

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

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

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
	1959, n° 2 (avril-juin)
	1959 n° 3 (juil.-sept.)
	1959, n° 4 (oct.-déc.)
	1960, n° 1 (janv.-mars)
	1960, n° 2 (avril-juin)
	1960, n° 3 (juil.-sept.)
	1960, n° 4 (oct.-déc.)
	1961, n° 1 (janv.-mars)
	1961, n° 2 (avril-juin)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1961, n° 3 (juil.-sept.)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1961

Collation	1 vol. (p. [51]-82, [8] p. de pl.) : ill. ; 27 cm)
Nombre de vues	54
Cote	INDNAT (56)
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.56

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

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

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

L'INDUSTRIE NATIONALE



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



PUBLIÉS AVEC LE CONCOURS
DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

1961

N° 3

Revue trimestrielle

N° 3 : JUILLET - SEPTEMBRE 1961

SOMMAIRE ET RÉSUMÉS DES ARTICLES

**ASPECTS RÉCENTS DE LA MÉCANIQUE INDUSTRIELLE
ÉVOLUTION DE LA MACHINE-OUTIL**

par M. Pierre VACHER 51

On assiste depuis une quarantaine d'années à une évolution, toujours plus rapide, des produits et des méthodes de l'industrie mécanique. La Machine-Outil participe à cette évolution à la fois comme produit industriel et comme moyen de production. M. P. VACHER analyse les raisons d'un tel état de fait et décrit les principales caractéristiques de ce que l'on pourrait appeler « la Mécanique nouvelle », mécanique qui fait de plus en plus appel aux autres techniques de l'hydraulique, de l'électricité ou de l'électronique, pour aboutir à des améliorations très importantes sur le plan de la puissance, de la souplesse de fonctionnement, de la précision et de l'automatisation. Il constate que, loin de devoir céder la place aux nouvelles techniques, l'industrie mécanique restera au contraire la cheville ouvrière de l'industrie moderne, à condition toutefois de poursuivre sans relâche ses efforts d'adaptation aux besoins nouveaux. On demandera notamment aux machines-outils et à leurs équipements des qualités toujours accrues de robustesse, de fidélité, de simplicité et d'économie.

Pour finir, l'auteur examine comment une telle évolution de la mécanique ne peut manquer d'entraîner des modifications assez profondes des structures industrielles et sociales du pays.

**L'ULTRAVIOLET LOINTAIN - APPLICATIONS ANALYTIQUES ET
INTÉRÊT EN ASTROPHYSIQUE**

par M. Jacques ROMAND 67

L'ultraviolet lointain, qui est la région spectrale comprise entre les rayons X mous et la limite de transparence de l'air, est un domaine d'élection pour les spectroscopistes. Tous les corps y présentent des régions d'absorption et, d'autre part, on y observe les spectres d'émission d'atomes fortement ionisés. L'auteur passe en revue les différents progrès techniques permettant maintenant un accès relativement facile à cette région, découverte depuis longtemps, mais pour laquelle des difficultés expérimentales particulières avaient entravé le développement des recherches : technique du vide, amélioration des pouvoirs réflecteurs, photo-multiplieurs spéciaux, sources d'émission stables, etc...

Après un examen rapide de quelques problèmes de recherche fondamentale dans cette région, les applications analytiques font l'objet d'un examen détaillé. En émission, le résultat le plus intéressant semble être le dosage des métalloïdes (en particulier du soufre et du phosphore dans les aciers) pour lequel il existe déjà des appareils commerciaux. En absorption les possibilités sont vastes, mais encore insuffisamment exploitées à l'heure actuelle.

Enfin la dernière partie de cet exposé est consacrée à l'intérêt considérable de l'ultraviolet lointain en ce qui concerne l'astrophysique. Le soleil, par exemple, émet beaucoup de radiations dans ce domaine spectral, radiations qui sont absorbées par l'atmosphère terrestre et sont responsables de l'ionisation dans les couches supérieures de cette atmosphère. Mais ces radiations sont accessibles aux appareils montés sur des engins spatiaux et on peut ainsi obtenir de nombreuses données sur les processus intervenant dans les corps célestes.

publication 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.

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

Le n° : 7,50 NF

C. C. P. Paris n° 618-48

ASPECTS RÉCENTS DE LA MÉCANIQUE INDUSTRIELLE ÉVOLUTION DE LA MACHINE-OUTIL (1)

I

Introduction par M. l'Ingénieur Général NICOLAU,
Président du Comité des Arts Mécaniques.

Cette réunion est consacrée à la mécanique industrielle, ce par quoi nous traduisons le « Mechanical Engineering » de nos amis Anglais, la mécanique des réalisateurs, celle qui a permis récemment d'apporter une solution réelle au problème d'astronautique que, sur les bases d'une autre mécanique, dite rationnelle et en tous cas céleste, Jules Verne était de longue date en droit de tenir pour résolu. Il n'y avait plus qu'à ! Il n'y avait plus qu'à faire appel à la mécanique en réalisateur. Cette mécanique en réalisateur est en fait le support de toutes les techniques dans tous les domaines de l'activité humaine, qu'il s'agisse non pas seulement d'explorer le cosmos, mais plus encore de satisfaire prosaïquement nos besoins journaliers. Elle est le fondement de notre civilisation matérielle.

Du moulin du bon vieux temps au véhicule spatial, en passant partout, par la machine à coudre ou à laver, cette mécanique s'efforce de prendre le relais de l'homme, pour produire mieux, meilleur marché, à moindre peine et plus, si nécessaire. C'est à elle que notre souci de libérer l'homme des tâches serviles, pénibles ou dangereuses, notre souci de faire toujours plus et mieux, a dicté le mot d'ordre de notre temps : automatisme, un mot dans lequel, parce qu'il ne signifiait rien de précis, nous avons pu loger toutes nos aspirations.

Il nous a paru nécessaire qu'en raison de sa vocation, la Société d'Encouragement

pour l'Industrie Nationale soit appelée à se pencher sur cette mécanique industrielle dont nous tenons en réalité, pour la plus large part, tout notre bien-être et qui pourtant est restée en fait un parent pauvre de nos milieux scientifiques et techniques : l'artisan auquel nos ancêtres ont longtemps refusé le droit de cité, devenu aujourd'hui pourtant le mécanicien-constructeur, seul espoir des peuples sous-développés pour ne point dire suraffamés.

C'est que cette mécanique industrielle, après les spectaculaires réalisations du siècle dernier, après l'épanouissement de l'Exposition de 1889 et les triomphes de la belle époque, est l'objet depuis quelques vingt ans — eh oui, Messieurs, depuis et par la guerre — d'une évolution qui, pour s'être faite sans bruit, d'étape en étape, au jour le jour, est particulièrement profonde et rapide.

Cette mécanique n'est plus faite seulement, comme on l'enseignait en leur jeunesse aux hommes de ma génération, de quelques éléments de machines essentiellement solides : engrenages, filetages, clavettes, ressorts. Il y faut aussi de l'électrotechnique, de l'hydraulique, de la pneumatique et, pour couronnement, de cette électronique qui, malgré sa discrétion notoire, fait tant de bruit. Un transistor, une diode, une cellule photo-électrique sont aussi aujourd'hui des éléments de machines, venus enrichir le clavier du mécanicien. Comme conséquence, les temps de

(1) Conférence faite le 20 avril 1961 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, par M. Pierre VACHER, Ancien Elève de l'École Polytechnique, Ingénieur Militaire en chef de l'Armement.

réponse s'amenuisent, l'inertie est vaincue. Et surtout, grâce à l'apport de tant de techniques auxiliaires, la fidélité de nos mécanismes s'accroît au point que la technique de la stabilité, généralisation de la technique de l'interchangeabilité qui, en fait, durant près de deux siècles, a servi de tremplin au développement du machinisme, est devenue la technique-clé des industries, de toutes les industries modernes, au point que l'homme — instable par nature — n'a plus que faire dans ce gigantesque et inhumain métronome de la production où d'ailleurs ses faibles forces physiques, la lenteur de ses réflexes ne sont plus à la mesure de l'ampleur de nos besoins. Et voici par surcroît que ces techniques auxiliaires de la mécanique s'apprêtent à le libérer, non seulement des contraintes physiques de l'effort et de la déprimante monotonie de leur périodicité, mais des contraintes intellectuelles, lui enlevant la peine de tout ce qui est purement machinal dans les fonctions de décision et, suivant le jargon des techniciens, les fonctions de traitement et de transmission de l'information.

Cette libération de l'homme est en marche. L'usine presse-bouton n'est plus un mythe ; l'heure est proche où l'homme démesurément agrandi va requérir ce supplément d'âme que demandait pour lui Bergson.

Cette évolution explosive, c'est l'œuvre de notre « artisan » des temps modernes, celui qui joue les parents pauvres, apprenti-

sorcier sans doute, le mécanicien, celui de nos ateliers.

C'est à M. Pierre Vacher, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur Militaire en chef de l'Armement, que nous avons demandé de nous brosser à grands traits l'évolution des techniques de la mécanique industrielle qui se produit depuis quelques années, ouvrant les perspectives étonnantes dont je vous ai marqué quelques horizons.

Comme il ne pouvait être question de traiter un aussi vaste sujet en une heure, il prendra pour exemple de cette évolution le cas de la Machine-Outil. Aussi bien, c'est avant tout au perfectionnement de cette Machine-Outil, qui est à la base le « moyen » de la production mécanique, que s'est d'abord concentrée toute l'ingéniosité de nos mécaniciens, tout leur art, et aussi toute leur science, car l'art n'y suffisait plus.

L'histoire de M. Vacher est aussi brève que sa modestie est grande : attaché depuis un an au Service Technique de la D.E.F.A. où l'a fait appeler la valeur de son action, il s'honore seulement d'avoir dirigé, depuis sa sortie de l'Ecole Nationale Supérieure de l'Armement, le service « Méthodes » d'un de nos établissements militaires. C'est là qu'avec les brillantes qualités d'analyse et de synthèse qu'il doit à sa formation scientifique et technique de base, il a été appelé à se pencher, comme on dit, sur la machine-outil et à y découvrir la mécanique nouvelle.

II

Conférence par M. Pierre VACHER,

Ancien Elève de l'Ecole Polytechnique, Ingénieur Militaire en chef de l'Armement.

Depuis une quarantaine d'années, la civilisation industrielle est passée du stade de la production unitaire — voire de prototypes — à celui de la production de série ; du stade des fabrications à caractère personnel, à celui des fabrications de masse, interchangeables tant sur le plan

des caractéristiques techniques que sur le plan de la présentation et de l'esthétique.

Autrefois la valeur d'un produit s'exprimait par le nombre d'heures passées par l'ouvrier ou l'artisan pour le construire : il avait d'autant plus de renom qu'il con-

tenait plus de main d'œuvre — nous dirions de main d'œuvre directe —. Aujourd'hui, au contraire, tout industriel soucieux de son carnet de commandes, cherche à réduire ses temps de fabrication : ce que l'on chiffrait en milliers d'heures en demande maintenant quelques dizaines. Autrement dit, jusqu'aux environs de 1920-1930, on a d'abord cherché à produire des matériels qui « marchent » sans trop avoir le souci du prix de revient ; c'était encore l'ère des découvertes en matière de mécanique, de recherche des possibilités de la technique.

Maintenant, forts de l'expérience de nos prédécesseurs, nous nous estimons capables de réaliser n'importe quoi à condition de le produire assez vite !

On constate donc à la fois une évolution des produits industriels qui deviennent de plus en plus perfectionnés et des moyens de production qui doivent permettre de produire beaucoup et avec peu de main d'œuvre.

Cette évolution des produits et des moyens de l'industrie mécanique consiste non pas tant en une augmentation de la complexité des organes mécaniques, que dans l'utilisation de plus en plus poussée d'autres techniques comme l'électricité, l'électronique ou l'hydraulique qui viennent épauler ou relayer la mécanique et, dans une certaine mesure, la simplifier.

Par la suite, nous désignerons par « mécanique nouvelle » ce nouvel aspect de la construction mécanique qui a fait une alliance chaque jour plus indissoluble avec ces autres techniques de l'électricité, de l'hydraulique, etc...

Dans mon exposé, je me limiterai à l'étude de l'évolution de la machine-outil dans le sens que j'ai essayé de définir. La machine-outil permettra de bien illustrer notre propos puisqu'elle est à la fois un produit manufacturé dont la construction relève de la mécanique nouvelle et un moyen de production qui, grâce aux perfectionnements de cette même mécanique, permet de produire mieux et à meilleur compte la plupart des biens de consommation durables. La machine-outil, qui est le seul produit industriel capable de se

reproduire, profite donc de l'évolution de la mécanique, comme moyen de production d'abord, comme produit ensuite.

Je dois de suite préciser qu'il ne faut pas confondre mécanique nouvelle et automatique (ou automatisation). L'utilisation d'un vérin à air comprimé, au lieu d'un système à vis, pour le serrage d'un étau par exemple, est une opération de mécanique nouvelle ; mais la fermeture ou l'ouverture de l'étau peuvent encore être commandées par l'ouvrier : il n'y a pas automatisation. A l'inverse, un dispositif automatique peut être entièrement mécanique : voir les automates des XVIII^e et XIX^e siècles ou le tour automatique à cames.

Certes, l'avènement de la mécanique nouvelle a permis de donner un nouvel essor à l'automatisation, mais nous sommes en face de deux aspects différents, bien qu'interdépendants, de l'évolution de la mécanique.

Mon exposé comprendra quatre parties : les causes de l'évolution de la mécanique ; une description de cette évolution ; les conditions de son développement ; les conséquences qu'elle entraîne.

**

I — LES CAUSES DE L'ÉVOLUTION VERS LA MÉCANIQUE NOUVELLE

Décrire ces causes dans le détail reviendrait à retracer l'histoire du progrès technique jusqu'à nos jours. Je n'en ai ni le temps, ni la compétence nécessaires. Je me contenterai d'énumérer brièvement celles qui me paraissent essentielles.

D'abord les causes d'ordre *historique* : les guerres modernes ont créé d'énormes besoins en matériels d'armement qui ont abouti à un développement très rapide des sciences, des techniques et des méthodes de production. Il suffit de rappeler que les premiers produits industriels importants fabriqués en grande série, avec des moyens mécaniques déjà très évolués pour l'époque, suivant les principes de la division du travail et de l'interchangeabilité sont les fusils Chassepot et Gras que les manufactures de Châtellerauld et

Saint-Etienne fabriquaient à raison de plusieurs dizaines de mille par mois dès 1870 ; c'est-à-dire près d'un demi-siècle avant la sortie des premières automobiles de série.

Des causes d'ordre *économique* ont fait rechercher le plus bas prix de revient, en même temps que se développaient les besoins pour les produits de grande consommation. Par exemple, l'industrie horlogère a très vite bénéficié du fait que chaque individu — même peu fortuné — voulut s'acheter une montre ; telle est la principale raison de l'existence, bien avant la fin du siècle dernier (1), de tours à décolleter, machines révolutionnaires pour l'époque et dont le principe de fonctionnement se retrouve sur les tours les plus modernes. Cette recherche du prix de revient minimum est certainement à l'heure actuelle, la principale cause d'évolution de la mécanique. Il faut noter à ce propos que la production de masse n'est plus seule à profiter de l'amélioration des moyens de production ; une des grandes découvertes de ces dernières années — peu spectaculaire certes, mais combien payante — a été cette idée qu'il est possible et hautement souhaitable d'adapter les dessins des produits de faible consommation et les méthodes de préparation du travail pour les faire bénéficier d'une part importante des avantages de la production en grande série. On assiste même à cette situation apparemment paradoxale que les machines destinées aux fabrications unitaires ou de petite série font appel à des techniques — en matière d'asservissements et de contrôle numérique, notamment — souvent plus évoluées que pour les fabrications de masse.

Outre ces causes d'ordre historique ou économique, il faut citer l'évolution des *techniques de transformation* de la matière, voire la découverte de nouvelles techniques. L'industrie mécanique reposait et repose encore trop sur l'usinage par enlèvement de copeaux, procédé assez barbare puisqu'il consiste à désagréger à grands frais une matière en général métallique, élaborée auparavant à non moins

grands frais. On cite l'exemple de l'automobile dont la fabrication donne lieu à autant de déchets — en grande partie sous forme de copeaux — que de produit terminé : une tonne de déchets pour une automobile de même poids. Les techniciens cherchent maintenant à réduire au minimum l'usinage, soit par l'utilisation d'ébauchés de départ très précis et dont la finition se fera par simple rectification ou meulage, soit par la mise en œuvre de la matière par déformation à chaud ou à froid. A ce point de vue, la matière plastique laminée ou moulée tend à remplacer très souvent l'acier, le laiton ou l'aluminium, mais elle exige l'emploi de machines d'un type assez nouveau, presses en général de grande puissance et à haut rendement. Pour ces raisons techniques, conjuguées avec le souci du prix de revient dont on a déjà parlé, l'industrie moderne demande des machines de plus en plus précises, robustes et rapides. Par exemple, la recherche du plus haut rendement a conduit à remplacer l'acier rapide à outil par le carbure puis parfois la céramique ; d'où le besoin de machines tournant très vite et de grande puissance, qui ne se contentent plus des dispositifs de commande purement mécaniques. De même, la recherche d'une plus grande précision a imposé d'équiper certaines machines de dispositifs de positionnement précis des éléments mobiles et d'appareils de contrôle de cote automatique ou d'auto-calibrage.

