques. C'est alors qu'on a constaté que la vitamine B₁₂ marquée au Cobalt 60 permet de diagnostiquer l'anémie pernicieuse avec une grande sécurité. L'absorption digestive de la vitamine B₁₂ nécessite, comme vous le savez, la présence du facteur intrinsèque. Chez le sujet normal, l'ingestion de 1 gamma de vitamine B₁₂ marquée est suivie d'un stockage hépatique de 0,8 gamma. Glass mesure la radioactivité hépatique à travers la peau à l'aide d'un compteur à scintillation; la radioactivité augmente régulièrement pendant 6 jours, puis reste en plateau pendant plusieurs semaines. Chez le biermérien, même traité, le facteur intrinsèque fait défaut : la vitamine B₁₂ marquée ingérée n'est pas ou peu absorbée et le foie ne concentre qu'une faible radioactivité. On peut donc porter le diagnostic d'anémie de Biermer chez un malade ne présentant pas les signes hématologiques usuels.

Nous nous sommes demandé avec Louis Martin et J. P. Aubert, si la voie rectale permettait l'absorption de la vitamine B₁₂. Nous avons donc administré à des malades

de la vitamine B_{12} marquée et mesuré la radioactivité de la région hépatique. Pour une dose faible de vitamine B_{12} , il n'y a pas d'absorption. Pour une dose de l'ordre de 500 gammes, l'absorption est d'environ 5 pour 100. Le mécanisme de cette absorption doit être différent de celui qui est mis en jeu par la voie buccale, où intervient le facteur intrinsèque. Dans ce cas, le taux d'absorption s'effondre quand on augmente la dose administrée puisqu'il passe de 80 p. 100 pour un gamma à 1 p. 100 pour 1 000 gammes; par voie rectale au contraire, le taux de résorption augmente avec la dose administrée; il s'agit donc très vraisemblablement d'une diffusion simple à travers la muqueuse rectale.

L'utilisation du *Phosphore 32* a été préconisée par Lawrence pour la thérapeutique des hémopathies : leucémies myéloïdes, — pour autant qu'elles ne soient pas aiguës — leucémies lymphoïdes et polyglobulies essentielles. Les effets du traitement peuvent être résumés comme suit dans les cas favorables. Dans les *leucémies myéloïdes*, une dose modérée de ^{32}P provoque une chute rapide des globules blancs, ramenant la formule sanguine à la normale et l'anémie se répare. La rémission dure 6 mois à 1 an puis la maladie reprend, moins sensible au *Phosphore 32*.

Dans les *leucémies lymphoïdes*, on observe

la fonte des tuméfactions ganglionnaires et de la splénomégalie; la lymphocytose diminue, sans que la formule sanguine revienne à la normale; l'anémie se répare.

Coliez, Tubiana et Alagille ont montré que la *thrombocythémie* peut être traitée avec succès par le radiophosphore : en 4 à 6 semaines, le nombre des plaquettes revient à la normale en même temps que les signes cliniques (nervosisme et hémorragies) s'amendent.

Dans la *polycythémie essentielle*, le radiophosphore a un effet remarquablement constant, diminuant l'activité érythropoïétique de la moëlle. La durée de la vie des érythrocytes, de 4 mois environ, explique que l'effet du traitement ne se manifeste qu'après 6 à 8 semaines. On voit successivement baisser le taux des globules blancs, des plaquettes, enfin des globules rouges. La masse sanguine, très augmentée au début de la maladie, revient à la normale et la splénomégalie régresse. Lorsqu'une rechute survient — au bout de un à deux ans — la radiosensibilité au ^{32}P n'est plus modifiée et un nouveau traitement s'avère aussi efficace que le premier.

Tous les traitements au *Phosphore 32* ont en commun de ne provoquer ni incident ni réaction d'intolérance; ils sont donc particulièrement indiqués pour des malades fatigués.

Exploration du squelette.

Le squelette ne représente pas seulement l'armature rigide de l'organisme, qui assure la posture et la marche. La dureté de l'os n'est pas exclusive de phénomènes métaboliques intenses et le tissu osseux est en perpétuel renouvellement. A chaque instant, chez l'adulte normal, un peu d'os se détruit et un peu d'os se forme, bien que, dans son ensemble le squelette semble immuable. On sait le rôle joué par certaines vitamines et certaines hormones dans les processus d'ossification : vitamine D, vitamine C, hormones sexuelles, hormones surrénales et parathormone.

Il existe des états pathologiques où l'os se forme mal, comme le rachitisme, l'ostéoporose des vieillards, l'ostéomalacie. Dans d'autres affections, le métabolisme osseux est très exagéré, par exemple, la maladie

de Paget ou certaines métastases cancéreuses.

Le diagnostic des affections osseuses se fait en clinique en dosant le calcium sanguin, le calcium urinaire, en administrant des surcharges de calcium ou des hormones, telles les hormones sexuelles ou la cortisone, pour modifier dans un sens significatif le calcium sanguin urinaire.

L'emploi du Calcium 45 permet d'explorer le métabolisme calcique sans perturber en aucune façon l'organisme; il permet de mesurer l'intensité de phénomènes tissulaires osseux.

On peut schématiser le métabolisme du calcium de la manière suivante (fig. 9). On voit que Ve représente l'entrée du calcium dans l'organisme, Vu la vitesse d'élimination urinaire, Vs la vitesse d'élimination fécale et

Vo la vitesse de renouvellement du calcium osseux. P est la quantité de calcium sanguin, qui est chez l'adulte de l'ordre de 250 mg. On injecte une quantité infime de calcium radioactif, ce qui permet de mesurer deux constantes du métabolisme calcique, qui n'avaient pu être déterminées jusqu'à présent par aucune autre méthode :

1^o une quantité de calcium qui s'équilibre très rapidement avec le calcium sanguin, que nous appelons le *calcium circulant*. La quantité de calcium circulant est très importante puisqu'elle est de l'ordre de 7 000 mg chez l'adulte normal;

2^o la vitesse de renouvellement du calcium osseux qui chez l'adulte normal est de 65 mg par heure. Les constantes du métabolisme normal subissent d'importantes variations dans divers états pathologiques. Elles augmentent dans les affections caractérisées par une hyperactivité du système osseux

(maladie de Paget, métastases osseuses) et diminuent dans celles qui s'accompagnent d'une hypoactivité (ostéoporose).

La sensibilité de cette méthode doit permettre de déceler les troubles du métabolisme de l'os avant leurs traductions radiologiques et cliniques. On comprend l'intérêt de mesurer l'intensité de phénomènes tissulaires qui ne sont pas soumis, comme le calcium sanguin, aux régulations maintenant la fixité du milieu intérieur.

Bauer utilise chez l'homme du Calcium 47, qui émet un rayonnement gamma, pour localiser des lésions osseuses à l'aide d'un compteur à scintillation placé à la surface du corps. Il est certain que le Calcium 47 va être largement employé dans les années à venir.

Enfin, Desgrez et Guérin se servent de gallium radioactif pour déceler des tumeurs osseuses.

Système circulatoire.

La vitesse de la circulation sanguine a été déterminée par Smith et Quinby en utilisant le Sodium 24. Prinzmetal a perfectionné la méthode en enregistrant la radioactivité à l'aide d'un compteur placé hors de l'organisme. Il est plus commode d'utiliser de l'albumine marquée à l'Iode 131, qui reste dans le système circulatoire, alors que le sodium diffuse dans tout l'organisme. En injectant l'albumine dans la veine du bras et en enregistrant la variation de la radioactivité de l'aire cardiaque en fonction du temps, on peut mesurer le débit cardiaque. Ce radiocardiogramme fournit des renseignements importants sur l'hémodynamique normale et pathologique et permet de suivre l'évolution de la maladie.

Que peut-on attendre de l'emploi des radioisotopes dans le *traitement général des tumeurs*?

Les radioisotopes représentent une modalité importante de la thérapeutique antitumorale toutes les fois où l'emploi des rayons X est contre-indiqué. Nous ne disposons malheureusement pas d'isotopes se concentrant électivement dans le tissu néo-

plasique; il faut donc injecter le produit radioactif directement dans la tumeur ou dans la cavité abdominale ou pleurale. On utilise des suspensions colloïdales qui restent dans la zone d'injection ou diffusent à la surface de la séreuse. Les radioisotopes sont choisis uniquement pour la qualité et la durée de leur rayonnement et non pour leurs propriétés chimiques, qui sont indifférentes. Au Sulfure de Zinc 63, préconisé par J. H. Muller, ont succédé l'Or colloïdal 198 et le radio-phosphate de chrome colloïdal. On obtient une irradiation intense et localisée des lésions cancéreuses ou de la surface de la séreuse. Une partie de la solution colloïdale est résorbée par le système lymphatique, assurant l'irradiation d'éventuelles métastases lymphatiques. Si l'on injecte la solution colloïdale par voie intraveineuse, c'est le système réticulo-endothélial qui est irradié, particulièrement le foie et la rate. Ces thérapeutiques ont donné des résultats intéressants, notamment en France dans les mains de Huguenin et collaborateurs et dans celles de Chevallier et Burg.

Conclusions.

Après cette revue générale trop rapide et malheureusement incomplète, que conclure? Il est évident que la méthode des radio-

isotopes sera de plus en plus utilisée à des fins diagnostiques, complétant et souvent remplaçant les analyses biochimiques classiques.