Notons enfin les causes d'ordre *social*, qui ne semblent pas toutefois avoir joué un grand rôle dans le passé pour l'évolution de la mécanique ; les résultats notables obtenus dans la réduction de la fatigue ouvrière et de la durée de la journée de travail ne sont souvent qu'une conséquence heureuse d'améliorations techniques entreprises pour d'autres raisons. Mais ces préoccupations d'ordre humain et social sont appelées à jouer un rôle de plus en plus important dans l'avenir, car le monde industriel est devenu conscient — de bon ou de mauvais gré suivant les cas — de la nécessité de les

(1) Période 1870-1880, en Suisse et Amérique.

prendre en considération ; ne serait-ce que parce qu'il devient de plus en plus difficile de trouver du personnel qualifié pour assurer des travaux pénibles, ou à la fois délicats et répétitifs.

**

II — DESCRIPTION DE L'ÉVOLUTION

II, 1 — Les grandes lignes

Après cette première partie sur l'exposé des motifs, essayons d'analyser cette évolution de la mécanique.

De façon générale, d'abord, le travail de transformation de la matière est parti du stade purement manuel, pour passer par une phase de plus en plus mécanisée, avant d'aboutir à l'automatisation d'aujourd'hui ou de demain.

Au début de l'industrie mécanique — et ce début a duré longtemps — l'ouvrier travaillait avec son intelligence et ses mains, aidé cependant, dans certains cas, d'un appareillage mécanique simple, par exemple : un étau pour tenir la pièce, une lime, un burin ou un villebrequin. Dans une première phase de mécanisation, l'étau classique d'établi est remplacé par un étau de forme appropriée monté sur la table d'une machine et la fraise a remplacé la lime. Le travail le plus fatigant (c'est ici le déplacement de l'outil) est maintenant fourni par l'énergie mécanique. Par contre, les autres mouvements de la machine, les mouvements de table, en particulier, sont à conduite manuelle, avec toutefois des dispositifs mécaniques de démultiplication des efforts.

La mécanisation de ces autres mouvements va permettre de remplacer à peu près entièrement le muscle par le moteur.

Il en résulte une diminution énorme des temps « machine » que l'on peut estimer être dans le rapport de 1 à 10 au

1
10

moins. Ce rapport de — n'a rien d'exa-

géré quand on réfléchit à la différence entre les temps nécessaires pour effectuer un même travail de surfacage à la lime ou à la fraiseuse, par exemple.

Nous voici arrivés à la période d'avant la dernière guerre qui dure encore aujourd'hui. C'est alors qu'apparaît l'importance des temps « main » ou purement manuels, comme les temps de montage, démontage et vérification de pièce, de nettoyage d'appareil, de réglage ou de commande de la machine, temps pendant lesquels la machine reste inactive. Ces temps qui jusque là représentaient une part assez faible de la durée totale du travail deviennent d'autant plus choquants que la machine travaille de plus en plus vite et coûte de plus en plus cher. Citons des chiffres : le rapport temps machine sur temps total opératoire est de l'ordre de 50 % pour les fabrications de série réalisées sur machine classique et de 10 à 25 % seulement, en moyenne, pour les fabrications unitaires ou de petite série. Autrement dit, la machine reste inutilisée, ou tourne à vide, pendant 50 à 90 % du temps.

Pour éviter de laisser ainsi inemployé un capital précieux, matériel et humain, on a cherché à réduire les temps morts, c'est-à-dire, en fait et en gros : les temps « main ». D'où l'adjonction à la machine de cycles automatiques qui déchargent l'ouvrier du souci de commander les mouvements de tables et chariots et lui permettent éventuellement d'usiner plusieurs pièces en même temps ou à la suite, sur une ou plusieurs machines ; d'où l'équipement de la machine en dispositifs de contrôle de la pièce en cours d'usinage, voire d'auto-calibrage ; d'où l'aménagement de la machine ou de l'outillage pour aboutir à une réduction sensible, voire une suppression presque totale, des temps morts de réglage ; l'adjonction de dispositifs d'alimentation et d'évacuation automatique, etc...

Donc, après avoir confié à un esclave mécanique le travail pénible fait autrefois par l'ouvrier, l'homme a déclenché un mouvement irréversible qui l'oblige à confier à la machine non seulement le travail manuel, mais aussi le travail cérébral de l'ouvrier ; car il importe que la machine ne perde pas de temps du fait notamment de

la lenteur et de l'irrégularité relative des décisions et des gestes humains.

II, 2 — Exemples de l'évolution

Nous allons examiner, à titre d'illustration de notre théorie de la mécanique nouvelle, quelques exemples choisis parmi les machines dites classiques, puis celles dites spéciales.

II, 2, 1 — Machines classiques

Pour les machines classiques, choisissons le tour et étudions son évolution, si ce n'est dans l'ordre historique, du moins sur le plan technologique. Au début, le tour — du type parallèle — est essentiellement un tourne-broche permettant d'entraîner en rotation la pièce à usiner ; quand, il y a environ deux cents ans, l'homme a pu disposer d'une source d'énergie autre qu'humaine (roue hydraulique ou machine à vapeur), il a relié sa machine, par l'intermédiaire de courroies, à un réseau d'arbres de transmission. L'emploi de sources d'énergie de grande puissance et par nature indivisible l'obligeait à utiliser un système de liaison compliqué, encombrant, manquant de souplesse d'adaptation, entre ces sources d'énergie et les machines. L'avènement de l'électricité qui permet de doter chaque machine de son moteur indépendant représente déjà un progrès important sur le plan de la souplesse d'exploitation, du rendement énergétique et de la puissance disponible sur chaque machine.

Quant à l'outil, il fut d'abord tenu et guidé à la main, avant d'être monté sur un porte-outil, toujours commandé à la main mais par l'intermédiaire d'une liaison mécanique du type vis-écrou. Puis, la vis d'entraînement du porte-outil est reliée au système d'entraînement de la broche ; on aboutit ainsi à la mécanisation des deux mouvements principaux : pièce et outil.

Dans une nouvelle étape, qui nous conduit aux environs de 1930-1940, nous assistons à la mécanisation des cycles d'usinage dont nous avons déjà parlé : grâce à un système de butées mécaniques montées le long du banc de tour, la machine passe d'elle-même du déplacement rapide

au déplacement lent du travail. C'est le cycle automatique classique : avance rapide, avance de travail, retour rapide. On a donc mécanisé non seulement la fonction « puissance » de la machine, mais aussi une partie de la fonction « décision ». Non seulement l'ouvrier ne tourne plus la manivelle, mais il n'a plus besoin d'actionner le levier de déclenchement des cycles de chariotage.

A ce sujet, ouvrons une parenthèse et rappelons que l'automatisation désigne justement cette nouvelle étape qui consiste à faire assumer par la machine tout ou partie des fonctions de décision.

Pourquoi avons-nous assisté au cours des cinq ou dix dernières années à un développement spectaculaire de l'automatisation des machines ? Très certainement parce que la mécanique a bénéficié de l'appui des nouvelles techniques : électricité, électronique, hydraulique, qui sont passées assez brusquement dans le domaine public. La seule mécanique serait certes capable d'assurer une bonne part des fonctions de puissance et même de décision que nous trouvons sur les nouvelles machines, mais son emploi exclusif aboutirait à des matériels du type « machine à battre » ou « usine à gaz », pour employer le langage imagé du bureau d'étude. Pour se convaincre de l'importance de l'apport des nouvelles techniques, il suffit de faire quelques comparaisons : minuterie mécanique sur le modèle de l'horlogerie et minuterie électronique de construction beaucoup plus simple ; variateur de vitesse mécanique qui répond encore à de multiples besoins, mais dont les possibilités sont limitées et variateur à base d'électronique ou d'amplificateur magnétique ; reproducteur mécanique, simple mais peu précis et reproducteur électrique ou hydraulique. Le système d'entraînement classique du type vis-écrou est très souvent détrôné, du moins pour des courses assez faibles, par le système hydraulique ou pneumatique cylindre-piston, qui a l'avantage d'être moins brutal, parfois moins onéreux, de ne pas s'user et de simplifier les chaînes cinématiques, mais présente, par contre, certains inconvénients

comme la difficulté de régler la vitesse de déplacement. C'est alors que la bonne vieille mécanique vient au secours de la nouvelle (les jeunes ont besoin de l'expérience des aînés, même si ces derniers sont un peu écrouis !) : un système classique, vis-écrou, réalisé avec la précision voulue, permet d'asservir le mouvement relatif cylindre-piston au mouvement de rotation de la vis ou de déplacement rectiligne de l'écrou (Fig. 1). On obtient ainsi une régularité de déplacement aussi bonne qu'en mécanique classique, avec la possibilité de lier ce mouvement par exemple au mouvement de rotation de broche de la machine. D'où la possibilité d'exécuter des filetages très précis avec un chariot à avance hydraulique.

Pour continuer d'exploiter cet exemple de l'asservissement cylindre-piston, notons qu'il permet de *conserver dans le temps la précision de la vis*, puisque celle-ci ne subit plus pratiquement aucun effort. Notons aussi que *la fonction puissance est ici confiée à l'hydraulique, alors que la mécanique classique assure la fonction de précision*.

Revenons à notre tour parallèle : il est devenu capable de travailler seul grâce aux aménagements dont nous avons parlé et de tous les autres : automatisation des mouvements de broche et d'avance, prérégulation ou programmation de la coordination de ces mouvements ; dispositifs d'alimentation automatique, dispositifs de contrôle de pièce, éventuellement d'auto-régulation et de changement automatique des outils.

Mais ce tour a l'inconvénient de ne posséder qu'un seul ou un petit nombre d'outils ; depuis longtemps, on a songé à combler cette lacune, par le tour automatique pour les grandes séries et le tour semi-automatique pour les petites ou moyennes.

Le tour automatique n'a pas attendu l'avènement ni de la technique de l'automatisation, ni du vocable, pour voir le jour, puisqu'il existait déjà, avons nous dit, bien avant la fin du siècle dernier. Né des besoins de l'industrie horlogère et de la boulonnerie, il a vu son emploi s'étendre peu à peu à tous les domaines de l'indus-

trie mécanique. Il est le type de la machine de construction entièrement mécanique, mis à part le moteur d'entraînement électrique ; les fonctions « puissance » et « décision » sont remplies par la même chaîne d'organes : la broche qui donne le mouvement de rotation à la pièce, entraîne l'arbre à cames par l'intermédiaire d'un jeu d'engrenages ; chaque came commande à la fois — c'est la caractéristique d'une came d'assurer ces deux fonctions — les déplacements des outils et leurs courses ; la coordination entre les mouvements est assurée par l'arbre à cames sur lequel les cames sont orientées en fonction de l'ordre et du moment d'intervention de chaque outil (Fig. 2).

Les tours automatiques à cames les plus modernes relèvent du même principe de construction : un jeu de cames — ou parfois de leviers — commandant les mouvements et leur coordination. Mais ce type de tour qui représente vraiment la machine idéale de production de grande série ne peut être utilisé pour des fabrications de petite ou moyenne série, dans de bonnes conditions économiques. Le coût et les délais de confection des cames et le temps de réglage, interdisent son emploi pour des séries dont la fabrication durerait quelques jours ou quelques semaines seulement. Poussés par le besoin, non pas tant de produire vite puisqu'il ne s'agissait plus de grande série, mais de réduire les temps de main d'œuvre et les prix, certains constructeurs ont été conduits à augmenter la convertibilité des tours automatiques classiques en remplaçant tout ou partie des cames par des dispositifs à commande électrique ou pneumatique. Par exemple, certains tours automatiques peuvent être maintenant équipés d'un boîtier de commande indépendante de la tourelle porte-outil (Fig. 3) ; le déplacement de la tourelle est alors assuré par moteur électrique avec dispositif de variation continue de vitesse qui permet d'adapter au mieux les avances d'outils au travail à réaliser ; les fins de courses sont déclenchées par butées électriques.

Donc les avantages retirés de notre mécanique nouvelle sont ici encore la sou-

plesse d'adaptation et l'augmentation du rendement des machines.

Entre le tour parallèle et le tour automatique, monobroche ou multibroche, les industriels disposaient du tour semi-automatique (Fig. 4) qui représentait bien, comme le suggère son nom, un juste milieu entre le tour parallèle ordinaire et le tour automatique. La tourelle simple du tour parallèle est remplacée par une tourelle revolver, mais les déplacements des outils restent manuels ou du moins déclenchés à la main.

Depuis une dizaine d'années, la différence entre les tours automatiques et semi-automatiques tend à disparaître puisque l'on assiste à l'adjonction d'avances automatiques sur les mouvements d'outils, de boîtes de vitesse de broche et d'avance à présélection manuelle ou automatique et, depuis moins longtemps, à l'équipement de ces tours avec des dispositifs de programmation des phases de travail.

Suivant les cas, les tours sont à commande entièrement électro-mécanique ou à composante principale hydraulique ou pneumatique.

Pour en finir avec les tours, constatons que l'ère de la mécanique nouvelle se caractérise par une atténuation, voire une suppression des limites qui séparaient les trois types de tours les plus courants : tour parallèle, tour semi-automatique et automatique ; à tel point que les constructeurs de ces tours proposent maintenant pour la plupart, des tours dits automatiques, même quand ils sont du type « parallèle ». Certains constructeurs scrupuleux du type semi-automatique, appellent leurs nouveaux modèles : semi-automatique automatisé ou revolver automatisé. Mais il n'en reste pas moins que l'utilisateur risque de ne plus s'y retrouver et qu'il est temps de se mettre d'accord sur une terminologie satisfaisante.

Notons que l'existence d'une telle ambiguïté n'est pas propre aux seules machines du type « tour » ; on trouve là en effet une des conséquences de l'avènement de la mécanique nouvelle, sur laquelle nous reviendrons plus loin ; les différences entre les divers types de machines s'estom-

pent parce que l'on tend maintenant, grâce à la souplesse des nouveaux mécanismes, à construire des machines répondant à des emplois très variés à partir d'une même machine de base sur laquelle on adapte les différents équipements ou accessoires supplémentaires dont on a besoin.

Nous retrouvons sur les autres types de machines-outils, qu'il s'agisse de machines d'usinage par enlèvement de copeaux du type fraiseuse ou perceuse, de machines de rectification, ou de machines travaillant par déformation, une évolution semblable à celle décrite pour les tours.

Par exemple, la machine à pointer, qui s'apparente à la machine du type fraiseuse et dont la conception générale n'a guère varié depuis sa création, il y a quarante ans, était autrefois à commande entièrement manuelle des déplacements de tables et chariots. Puis il y eut la mécanisation de ces mouvements à partir d'un même moteur commandant à la fois la broche et les déplacements, par l'intermédiaire d'une chaîne cinématique assez complexe (Fig. 5). Maintenant, la broche bénéficie d'un moteur indépendant (Fig. 6), ce qui a permis de simplifier considérablement les transmissions de mouvement ; les tables sont à commande électro-mécanique ou hydraulique ; la précision des positions est donnée, non plus par le système vis-écrou, mais par des règles à lecteurs optiques ; la coordination des mouvements encore purement manuelle sur la plupart des machines peut être maintenant assurée par des dispositifs de programmation à enregistrement magnétique (Exemple : dispositif D.I.R. de la Société Genevoise d'Instruments de Physique) ou de programmation numérique sur bande perforée. A noter que le dispositif D.I.R. de la S.I.P. utilise un appareil dit micromètre électronique pour commander le positionnement automatique de la table. Il s'agit en effet d'un lecteur optique qui transforme l'image des traits de la règle de référence en un signal électrique modulé commandant le moteur de table.

La machine à pointer est un bon exemple d'un équipement qui a su allier de façon très intime la mécanique classique, qui

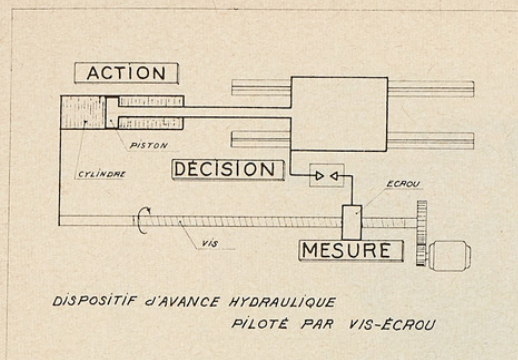


Fig. 1.
Dispositif d'avance hydraulique
piloté par vis-écrou.

FIG. 2.
Chaine cinématique
d'un tour automatique à cames.

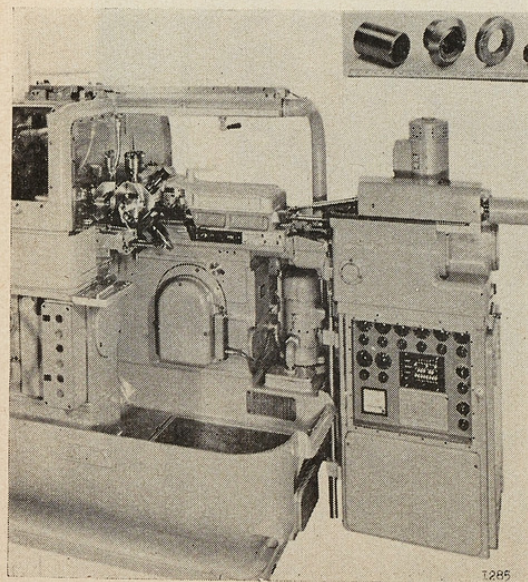
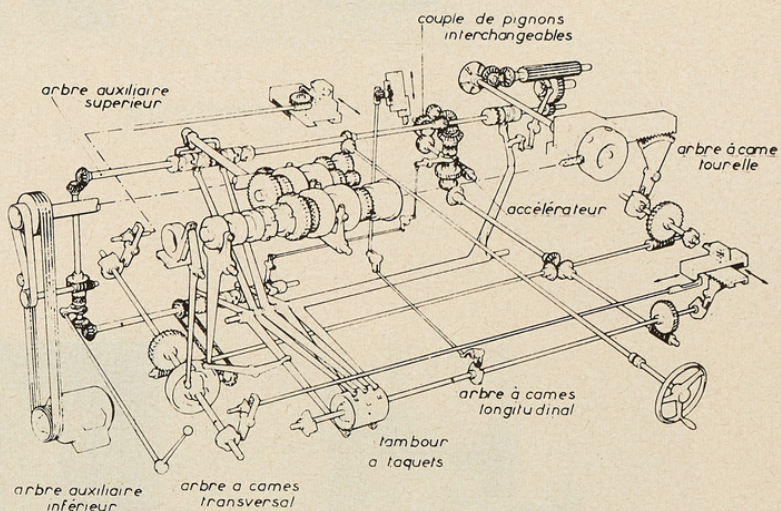


FIG. 3.
Dispositif de commande électro-mécanique
de la tourelle d'un tour automatique.

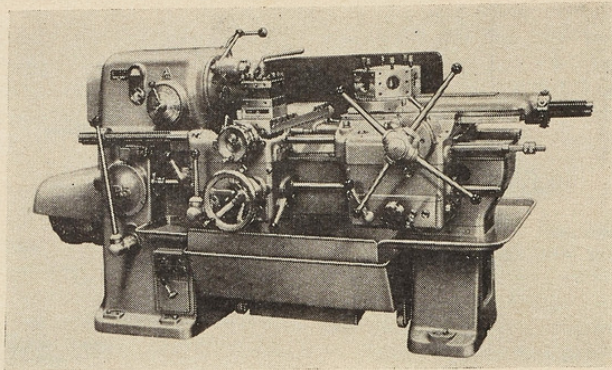


FIG. 4.
Tour semi-automatique.

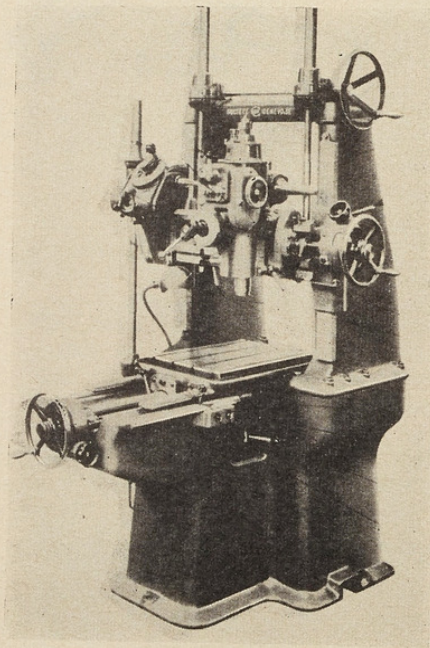


FIG. 5.
Machine à pointer ancien modèle.

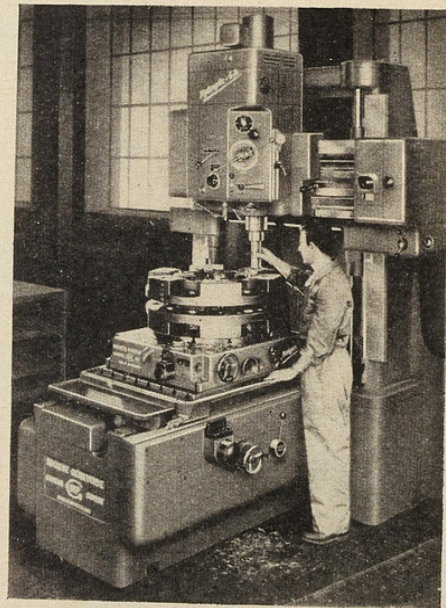


FIG. 6.
Machine à pointer nouveau modèle.

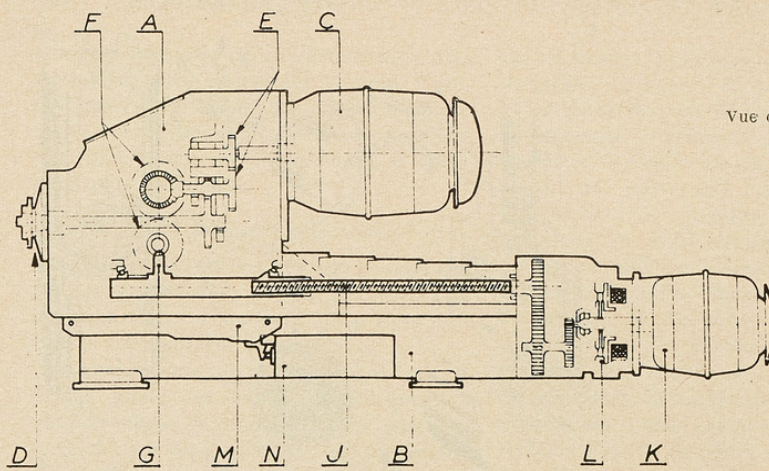


Fig. 7.
Vue ouverte d'une fraiseuse
universelle.

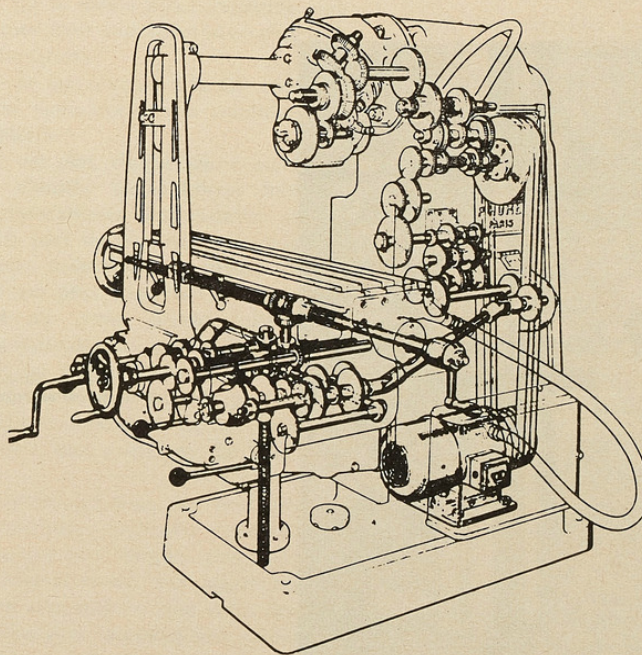


Fig. 8.
Schéma
d'une unité d'usinage.

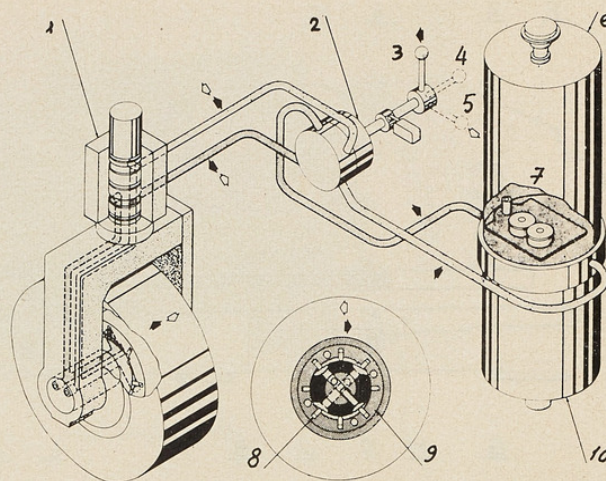


FIG. 9.
Schéma
de la roue hydraulique.

1. Bloc de distribution ; 2. Valve à quatre voies ; 3. Avant ; 4. Point mort ; 5. Arrière ; 6. Réservoir ; 7. Pompe à engrenages ; 8. Aube ; 9. Rotor ; 10. Moteur.

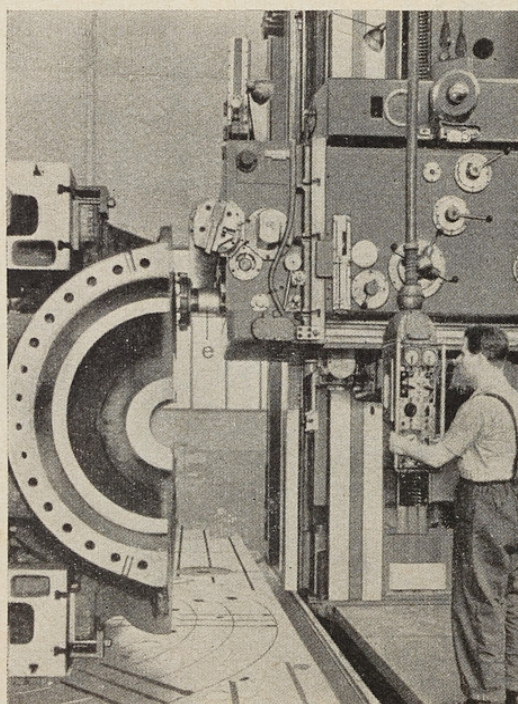


FIG. 10.
Grosse machine
à panneau de commande suspendu.

conserve toute son importance, et les autres techniques déjà énumérées — plus l'optique que nous n'avions pas encore mentionnée — pour aboutir à une machine encore plus précise que ses antécédentes, et beaucoup plus productive.

II, 2, 2. — *Machines spéciales.*

Nous nous étendrons peu sur le sujet des machines spéciales puisque les machines dites classiques nous ont déjà permis d'illustrer suffisamment notre propos.

Rappelons que les machines spéciales — disons plutôt les machines multiples — ont l'avantage de supprimer une part importante, parfois la totalité, des opérations de montage de pièce et de manutention. Les pièces sont en effet montées sur la machine à la main, ou automatiquement, puis subissent un nombre plus ou moins grand d'opérations d'usinage sans intervention de l'ouvrier. La machine comporte plusieurs unités d'usinage, équipées chacune d'un ou plusieurs outils, et travaillant soit simultanément sur la même pièce (machine multiple à poste fixe) soit successivement (machine à transfert).

Ce type de machine est à la fois plus simple et plus complexe que la machine classique moderne :

— Elle est plus simple parce qu'elle se compose d'unités élémentaires dont les chaînes cinématiques sont réduites au minimum ; la part de la mécanique classique y est encore prépondérante (figure 7).

— Elle est plus complexe parce qu'elle comprend un grand nombre d'éléments dont la coordination exige des équipements électriques ou hydrauliques très importants et très impressionnants pour le profane. En réalité, cette coordination ne fait appel, en général, qu'à des principes de base simples.

Dans l'ensemble, donc, on peut affirmer que les machines multiples reposent sur une mécanique plus simple, plus traditionnelle — contrairement aux apparences et à l'opinion courante — que celle des machines classiques automatisées. Pourquoi cette différence ? Parce que chaque élément de la machine multiple assure une fonction bien déterminée, avec préréglage effec-

tué en dehors de la machine, pour la série de pièces à usiner, et que la commande de la machine peut être ainsi assurée par un dispositif à séquence assez simple. Au contraire, les éléments de la machine classique, ou universelle, automatisée sont polyvalents ; la conduite de la machine, au cours du cycle d'usinage, doit porter non seulement sur l'ordre d'intervention des éléments mais encore sur les vitesses de broches et d'avances et sur les positions ; d'où la nécessité d'utiliser des systèmes de commande programme par cames, cartes ou bandes perforées, enregistrement sur bande magnétique, avec, dans certains cas, le concours de la commande numérique.

A titre d'exemple, notons que les techniques des asservissements et de l'électronique sont rarement, pour ne pas dire jamais, utilisées sur les machines multiples comme les chaînes transfert, mais le sont de plus en plus sur les machines classiques.

II, 2, 3. — *Machines de type nouveau.*

Avant d'en terminer avec la description des machines, rappelons que certaines d'entre elles, comme les machines à usiner par électroérosion ou par ultra-sons, ont un équipement électrique et électronique très important, et font relativement peu appel à la mécanique.

II 3. — *Les principes de base.*

A la lumière des exemples précédents, nous essaierons de définir les principes sur lesquels repose la mécanique nouvelle :

II, 3, 1. — *Indépendance des fonctions.*

Premièrement, une certaine indépendance des fonctions. Sur les premiers tours parallèles mécanisés, par exemple, le même moteur assurait le mouvement de la broche, le déplacement du trainard et du chariot porte-outil, et éventuellement l'arrosage. Au contraire, sur les tours et fraiseuses modernes, on a tendance à monter *autant de sources* de mouvement, électrique, hydraulique ou pneumatique qu'il y a d'organes à commander.

Pour être plus précis, distinguons *les trois classes* de fonctions, suivant le schéma classique de la théorie des asservis-

sements : les fonctions de *puissance* (ou action), de *précision* (ou mesure) et de *décision* (par exemple, dans le cas déjà cité du dispositif d'entraînement du type cylindre-piston, avec vis-pilote, la fonction puissance est assurée par le cylindre-piston, la fonction précision par l'ensemble vis-écrou qui sert, en quelque sorte, de système de mesure de référence, tandis qu'une valve-pilote « décide » de l'admission de l'huile dans le cylindre-piston, admission plus ou moins importante selon l'écart détecté entre les positions relatives des organes de puissance et de précision).

Dans la conception des machines nouvelles, on tend de plus en plus; non seulement à rendre indépendantes les fonctions d'une des trois classes par rapport à celle des deux autres (par exemple, à ne pas confier à une même vis le rôle de déplacer une table et de repérer la position de cette table), mais on tend aussi à *rendre indépendantes les fonctions à l'intérieur de chacune des classes* (par exemple, on évitera de commander par un même moteur les mouvements d'avance lente et rapide d'une même table).

Les avantages de cette politique d'indépendance des fonctions nous paraissent assez importants pour nous permettre de pronostiquer qu'elle recueillera des adeptes toujours plus nombreux.

Parmi ces avantages, citons :

a) d'abord le fait que le principe d'indépendance permet de *choisir l'équipement le mieux approprié* à chacune des fonctions à remplir; l'ingénieur aura le libre choix entre les différentes techniques : mécanique, hydraulique, etc..., *chaque technique permettant, d'ailleurs, de couvrir la gamme à peu près complète des besoins*. Par exemple, s'il veut transmettre un mouvement de rotation avec possibilité de faire varier la vitesse, il aura le choix entre une boîte de vitesse mécanique à commande manuelle, avec ou sans dispositif de présélection mécanique, hydraulique ou magnétique; un variateur de vitesse à billes, galets, courroies ou chaînes; un coupleur hydraulique; un ensemble pompe et moteur hydrauliques à pistons ou palettes;

un variateur électronique avec thyatron à gaz ou solide; un ensemble redresseur sec, potentiomètre et moteur à courant continu; un variateur de vitesse magnétique; sans oublier le classique groupe Ward Léonard.

Autrement dit, la mécanique nouvelle offre au constructeur d'aujourd'hui une gamme de possibilités infiniment plus étendue que celle de la mécanique d'il y a vingt ou trente ans.

b) *Il permet l'application du principe d'additivité* (ou « mécano »).

C'est-à-dire : la construction de machines diverses à partir d'un petit nombre d'éléments communs; en général, on constitue une famille de machines à partir d'une machine de base comprenant un bâti et la partie mécanique commune à toutes les machines de la famille; sur cette machine de base, on adapte les éléments particuliers relatifs aux différents modèles. On pourrait citer des exemples de machines de ce genre, du type tour, fraiseuse, rectifieuse, et, évidemment, des machines spéciales, puisque ces dernières sont fondées sur le principe d'additivité.

c) *Il donne une plus grande facilité de réglage*.

C'est une application du principe cher à Descartes qu'il est avantageux de décomposer un problème en éléments simples pour être à même de le résoudre plus aisément.

Par exemple, la difficulté relative de réglage du tour automatique classique provient de ce qu'un même organe — la came — remplit à la fois plusieurs fonctions : décision d'intervention de l'outil, vitesse d'avance, longueur du déplacement; de plus, toutes les comes sont dépendantes les unes des autres en ce qui concerne leur vitesse de rotation. Les avantages de dispositifs d'avance à commande électrique, pneumatique, ou hydraulique sont : d'une part, de rendre à chaque mouvement son indépendance; d'autre part, de donner aussi son indépendance à chaque composante de ce mouvement : démarrage du cycle, vitesse de déplacement, durée du mouvement.