Dès que l'on dispose d'isotopes utilisés sélectivement par l'organisme, tels que l'iode pour la fonction thyroïdienne, le fer pour l'érythropoïèse, le calcium pour l'ossification, l'exploration directe de ces processus devient possible, livrant à la clinique des renseignements qu'aucune autre méthode ne saurait donner. Et dans les années à venir? Le métabolisme des composés carbonés n'a que fort peu retenu l'attention; il est vraisemblable que l'on étudiera de plus en plus les diabètes, les hypercholestérolémies, les « erreurs congénitales du métabolisme » : alcaponurie, oligophrénie phénylpyruvique, galactosémie, à l'aide de corps marqués au Carbone 14.

Il va falloir planter dans les hôpitaux des réacteurs atomiques, du type de celui qui est à la Faculté de Médecine de Los Angeles. On pourra alors utiliser pour le diagnostic des isotopes de vie très courte et irradier les tumeurs cancéreuses avec des neutrons.

La thérapeutique?... Peu à peu ses indications se précisent et, pour le traitement de la maladie de Basedow par exemple, le recul est suffisant pour que l'excellence de ce traitement soit pleinement reconnue. Et le cancer? Il faut reconnaître que, faute de posséder un isotope se concentrant électivement dans les tumeurs cancéreuses, les radioisotopes ne représentent qu'un mode de radiothérapie.

TEMPS ET FRÉQUENCES

NOUVEAUX ÉTALONS

par M. Bernard DECAUX,

*Ingénieur en chef des Télécommunications
Conseiller technique du Bureau international de l'Heure.*

Le Temps et sa mesure ont toujours été d'une importance capitale pour l'humanité, mais ils s'imposent de plus en plus dans la vie moderne. L'avènement de l'électronique et le bouleversement qu'elle a apporté dans toutes les sciences et toutes les techniques n'ont pas épargné la chronométrie. Non seulement les méthodes chronométriques ont évolué d'une façon révolutionnaire depuis quelques années, mais leur champ d'action s'est tellement développé que presque tout, maintenant, fait appel à une mesure de temps et de fréquence. Ces multiples applications nouvelles exigent généralement une précision de mesure considérable; de sorte que les méthodes et les appareils ont dû être poussés à une qualité extraordinaire, non pas uniquement pour des buts de science pure, mais même pour les applications les plus pratiques.

Le Temps... Est-il une notion qui paraît mieux connue, et cependant plus difficile à définir? Pour éclairer ma lanterne, ... et la vôtre, j'ai consulté ce petit dictionnaire qui sert aux jeunes gens pour leurs devoirs, et

aux gens moins jeunes pour leurs mots croisés. J'y ai trouvé les définitions suivantes :

Temps : durée limitée.

Durée : temps en général.

Intervalle : distance entre les lieux ou les temps.

Distance : intervalle qui sépare deux points de l'espace ou du temps.

Nous voilà bien avancés! Pascal disait qu' « en poussant les recherches de plus en plus on arrive nécessairement à des mots « primitifs qu'on ne peut plus définir ». Je crois que nous y sommes arrivés en ce qui concerne le Temps. Et l'on peut dire modestement avec Saint Augustin : « si nul ne me le « demande, je le sais; si je cherche à l'expliquer quand on me le demande, je ne le sais « pas ».

C'est que la notion de Temps n'est pas du tout la même pour le philosophe, le relativiste, l'astronome, le biologiste, et l'homme tout court. Est-ce une entité? une variable figurant dans les équations? le déroulement de phénomènes vitaux? une impression psy-

(1) Conférence faite le 28 octobre 1958 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

L'industrie nationale. — avril-juin 1959.

chologique? Ni l'un ni l'autre, mais tout ensemble. Ce que l'on peut dire, c'est que le Temps est indissolublement lié à l'Espace et à la Matière. Comment observer le Temps s'il n'y a pas déplacement de quelque chose? Un univers immuable ne comporterait pas le Temps, ce serait l'Éternité.

Revenons maintenant à des considérations plus concrètes et voyons comment se matérialise, si j'ose ce jeu de mots, le Temps. Il se manifeste sous deux aspects, qui se retrouvent dans les procédés chronométriques, et que nous sentons bien d'ailleurs, sans définition précise ni mesures : la *durée*, les *rythmes*. La durée, c'est l'aspect le plus évident, celui qu'Aristote considérait pour caractériser le temps lui-même : déroulement d'événements successifs que l'on peut numérotter; c'est l'écoulement du temps, la chronologie. Si les événements successifs se répètent plus ou moins régulièrement à des intervalles repérables, ils possèdent un rythme; ce rythme est caractérisé par sa fréquence. Si l'on peut mettre bout à bout les intervalles de temps du rythme, on peut obtenir une chronologie; nous reverrons cela pour les garde-temps. Par rapport aux autres grandeurs, le Temps présente quelques particularités. Il est irréversible. Ses intervalles sont cumulatifs, et s'ils diffèrent de leur valeur prévue d'une quantité si petite soit-elle, il arrivera un moment où l'écart accumulé deviendra évident et intolérable. Cette dernière remarque ne devra pas être perdue de vue lorsqu'il s'agira de choisir une nouvelle définition de l'unité de temps.

La dualité durée-fréquence se retrouve déjà dans les unités. Celle de temps est la seconde, la seule unité commune aux divers ensembles C. G. S., M. T. S., M. K. S. A., etc. Jusqu'à nouvel ordre sa définition est astronomique. Elle fut d'abord basée sur l'observation de la rotation terrestre : la 86 400^e partie du jour solaire moyen, déduit lui-même du jour sidéral. Puis, la précision nécessaire devenant toujours plus élevée, et la Terre

ne tournant pas assez rond, comme l'a montré N. Stoyko, on a considéré la révolution terrestre autour du Soleil, observée en réalité par les mouvements de la Lune; et la définition actuelle est :

la fraction 1/31 556 925, 9747 de l'année tropique pour 1900 janvier 0 à 12 heures de Temps des Éphémérides.

Ce Temps des Éphémérides résulte de calculs de mécanique céleste.

Et, direz-vous, le fameux Temps Moyen de Greenwich? Eh bien! cette expression est impropre et condamnée par l'Union Astronomique Internationale depuis trente ans, mais elle a la vie aussi dure que le cheval-vapeur. L'on doit parler de Temps Universel (T. U.), qui est le temps *civil* du méridien de Greenwich. De plus l'élimination des déplacements du pôle, puis des irrégularités saisonnières de la rotation terrestre, conduit à des Temps Uniformes (provisoires) T. U. 1 puis T. U. 2. C'est ce dernier que nous utilisons actuellement. Son raccordement au Temps des Éphémérides demande une grande patience car il faut accumuler des années d'observations astronomiques; une première détermination vient seulement d'être annoncée.

La fréquence est caractérisée par l'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs d'un phénomène périodique par le même aspect caractéristique; c'est la *période*. L'ensemble de l'évolution au cours de la période constitue un cycle; la fréquence est le nombre de cycles qui se succèdent pendant l'unité de temps; c'est l'inverse de la période, donc d'un temps. C'est pourquoi les physiciens la comptent en s^{-1} sans donner de nom à l'unité, tandis que les radioélectriciens l'expriment en cycles par seconde (c/s). Les métrologistes, à la suite des électriciens, ont adopté le hertz (Hz), qui sera prochainement l'unité légale en France. Notons que chaque point d'un cycle périodique est caractérisé par sa *phase* et celle-ci définit, en somme, un instant bien déterminé.

Usages des mesures de temps.

Mesurer le temps n'est pas seulement le domaine des horlogers, car à côté de la mesure directe des durées ou des rythmes une infinité de mesures d'autres grandeurs s'effec-

tuent en réalité par la mesure directe ou indirecte d'un temps ou d'une fréquence. Grâce à cette transposition l'on a pu résoudre un certain nombre de problèmes de mesures très

précises, impossibles à réaliser sans passer par l'intermédiaire chronométrique.

Glanons quelques exemples un peu au hasard. Il serait évident de dire que l'on mesure une vitesse en déterminant le temps de parcours d'une distance ou d'un angle donné. Mais un indicateur de vitesse d'automobile ne semble pas, à première vue, faire une mesure de temps, puisqu'il mesure une force; cependant celle-ci est la force centrifuge, qui n'est que la traduction mécanique de la vitesse angulaire. — Dire que la détermination de l'unité de résistance électrique en valeur absolue est basée sur une mesure de temps paraît étonnant; cependant on compare la résistance à mesurer à l'impédance d'une inductance calculée; cette impédance dépend de la fréquence du courant : mesure de temps. — Pour mesurer la tension élastique des câbles qui équilibrent la gigantesque voûte tripode du C. N. I. T. au Rond-Point de la Défense, on a mesuré la fréquence propre de vibration d'une éprouvette : mesure de temps.

Mesurer un champ magnétique avec une très haute précision est une entreprise hasardeuse par les procédés classiques. Or les résonances paramagnétiques, électroniques ou nucléaires, dépendent du champ magnétique. Retournons le processus, et nous repérons un champ magnétique avec une très grande sensibilité par la valeur de la fréquence de résonance observée : mesure de temps.