II, 3, 2. — *Transmission des ordres et des mouvements par fluides.*

Deuxième principe de la mécanique nouvelle : transmission des ordres et des mouvements par fluide ; le fil électrique ou la tuyauterie d'huile ou d'air comprimé, voire le rayon lumineux, remplacent les arbres mécaniques, leviers et autres tringleries. La rusticité et la souplesse du conducteur, fil ou tube, a permis :

— de placer l'organe de commande *aussi près que souhaitable* de l'organe à commander ;

— de réaliser cette indépendance des fonctions dont nous venons de parler. L'arbre électrique, par exemple, et pour employer l'expression des spécialistes, est infiniment plus malléable que l'arbre mécanique (figure 8). Autres avantages de cette transmission par fluides : moindres vibrations des machines, meilleure fidélité de la transmission, moindres sujétions pour les esthéticiens de la machine-outil.

Comme illustration des deux premiers principes, nous citerons deux exemples choisis dans un domaine différent de celui de la machine-outil, mais cependant très voisin :

a) *Le matériel de génie civil :*

Qui de nous ne s'est pas arrêté devant un chantier de travaux publics ou de bâtiment pour admirer le travail de ces énormes engins (pelles mécaniques, bull-dozers, ...), à la fois capables de transporter ou de soulever des charges de plusieurs tonnes et de se comporter avec la précision et la souplesse d'un être vivant. Ils peuvent nous faire penser à ces éléphants admirablement dressés pour les travaux de force et répondant à toute sollicitation, aussi discrète soit-elle, de leur cornac ! Ici, les muscles sont, en général, remplacés par des vérins hydrauliques qui présentent l'avantage sur les mécanismes classiques de pouvoir être placés dans la position la mieux adaptée au mouvement à produire, d'être d'une grande souplesse et d'absorber des chocs qui seraient néfastes à d'autres mécanismes.

b) *La roue hydraulique* (figure 9).

Il s'agit d'une roue pouvant s'adapter sous des véhicules non motorisés : chariots de manutention en général.

La pression hydraulique est fournie par un petit groupe moto-pompe indépendant.

Les avantages d'un tel dispositif sont les suivants :

— possibilité de placer la roue motrice à l'endroit le plus approprié, sans qu'il soit nécessaire de la mettre à proximité de la source d'énergie, puisque la liaison entre les deux organes consiste en deux simples tubes souples ;

— simplicité du mode de fixation de l'ensemble sur le chariot à motoriser.

II, 3, 3. — *Centralisation des commandes.*

Troisième principe : centralisation des commandes. On a d'abord cherché à regrouper devant l'ouvrier tous les leviers, manivelles ou boutons servant à commander la machine. L'utilisation des nouvelles techniques et la transmission des ordres par fluide sont venus aider cet effort de centralisation ; les commandes ont été regroupées non plus seulement sur le devant de la machine mais, si nécessaire, sur un pupitre ou un panneau suspendu disposé au mieux pour l'ouvrier utilisateur (figure 10).

Le chemin était alors tout tracé vers l'automatisation du système de commande, puisque tous les conducteurs de fluides aboutissaient déjà en un même endroit de la machine.

II, 3, 4. — *Amélioration de la mécanique classique.*

Quatrième principe : amélioration de la mécanique classique. Non seulement la mécanique moderne fait de plus en plus appel à l'aide d'autres techniques pour la compléter ou la relayer, mais elle cherche aussi à s'améliorer elle-même, par une utilisation toujours plus poussée des techniques de mise en œuvre de la matière : amélioration sur le plan de la résistance à la déformation, à la rupture ou à l'usure et sur le plan de la légèreté, de la rigidité, de la précision ou de la conservation dans le temps.

II, 3, 5. — Développement de l'automatisation.

Cinquième et dernier principe : développement de l'automatisation. On a déjà dit que le développement de la mécanique nouvelle n'implique pas obligatoirement celui de l'automatisation ; on peut très bien remplacer un système d'avance mécanique par un système hydraulique ou pneumatique sans pour cela automatiser le déplacement correspondant. Cependant, ces deux phénomènes d'automatisation et d'évolution de la mécanique vont de pair, ils se conditionnent l'un, l'autre. D'une part, l'automatisation des machines doit faire appel à toutes les techniques de la mécanique nouvelle, auxquelles vient se joindre la technique des asservissements, d'autre part, la mécanique nouvelle doit son essor prodigieux de ces dernières années aux besoins nés de l'automatisation toujours plus poussée des moyens de production.

III. — CONDITIONS DE L'ÉVOLUTION DE LA MÉCANIQUE.

Je citerai quatre facteurs dont me paraît dépendre, sans contestation possible, le développement de la mécanique nouvelle ; ce sont : la qualité des équipements, la simplicité des matériels, leurs prix et les échanges d'idées entre constructeurs et utilisateurs.

— La *qualité* des équipements mécaniques, électriques, hydrauliques, etc..., doit être irréprochable ; qu'il s'agisse de moteurs, contacteurs, électro-valves, vérins, relais, tubes électroniques ou de simples écrous ou pignons, leur durée de vie doit être aussi grande que celle de la machine ; ou, du moins, leur remplacement doit être à la portée d'un non spécialiste. Les pannes sont en effet d'autant plus gênantes et coûteuses que les machines sont évoluées et relativement spécialisées. La plupart des industriels craignent les machines trop modernes car ils ne disposent pas du personnel compétent pour les dépanner : et il en sera toujours ainsi, probablement, car il y aura sans cesse un décalage entre les capacités du personnel utilisateur et le niveau technique des constructeurs. On est en outre très

exigeant pour les machines automatisées car elles sont souvent destinées à travailler sans arrêt, parce que chères, pendant dix, douze, voire 20 heures consécutives, chaque jour.

Cette condition exige, par exemple, des contacteurs résistant à plusieurs millions d'enclenchements, des moteurs supportant des centaines de démarrages à l'heure et des surcharges importantes, des joints pour vérin conservant leur qualité d'étanchéité après avoir subi des frottements équivalents à plusieurs dizaines de kilomètres de tiges de piston, etc... On peut affirmer que l'évolution prodigieuse des machines depuis dix ans n'a été possible que grâce à une amélioration très nette des matériels électriques — et notamment de l'étanchéité des contacteurs électriques — aux alentours des années 1949-1950.

— La *simplicité* doit être recherchée pour les équipements d'abord, mais aussi pour les schémas de construction des machines elles-mêmes, car il est essentiel que les utilisateurs soient capables d'en comprendre le fonctionnement et ne soient pas effrayés par une complexité trop grande ; les utilisateurs français, notamment, aiment bien savoir « comment ça marche », ne serait-ce que pour être capables d'assurer les dépannages ordinaires sans faire appel au spécialiste. La simplicité est la condition pour que le monde industriel se familiarise avec la mécanique nouvelle et n'hésite plus à l'employer ; du moins, est-ce une étape par laquelle il est nécessaire de passer avant que les utilisateurs ne se décident à acheter des matériels plus complexes. Il en est de même pour les machines-outils et pour les machines à laver ! Le constructeur doit prendre garde de ne pas s'habituer à la complexité insensiblement croissante de ses matériels sans s'assurer que les autres (les utilisateurs) suivent.

— Le *prix de revient* : cette condition doit être un compromis entre le souci de la simplicité et de la qualité.

Un dispositif de déplacement par vérin hydraulique, par exemple, n'a de chances, à caractéristiques égales, voire supérieures,

de remplacer un dispositif vis-écrou, que s'il n'entraîne pas de dépenses beaucoup plus élevées à l'achat comme à l'exploitation.

Il faudrait ici distinguer deux types de dispositifs :

— d'une part, ceux qui remplacent des dispositifs de mécanique classique existants et qui sont, en général, assez simples : leur prix de revient est, dans l'ensemble, raisonnable ;

— d'autre part, ceux qui assurent des fonctions de décision ou de précision qui étaient jusque là remplies par un ouvrier : ces dispositifs font souvent appel aux asservissements ou aux commandes-programmes et sont, de ce fait, très coûteux ; la rentabilité de leur utilisation est parfois discutable, surtout dans les pays comme la France où la main-d'œuvre est encore assez bon marché. On retrouve cette idée que la mécanisation coûte de plus en plus cher au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'automatisation totale. C'est la loi bien connue de la rentabilité décroissante des investissements. A titre d'exemple, citons d'une part le cas du moteur électrique de 10 CV qui coûte 1.000 NF et produit le travail d'une dizaine ou d'une centaine « d'ouvriers-muscles », et, d'autre part, le cas d'un dispositif de cycle automatique sur fraiseuse simple qui coûte 1.500 NF et permet peut être d'économiser 1/5 ou 1/10 seulement d'ouvrier.

— la quatrième condition nous paraît d'autant plus importante que le progrès de la mécanique nouvelle se trouve dans une phase de forte accélération : il s'agit de l'organisation des *échanges d'information entre constructeurs de matériels et utilisateurs*. Ces échanges doivent permettre de confronter les possibilités des uns aux besoins des autres ; la rapidité de l'évolution de la technique ne permet plus de se contenter d'une *adaptation automatique* de la production de machines aux besoins de l'industrie mécanique. Jusqu'à ces dernières années, l'évolution des machines s'est faite, il faut l'avouer, d'une manière assez désordonnée, mais il est grand temps de l'orienter à partir d'une étude approfondie

du marché. Nous sommes heureux de constater que de nombreuses personnalités du monde de la mécanique se sont préoccupées de cette nécessité — certaines, d'ailleurs, depuis longtemps — et qu'elles rencontrent de plus en plus d'adeptes pour partager leur point de vue.

IV. — CONSÉQUENCES.

Nous examinerons successivement les conséquences au plan économique, puis au plan humain et social.

IV, I. — *Au plan économique.*

— *Prix des machines* : il devient de plus en plus hasardeux et imprécis de parler du prix au kg ou à la tonne, pour les machines, puisqu'elles sont constituées de matières ou d'équipements dont les valeurs pondérales n'ont entre elles aucune commune mesure ; il suffit, à la limite, de comparer le prix du kg de fonte à celui du kg de moteur électrique, ou à celui du kg de transistors !

Si l'on essaye, toutefois, de chiffrer l'évolution, en termes de valeur, de la part purement mécanique, par rapport à la valeur totale de la machine, on peut dire qu'elle est passée de :

— 100 % au début de l'ère du machinisme,

— à 95 % environ pour les machines à moteur électrique indépendant,

— à 50 % seulement aujourd'hui pour les machines classiques automatisées (exemples : tour à cycle automatique, reproduction, et asservissement de la vitesse de broche au diamètre de la pièce usinée ; machine à aléser à commande numérique).

— *Besoin en matières premières et en énergie.*

Des remarques précédentes, il résulte que l'industrie mécanique en général, et celle de la machine-outil en particulier, requièrent une proportion de plus en plus importante de matières premières nobles et d'éléments de construction élaborés. Il faudra en tenir compte dans l'étude des plans de production des industries situées en aval de l'industrie mécanique.

Quant aux besoins en énergie, ils ne semblent pas devoir être sensiblement modifiés du fait de l'avènement de la mécanique nouvelle, toute chose étant, bien sûr, supposée égale par ailleurs : l'augmentation de la consommation électrique des machines résultant de la multiplication des moteurs, ou l'augmentation de la consommation d'air ou d'huile sous pression, devraient être à peu près compensées par l'amélioration du rendement à l'outil et du rendement des équipements transformateurs d'énergie.

— *Structure de l'industrie.*

1) Le développement de la mécanique nouvelle oblige les entreprises constructrices de machines à acquérir une expérience dans des techniques jusqu'ici réservées à des firmes spécialisées, aussi bien pour les études que pour la construction des matériels. Cela nécessite une reconversion partielle, non seulement des moyens de production, mais surtout des habitudes des ingénieurs, techniciens et ouvriers de ces entreprises. A partir du moment où quelques cadres ont pris conscience de l'importance de cette reconversion pour l'avenir de leur entreprise, le mouvement peut être très rapide : en quelques années, la conception des matériels fabriqués est susceptible d'être profondément modifiée, en même temps que la structure de l'entreprise elle-même.

2) Il résulte de cette évolution que l'expression « industrie mécanique » doit être prise dans un sens très large et mériterait probablement d'être remplacée par une autre expression que je laisse le soin à d'autres personnes de lancer. Il me paraît, par exemple, anormal de classer les machines d'usinage par électro-érosion parmi les produits des industries mécaniques, puisqu'il s'agit de machines faisant autant appel, si ce n'est plus, à l'électronique qu'à la mécanique.

3) Les diverses industries de transformation, qu'elles produisent des biens de production ou de consommation, deviennent de plus en plus interdépendantes ; de ce fait, il ne saurait être question, à l'occasion des études actuelles sur la décentralisation

industrielle, d'envisager la création de régions trop spécialisées, sans risquer de nuire à l'évolution dont nous avons parlé. Cette remarque prend toute son importance quand on pense que ces industries de transformation, depuis la mécanique jusqu'à l'électronique, occupent environ le tiers de la population active industrielle de la France.

— *Vitesse de vieillissement technologique accélérée.*

L'industrie mécanique qui avait atteint un niveau de perfection élevé et qui continuait de s'améliorer sûrement mais lentement, se trouve aujourd'hui obligée de s'adapter à ce mariage avec les autres techniques qui, elles, en sont encore au stade des tâtonnements et des découvertes et donc en évolution rapide ; il en sera d'ailleurs longtemps ainsi car on est encore loin d'avoir exploré toutes les possibilités de ces techniques. Il en résultera une perpétuelle et rapide évolution des matériels vers des caractéristiques toujours meilleures, évolution qui sera la cause de leur dépréciation technologique rapide et qui ira peut-être en s'accéléérant. Sans être pessimiste, on peut affirmer que de nombreux matériels, aujourd'hui « up to date », seront périmés dans cinq ans, ou moins.

IV, 2. — *Au plan humain et social.*

— *Formation et perfectionnement du personnel industriel.*

L'entreprise de construction mécanique doit acquérir, avons-nous dit, une certaine polyvalence dans les domaines des techniques hydrauliques, électriques, électroniques, etc... D'où la nécessité d'adapter en conséquence les programmes des écoles d'ingénieurs, techniciens et professionnels, qui doivent faire une part très importante, si ce n'est prépondérante, à ces techniques relativement nouvelles, même s'il s'agit d'écoles destinées aux cadres de la spécialité mécanique. Ne peut-on même aller plus loin et dire que l'ingénieur de construction devrait s'efforcer d'abandonner aux mains des techniciens les techniques de la mécanique classique, qui sont maintenant bien au point, relativement du

moins, pour se consacrer de préférence aux autres techniques ?

Les entreprises elles-mêmes, ou les industries, devront aussi prévoir le perfectionnement, et parfois le recyclage du personnel et des cadres en place.

A ce propos de la formation, rappelons que l'avènement de la mécanique nouvelle fera beaucoup pour rehausser le blason de la mécanique qui est trop souvent considérée comme une technique de bas étage, quand elle n'est pas assimilée à l'activité du type dépannage automobile ou bricolage sur machine-outil. On peut parler d'un anoblissement de la mécanique.

Pour cette raison, et malgré les efforts de perfectionnement ou recyclage du personnel en place, il faut prévoir que certains ne parviendront pas à s'adapter et qu'il en sera toujours ainsi ; la mise à la retraite n'étant pas une solution humainement valable, du moins dans la plupart des cas, il y a lieu d'étudier le problème du réemploi du personnel allergique aux techniques modernes.

— Réduction de la fatigue du travailleur.

Il s'agit là d'une conséquence déjà bien connue du développement de la mécanisation puis de l'automatisation, qui peuvent diminuer non seulement la fatigue musculaire mais aussi la fatigue nerveuse de l'ouvrier, à condition, bien entendu, que l'étude des conditions de travail n'ait pas été négligée.

On entrevoit même la possibilité, déjà passée, dans certains cas, dans le domaine des réalités, de faire travailler les machines à deux ou trois équipes — si l'on peut employer cette expression à propos de machines — avec un personnel très réduit, voire inexistant pendant les heures de nuit.

Mais, si la machine moderne peut être un outil permettant de libérer l'homme des tâches serviles ou abrutissantes, elle risque aussi de devenir pour lui un moyen d'abêtissement.

On confie maintenant aux esclaves mécaniques le soin d'agir et de penser à la place de l'ouvrier, dont le rôle se borne à appuyer sur des boutons. Certains, probable-

ment pessimistes, disent que cette habitude est déjà si bien prise qu'il est difficile de trouver, dans les pays très industrialisés, de la main-d'œuvre professionnelle acceptant encore de « positionner » à la main et à l'œil une table de fraiseuse ou de machine à pointer, et que l'on est amené à prévoir des dispositifs répéteurs de cote ou de programmation même lorsque la faible importance des séries ne le justifie pas ! On peut craindre chez ces personnes la perte du goût de l'effort manuel et surtout intellectuel et une lente dégradation de la capacité de décision.