Mesurer une vitesse par une fréquence est devenu banal. Foucault et Fizeau l'avaient fait les premiers pour la vitesse de la lumière, en déterminant la fréquence des passages successifs sur le miroir tournant ou sur la roue dentée. Mais maintenant on mesure la vitesse de certains mobiles par l'effet Doppler produit sur des ondes qu'ils émettent ou qu'ils réfléchissent; cet effet Doppler, c'est un décalage de fréquence. Premier exemple : détermination de la vitesse radiale des étoiles ou galaxies par le glissement des raies lumineuses, ou des nuages d'hydrogène interstellaire par le déplacement de la raie de 21 cm observée en radio-astronomie (différence allant jusqu'à $2/10^6$). Deuxième exemple : les échos radar sur la lune n'ont pas à la réception la même fréquence qu'à l'émission, en raison principalement de la vitesse tangentielle de la terre (différence allant jusqu'à

$2/10^6$). De même les ondes hertziennes réfléchies sur l'ionosphère subissent, à certaines heures, un effet Doppler dû aux variations d'altitude de l'ionosphère (de l'ordre de 2 ou $3/10^7$ sur 5 MHz entre l'Amérique et l'Europe). Troisième exemple : on mesure la vitesse radiale d'un avion ou d'un projectile par l'effet Doppler produit sur une onde hertzienne qui se réfléchit sur eux.

Revenons sur la vitesse de la lumière. Depuis les célèbres mesures du xixe siècle, elle a donné lieu de à nombreuses déterminations nouvelles par des méthodes très diverses, dont la plupart se ramènent encore à des mesures de fréquence. — Méthodes optiques d'Anderson ou de Bergstrand, où la roue dentée est remplacée par une cellule de Kerr à haute fréquence. — Méthodes hertziennes dérivées du radar, comme celles d'Aslakson ou de Wadley. — Mesures simultanées de la longueur d'onde et de la fréquence dans une cavité résonnante, comme celles de Essen ou de Zacharias. Signalons que la valeur $299\,792,5 \pm 0,4$ km/s a été recommandée en 1957 par l'Union Radioscientifique Internationale, ce qui représente le gain d'une décimale sur la valeur adoptée en 1952.

Passons de la vitesse à l'accélération, et nous trouvons l'exemple des mesures absolues de l'intensité de la pesanteur; ce sont encore des mesures de temps. Les mesures pendulaires ont été utilisées dans ce but depuis longtemps. Plus récemment l'observation de la chute d'un corps a conduit à une détermination directe, nécessitant l'enregistrement très précis des temps correspondant aux passages successifs de gradations devant un repère. Cette méthode a été poussée jusqu'à un très haut point de précision au Pavillon de Breteuil par M. Volet, Directeur du Bureau International des Poids et Mesures.

L'une des plus spectaculaires parmi les mesures physiques ramenées à une mesure de temps est certainement celle des distances, en raison de son application au radar et à tous ses dérivés. Si l'on connaît la vitesse de propagation d'un phénomène sonore, lumineux ou hertzien, l'on peut évidemment déterminer une distance en mesurant le temps pour la parcourir. Si la distance est parcourue dans un seul sens, il faut comparer le temps de trajet à un temps connu, c'est-à-dire disposer d'une horloge précise à chaque bout; on

peut aussi comparer le temps de trajet à celui d'un autre parcours et ne déterminer que leur différence. Mais la méthode la plus répandue utilise l'aller et retour de l'onde sur le même trajet, la durée de cet aller et retour traduisant le double de la distance. L'énergie transmise peut être fractionnée en de brèves impulsions périodiques, faciles à repérer dans le temps, ou bien se propager par ondes continues, dont la phase sert de repère de temps. On peut aussi caractériser les temps par la valeur instantanée d'une fréquence variable, les différences de temps se lisant alors sous forme de différences de fréquence.

Dans tous ce que nous venons de dire, rien ne spécifie la nature de l'onde. Voyons alors maintenant les applications des divers phénomènes utilisables. Les acoustiques, d'abord, car ce furent les premières qui donnèrent lieu à une application pratique, sous la forme du sondeur sous-marin à ultra-sons mis au point par Langevin il y a plus de 40 ans. Il permet à un navire de connaître à chaque instant la profondeur de la mer ou même celle d'un banc de poissons. Sans son moderne dérivé, le SONAR, la navigation sous-glaciaire du Nautilus aurait été impossible. Les ondes lumineuses? C'est l'expérience de Foucault à l'envers, et le moderne Géodimètre de Bergstrand permet de mesurer presqu'au millionième près le temps mis par la lumière, interrompue plusieurs millions de fois par seconde, pour revenir à son point de départ, après réflexion sur un miroir disposé à l'autre extrémité.

En ce qui concerne les ondes hertziennes, tout le monde pense au radar, mais celui-ci résulte en réalité d'expériences plus anciennes destinées à mettre en évidence, et mesurer, les régions ionisées de la haute atmosphère, l'ionosphère. Appleton et Barnett en 1925 utilisaient une fréquence variable dans le temps. Breit et Tuve peu de temps après inaugureront la méthode des impulsions qui est restée en usage jusqu'à présent dans les sondages ionosphériques. Sur un oscillographe cathodique balayé horizontalement en fonction du temps on voit apparaître successivement l'impulsion initiale et ses « échos » réfléchis par les diverses couches. Lorsqu'il s'est agi de déterminer la distance d'un avion, la méthode était toute prête, mais on imagine souvent mal la somme invraisemblable de temps, de travail, de per-

sonnel et de crédits qu'il a fallu mettre en œuvre pour réaliser des matériels robustes, sûrs et maniables! Dans le vocabulaire radar, la lettre d rappelle le problème de la direction; celle-ci s'obtient au moyen de miroirs jouant le rôle de projecteurs et de télescopes. Si l'on peut conjuguer mesure de distance et mesure d'angle, on peut représenter chaque point déterminé en coordonnées polaires et obtenir un véritable plan de la région entourant le radar, parfois jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres. Navigation maritime et navigation aérienne font de ces procédés un usage de plus en plus intensif. L'on sait aussi que la portée du radar va couramment jusqu'à la lune.

Bien entendu toute la précision en distance d'un radar résulte de celle de la mesure du temps et de la connaissance de la vitesse de propagation. Cette dernière dépend des conditions aérologiques et doit faire l'objet soit de corrections soit de mesures complémentaires. On arrive alors à des précisions suffisantes pour les déterminations géodésiques, par exemple avec le Telluromètre de Wadley, qui est la transposition dans le domaine hertzien (ondes centimétriques) de la méthode optique adoptée par Bergstrand.

Un petit radar simplifié et très spécial, c'est l'altimètre d'avion qui mesure le temps mis par une onde pour descendre jusqu'au sol et remonter, et indique automatiquement l'altitude. Déplorons à ce propos que des altimètres français soient gradués en pieds...

On peut mesurer la distance parcourue par un avion au moyen d'un seul trajet d'ondes hertziennes dont on détermine la durée grâce aux indications d'une horloge embarquée; cela exige naturellement que celle-ci reste particulièrement constante malgré les vicissitudes de son transport. L'on parle là de stabilités de l'ordre du milliardième pendant la durée du vol.

Une telle stabilité doit être aussi, sur des intervalles de quelques minutes, celle des systèmes de radionavigation dits hyperboliques. On ne détermine pas là la distance du mobile à un point fixe, mais la différence des distances à deux points fixes; le lieu est donc une branche d'hyperbole. Un autre couple de points fixes définit une autre branche d'hyperbole, et leur intersection indique la position du mobile. Passons sur les problèmes de calcul des « hyperboles » sur une sphère, et

remarquons seulement que leur emplacement dépend essentiellement de la concordance des fréquences et des phases des divers émetteurs dont on reçoit les ondes. Les systèmes en sont nombreux : LORAN américain à impulsions, DECCA anglais à ondes entretenues pures, RANA et Radio-Mailles français à ondes modulées, etc. Les distances à mesurer croissant avec l'extension du trafic aérien, il a fallu étudier des systèmes transocéaniques et envisager l'emploi d'ondes très longues pour les régions polaires, où les phénomènes ionosphériques perturbent les ondes courtes.

Les géodésiens ont appliqué des systèmes assez voisins à la détermination des côtés de

leurs triangles, jusqu'à des distances de 200 à 300 km. Ces trilaterations ont rendu les plus grands services dans les pays peu accessibles comme le nord du Canada, ou pour relier les triangulations anglaises et norvégiennes, grecques et égyptiennes, etc. Ces mesures se font au moyen d'avions-laboratoires survolant la zone intéressée et mesurant les distances, pendant qu'un autre avion détermine les valeurs aérologiques du moment, permettant d'effectuer les corrections sur la vitesse de propagation. La précision atteint quelques millionnièmes, ce qui nécessite des lectures en temps à quelques milliardièmes de seconde près.

Nécessité des hautes précisions.

Quand on parle des précisions extraordinaires des mesures actuelles, beaucoup sont tentés de dire : à quoi cela sert-il? est-ce bien nécessaire? La réponse est claire : tout progrès scientifique résulte d'une amélioration des méthodes de mesure. Beaucoup de phénomènes n'ont été découverts que grâce à des mesures d'une précision supérieure à la normale; la vérification expérimentale de nombreuses théories n'est possible que grâce à des mesures précises. Quelques exemples rapidement : le radium, découvert par des mesures à l'électromètre ultra-sensible; l'eau lourde, décelée par d'infimes différences de densité; l'effet Doppler en radioélectricité, nécessitant des mesures de fréquences extrêmement fines, de même que la mise en évidence des raies spectrales hertziennes; les irrégularités de la rotation terrestre, etc. Les mesures de haute précision sont nécessaires pour l'étude détaillée d'un phénomène, mais elles amènent un perfectionnement des techniques d'observation, et ainsi de suite. Dans les mesures elles-mêmes, l'amélioration des étalons conduit à celle des appareillages de mesure qui permettent ensuite un perfectionnement des étalons. On conçoit ainsi que le Directeur du Bureau of Standards américain ait récemment caractérisé le potentiel scientifique des nations par l'importance qu'elles attachent à leurs instituts de mesures précises. Souhaitons que la France ne soit pas trop défavorisée sur ce point.