Pour en terminer avec le chapitre des conséquences, rappelons la nécessité maintes fois signalée de se mettre d'accord sur un vocabulaire adapté à la nouvelle mécanique. Par exemple, on ne trouvera bientôt plus sur les catalogues des constructeurs de tours qui ne soient pas qualifiés d'« automatiques » ; et pourtant, *il y a encore loin du tour automatique classique à cames et à tourelle revolver, jusqu'au tour parallèle à cycle dit automatique.*

V. — CONCLUSIONS.

La mécanique nouvelle se caractérise par la conjonction de la mécanique traditionnelle et des techniques plus modernes de l'électricité, l'électronique, l'hydraulique, la pneumatique ou des techniques d'asservissements.

Ce sang neuf a permis de donner un nouvel essor aux dispositifs mécaniques, souvent de les simplifier ou de les améliorer, parfois de leur donner une nouvelle raison d'être.

La mécanique traditionnelle n'est donc pas morte pour autant, mais elle n'a plus le monopole de la construction « mécanique » ; elle doit partager la place avec les autres.

Toutefois, elle reste à la base de la construction de tous les matériels industriels, y compris les matériels hydrauliques, électriques, voire électroniques. Elle doit donc faire effort, non seulement pour assimiler son alliance avec les autres techniques, mais aussi pour s'améliorer elle-même dans le

domaine de la précision, de la solidité, des états de surface.

Grâce à la mécanique nouvelle, l'ingénieur de construction a maintenant à sa disposition tout un arsenal de techniques et de dispositifs qui permettent de satisfaire une gamme de plus en plus étendue de besoins. Là où il ne disposait que d'un ou deux systèmes mécaniques pour remplir une fonction donnée, il peut maintenant faire appel à une grande variété de dispositifs, au point que l'on peut parler d'une concurrence certaine entre les différentes techniques.

Contrairement à une opinion très répandue, même chez les mécaniciens, la production de grande série fait moins appel à la mécanique nouvelle que les fabrications unitaires ou de petite série.

Il en est donc de la mécanique comme de toutes les inventions humaines ; à certaines époques, elles se trouvent éclipsées par de nouvelles techniques divulguées à grand renfort de publicité et que l'on estime de-

voir remplacer tout ou partie des techniques concurrentes connues.

Mais après un certain délai, nécessaire pour dégager le possible de l'espéré, le réel du sensationnel, le souhaitable du rentable, les nouvelles techniques prennent sagement leur place parmi l'assemblée des anciennes, en empiétant d'ailleurs plus ou moins sur leur domaine. Par exemple, l'avènement de l'électricité n'a pas supprimé l'emploi du moteur thermique ; les centrales hydrauliques n'ont pas le monopole de la production électrique ; l'atome ne remplacera pas entièrement le charbon ; le carbure n'a pas détrôné l'acier rapide dans bon nombre d'utilisations (outils de fraisage, brochage, etc...). De même, la mécanique n'a rien à craindre de la concurrence des techniques plus récentes, à condition qu'elle s'adapte non seulement pour survivre, mais pour aller toujours plus avant et mériter son titre de mécanique nouvelle que nous avons cru bon de lui octroyer.

L'ULTRA-VIOLET LOINTAIN - APPLICATIONS ANALYTIQUES ET INTÉRÊT EN ASTROPHYSIQUE ⁽¹⁾

par M. Jacques ROMAND,
*Maître de Recherches, Sous-Directeur du Laboratoire
des Hautes Pressions.*

I. — INTRODUCTION

La région spectrale de l'ultraviolet lointain, rappelons-le, est délimitée du côté des grandes longueurs d'onde par la limite de transparence de l'air (absorption de l'oxygène débutant vers 1950 Å) et du côté des courtes longueurs d'ondes par les rayons X très mous (100 à 10 Å environ par convention). Elle fut découverte à la fin du siècle dernier grâce aux travaux de pionnier de Victor Schumann. Depuis elle fut explorée et sa limite fut progressivement reculée jusqu'aux rayons X grâce à des travaux de savants éminents parmi lesquels nous citerons seulement Lyman, Millikan, Edlen, Holweck, Thibaud (1), (2), (3) ⁽²⁾.

Cependant, jusqu'à la période de l'après-guerre, les difficultés expérimentales propres à cette région, en écartèrent les spectroscopistes, et les recherches furent effectuées par un très petit nombre de chercheurs, le plus souvent isolés ou rassemblés en groupes peu importants. On peut dire qu'il y a une quinzaine d'années, nos connaissances des propriétés optiques de la matière dans cette région spectrale présentaient encore d'énormes lacunes.

La situation est maintenant tout à fait différente (4), (5), en raison des progrès de la technique, d'une part (technique du vide et technique des réseaux, en particulier), et, d'autre part, parce que la région de l'ultraviolet lointain s'est révélée très riche par les données qu'elle nous fournit sur les interactions du rayonnement avec la ma-

tière. Les quelques points particuliers ci-dessous mentionnés en constituent autant d'exemples : 1°) pour les atomes, observation des spectres optiques des édifices fortement ionisés ; 2°) en spectroscopie moléculaire, possibilité d'atteindre des niveaux fortement excités et d'étudier les divers processus d'ionisation et les spectres des produits ionisés ; 3°) en spectroscopie moléculaire également, apparition de bandes intenses et fines (séries de Rydberg) ; 4°) pour tous les types de spectres en général, très grande richesse des spectres en raies ou bandes, avec des régions d'absorption très intense, favorables aux applications analytiques ; 5°) la probabilité d'ionisation par photons lumineux est élevée dans l'ultraviolet lointain. On y observe un effet photoélectrique « en volume » pour les métaux ; 6°) enfin, l'un des développements les plus spectaculaires de l'ultraviolet lointain est celui auquel nous assistons actuellement, tant dans le domaine de l'exploration de la haute atmosphère, que dans celui de l'astrophysique. On peut donner une idée de l'importance jouée par l'ultraviolet lointain dans nos connaissances en cette matière, en remarquant simplement que le X^e Colloque International d'Astrophysique, qui s'est tenu à Liège en 1960, était consacré aux spectres des corps célestes dans l'ultraviolet lointain.

Nous ne pouvons développer, au cours de ce bref exposé, les différentes questions exposées ci-dessus ; aussi, après un rappel

(1) Conférence faite le 25 mai 1961 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

(2) V. références bibliographiques en fin d'article.

des développements récents des techniques expérimentales, nous nous limiterons seulement à quelques questions pour lesquelles les progrès sont particulièrement frappants.

II. — APPAREILS DISPERSIFS

En principe, comme dans toute région spectrale, le matériel de base se compose d'une source, éventuellement d'un absorbant, d'un appareil dispersif, d'un récepteur.

Nous n'insisterons pas sur la nécessité d'opérer sous vide. Grâce aux progrès de la technique du vide, cette sujétion se ramène maintenant à une très minime perte de temps.

L'absence de matériau optique transparent sous épaisseur macroscopique pour les longueurs d'onde $< 1.100 \text{ Å}$ oblige à concevoir une optique par réflexion et élimine, dans la grande généralité des cas, le prisme comme appareil dispersif.

Le réseau concave par réflexion est donc utilisé dans la grande majorité des appareils. En incidence normale, le pouvoir réflecteur, qui décroît vers les courtes longueurs d'onde, permet toutefois d'utiliser ces réseaux jusqu'à 500 Å environ. Commercialement, on peut disposer de réseaux avec concentration de la lumière dans la région de 1.700 Å , 800 Å , 750 Å et même 500 Å . Ces réseaux sont généralement des répliques en plastique sur verre, recouverts d'une couche d'aluminium. L'expérience montre qu'il est souvent utile d'enlever la couche d'aluminium et d'utiliser le réseau ainsi dénudé, ou de recouvrir le plastique avec un matériau autre que l'aluminium, le pouvoir réflecteur de ce dernier étant très médiocre pour les longueurs d'onde inférieures à 1.000 Å ; nous avons utilisé avec succès le germanium.

En dessous de 500 Å , le pouvoir réflecteur est insuffisant en incidence normale et on utilise alors le réseau sous grande incidence, l'angle choisi étant généralement supérieur à 80° ; les réseaux sont en verre, rayés très légèrement. Le phénomène de superposition des ordres se manifeste alors d'une façon qui peut être très gênante dans certains cas. L'élimination des radiations

de plus courte longueur d'onde, par exemple par une réflexion, facilite le dépouillement des spectres. Signalons que l'on essaye actuellement d'utiliser, dans la région des très courtes longueurs d'onde, des réseaux à concentration (6), (7). Les avantages du réseau en incidence tangentielle sont notables : grande étendue spectrale, grande dispersion ; les défauts ne sont pas moindres : astigmatisme très élevé, réglage difficile, nécessité d'un positionnement très précis du récepteur, non uniformité de la dispersion. Toutefois, l'avantage d'une grande dispersion et la nécessité d'employer ce montage en-dessous de 500 Å conduiront vraisemblablement à en généraliser l'emploi.

Cependant, avec les réseaux habituels (de 1 à 3 m de rayon) même le montage en incidence rasante ne permet guère d'obtenir une très haute résolution. Deux procédés ont été alors utilisés pour accroître la dispersion. Le premier consiste à utiliser un réseau habituel travaillant dans un ordre élevé. Une prédispersion est alors nécessaire pour séparer la bande de radiation étudiée. Cette prédispersion peut être avantageusement réalisée au moyen d'un réseau (8), les angles choisis permettant, de plus, une compensation de l'astigmatisme. Une résolution de $0,03 \text{ Å}$ a ainsi été obtenue au voisinage de 1.200 Å (13° ordre) (9). Le deuxième procédé, consistant à utiliser l'association réseau-échelle, ne semblait pas avoir donné de très bons résultats jusqu'à ces dernières années, par suite des pertes de lumière causées par les diverses réflexions nécessaires. Cependant, l'amélioration des pouvoirs réflecteurs, dont nous parlerons plus loin, a permis récemment la conception d'un tel appareil, qui permettrait d'atteindre aisément le $1/100$ d'angström (10).

Le spectre obtenu avec le réseau concave en incidence tangentielle est limité vers 50 Å environ. Il semble que pour la région $50-10 \text{ Å}$, la technique du réseau-plan soit préférable (Thibaud, Holweck). Les angles d'incidence atteignent dans ce cas quelques dizaines de minutes. Nous n'insisterons pas sur cette région spectrale, peu exploitée actuellement.

III. — RÉCEPTEURS

L'appareil dispersif est normalement suivi d'un récepteur, soit photographique, soit photoélectrique. Les photons de courtes longueurs d'ondes étant très actifs photochimiquement et photoélectriquement, comme nous l'avons dit plus haut, la seule condition à remplir est qu'ils atteignent le récepteur. Sinon, il faut les transformer en photons moins énergiques, mais également moins absorbables.

Photographiquement, on peut donc utiliser des émulsions soit très pauvres en gélatine, soit sédimentées en surface (Ilford Q., Kodak S.W.R.). Ou encore, on utilise des émulsions ordinaires recouvertes d'une couche fluorescente (huile, salicylate de sodium, etc...). Le rendement quantique du salicylate est généralement considéré comme constant jusqu'à 800 Å (4). Les récepteurs photoélectriques (à multiplicateur d'électrons) sont très souvent des tubes commerciaux (par exemple à cathode Cs Sb) associés à une couche fluorescente. Cependant, on assiste actuellement au développement de tubes sans fenêtre directement sensibles aux rayons ultraviolets (11), (12). Les dynodes multiplicatrices sont en alliage Cu-Be et la cathode peut être en nickel, tungstène, or. Ces tubes possèdent le gros avantage d'avoir un seuil dans l'ultraviolet, d'où un meilleur rapport signal/lumière diffusée que pour le montage utilisant la fluorescence. La figure 1, qui représente les enregistrements d'une portion de spectre entre 792 et 916 Å, illustre cette remarque ; on a, dans ce cas, un rapport de 30 environ entre les qualités des deux récepteurs (12). Signalons, enfin, l'existence d'un nouveau photomultiplicateur de type particulier, comportant simplement deux plaques produisant un champ électrique auquel est associé un champ magnétique croisé. L'une des plaques joue, de plus, le rôle de dynode (13).

Enfin, il est possible d'utiliser des photocompteurs dans l'ultraviolet lointain. En utilisant une fenêtre mince en nitrate de cellulose, et une pression relativement basse, on a pu utiliser un photocompteur dans la région de l'ultraviolet extrême (jusqu'à 200 Å) (6). Mais le principal intérêt

des photocompteurs est la possibilité, par combinaison de la transparence de la fenêtre et de la nature du gaz de remplissage, d'en faire des récepteurs sélectifs, sensibles seulement dans une bande spectrale relativement étroite, qui permet de supprimer l'appareil dispersif dans les cas où une bonne résolution n'est pas nécessaire. Ils sont, par exemple, largement utilisés en astrophysique, dans les fusées destinées aux observations particulièrement dans la région des rayons X mous, mais aussi pour l'observation dans d'autres régions. Par exemple, l'association d'une fenêtre de fluorure de lithium avec un remplissage de 20 mm NO et 760 mm Ne donne une réponse comprise entre 1.150 et 1.350 Å (figure 2) et donc bien adaptée à l'observation de la raie La de l'hydrogène à 1.215 Å (14). Cependant, les photocompteurs sélectifs ne semblent pas bien adaptés à l'utilisation sur des appareils fixes où une large étendue spectrale est requise.

IV. — SOURCES

Le problème des sources de radiation est très important, particulièrement celui des sources continues qui sont nécessaires pour les travaux sur l'absorption.

Il n'existe malheureusement pas encore de source continue dans l'ultraviolet lointain, dont l'utilisation soit véritablement aisée. Cependant, des progrès récents dans ce domaine permettent d'envisager une solution définitive dans un proche avenir.

Signalons tout d'abord le spectre continu émis par les électrons fortement accélérés (dans un synchrotron) (15). On calcule, et on constate, que la courbe de répartition présente un maximum à une longueur d'onde λ_m qui croît en même temps que l'énergie E_e décroît ; malheureusement, lorsque E_e décroît, l'intensité diminue très rapidement et cette source paraît surtout convenir au domaine des très courtes longueurs d'ondes.

Les décharges simples dans certains gaz produisent également des spectres continus dont le mécanisme d'émission est d'origine moléculaire. Le spectre continu bien connu de la lampe à hydrogène s'étend jusqu'à 1.650 Å environ ; un spectre de raies assez

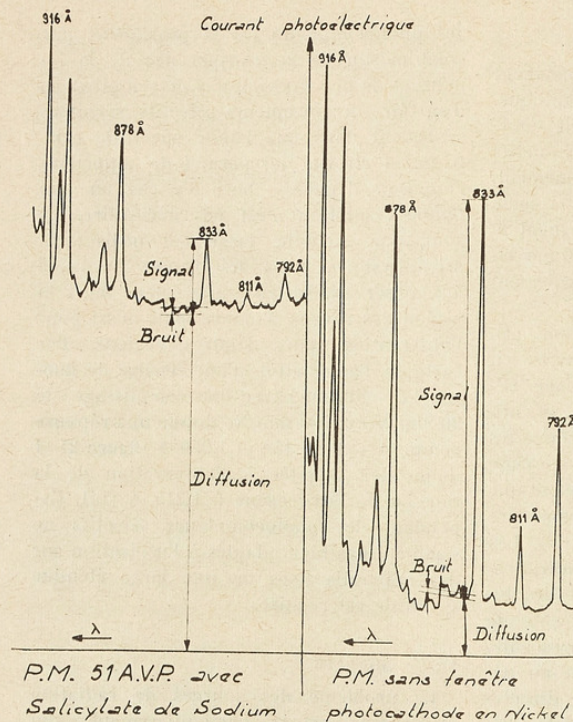


Fig. 1. — Courbes de réponse d'un photomultiplicateur ordinaire associé à une couche fluorescente de salicylate de sodium (à gauche), et un photomultiplicateur sans fenêtre à photocathode de Nickel (à droite). On remarquera l'amélioration considérable du rapport signal/lumière diffusée pour le second type de récepteur.

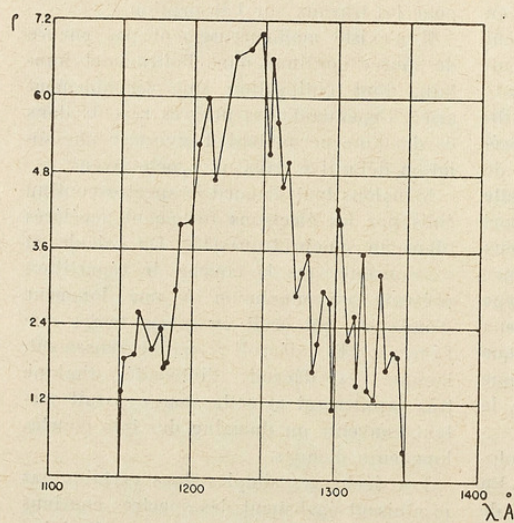


Fig. 2. — Courbe de réponse d'un photocompteur dans l'ultraviolet lointain. Remplissage : 20 mm NO, 760 mm Ne ; Fenêtre LIF. Ce récepteur est particulièrement adapté à l'observation de la raie L_{α} 1216 Å de l'hydrogène.