Dans le domaine qui nous occupe aujourd'hui, la nécessité des hautes précisions est

peut-être plus marquée que dans d'autres non seulement en ce qui concerne les recherches de science pure, mais surtout dans les applications techniques.

La précision qu'exige actuellement la conservation du temps est de l'ordre du cent-millième de seconde par jour; cela représente en gros $1/10^9$. Si une horloge était capable de garder cette stabilité pendant 300 ans, elle n'aurait varié que d'une seconde au bout de ce temps. Sans doute de tels chiffres ne parlent-ils pas beaucoup à l'esprit; transpons-les dans le domaine des mesures de distances; ils correspondraient à des écarts de 1 mm sur 10 000 km, soit presque la distance séparant Paris de Buenos-Aires. Ou encore, puisque l'espace Terre-Lune est à la mode, un écart de 4 cm. sur ce gigantesque parcours.

Ceci n'intéresse, semble-t-il, que les astronomes et les métrologistes, mais en réalité les incidences sur les réalisations industrielles sont frappantes. Lorsqu'un pilote d'avion fait le point grâce à un réseau de radionavigation, il effectue sans le savoir une mesure de temps à presque $1/10^9$ près. Lorsque l'administration des P. T. T. règle la fréquence des oscillateurs servant aux liaisons téléphoniques sur les câbles à grande distance, elle doit le faire à $1/10^8$ près. La Radiodiffusion, elle, règle ses émetteurs dits « synchronisés » à $1/10^9$ près. Et il est évident que de telles précisions *en service* se répercutent avec une ou deux décimales de plus dans les laboratoires chargés de conserver les étalons.

Bien entendu de telles précisions sont relatives, la précision absolue étant du ressort des astronomes, et d'ailleurs plus faible; nous en reparlerons.

Les mesures de haute précision, quelles qu'elles soient, présentent quelques aspects qu'il est bon de rappeler. Tout d'abord elles mettent souvent en jeu, pour aboutir au résultat final, des corrections dues aux conditions réelles d'expérimentation, souvent plus importantes que les erreurs expérimentales elles-mêmes. D'autre part elles reposent généralement sur l'appréciation de petites différences entre deux grandeurs. La précision maximale est atteinte pour un certain ordre de la grandeur à mesurer; très petite ou très grande, celle-ci serait plus difficile à déterminer. Et bien entendu, la précision dépend de la définition correcte des extrémités de ce que l'on mesure, ce qui n'est pas toujours si facile...

L'échelle des temps mesurables est immense; le rapport entre les plus grands et les plus petits, tout comme pour les longueurs, est en

gros de 10^{40} , depuis les milliards d'années de l'astronomie et de la géochronologie, jusqu'aux milliardèmes de milliardèmes de seconde de l'atomistique. Naturellement ce sont les temps à l'échelle de l'homme qui sont les plus accessibles à la métrologie de haute précision. Les techniques appropriées diffèrent entre elles de façon extrême, depuis la désintégration des roches radioactives, jusqu'à la chronophotographie à étincelles; ce n'est pas notre sujet d'aujourd'hui.

Avant de terminer ces quelques réflexions sur la précision des mesures de temps, notons qu'elle atteint maintenant le point où la notion du temps lui-même ne peut plus faire abstraction des phénomènes relativistes. D'après les spécialistes ces phénomènes altèreraient le temps, par l'influence de la vitesses des astres, de leur masse, etc. de quantités comprises entre $1/10^{10}$ et $1/10^{12}$. Il y aura donc lieu, très prochainement, de préciser les conditions dans lesquelles on définit les mesures effectuées.

Garde-temps.

Nous venons de passer en revue rapidement les applications qui postulent des précisions très élevées dans la mesure du temps ou de la fréquence. Examinons maintenant les méthodes qui ont permis de résoudre ces difficiles problèmes.

Conserver le temps et marquer l'heure, deux préoccupations datant des origines de l'humanité. Les étapes de leur évolution peuvent se schématiser par le sablier, la pendule, l'horloge à quartz, l'horloge atomique. Le sablier constitue, dans cette énumération, le seul représentant des étalons d'*écoulement* du temps. Les autres sont tous des étalons de *fréquence*, marquant une succession indéfinie d'*intervalles* de temps périodiques.

Sautons délibérément la longue histoire des garde-temps mécaniques dont les derniers exemplaires furent pourtant des chefs-d'œuvre, et parlons des étalons de fréquence.

Un oscillateur fournit une fréquence qui varie toujours plus ou moins dans le temps; ces variations se caractérisent par leur amplitude, mais aussi par l'intervalle de temps considéré. On peut distinguer la *dérive*

moyenne représentant la tendance générale des variations, les *fluctuations* autour de cette dérive, et l'*exactitude*, différence de la fréquence vraie à un instant donné par rapport à la valeur nominale. Il est bien évident que l'intervalle de temps pendant lequel on doit considérer les variations est un élément primordial. Pendant quelques instants, la dérive est négligeable; pendant quelques heures, on peut admettre qu'elle est linéaire; à longue échéance, il faut envisager sa courbure.

Cette nécessité de tenir compte du temps pendant lequel on étudie la stabilité se retrouve dans la définition de la précision des mesures. Il n'est pas indifférent d'effectuer des mesures quasi-instantanées, ou des mesures réparties sur une durée importante. Dans le premier cas, on peut mettre en évidence de petites variations rapides, dans l'autre on ne prend qu'une valeur moyenne.

Quand on parle de stabilité, il faut dire par rapport à quoi. Or il y a lieu de distinguer entre les mesures relatives et les mesures absolues. Les premières consistent en une

comparaison de deux grandeurs voisines (ou dans un rapport simple) et l'on n'a à déterminer qu'une différence, très petite par rapport à ces grandeurs; pour les mesures de fréquence cette base est l'unité de temps, la seconde, que nous fournissent, jusqu'à nouvel ordre, les astronomes. Or ceux-ci, nous le verrons tout à l'heure, n'ont pas la possibilité de nous donner rapidement une valeur très précise de la seconde. Il n'est donc pas si paradoxal que cela puisse paraître d'avoir un décalage de 2 ou 3 décimales entre les précisions relatives et les précisions absolues, au détriment de celles-ci.

Les diverses notions d'exactitude et de stabilité n'ont nullement la même importance suivant les usages des oscillateurs très stables. Pour les astronomes, par exemple, il n'est pas nécessaire que les garde-temps marquent l'heure exacte, pourvu que leurs corrections soient connues et que leur dérive reste régulière et extrapolable; quant aux petites fluctuations rapides, les astronomes ne peuvent les constater puisqu'ils n'observent que l'intégration de la fréquence sur des intervalles assez longs. Bien entendu l'horloge parlante, elle, doit être à l'heure; il faut donc la régler; mais qui dit réglage dit risque de déréglage, et un tel garde-temps ne peut plus être qu'un étalon secondaire.

La base de la fréquence d'un oscillateur, c'est au fond une courbe de résonance; plus la courbe est aiguë et plus la fréquence est stable, toutes choses égales d'ailleurs. Électriquement cette acuité se traduit par un coefficient de qualité.

On peut utiliser un système résonant de trois façons différentes :

- en faire un résonateur, et régler manuellement à la résonance un oscillateur de mesure;
- asservir automatiquement sur le résonateur un oscillateur auxiliaire;
- lui faire produire directement les oscillations.

Ces trois procédés s'appliquent aussi bien aux quartz qu'aux étalons atomiques. Les différences primordiales dans le comportement de ces deux catégories d'étalons tiennent à ce que les quartz « vieillissent » avec le temps et que leur fréquence dérive continûment, alors que les étalons atomiques restent, par principe, invariants. Mais pratiquement les derniers ne remplacent pas les premiers; ils

leur confèrent une précision meilleure, aux dépens de la simplicité et de la souplesse d'emploi.

En ce qui concerne les oscillateurs asservis, nous pouvons remarquer que le record de dimensions est, en France, détenu par l'E. D. F. dont les turbo-alternateurs synchronisés, avec leurs milliers de kilowatts, sont asservis à des horloges de telle manière que leur stabilité journalière est meilleure que $1/10^5$.

La période des oscillations d'un garde-temps est imposée par un mobile oscillant; elles servent à commander des impulsions électriques et à entraîner une minuterie d'aiguilles. L'énergie d'une source extérieure, déclenchée par le mobile lui-même, compense l'amortissement du mouvement, et entretient les oscillations par l'intermédiaire d'un amplificateur électronique.

Pour que la marche d'un garde-temps ne varie pas, il faut le maintenir dans un état de fonctionnement aussi immuable que possible : dimensions, propriétés élastiques, amplitude et phase du mouvement, etc. Pour chacune des causes d'instabilité, on agira soit sur la cause elle-même, soit sur ses effets, et en général sur le tout à la fois.