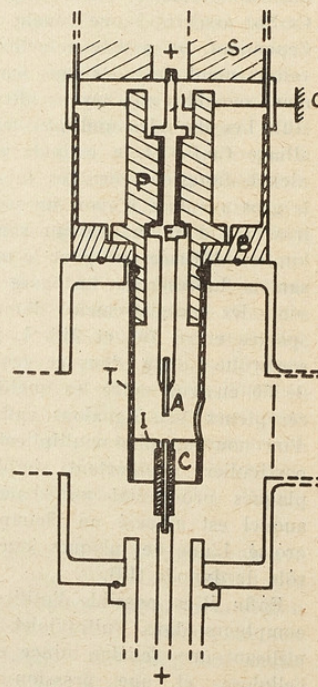


Fig. 3. — Source donnant un spectre continu dans l'ultraviolet lointain. La lumière apparaît sur l'anode A et est observée latéralement par l'orifice pratiqué dans le tube T.

riche, lui fait suite jusqu'à 900 Å environ. En utilisant des gaz rares très purs excités en haute fréquence afin d'éviter la présence d'électrodes et conserver toute la pureté au gaz, on obtient aussi différents continus : 600-900 Å pour He, 1.070-1.650 Å pour A. 1.250-1.850 pour Kr. Ces spectres sont utilisés en pratique, celui du krypton semblant le plus commode (16).

Une méthode plus générale est l'utilisation du rayonnement de freinage et recombinaison d'un plasma. Pratiquement, ce type de source, déjà ancien, puisque découvert par Lyman, revient à réaliser une décharge de densité de courant suffisante dans un gaz (17). Il apparaît que le gaz sert surtout à faciliter l'amorçage, la décharge ayant lieu ensuite dans le milieu créé par la vaporisation des parois. Une disposition d'électrodes qui évite l'emploi du gaz consiste à réaliser une étincelle glissante dans un espace très confiné (18). Toutes ces ressources présentent trois défauts : 1° présence de raies en émission provenant du matériau constituant la paroi du tube ; 2° présence de raies en absorption provenant du même matériau ; 3° manque de reproductibilité dû à l'usure des parois du tube et à l'augmentation du diamètre. Récemment ce type de source a été amélioré (19) en utilisant des capacités spéciales à faible self induction et un montage coaxial. Les tubes utilisés ont un diamètre de l'ordre de 1 cm, et le spectre obtenu semble convenir bien jusqu'à 500 Å. Néanmoins, il semble que la présence d'un gaz entraînera toujours une limitation en longueur d'onde, ainsi que certains des inconvénients signalés plus haut (présence de raies).

Un dernier type de source a été mis au point récemment dans notre laboratoire (20). Il s'agit essentiellement d'une étincelle sous vide très puissante, pour laquelle on a recherché une disposition des éléments produisant une grande libération d'énergie dans un minimum de temps. Elle comporte (figure 3) un condensateur, représenté schématiquement en S, fermé sur un ensemble coaxial L.E.A.-C.T.B., l'étincelle se produisant dans la coupure A.-C. ménagée dans cette ligne; l'ensemble comporte également une électrode d'amorçage, indispen-

sable, ainsi que nous le verrons plus loin dans la description des sources de raies. L'ensemble des électrodes est placé dans une chambre où l'on fait le vide, l'étanchéité et l'isolement électrique étant réalisés au moyen des différentes pièces représentées. On observe une émission intense de spectre continu, localisée sur l'électrode émissive A (anode) ou dans son voisinage immédiat ; ce spectre a été observé jusqu'à 100 Å (limite de nos moyens d'observation) et s'étend, par ailleurs, jusqu'au visible.

La figure 4 représente, à titre d'exemple, le spectre d'absorption du gaz carbonique obtenu à l'aide de cette source, dont on cherche actuellement à augmenter la fréquence de répétition afin de pouvoir l'adapter à des spectromètres à balayage continu du spectre.

Les sources de raies sont nombreuses dans l'ultraviolet lointain. D'une manière générale, les décharges entretenues dans un gaz raréfié donnent lieu à l'émission d'un spectre de bandes ou de raies. Pour prolonger le spectre vers les courtes longueurs d'onde, il faut augmenter l'excitation, ce que l'on obtient en faisant des décharges d'un condensateur de faible capacité à travers une telle lampe. En réglant soigneusement les conditions d'excitation et la pureté du gaz, on peut obtenir une émission stable d'un spectre de raies atomiques (les molécules ayant été dissociées) dont on peut varier le nombre en changeant la nature du gaz et l'excitation (21), (22). On peut réaliser ainsi des sources très puissantes, où l'énergie peut être répartie sur un petit nombre de raies.

Les étincelles entre électrodes conductrices constituent également une source de raies très précieuse, particulièrement lorsque l'on s'intéresse au spectre même, émis par le matériau des électrodes, par exemple en vue des applications analytiques dont nous parlerons plus loin ; nous nous étendrons donc un peu plus longuement sur cette question. Deux procédés sont utilisables.

Le premier consiste à réaliser une étincelle ordinaire dans un gaz dont la pression soit suffisante pour permettre la for-

mation d'une étincelle conventionnelle, et dont, par ailleurs, la transparence soit bonne dans l'ultraviolet lointain. En pratique, la pression est telle (0,5 atm au moins) qu'une fenêtre est nécessaire. On utilise le plus souvent l'argon comme gaz. L'extrême limite de transparence d'une fenêtre en fluorure de lithium est au voisinage de 1.100 Å, mais il n'est pas facile en pratique de descendre par ce procédé en-dessous de 1.400 Å, et, par ailleurs, les conditions d'excitation sont trop faibles pour que l'on puisse atteindre les spectres d'atomes très ionisés qui, comme nous le verrons, présentent un intérêt particulier dans l'ultraviolet lointain. Toutefois, ce procédé est simple et d'emploi facile, et un certain nombre de spectromètres analytiques commerciaux à lecture directe y font appel.

Cependant, la source d'étincelle la plus générale reste l'étincelle condensée dans le vide (« hot spark » de Millikan). C'est une source de très forte excitation (spectre de Sn XXIV obtenu par Edlen). L'étincelle simple fonctionne irrégulièrement par suite des champs très élevés nécessaires à l'initiation de la décharge dans le vide, ce qui conduit, en pratique, à utiliser des intervalles de décharge trop faibles, d'où l'instabilité de l'étincelle.

Des améliorations notables ont été apportées par l'utilisation de l'« étincelle glissante » et de l'« étincelle initiée », qui ont été mises au point dans notre laboratoire (23), (24), (25) et qui constituent actuellement des sources de raies pratiquement utilisables dans tout le domaine de l'ultraviolet lointain. La première utilise l'abaissement du potentiel disruptif produit par l'interposition entre les électrodes d'un support peu conducteur (figure 5). La seconde comporte une étincelle glissante de faible puissance, produisant un flot de particules chargées initiant l'étincelle principale (figure 6). En choisissant convenablement les conditions électriques, l'émission lumineuse apparaît presque exclusivement à l'extrémité de l'anode (figure 7). Cette disposition est particulièrement avantageuse pour les applications analytiques : une seule électrode, pas de support, donc pas d'impureté en contact

avec le matériau à analyser. Le spectre de ces étincelles est riche dans l'ultraviolet extrême, et ces sources ont pu être utilisées dans les travaux sur l'absorption dans ce domaine, dans le cas où une bonne résolution n'était pas essentielle (observation des discontinuités d'absorption en vue de déterminer des potentiels d'ionisation par exemple).

V. — APPAREILS

Nous ne pouvons entrer ici dans le détail de la construction des appareils. Toutefois, on peut dire que, alors qu'il y a une dizaine d'années, la construction des appareils pour l'ultraviolet lointain était, à part quelques rares exemples, tout à fait artisanale, on peut disposer maintenant, tant en France qu'à l'étranger, d'une gamme assez complète de spectrographes et monochromateurs. D'une façon générale, les constructeurs réalisent des appareils où l'isolement des différentes enceintes est prévu au point de vue du vide. Ceci a pour but : 1° de réduire les temps de pompage ; 2° de conserver l'optique et particulièrement le réseau toujours sous vide. L'emploi de sas est maintenant général.

Les figures suivantes donnent des exemples d'appareils qui ont été réalisés en France :

— un monochromateur à réseau en incidence normale (26) ayant une focalisation rigoureuse et un faisceau de sortie fixe (figure 8) ;

— un spectrographe à réseau en incidence normale (27) particulièrement adapté à l'étude des spectres d'émission et à l'analyse spectrochimique (figure 9) ; cet appareil peut être utilisé avec réception photographique (long châssis couvrant le domaine 2.900-500 Å avec une dispersion de 8 Å par mm) ou avec réception photoélectrique, avec un certain nombre de fentes fixes suivies de photomultiplicateurs ; des vannes à vide permettent d'isoler la chambre photographique et la source, ce qui réduit la perte de temps nécessaire pour le pompage ;

— un spectrographe à réseau en incidence rasante (figure 10) pour la région 50 Å-

1.000 Å (28) ; ce spectrographe, muni de vanes à vide permet, de même que le précédent, un travail rapide ; un espace assez large est aménagé dans la chambre contenant le réseau afin de permettre divers montages (jets, etc...) pour l'étude des spectres d'absorption. Ajoutons pour terminer qu'un monochromateur à réseau concave en incidence tangentielle est en cours de réalisation ; cet appareil, grâce à un système de focalisation géométriquement rigoureux, aura une fente de sortie fixe et une direction fixe du faisceau de sortie.

Les montages devant être associés à ces appareils par exemple pour des études d'absorption, doivent être établis en tenant compte des possibilités réduites dont on dispose au point de vue des matériaux.

La fluorine est transparente jusqu'à 1.250 Å et le fluorure de lithium jusqu'à 1.100 Å. Un appareil pour la région de Schumann pourra donc être réalisé de la même façon que pour le visible ou l'ultraviolet proche avec des cuves, fenêtres, lentilles, cryostats comportant fenêtre refroidie.

Par contre, pour la région inférieure à 1.100 Å, les difficultés sont réelles, et si les études d'émission peuvent se faire en plaçant simplement la source (étincelle par exemple) devant la fente de l'appareil, les études d'absorption sont plus délicates. Jusqu'à présent, on a surtout étudié l'absorption des gaz et des vapeurs, soit en les introduisant dans le corps de l'appareil, soit en utilisant des chambres munies d'un pompage différentiel. Des études de solides (29) ont également été faites en les présentant sous forme de couches minces déposées par évaporation sur un support transparent, par exemple une pellicule de collodion de quelques centaines d'Angströms d'épaisseur, elle-même supportée par une grille fine. Par ailleurs, dans cette région des longueurs d'onde inférieures à 1.100 Å, le problème de la focalisation ou du changement de direction des rayons lumineux ne peut être résolu que par l'emploi de surfaces réfléchissantes. Les pouvoirs réflecteurs étaient, jusqu'à ces dernières années, considérés comme mauvais dans l'ultraviolet lointain. Effectivement, pour les maté-

riaux purs, métaux, diélectriques, ils sont intrinsèquement médiocres, et vers 1.000 Å, un pouvoir réflecteur inférieur à 20 % est considéré comme normal. Toutefois, une étude plus approfondie a montré que, en ce qui concerne les couches préparées par évaporation sous vide, la contamination de la couche (en particulier son oxydation lorsqu'elle est préparée dans un vide insuffisant ou lorsque la durée des opérations est excessive) et sa structure joueraient un rôle fondamental dans l'ultraviolet lointain. Ainsi, le pouvoir réflecteur de l'aluminium est-il bien meilleur lorsque l'évaporation se fait très rapidement (quelques secondes par 1.000 Å d'épaisseur (30)). La pureté des matériaux joue également un rôle très important. Ainsi la figure 11 représente le pouvoir réflecteur de couches de germanium évaporé (29) à partir d'un ruban de tantale pour des températures croissantes (courbes de A à E). Il est à remarquer que les couches obtenues à température plus élevée contiennent une proportion plus grande d'atomes de tantale. On notera la valeur élevée des pouvoirs réflecteurs obtenus dans ce cas.

Une amélioration pratique des pouvoirs réflecteurs a été recherchée en réalisant des couches interférentielles produisant un renforcement de l'intensité réfléchie pour certaines régions et un affaiblissement pour d'autres régions. Des exemples de telles couches sont les couches complexes Al-Ge-ZnS et surtout Al recouvert de Mg F₂ dont le pouvoir réflecteur atteint 80 % au voisinage de 1.200 Å (30) (figure 12).

Pour compléter ce tour d'horizon, signalons qu'il est parfaitement possible d'utiliser dans l'ultraviolet lointain (au moins dans la région de Schumann) des cryostats à fenêtre de fluorine (5) et même des récipients sous pression élevée, ayant permis d'atteindre une pression de 800 kg/cm², tout en descendant jusqu'à 1.430 Å (31), grâce à des fenêtres en fluorine épaisse.

D'une façon générale, on peut dire qu'il existe déjà plusieurs appareils complets conçus pour les applications de l'émission, comportant, en particulier, une chambre à étincelles (avec ou sans gaz) et des séries de photomultiplicateurs. Par contre, pour

l'absorption, il ne semble pas que l'on puisse disposer d'un appareil complet. Cependant, ce problème est très sérieusement à l'étude, et, d'après l'état d'avancement des différentes techniques intéressées, il semble que l'on puisse disposer, dans un très proche avenir, d'un spectrophotomètre à deux faisceaux donnant directement la courbe d'absorption d'un échantillon.

VI. — APPLICATIONS

Nous ne pouvons, au cours de ce bref exposé, évoquer les divers problèmes de recherche fondamentale à la solution desquels la spectroscopie dans l'ultraviolet lointain peut apporter une substantielle contribution. Aussi, nous limiterons-nous à l'examen de quelques applications analytiques, afin de préciser les réalisations actuelles dans ce domaine, et également les possibilités futures.

A) *Emission*. — En émission, nous prendrons un exemple simple, celui du dosage des métalloïdes dans les métaux, et particulièrement dans les aciers. Le soufre, le phosphore et le carbone, sont des éléments dont l'importance est reconnue en métallurgie : le carbone est un élément constitutif de l'acier ; le soufre et le phosphore sont des éléments qui, même à l'état de traces, modifient considérablement les propriétés du métal. Ils sont difficiles à doser par les techniques habituelles de l'analyse spectrochimique d'émission. Leur manque de sensibilité est généralement attribué pour une part à la valeur élevée de leur potentiel d'ionisation par rapport à celui de l'élément de base. Les potentiels de première ionisation sont, en effet, de 10,3 volts pour le soufre, 11 volts pour le phosphore, 11,22 volts pour le carbone, alors que l'on relève des valeurs nettement plus basses pour l'élément de base (7,8 volts pour le fer, par exemple). D'autre part, les longueurs d'onde des raies d'émission sensibles de ces éléments sont généralement inférieures à 2.000 Å (carbone : 1657 Å - phosphore 1782,8 - soufre : 1820,4 (32) (33). Ceci explique l'intérêt qui s'est attaché depuis quelques années à la détermination de ces éléments par l'observation de leurs raies

dans l'ultraviolet lointain. Deux tendances se sont fait jour. La première méthode, déjà signalée au chapitre source, consiste à utiliser les raies citées ci-dessus, en effectuant l'excitation avec un générateur de modèle courant, l'étincelle étant placée dans une atmosphère transparente. Des appareils utilisant cette méthode ont été réalisés.

Ces appareils répondent au but poursuivi, c'est-à-dire en particulier au dosage du soufre, du phosphore et du carbone, toutefois leur généralisation à la détection d'éléments dont les raies sensibles se trouvent au-dessous de 1.400 Å (comme l'oxygène) semble difficile, en raison même de la technique adoptée (vide médiocre, fenêtres multiples, gaz dans la chambre).

La deuxième méthode, mise au point et développée dans notre laboratoire, est absolument différente dans son principe. En effet, dans cette méthode on fait appel au spectre émis par des ions de haut degré d'ionisation produits par l'étincelle sous vide.

Les travaux effectués jusqu'à présent par cette méthode (25) montrent que l'on peut généraliser à l'ensemble du spectre émis par les atomes et les ions des éléments, les conclusions de Meggers (33), qui, de la liste des raies les plus intenses du spectre des éléments déduit qu'une raie ultime provient toujours d'un saut électronique entre des états *s* et *p*. Lorsque le seul cas des atomes neutres est envisagé ce sont les éléments à un seul électron *s* de valence (comme les alcalins) qui présentent la plus grande sensibilité, puisque les potentiels d'ionisation sont minimum pour le premier électron d'un type donné qui apparaît dans un atome. Pour des atomes plus complexes, on a donc pu montrer que les raies sensibles sont émises par l'ion ne possédant plus que un électron *s* sur sa couche externe, c'est-à-dire analogue aux alcalins ; les plus sensibles correspondront à la transition *s-p* de cet électron. Ces raies sont les doublets analogues aux raies de résonance du lithium neutre pour les éléments de la deuxième ligne, à celles du sodium neutre pour ceux de la troisième ligne, etc...

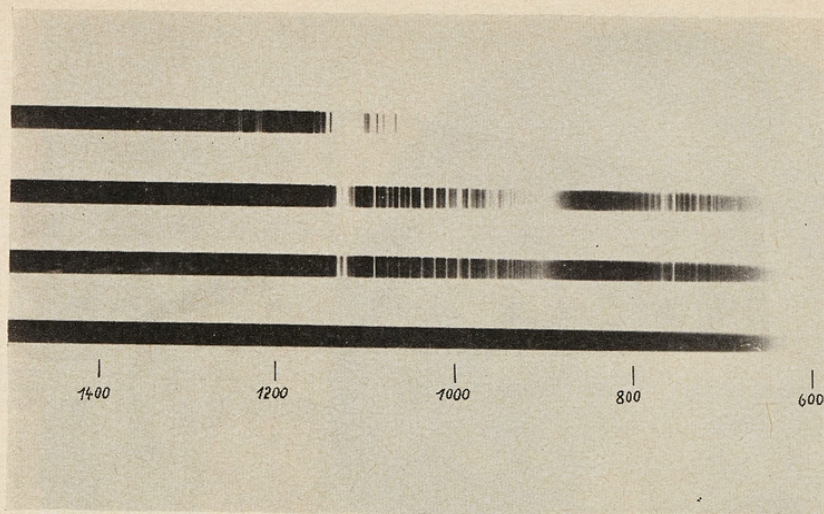
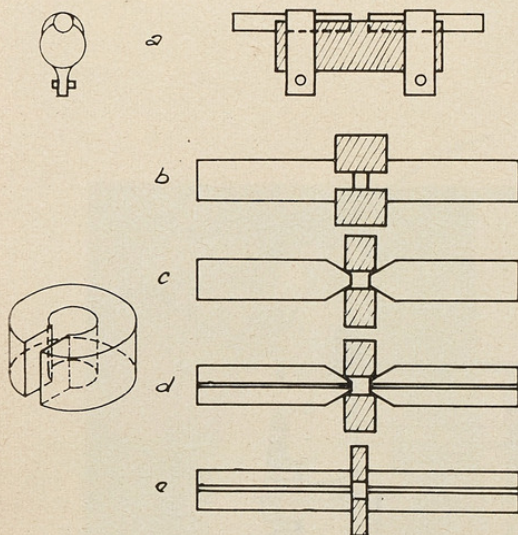


Fig. 4. — Spectre d'absorption du gaz carbonique dans la région 1300-600 Å.
En bas : spectre de la source sans absorbant.



ÉTINCELLES GLISSANTES

Fig. 5. — Dispositions utilisées pour la production d'étincelles glissantes dans le vide. Les électrodes sont pressées contre le support en alumine représenté à gauche, la lumière émise étant observée par la fente latérale de ce support. Les électrodes creuses (en aluminium) permettent d'obtenir le spectre d'une poudre tassée dans le canal axial.

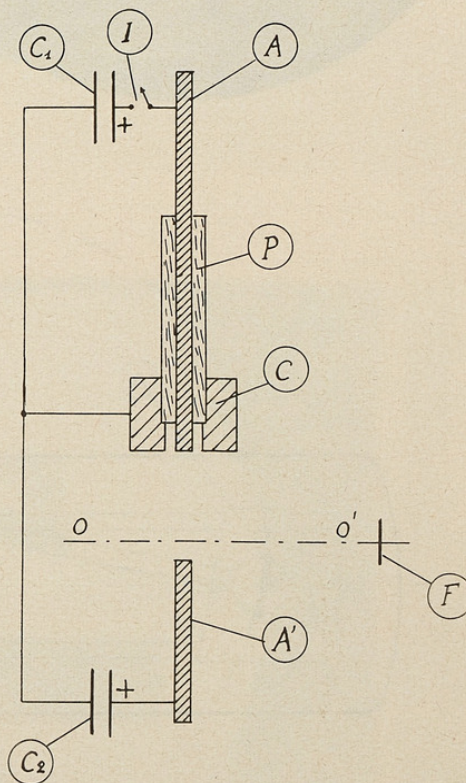


Fig. 6. — Disposition utilisée pour la production d'étincelles dans le vide, amorcées par une étincelle auxiliaire.

A : anode d'amorçage.
A' : anode émissive.
C : cathode commune.
P : tube isolant.

L'observation est faite dans l'axe OO'.

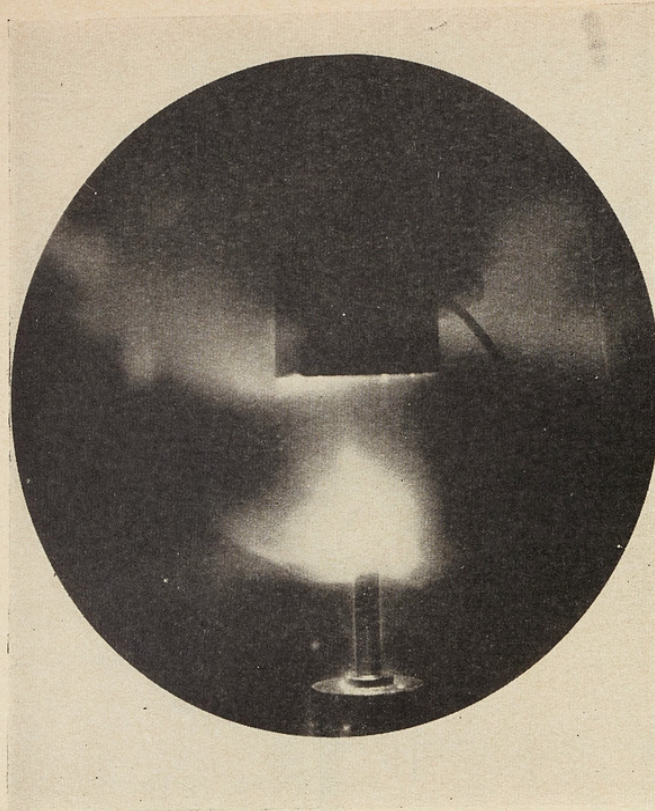


Fig. 7. — Photographie d'une étincelle dans le vide amorcée par une étincelle auxiliaire.
Distance entre les électrodes : 23 mm.

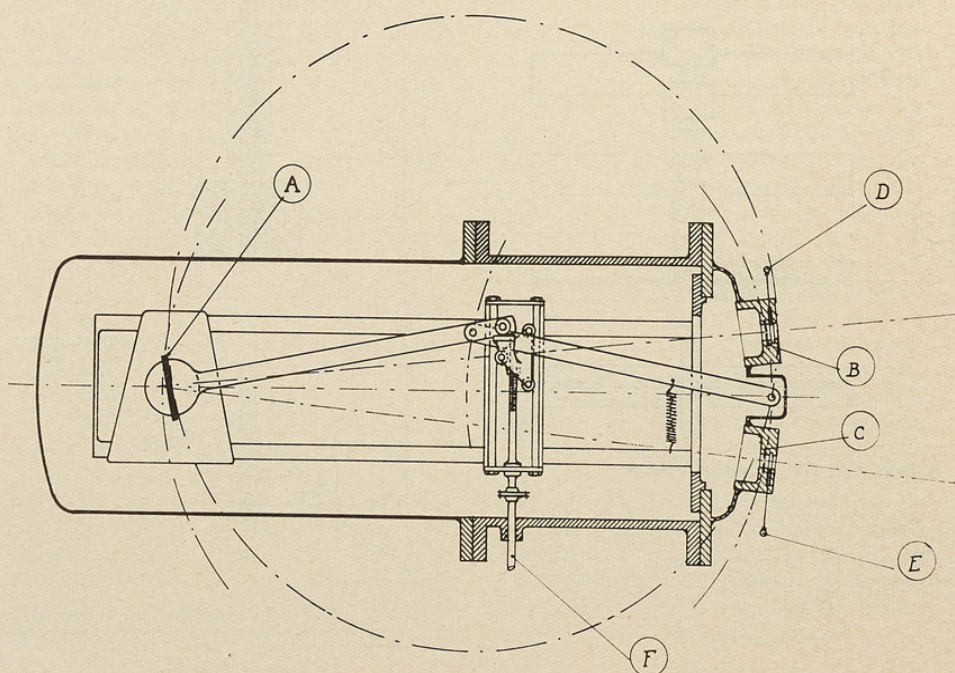


Fig. 8. — Schéma d'un monochromateur à réseau concave en incidence normale.
A : réseau.
B : fente d'entrée.
C : fente de sortie.
D, E : vanne à vide.
F : commande de défilement du spectre.

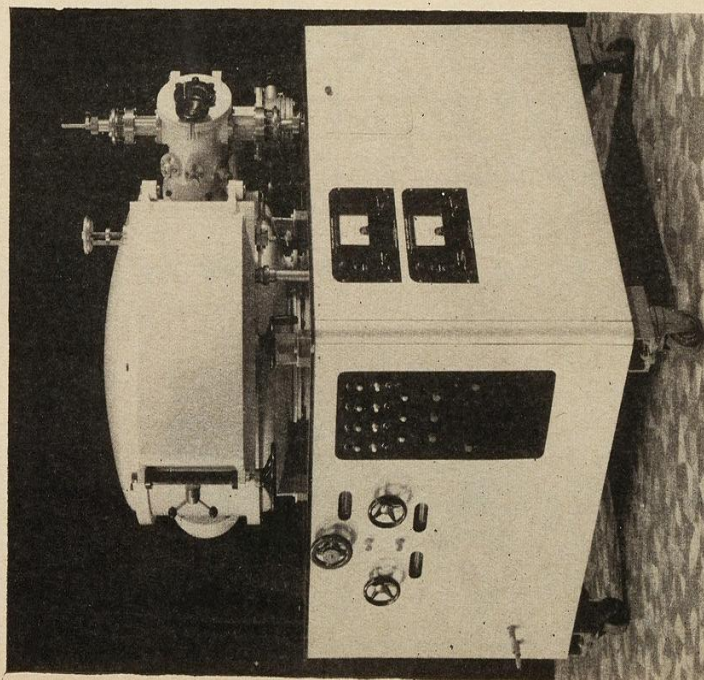


Fig. 9. — Spectrographe à réseau concave en incidence normale équipé d'une chambre à étincelles pour les applications analytiques. Cette chambre est visible à droite. Au centre le sas photographique (Région spectrale : 500-2900 Å, dispersion 8 Å/mm).

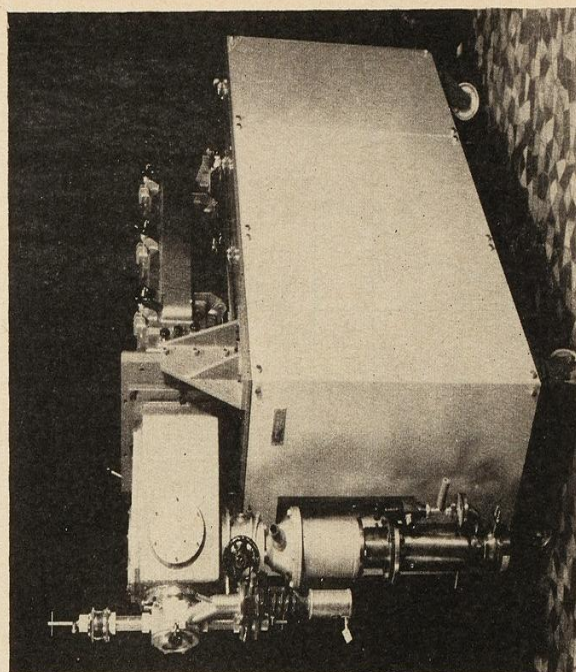


Fig. 10. — Spectrographe à réseau concave en incidence tangentielle. À gauche : chambre à étincelles pour les applications analytiques ; au centre : le sas photographique (Région spectrale : 80-900 Å).

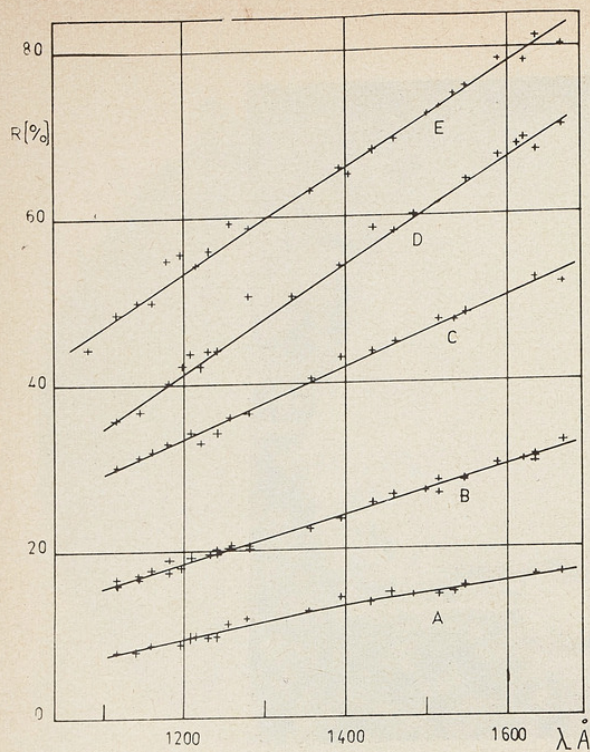


Fig. 11. — Pouvoir réflecteur dans la région 1000-1600 Å de couches de germanium évaporé à l'aide d'un ruban de tantale, à des températures croissantes (de A à E).

Fig. 12. — Variation du pouvoir réflecteur en fonction de la longueur d'onde pour un film d'aluminium simple, et pour des films recouverts de fluorure de magnésium (épaisseur 250 Å et 380 Å).

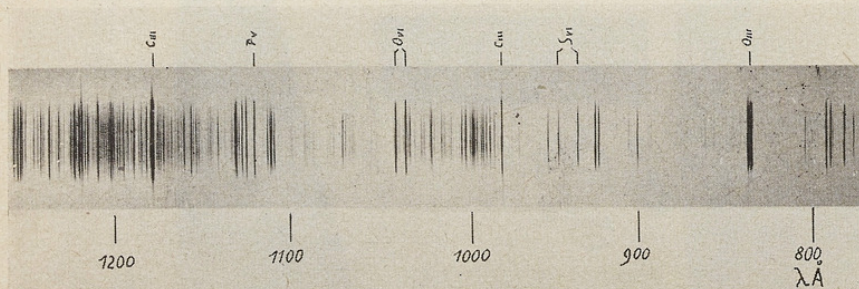
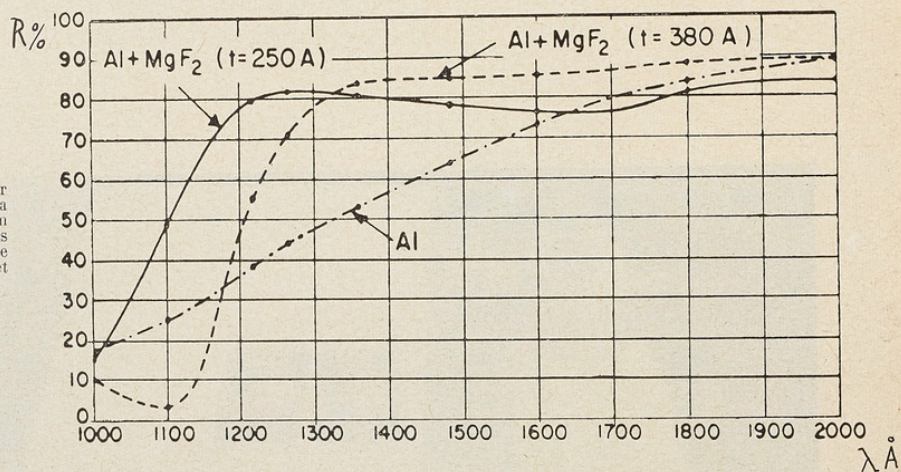


Fig. 13. — Spectre d'une étincelle glissante entre électrodes d'acier. On remarquera les raies de Sn (933 et 944 Å) et de Pb (1118 Å) utilisées pour les dosages.

TABLEAU I
LONGUEURS D'ONDE DES RAIES SENSIBLES

Carbone	Azote	Oxygène	Fluor.
IV	V	VI	VII
1.548,19	1.238,80	1.031,91	883
1.550,77	1.242,78	1.037,61	891
III	IV	V	VI
977,02	765,14	629,73	535,20
Silicium	Phosphore	Soufre	Chlore
IV	V	VI	VII
1.393,73	1.117,98	933,38	800,70
1.402,73	1.128,01	944,52	813,00
III	IV	V	VI
1.206,52	950,67	786,47	
Germanium	Arsenic	Sélénium	Brome
IV	V	VI	VII
1.188,99	967,69	844,15	736,09
1.229,81	1.029,50	886,82	779,58
III	IV	V	VI
1.088,46	892,68	759,11	661,05
Etain	Antimoine	Tellure	
IV	V	VI	
1.314,45	1.104,32	951,01	
1.437,63	1.226,00	1.071,40	
III	IV	V	
1.251,43	1.042,21	895,20	

De même une raie sensible est émise par l'ion possédant deux électrons s sur la couche externe, lorsque l'un est excité au niveau p.