On s'arrange donc pour rendre le vibrateur le moins sensible possible aux changements de température, et de plus on le place dans un thermostat. L'action de l'atmosphère est éliminée par la mise sous vide, qui de plus réduit sensiblement l'amortissement. La régularisation de l'amplitude et de la phase de l'entretien est l'un des plus importants problèmes et constitue souvent le critère même du fonctionnement correct. Un mobile oscillant prenant nécessairement appui sur un support, il faut que celui-ci ne perturbe pas l'oscillation par réaction ou entraînement. Il en est de même en ce qui concerne les circuits d'utilisation branchés à la sortie de l'amplificateur d'entretien.

Enfin dernière et importante cause d'irrégularité de marche : l'instabilité de la structure interne du vibrateur, se manifestant par un vieillissement de ses propriétés mécaniques. On doit donc choisir convenablement la matière première et lui faire subir des traitements susceptibles d'améliorer sa constance.

Parmi les avantages de principe de l'horloge à quartz se trouve d'abord la valeur

élevée de la fréquence. Les petites irrégularités rapides passent inaperçues par moyenne; la mise en équilibre est plus rapide; les variations de la pesanteur n'ont pas d'influence. Les méthodes de comparaison de fréquences et les mécanismes synchrones ont apporté d'élégantes solutions à de nombreux problèmes de comparaison ou de transmission du temps à distance.

L'amortissement est extrêmement petit. Un bon pendule lancé librement dans le vide perd la moitié de son amplitude au bout d'un jour environ. Le quartz correspondrait à un pendule qui ne la perdrait qu'au bout d'un mois (pour le résonateur à césium, ce serait 6 mois).

Les horloges à quartz ont par contre certains inconvénients. Elles sont compliquées et délicates. L'usure des tubes, le maintien de la température, la nécessité d'une alimentation sans interruption au long de mois et d'années, créent évidemment des difficultés pour un service permanent.

On sait qu'une lame taillée dans un cristal de quartz présente des propriétés piézoélectriques telles que l'ensemble lame-électrodes est équivalent à un circuit électrique à double résonance (parallèle et série) extrêmement peu amorti. Connecté à un amplificateur approprié, ce circuit engendrera des oscillations dont la fréquence différera très peu de la fréquence propre mécanique.

L'orientation de la lame par rapport aux axes cristallographiques et sa forme permettent de la rendre peu sensible aux variations de température. On utilise ainsi en France et en Allemagne des barreaux à section carrée dont les grandes arêtes sont parallèles à l'axe électrique, et les petites aux autres axes. Ils vibrent longitudinalement avec deux lignes nodales sous l'influence d'une électrode centrale et de deux électrodes terminales réunies; la courbe de variation de la fréquence avec la température passe par un sommet aux environs de 50°. Il en est de même pour les anneaux d'Essen adoptés en Angleterre, dont l'axe est parallèle à l'axe optique. Les Américains ont utilisé la taille GT, rectangle mince taillé à 45° dans un plan faisant 51° avec l'axe optique; la courbe fréquence-température présente une longue inflexion. On étudie maintenant la taille AT dans un plan faisant 35° avec l'axe optique; sous la forme de lentilles convexes, cette taille a fourni des

coefficients de qualité 4 à 5 fois supérieurs à ceux de toutes les autres tailles.

La fixation du quartz revêt une énorme importance; afin de ne pas l'amortir, et de définir immuablement sa position par rapport aux électrodes, on le maintient par des lignes nodales. Le tout est scellé dans une ampoule vidée (ce qui divise l'amortissement par 5 à 10). Une enceinte thermostatique parfaitement calorifugée, généralement en vase de Dewar, maintient constante la température, grâce à un pont de quatre résistances électriques; les unes sont sensibles à la température, les autres restent constantes. Le déséquilibre du pont cause par une variation de température commande le courant chauffant par l'intermédiaire d'un amplificateur. Le réglage peut être intermittent ou continu; certains systèmes atteignent une constance de l'ordre de 1/10 000° C. L'emploi de températures très basses, par exemple dans l'hélium liquide, permet de multiplier le coefficient de qualité par 10 et de réduire presque complètement le vieillissement.

L'amplificateur d'entretien est rendu aussi insensible que possible aux variations des caractéristiques des tubes à vide, et à celles des sources d'alimentation. Cela s'obtient par des dispositifs de contre-réaction, auxquels s'ajoutent des régulateurs d'amplitude et un réglage convenable de la phase. Les variations de fréquence se réduisent à moins de $1/10^{10}$ pour ± 5 p. 100 de variation des tensions d'alimentation; de plus on stabilise celles-ci à mieux que 1 p. 100.

Comme nous l'avons déjà signalé on peut dissocier la fonction résonance et la fonction entretien des oscillations. Le quartz fonctionne en résonateur; sa phase, comparée à celle de l'oscillateur, asservit celui-ci.

Très prochainement les tubes électroniques seront avantageusement remplacés par les transistors. Mon laboratoire a ainsi réalisé un oscillateur expérimental à quartz entièrement équipé de transistors, y compris le thermostat. En service depuis 18 mois (sauf pendant un petit stage à la dernière Exposition de la Société de Physique) il a montré une stabilité légèrement moins bonne que celle d'un oscillateur à tubes à vide, mais sa consommation est 30 fois moindre. Il existe des oscillateurs de haute stabilité à transistors qui tiendraient tout entiers dans le creux de la main.

La fréquence des oscillateurs étant très élevée, il faut la diviser pour obtenir finalement des impulsions à la seconde. Les types de diviseurs sont fort nombreux. Ils comportent généralement une étape intermédiaire à 1 000 Hz; le plus souvent, la division suivante s'opère par un moteur synchrone qui entraîne un dispositif générateur d'impulsions soit par contact, soit par occultation d'un faisceau lumineux frappant une cellule photoélectrique, soit par passage d'un aimant devant une bobine. La définition des impulsions atteint alors quelques millièmes de seconde. On peut aller plus loin par des dispositifs entièrement statiques basés sur les systèmes de comptage électrique.

Ce sont également les compteurs électriques qui permettent de comparer entre eux les garde-temps avec les précisions souhaitables et l'on voit que la microseconde

n'est plus, à cet égard, une durée inaccessible à nos mesures. Lorsqu'on pense que 1 μ s égale environ 1 sur 10^{11} jours, on voit que la marche journalière d'un garde-temps peut être estimée avec cette sensibilité. Les méthodes de mesures directes de fréquence (c'est-à-dire de marche) dépassent même parfois cette valeur.

Les horloges à quartz sont-elles dignes de pareilles mesures? Voici quelques chiffres: les meilleures horloges dérivent d'environ $1/10^9$ par mois; leurs variations d'un jour à l'autre, autour de cette dérive moyenne, restent inférieures à 1 ou $2/10^{10}$; les fluctuations rapides sont de l'ordre de ce $1/10^{11}$ que nous envisagions il y a un instant.

Disons que des progrès restent possibles pour les horloges à quartz: nouveaux cristaux moins amortis (lentilles dans l'hélium liquide par exemple), nouveaux circuits (résonateurs à servo-mécanisme par exemple).

Étalons atomiques.

Pourquoi, devant des résultats déjà si merveilleux, a-t-on envisagé d'utiliser des phénomènes de résonance interne de la matière comme étalons de fréquence? C'est en particulier que le point faible des horloges à quartz reste leur dérive; si petite et si régulière soit-elle, elle gêne l'extrapolation de la marche des garde-temps. De plus un étalon doit être reproductible avec la précision exigée; or la pré-détermination, par construction, d'un oscillateur à quartz à mieux que $1/10^6$ est déjà à peu près impossible. On a donc cherché un phénomène périodique considéré comme invariant: l'émission ou l'absorption d'un rayonnement dû à un changement de niveau énergétique d'un corps parfaitement défini. C'est le prolongement dans le domaine hertzien des raies du spectre lumineux.

Après les premières expériences historiques de Lyons sur l'absorption dans l'ammoniac, deux corps ont été pratiquement utilisés dans ces étalons. Le césium, par sa fréquence de précession d'un électron dans le champ magnétique du noyau atomique, et l'ammoniac, par la fréquence d'inversion de sa molécule. L'un et l'autre ont donné lieu au cours des récentes années à un développement consi-

dérable des recherches et des réalisations. De nombreux appareils sont maintenant en service régulier et comparés aux déterminations horaires.

Dans le résonateur à césium étudié d'abord par Kush puis réalisé au National Physical Laboratory par Essen et Parry, les atomes issus d'un petit four passent successivement dans deux entretores d'aimants puissants qui les trient d'après leur moment magnétique. Dans l'espace séparant ces deux entretores, se trouvent deux cavités résonantes que traversent les atomes, et qui sont excitées en phase par un courant à haute fréquence réglé au voisinage de la résonance. Un champ magnétique continu très faible, perpendiculaire au jet d'atomes, règne entre les cavités. Seuls les atomes en résonance atteignent le fil chaud détecteur à ionisation dont le courant décrit la courbe de résonance quand on règle le générateur d'excitation. La fréquence dépendant du champ magnétique, des précautions sont prises pour maintenir celui-ci constant et mesurable. Le vide est entretenu par des pompes et l'appareil ne sert que par intermittence. Des modèles nouveaux ont, depuis, été étudiés.

La fréquence de la transition $F_m(3,0) \leftrightarrow$

(4,0) utilisée a été trouvée par les auteurs égale à 9 162 631 830 Hz pour le champ nul par rapport à la seconde de T. U. 2 déterminée par l'Observatoire Royal en juin 1955; N. Stoyko a signalé comment cette valeur doit être corrigée pour tenir compte de l'évolution du T. U. 2.

La National Cy Inc. américaine construit industriellement l'Atomichron, étudié d'abord par Zacharias et comportant un oscillateur à quartz à 5 MHz asservi à la résonance d'un jet atomique de césium. Le résonateur diffère de celui d'Essen et Parry par quelques particularités. La plus importante au point de vue pratique est la suppression des pompes; le tube (en acier non magnétique) est scellé et muni d'un système complexe d'adsorption et d'absorption des gaz résiduels, maintenant le vide pendant un millier d'heures. Les aimants sont extérieurs au tube; par contre la partie centrale de celui-ci forme guide d'ondes et alimente en énergie haute fréquence les cavités résonantes; les champs magnétiques externes sont éliminés par des blindages. L'asservissement de l'oscillateur à quartz s'obtient par le procédé suivant, qui avait déjà été appliqué à la première « horloge » à ammoniac de Lyons. La fréquence appliquée au tube à césium, produite par multiplication de celle du quartz, est modulée à 100 Hz; le courant ionique à la sortie du tube se trouve ainsi modulé et sa phase est comparée à celle du courant modulant. Le signal d'erreur résultant commande un servomoteur corrigeant la fréquence du quartz. C'est donc un appareil qui, dans la limite de durée du tube à césium et des autres éléments, pourrait constituer un générateur à fonctionnement continu; en pratique il est surtout utilisé pour des comparaisons intermittentes. De nombreux exemplaires de cet étalon sont en service aux États-Unis; d'autre se trouvent actuellement au N. P. L. pour des comparaisons très précises entre le résonateur d'Essen et Parry et les Atomichrons. Les premiers résultats ont montré que les appareils d'un même type restent comparables à quelque 10^{-11} près; des écarts environ dix fois plus grands se manifestent d'un type à l'autre. W. Markowitz, à l'Observatoire Naval de Washington, a utilisé ces mesures pour déterminer une première valeur provisoire de la fréquence du césium en temps des éphémérides: 9 192 631 770 ± 20 Hz.

Ne quittons pas le problème du césium sans signaler les recherches effectuées pour exploiter la résonance par le procédé du « pompage optique ». De telles études sont poursuivies, entre autres, par A. Kastler à l'École Normale Supérieure. Le C. N. R. S. a en effet créé un « Laboratoire de l'Horloge Atomique »; les études sont exécutées à l'École Normale Supérieure sur les appareils à césium, et à l'Université de Besançon sur les Maser à ammoniac dont nous allons parler dans un instant. Tous les appareils réalisés viendront en stage dans mon propre laboratoire pour les réglages, mesures et comparaisons. En attendant les premières réalisations que l'on espère voir dans le courant de l'année prochaine, j'utilise un Atomichron, qui depuis un an a fourni de fort intéressants résultats. Le Bureau International de l'Heure les exploite et a entrepris des comparaisons avec les étalons atomiques des autres pays.

Depuis quelques années un développement prodigieux s'est manifesté dans l'étude des amplificateurs quantiques, auxquels Townes et Gordon ont donné le nom de MASER (microwave amplification by stimulated emission of radiation). Sous certaines conditions, des molécules excitées à la résonance par une onde radioélectrique restituent plus d'énergie qu'elles n'en reçoivent, réalisant ainsi une amplification extraordinairement sélective et exempte de bruit. Comme tous les amplificateurs, les Maser peuvent, par un montage convenable, engendrer des oscillations qui se maintiennent sans excitation extérieure. Parmi les divers corps utilisables, dont beaucoup sont à l'état solide, l'ammoniac a permis de réaliser des générateurs d'oscillations particulièrement stables. Les travaux de Basov et Prokhorov en U. R. S. S., de Townes et Gordon aux États-Unis, de Bonanomi, de Prins, Hermann et Kartaschoff en Suisse, de Shimoda au Japon, ont amené ce Maser à un haut degré de précision.

Il comprend en principe une source d'ammoniac émettant un jet de molécules qui sont concentrées et triées (par une longue lentille électrostatique); elles pénètrent ensuite dans une cavité résonante de forme tubulaire et y cèdent de l'énergie en s'inversant. Les ondes qui s'entretiennent dans la cavité pour la résonance de la raie (3,3) ont la fréquence 23 870 129 kHz; leur spectre est très pur et

contient très peu de bruit; leur puissance est de l'ordre de $5/10^{10}$ W.

La lentille de concentration comprend plusieurs électrodes parallèles entre lesquelles est établie une différence de potentiel de plusieurs milliers de volts. La valeur de cette différence de potentiel réagit, au second ordre, sur la fréquence obtenue, et doit être maintenue constante; il en est de même de l'intensité du jet moléculaire. La cause la plus grande de déviation de la fréquence réside dans l'accord de la cavité résonante; celle-ci intervient habituellement pour $1/1000$ dans la stabilité générale, et doit donc être particulièrement stable, tant au point de vue mécanique qu'au point de vue thermique. L'équipe suisse de Neuchâtel a réduit très considérablement l'inconvénient des dérégagements accidentels en utilisant un système de deux cavités couplées; elle a également réussi à em-

ployer, au lieu de la résonance de la raie (3,3), celle de la raie (3,2) plus faible mais plus indépendante des conditions extérieures.

De très nombreux masers ont été réalisés, mais il semble que peu d'entre eux aient été utilisés pour des comparaisons horaires. Cependant depuis deux ans les horloges de l'Observatoire de Neuchâtel sont périodiquement mesurées en fonction des masers du Laboratoire Suisse de Recherches Horlogères; citons qu'un modèle industriel de ces appareils a fonctionné à l'Exposition de Bruxelles.

En résumé les divers étalons atomiques de fréquence, s'ils ne constituent pas de véritables garde-temps, fournissent cependant des repères de fréquence d'une stabilité remarquable permettant de suivre, avec une précision instantanée de l'ordre de $1/10^{10}$ ou mieux, la marche des horloges à quartz.

Détermination et transport du Temps.

De telles précisions dans la conservation du Temps doivent naturellement s'accompagner de perfectionnements parallèles dans sa détermination et dans ses comparaisons à distance.

La lunette méridienne utilisée depuis 250 ans n'est plus suffisamment précise, même avec le perfectionnement du micromètre impersonnel. Elle est maintenant en concurrence avec deux appareils tout à fait différents. L'un d'eux est la lunette zénithale photographique, au fonctionnement presque automatique, dans laquelle la plaque suit le mouvement de l'image de l'étoile réfléchie par un bain de mercure. L'appareil est précis mais compliqué et coûteux. A. Danjon, Directeur de l'Observatoire de Paris, a mis au point un instrument beaucoup plus élégant et encore plus précis, l'astrolabe impersonnel. Ici l'on observe, par un système de prisme et bain de mercure, les passages d'une étoile par deux hauteurs égales. Des perfectionnements de détail remarquables permettent d'atteindre une précision des déterminations du temps de l'ordre de 2 millisecondes, environ dix fois meilleure que celle de la lunette méridienne. Soulignons que ce modèle a été adopté par de nombreux observatoires étrangers et que c'est là une remarquable réussite française.

L'électronique a naturellement été appelée à l'aide des observations de passages d'étoiles. Ferrié et Jouaust en 1924 avaient démontré que l'enregistrement photoélectrique était possible. Les astronomes soviétiques ont adopté ce principe pour leurs déterminations horaires.

La détermination du Temps des Éphémérides nécessite des mesures très précises de la position de la Lune par rapport aux étoiles. La nouvelle chambre photographique de Markowitz est destinée à cet usage.

Mesurer à distance l'heure d'un lieu donné est le problème classique des déterminations de longitudes et les émissions de signaux horaires l'ont résolu depuis 50 ans. Mais avec les exigences nouvelles il a fallu accroître leur précision. De nouveaux types d'émissions, commandées directement par des horloges à quartz, permettent d'effectuer des comparaisons de fréquence et des mesures de temps avec des précisions de l'ordre de $1/10^9$ ou de $10 \mu s$, à condition que la propagation n'introduise pas des perturbations; celles-ci sont difficilement évitables avec les ondes courtes; avec des ondes très longues on peut aller encore plus loin en précision. Naturellement oscilloscopes cathodiques et compteurs électroniques sont les principaux instruments employés pour la mesure elle-même.

Définition de la seconde.

Les physiciens ont tendance à reprocher aux astronomes, détenteurs actuels de l'unité de temps, de baser cette définition sur des phénomènes insuffisamment réguliers à l'échelle actuelle, et surtout de ne la rendre accessible qu'avec un délai considérable. Il est courant par exemple de ne connaître les corrections définitives des signaux horaires qu'au bout de six mois. Aussi les physiciens ont-ils proposé de baser la définition de la seconde sur des étalons atomiques. Le faire en complète indépendance du mouvement des astres serait sans doute dangereux en raison de la difficulté de garder la continuité dans la chronologie; de plus le rythme de la vie suit bien les mouvements de la Terre. Cependant l'invariance supposée des appareils atomiques et leur précision sont si intéressantes que ceux-ci pourraient éventuellement constituer l'étalon matériel d'intervalle de temps. Le Comité International des Poids et Mesures a donc constitué un Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde, analogue à celui qui vient d'adopter la raie orangée du krypton comme étalon de

longueur. Il est chargé d'organiser, avec l'aide de l'Union Radioscientifique Internationale, des comparaisons internationales des étalons atomiques existants. Elles montreront s'il n'est pas trop prématûr d'envisager qu'un de ces appareils serve de base à la définition de la seconde. Si la nouvelle définition était adoptée, les unités de longueur et de temps seraient rapportées à un même phénomène vibratoire et la vitesse de la lumière deviendrait une constante fondamentale. Or on a suggéré que de telles « constantes » peuvent changer chaque année d'une quantité égale à l'inverse de l'âge de l'Univers; cet âge étant estimé de l'ordre de 10^{10} années, on voit que dans un délai de quelques années des discordances pourront se manifester. Signalons que Zacharias a entrepris au Massachussets Institute of Technology une détermination de la vitesse de la lumière par mesure simultanée de la longueur d'ondes propre d'une cavité résonante au moyen d'une raie spectrale lumineuse et de sa fréquence de résonance au moyen d'une fréquence atomique.

Conclusion.

Que dire, pour terminer ce trop long exposé, de l'avenir des mesures de temps et de fréquence? Verrons-nous la précision buter soit sur des phénomènes relativistes, soit sur la quantification du temps? Le physicien américain Gamow estime que la physique sera prochainement complètement explorée et qu'il ne restera plus rien à découvrir. Souhaitons qu'il n'en soit rien, pour que nos successeurs puissent goûter encore la « joie de connaître » chantée par P. Termier.

Nous avons parlé ici surtout d'appareils scientifiques de laboratoire, mais ils portent le germe des instruments de la vie courante de

demain. Le grand alpiniste Mummery disait que les sommets des montagnes passaient successivement par les trois stades suivants : « un pic inaccessible; la plus difficile escalaie des Alpes; une course facile pour les « dames ». Il en est tout à fait de même dans les réalisations de la science. Et nos descendants trouveront tout naturel d'utiliser de façon banale et courante tel ou tel dispositif de haute précision, sans se douter qu'à notre époque cette précision restait du ressort de quelques rares laboratoires de métrologie fondamentale.

Le Président de la Société, Directeur Gérant : G. CHAUDRON.

D. P. n° 1080

Imprimé en France chez BROADARD ET TAUPIN. Imprimeur-Relieur. Coulommiers-Paris. — 6-1959.

ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

I. — PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

Le Bulletin Signalétique

ABONNEMENT ANNUEL (y compris la Table des Auteurs)

	FRANCE	ÉTRANGER
PREMIÈRE PARTIE. — Mathématiques; Physique; Chimie; Sciences de l'Ingénieur.	10 000 F	12 000 F
TIRAGES A PART. — PREMIÈRE PARTIE.		
Section I. — Mathématiques pures et appliquées; Mécanique; Physique mathématique	1 600 F	2 000 F
Section III. — Généralités sur la Physique; Acoustique; Thermodynamique; Chaleur; Optique; Électricité et Magnétisme	2 800 F	3 200 F
Section IV. — Physique corpusculaire; Structure de la Matière.	1 400 F	1 800 F
Section V. — Chimie générale et Chimie physique	1 400 F	1 800 F
Section VI. — Chimie minérale; Chimie organique; Chimie appliquée; Métallurgie.	5 100 F	5 500 F
Section VII. — Sciences de l'Ingénieur	3 500 F	3 900 F

II. — OUVRAGES

NAHMIAS. — Le Neutrino	240 F
A. BERTHELOT. — Le Noyau atomique	100 F
Mlle CAUCHOIS. — Les spectres de Rayons X et la structure électronique de la Matière.	300 F
M. FRANÇON. — Le microscope à contraste de phase et le microscope interférentiel	1 000 F
FREYMAN. — Spectre infra-rouge et structure moléculaire	200 F
GRIVET. — La Résonance paramagnétique nucléaire (relié plein pellior rouge)	1 800 F
MATHIEU. — Sur les théories du pouvoir rotatoire naturel	300 F
SURUGUE. — Technique générale du Laboratoire de Physique.	
Tome I. — 2 ^e Édition, relié plein pellior rouge	2 400 F
Tome II. — En réédition.	
Tome III. — Broché.	
Cartonné (Épuisé).	2 700 F
ROSE. — Tables et Abaques (relié plein pellior rouge); ouvrage spécialement recommandé à tous les utilisateurs de « Technique générale du Laboratoire de Physique ».	1 500 F
Conférences de Physique des Basses Températures (Paris, 2-8 sept. 55)	2 200 F
A. DURIF et F. FORRAT. — Tables numériques adaptées à la Technique des diagrammes Debye-Scherrer.	250 F

Centre d'études mathématiques en vue des applications

Institut Henri Poincaré.

1. — MONOGRAPHIES

A) Applications des théories Mathématiques :

FORTET R. — Éléments de calcul des probabilités.	1 200 F
PETIAU G. — La théorie des Fonctions de Bessel exposée en vue de ses applications à la Physique mathématique (relié plein pellior rouge).	2 500 F
DUMAS M. — Les épreuves sur échantillon (relié plein pellior rouge).	1 000 F

C) Physique mathématique :

DESTOUCHES J. L. — Principes de la mécanique classique.	350 F
VOGEL TH. — Les fonctions orthogonales dans les problèmes aux limites de la physique mathématique	1 200 F

2. — LE FORMULAIRE DE MATHÉMATIQUES A L'USAGE DES PHYSICIENS ET DES INGÉNIEURS

rédigé par les membres du Centre d'Études mathématiques en vue des applications,
sous la Direction de Monsieur le Professeur FRECHET.

Fascicule VII. — Équations aux dérivées partielles	800 F
Fascicule IX. — Fonctions de la Physique mathématique	800 F
Fascicule XII. — Calcul des probabilités.	600 F

Le Formulaire de Mathématiques comprendra 13 Fascicules.

III. — COLLOQUES INTERNATIONAUX

LIIL. — Étude des Molécules d'eau dans les solides par les Ondes électromagnétiques	1 800 F
LIV. — Rôle du cortège électronique dans les phénomènes radio-actifs.	1 200 F
LVI. — L'Hydroxycarbonylation	1 000 F
LVII. — Aspects généraux de la Science des macromolécules (relié pellior)	1 000 F
LVIII. — Les Techniques récentes en microscopie électronique et corpusculaire (relié pellior)	2 000 F
LXI. — L'état actuel des Connaissances sur les propriétés électriques et magnétiques des lames métalliques minces en liaison avec leur structure	1 000 F
XLXII. — Les Modèles dynamiques en Économétrie (relié pellior)	2 500 F
LXV. — Analyse factorielle et ses Applications (relié pellior)	1 500 F
LXVIII. — Les Échanges de Matières au cours de la genèse des roches grenues, acides et basiques.	3 000 F
LXIX. — Chimie et Biochimie des Hétérocycles oxygénées (relié pellior)	2 500 F
LXX. — Le Raisonnement en Mathématiques et en Sciences expérimentales (relié pellior)	1 400 F
LXXI. — La Théorie des Équations aux Dérivées partielles (relié pellior)	1 500 F
LXXII. — La luminescence des Corps cristallins anorganiques	2 000 F
LXXIII. — Électrochimie. Électrodes de référence et Constitution de la Couche double (relié pellior)	2 600 F
LXXX. — Les Progrès en Spectroscopie interférentielle	2 500 F
LXXXII. — Calcul des Fonctions d'onde moléculaire (relié pellior)	3 400 F
LXXXVI. — Les Phénomènes de résonance en spectroscopie hertzienne	1 500 F

IV. — COLLOQUES NATIONAUX

La Chimie des Hautes Températures (relié pellior).	2 000 F
Colloque National de Magnétisme (relié pellior).	4 000 F

V. — LE C. N. R. S. ET SES LABORATOIRES

— Le Laboratoire de Synthèse Atomique.	260 F
— Le Centre de Recherches Scientifiques Industrielles et Maritimes de Marseille.	1 000 F
— Centre des Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy.	600 F
— Le Groupe des Laboratoires de Belléveu.	1 000 F
— Centre de Recherches sur les Macromolécules de Strasbourg	800 F

RENSEIGNEMENTS ET VENTE : Service des Publications du C. N. R. S. — 3^e Bureau; 13, Quai Anatole France Paris 7^e. Tél. INV. 45-95; C. C. P. Paris 9061-11.

PRODUITS CHIMIQUES

pour

INDUSTRIE

PHARMACIE

PARFUMERIE

CÉRAMIQUE

AGRICULTURE

MATIÈRES PLASTIQUES

"RHODOID" Acétate de cellulose

"RHODOPAS" Résines vinyliques

"RHODORSIL" Silicones

"RHODESTER" Résines polyesters

RHÔNE
POULENC

21, RUE JEAN-COUPON - PARIS - BAL. 22-94

LE VIDE
LES RAYONS X
LA HAUTE TENSION
au Laboratoire
à l'Atelier

PUB
GCR
038

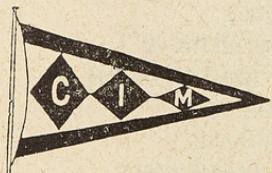
COMPAGNIE GENERALE DE RADIOLOGIE
DEPARTEMENT INDUSTRIEL
34, BOULEVARD DE VAUGIRARD — PARIS-XV^e
SUF. 50-04

WD
Compagnie
Générale de
Géophysique

50, rue Fabert
PARIS - VII^e

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL
DE 756 000 000 DE FRANCS

APPLICATION DES PROCÉDÉS SISMIQUES, TELLURIQUES,
ÉLECTRIQUES, GRAVIMÉTRIQUES, MAGNÉTIQUES,
AUX RECHERCHES PÉTROLIÈRES, MINIÈRES, HYDROLOGIQUES
ET AUX ÉTUDES DE GÉNIE CIVIL.



La C. I. M. assure au Havre le trafic des hydrocarbures à destination des Raffineries de la Basse-Seine et des Dépôts de la Région Parisienne.

Au Havre : Bassins accessibles aux plus grands navires pétroliers et capacité de stockage de 430.000 m³

A Gennevilliers : Dépôt spécialisé de 41.200 m³

COMPAGNIE INDUSTRIELLE MARITIME

Concessionnaire du Port Autonome du Havre

36, rue de Liège

PARIS (VIII^e)

EUROpe 44-30

Société Générale d'Entreprises

Société Anonyme au Capital de 1.808.000.000 de francs

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

Registre du Commerce Seine 54 B 4990

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

CONSTRUCTION ET ÉQUIPEMENT D'USINES HYDROÉLECTRIQUES
ET DE CENTRALES THERMIQUES

USINES, ATELIERS ET BATIMENTS INDUSTRIELS
RÉSEAUX DE TRANSPORT D'ÉNERGIE A HAUTE TENSION

ÉLECTRIFICATION DE CHEMINS DE FER

RÉSEAUX D'ÉLECTRIFICATION RURALE

CITÉS OUVRIÈRES - ÉDIFICES PUBLICS ET PARTICULIERS

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

ASSAINISSEMENT DES VILLES - ADDUCTIONS D'EAU

AÉROPORTS - OUVRAGES D'ART

ROUTES - CHEMINS DE FER

E N T R E P R I S E S

BOUSSIRON

10, Boulevard des Batignolles, PARIS-17^e.

ALGER - CASABLANCA

S. E. T. A. O. à ABIDJAN (Côte d'Ivoire)
et CONAKRY (Guinée)

BÉTON ARMÉ
TRAVAUX PUBLICS
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

SOCIÉTÉ
LE CARBONE-LORRAINE

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.080.000.000 DE FRANCS
45, Rue des Acacias - PARIS (17^e) — Tél. : GALvani 59-62

CHARBONS
pour l'ÉLECTROTECHNIQUE

Anodes, frotteurs, contacts, pièces diverses • Charbons d'arc et de piles
Charbons pour microphones • Résistances électriques, etc.

◆
CHARBONS
pour l'INDUSTRIE CHIMIQUE

Échangeurs thermiques en graphite polyblocs
Grilles, bacs, tuyauteries, pièces diverses.

Société
des Aciéries de **POMPEY**

61, rue de Monceau, PARIS (8^e) — Tél. : LAB. 97-10 (10 lignes)

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

ACIERS THOMAS, MARTIN et ÉLECTRIQUE
ACIERS FINS AU CARBONE et ACIERS ALLIÉS
ACIERS RÉSISTANT A LA CORROSION (acide et saline)
ACIERS MOULÉS A HAUTE TENEUR EN ÉLÉMENTS NOBLES
ACIERS FORGÉS (brides, pièces de robinetterie, pièces diverses)
ACIERS ÉTIRÉS et COMPRIMÉS
FONTES HÉMATITES — SPIEGEL — FERRO-MANGANÈSE

Tous Aciers de Construction et d'Outilage

APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES

P. CHEVENARD

- pour l'analyse dilatométrique et thermomagnétique des matériaux;
- 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) et de rupture;
 - Essais de torsion alternée;
 - 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.

A. D. A. M. E. L.
4-6, Passage Louis-Philippe
PARIS (11^e)

L'AIR LIQUIDE

75, QUAI D'ORSAY - PARIS 7^e INV. 44-30

Air, oxygène,
Azote comprimés ou
liquides
Argon, gaz rares extraits
de l'air
Acétylène dissous
Soudage, oxycoupage
Appareils de séparation
de tous mélanges
gazeux par liquéfaction
et rectification
Eau oxygénée et
perborate de soude

178
USINES
DANS LE
MONDE



LA PUBLICITÉ FRANÇAISE

SÉCURITÉ - ROBUSTESSE

CONFORT - ÉCONOMIE

203 - 403



Peugeot

la qualité qu'on ne discute pas

SOCIETE CHIMIQUE de la GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 1.399.700.000 FRANCS

SIÈGE SOCIAL : 8, rue Cognac-Jay - PARIS (VII^e) ♦ Tél. : INV. 44-30 à 44-38
R. C. Seine n° 55 B 12665 Adr. Télégr. : GRANPARG-PARIS N° d'Entreprise 351.75.107.0011

INSTALLATIONS D'USINES :

SYNTHESE DE L'AMMONIAQUE (Procédés Georges Claude) ENGRAIS AZOTÉS DISTILLATION A BASSE TEMPÉRATURE (des schistes, lignites, etc.)

SYNTHESE DE L'ALCOOL MÉTHYLIQUE HYDROGÈNE ET GAZ DE VILLE PAR CRACKING

RECUIT BRILLANT (Licence I. C. I.) ET CONVERSION DES HYDROCARBURES

PRODUITS FABRIQUÉS :

AMMONIAC ANHYDRE : ALCALI A TOUS DEGRÉS : ENGRAIS AZOTÉS

USINES OU ATELIERS: GRAND-QUEVILLY (Seine-Maritime) - WAZIERS (Nord) - FRAIS-MARAIS (Nord)-PARIS, 25 rue Vicq-d'Azir - AUBERVILLIERS (Seine), 65, rue du Landy

Compagnie Française de Raffinage

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 8.400.000.000 DE FRS.

R. C. Seine n° 54 B 3492

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

RAFFINERIE DE NORMANDIE

à GONFREVILLE-L'ORCHER (Seine-Maritime)

RAFFINERIE DE PROVENCE

à MARTIGUES (Bouches-du-Rhône)

PROGIL

Société Anonyme au Capital de 2.500.000.000 de Francs
79, Rue de MIROMESNIL, PARIS 8^e. Tél. Laborde 91-60

PRODUITS CHIMIQUES INDUSTRIELS

CHLORE — SOUDE — EXTRAIT DE JAVEL
SOLVANTS CHLORÉS, HYDROGÉNÉS ET DÉHYDROGÉNÉS
SULFURE DE CARBONE
ORTHOPHOSPHATES ET POLYPHOSPHATES DE SOUDE
SILICATES ET MÉTASILICATE DE SOUDE

EXTRAITS TANNANTS ET TANINS SYNTHÉTIQUES PRODUITS CHIMIQUES POUR LA TANNERIE

CELLULOSE — PAPIERS

CRYPTOGILS ET XYLOPHÈNES POUR LA PROTECTION DES BOIS
FLUIDES DE CHAUFFAGE " GILOTHERM "
PARADICHLOROBENZÈNE
PRODUITS POUR LE TRAITEMENT DES EAUX " GILTEX "
EXTRAIT " DREX " POUR BOUES DE FORAGE

*Ingénieurs spécialisés et Laboratoires à la disposition de toutes Industries
Notices sur demande adressée à PROGIL, 79, rue de Miromesnil — PARIS 8^e*

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 : EUROPE 31-00
ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE : TROCHIM PARIS

COMPAGNIE INDUSTRIELLE
DES PILES ÉLECTRIQUES

C I P E L

Société Anonyme au Capital de 517.500.000 Francs.

98 ter, Bd Héloïse, ARGENTEUIL (S.-&-O.).

Piles "AD"

à grande capacité
pour SIGNALISATION
TÉLÉPHONES
TÉLÉGRAPHES
etc...

Piles "MAZDA"

ÉCLAIRAGE PORTATIF
AMPOULES
BATTERIES
BOITIERS
R A D I O

LES FILTRES DURIEUX

PAPIER À FILTRER

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52×52

SPÉCIALITÉS :



FILTRES SANS CENDRES

N° 111, 112 et Crêpé N° 113 extra-rapide

Filtres Durcis n° 128 & Durcis sans cendres n° 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° 722.521-2-3 Téléphone : ARCHives 03-51

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

20, rue Malher, PARIS (4^e)

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



ETABLISSEMENTS
KUHLMANN

SOCIÉTÉ ANONYME au CAPITAL de 6.455.000.000 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 CÉRIUM - DÉRIVÉS DU PHOSPHORE - LESSIVES - SILICATES - DÉRIVÉS DE L'ÉTHYLÈNE 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 - AMENDEMENTS - 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

COMPAGNIE FRANÇAISE

THOMSON - HOUSTON

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 7 844.640.000 FRANCS

SIÈGE SOCIAL : 173, BOULEVARD HAUSSMANN, PARIS VIII^e

TÉLÉGR. ÉLIHU 42 PARIS

TÉLÉPHONE : ÉLYSÉES 83-70



ÉLECTRONIQUE Toutes applications professionnelles de *L'ÉLECTRONIQUE* et de *LA NUCLÉONIQUE* . Radiodiffusion . Télévision
Radiocommunications . Radars . Projets spéciaux . Tubes électroniques
Diodes . Redresseurs . Transistors . Cristaux pour hyperfréquences

CÂBLES Cuivre, Aluminium, Almelec en fils, Câbles, Méplats . Fils et
Méplats émaillés . Fils guipés . Câbles incombustibles . Fils
et Câbles électriques isolés pour toutes applications

RÉCEPTEURS DE RADIO ET DE TÉLÉVISION Électrophones et
Disques
"DUCRETET-THOMSON"

APPAREILS MÉNAGERS Rasoirs électriques . Fers à repasser . Appareillage
Tubes isolateurs . Réfrigérateurs . Machines à laver