Le tableau I donne une liste des raies sensibles de divers éléments. On y trouve le doublet de raies de résonance de l'ion de plus grande énergie et la raie sensible de l'ion de degré d'ionisation inférieur d'une unité.

Pratiquement, pour le dosage du carbone, du soufre et du phosphore, on utilisera donc les raies 1548 Å de Crv, 933,4 Å de Svi et 1118 Å de Pv (figure 13). Ces raies sont émises par une étincelle glissante ou initiée, selon les dispositifs décrits précédemment et les mesures sont faites, soit photographiquement, soit photoélectriquement. Un dispositif photoélectrique a été réalisé, adapté au spectrographe représenté figure 9. Il comporte une série de fentes de sortie sélectionnant les radiations utiles, qui tombent sur des récepteurs photoélectriques commerciaux associés à des écrans fluorescents. Le faisceau réfléchi (tache centrale) est utilisé comme référence, et la méthode est une méthode d'intégration où l'on accumule dans des condensateurs les charges produites par un certain nombre d'étincelles (une vingtaine) dans le but de faire une moyenne (34). La figure 14 représente la droite de dosage ainsi obtenue pour le soufre. La limite de sensibilité semble nettement inférieure à 0,005 % pour le soufre et le phosphore. Par ailleurs, la comparaison entre la valeur donnée par le

dosage chimique et la moyenne des déterminations spectrographiques, met en évidence des écarts de quelques %. Enfin l'étude de l'évolution met en évidence l'hétérogénéité de certains échantillons en éléments à forte ségrégation, tels que soufre, phosphore, carbone.

En dehors du cas particulier qui vient d'être rapidement décrit, cette méthode a été, ou peut être, étendue à d'autres cas, car elle ne présente a priori aucune limitation, ni en excitation, ni en étendue spectrale. Citons les essais faits sur la détermination du phosphore dans le cuivre, du phosphore dans les alliages d'aluminium, d'un certain nombre d'éléments de la 4^e et 5^e ligne dans des poudres d'oxydes de titane (35), des halogènes également dans des poudres d'oxyde de titane (25) et enfin le dosage de l'oxygène et de l'azote dans des échantillons de titane métallique (36). Le problème du dosage des gaz dans les métaux par voie spectrographique est très important en pratique et les essais faits dans l'ultraviolet lointain en ce sens sont très encourageants. En ce qui concerne l'oxygène, de nombreuses raies apparaissent dans les spectres (tableau II) ; pour l'azote, par contre le choix est plus limité. La figure 15 représente à titre d'exemple des courbes de dosage obtenues par voie photographique pour l'oxygène dans le titane. Des travaux sont actuellement en cours relativement au dosage des mêmes gaz dans les aciers, par voie photoélectrique.

TABLEAU II
RAIES POUVANT ÊTRE UTILISÉES POUR LA DÉTECTION ET LE DOSAGE
DE L'OXYGÈNE ET DE L'AZOTE

OIII	$\left\{ \begin{array}{l} 703 \\ 704 \\ 835 \end{array} \right.$				Niv	765,14
Ov	$\left\{ \begin{array}{l} 629,7 \\ 760,2 \\ 1.371,3 \end{array} \right.$	Oiv	$\left\{ \begin{array}{l} 608,4 \\ 609,8 \\ 617 \\ 625,1 \\ 625,8 \\ 787,7 \\ 790,2 \\ 802,2 \end{array} \right.$		Nv	$\left\{ \begin{array}{l} 1.238,8 \\ 1.242,8 \end{array} \right.$
Ovi	$\left\{ \begin{array}{l} 1.031,9 \\ 1.037,6 \end{array} \right.$					

SOUFRE

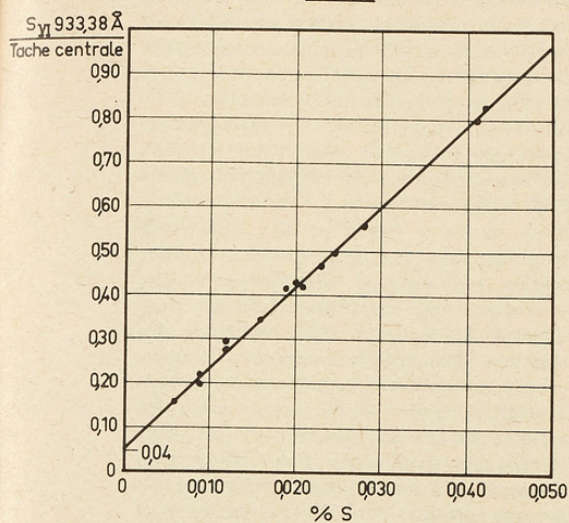


Fig. 14. — Droite de dosage du soufre dans les aciers par la méthode photoélectrique (analyse directe).

Fig. 15. — Droites de dosage de l'oxygène dans des échantillons de titane par la méthode photographique, pour les raies 835 Å de OIII (échelle de droite), 790 Å de OIV (échelle de gauche). On a porté en abscisses le logarithme décimal de la concentration en ppm, et en ordonnées le logarithme décimal du rapport des déviations microphotométriques relatives à la raie de l'oxygène et à une raie du titane prise comme référence.

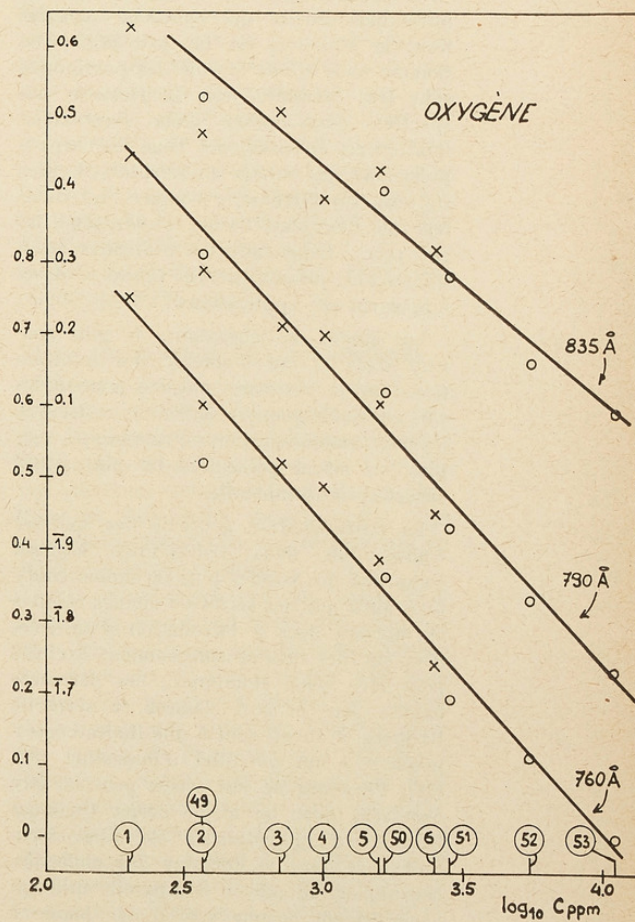
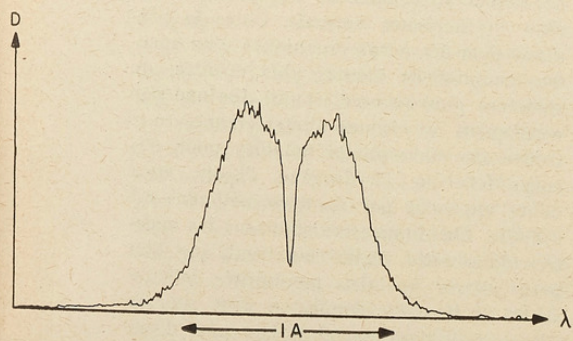


Fig. 16. — Profil de la raie Lyman α 1216 Å, émise par le soleil.



B) *Absorption*. — Nous venons de voir, par les exemples précédents, que les applications analytiques de l'ultraviolet lointain en émission, correspondent à des problèmes bien définis, et que les solutions proposées ont conduit à la réalisation d'appareils, qui, bien que n'étant pas encore parvenus à leur stade définitif, représentent cependant un degré de perfectionnement comparable à celui des appareils correspondant dans le visible et le proche ultraviolet. En ce qui concerne l'absorption, la situation est un peu différente. Comme nous allons le voir, les possibilités sont très étendues, car la richesse des spectres d'absorption dans l'ultraviolet lointain est considérable. Tous les corps y présentent des bandes d'absorption, le plus souvent très intenses, y compris des corps tels que l'oxygène, l'azote, l'hydrogène, les gaz rares. Cependant les difficultés techniques ont, jusqu'à présent limité le développement des applications.

Les études de laboratoire, le plus souvent dans le but d'obtenir des informations sur la structure, ont été poursuivies sur un assez grand nombre de molécules, les unes diatomiques ou polyatomiques simples, les autres présentant un plus grand caractère de complexité.

La représentation générale des spectres d'absorption dans l'ultraviolet lointain comprend des bandes plus ou moins continues ainsi que des séries de bandes étroites et intenses dues à l'excitation d'un électron sur des orbitales suffisamment excitées pour être quasi atomiques ; ces dernières bandes peuvent être classées en série de Rydberg et aboutissent à une limite correspondant à un potentiel d'ionisation (37) (38). Plusieurs de ces séries peuvent être observées pour un même corps. Quelques tentatives d'application ont été faites, essentiellement dans le domaine des molécules organiques, au moyen d'appareils utilisant généralement comme source une lampe à hydrogène, c'est-à-dire avec une limite approximative de 1.650 Å. Dans cette région, on observe en général les premières bandes larges, et seulement le début des séries de Rydberg. Si on prend l'exemple des hydrocarbures, on observe, en général

un déplacement des spectres vers les grandes longueurs d'onde en passant des paraffines, aux monooléfines, puis aux dioléfines. Ce décalage serait, par exemple, mis à profit pour les mélanges de monooléfines et de dioléfines conjuguées, les premières absorbant plus fortement entre 1.700 et 2.000, que les secondes dont la région d'absorption intense se trouve au-dessus de 2.000. Nous ne nous étendrons pas plus longtemps sur ces tentatives dont le caractère semble préliminaire (39) (40) (41). Les conclusions que l'on peut en tirer sont tout d'abord la similitude des spectres des membres d'un groupe donné de composés, ce qui permettrait l'estimation de la concentration totale plutôt qu'une caractérisation individuelle ; d'autre part la valeur élevée des coefficients d'absorption peut donner lieu à des effets d'interférence très gênants dans cette région où l'on observe surtout des bandes assez larges. Dans des cas particuliers où l'on a seulement en présence un corps très absorbant et un corps transparent, les sensibilités peuvent être considérables. Ainsi, on sait que vers 2.500 Å on peut détecter quelques parties par million de benzène dans le cyclohexane ; or, vers 1.800, on peut descendre à quelques parties par billion. Enfin signalons l'association d'un spectromètre ultraviolet lointain (jusqu'à 1.700 Å) avec un appareil de chromatographie (42).

Mais le véritable intérêt des applications analytiques de l'ultraviolet lointain en absorption se situe certainement à des longueurs d'onde plus courtes, disons, pour fixer les idées dans la région 1.600-500 Å, accessible aux appareils équipés d'un réseau en incidence normale. Outre la présence pour les corps organiques d'un spectre composé de bandes plus étroites, de structure plus accusée, et qui diminue par conséquent les risques d'interférence, on y trouve des absorptions notables pour des corps tels que l'hydrogène, l'azote, etc... dont l'approche par d'autres méthodes est difficile. Les données existant sur les spectres dans cette région montrent que l'on peut prévoir quelques possibilités intéressantes. A titre d'exemple, on peut citer la détection de l'oxygène et de la vapeur d'eau

dans l'hydrogène, l'azote ou les gaz rares, vers 1.200 Å. Le gaz carbonique, qui a des bandes très intenses vers 1.100 Å pourrait être détecté dans l'oxyde de carbone dont l'absorption est faible dans cette région. Le méthane, transparent dans le début de l'ultraviolet lointain, voit son absorption débiter vers 1.400 Å et atteindre une valeur élevée vers 1.000 Å. Il pourrait être dosé dans l'azote vers 1.200 Å.

D'une façon générale, on peut mettre à profit la présence de la région de transparence de l'air au voisinage de la raie d'émission La 1.216 Å de l'hydrogène. Il existe juste à cette longueur d'onde un rapport de 1.600 entre les coefficients d'absorption de la vapeur d'eau et de l'oxygène, de 2.000 entre les coefficients du méthane et de l'oxygène (43) ; outre les possibilités de détection de ces corps dans l'oxygène, on peut en déduire que la détection de ces corps dans un autre corps ne serait pas perturbée par la présence d'oxygène.

Il serait encore possible de doser les gaz rares grâce à la forte absorption de leurs raies (584,3 Å pour He - 736 Å pour Ne - 1.048 Å pour Ar - 1.235,8 Å pour Kr - 1.469,6 Å pour Xe). À titre d'exemple, d'après les travaux effectués au laboratoire, on a pu mettre en évidence des teneurs en xénon dans l'azote ou l'argon, inférieures à 10^{-6} (31).

Il est difficile de prévoir les limites de détection qui pourraient être atteintes dans les exemples cités ci-dessus. Cependant, il semble que l'on soit en-dessous de la réalité en estimant cette limite à 10^{-4} . Les perfectionnements techniques, en particulier ceux des détecteurs permettraient certainement de gagner au moins un ordre de grandeur, sinon plus. Dans certains cas d'espèce, une limite de 10^{-6} est possible. Signalons encore que les potentiels d'ionisation et les séries de Rydberg sont en étroite dépendance avec la nature de l'électron correspondant. Par exemple, on a trouvé à partir des spectres d'absorption, que les premiers potentiels d'ionisation, correspondant à l'enlèvement d'un électron de liaison dans les isomères cis-trans du dichloroéthylène étaient 9,65 et 9,95 eV, respectivement (4). Les observations spectroscopiques pour-

raient donc être utilisées pour l'identification des formes isomériques.

Techniquement, il reste des progrès à faire. Indépendamment du problème de la source, déjà évoqué plus haut, il faut envisager les solutions au problème des études d'absorption aux longueurs d'onde où les matériaux optiques ne sont plus utilisables. Si les quantités de matière à étudier ne sont pas trop importantes, la technique des jets doit pouvoir être utilisée avec succès. En combinaison avec une optique à miroir sous incidence plus ou moins oblique, on peut par ailleurs concevoir des cuves munies de pompage différentiel aux deux extrémités, qui permettraient de travailler sur des quantités de matière plus importante.

Signalons pour terminer, l'avantage particulier des sources en impulsion, particulièrement la source de spectre continu décrite plus haut, pour l'étude des problèmes de cinétique chimique dans cette région spectrale.

VII - APPLICATIONS EN ASTROPHYSIQUE.

Bien que nous n'ayons pas participé à ce type de recherches, nous voudrions terminer cet exposé consacré à la spectroscopie dans l'ultraviolet lointain par une brève revue de l'une des plus brillantes applications de l'ultraviolet lointain, celle, déjà évoquée en quelques mots plus haut, qui est relative à l'astrophysique.

Nos connaissances sur les astres sont presque exclusivement basées sur l'observation des radiations qui forment l'unique lien entre eux et nous. Pendant très longtemps seul le spectre visible fut étudié, mais depuis une quinzaine d'années d'autres bandes de fréquence sont explorées : infrarouge, ondes hertziennes, rayons X et aussi l'ultraviolet lointain. Nous ne décrivons pas les détails techniques. Rappelons simplement que depuis 1946 des fusées de types variés emmènent des instruments destinés à enregistrer ou à transmettre les informations reçues. Les grosses difficultés techniques à résoudre, notamment le pointage, rendirent les progrès assez lents au début. La nécessité d'atteindre une altitude suffisante pour éviter l'absorption par l'atmosphère terrestre, le temps relative-

ment faible des observations (l'ensemble des expositions ne doit pas durer plus de 3 à 4 minutes dans un vol de fusée), semblent être maintenant des difficultés qui ont été surmontées. On peut d'ailleurs affirmer que les impératifs particuliers de ce genre de recherche ont grandement accéléré les améliorations techniques tendant à accroître la rapidité et la précision des observations : récepteurs photoélectriques sans fenêtre, amélioration des pouvoirs réflecteurs, utilisation d'optique spéciale corrigeant l'astigmatisme, élimination de la lumière diffusée par une prédispersion, film photographique de très haute rapidité (signalons que ce film est fabriqué en France (44)), etc...

Rappelons au passage, sans nous attarder à des considérations géophysiques, que l'atmosphère terrestre nous protège contre le rayonnement ultraviolet lointain du soleil, dont l'action sur les espèces vivantes serait désastreuse. C'est précisément ce rayonnement ultraviolet lointain qui est responsable de la formation des espèces dissociées ou ionisées de la haute atmosphère et de leur photochimie. À partir des données actuellement connues, il a été possible de se former une opinion sur les mécanismes responsables de la formation de ces couches. Les couches inférieures D et E seraient produites par des processus moléculaires (ionisation de NO et de O₂). Les couches supérieures F, à l'altitude desquelles il n'y a plus beaucoup de molécules, seraient produites par l'ionisation de l'atome d'oxygène, la raie H_ε 303,8 Å semblant jouer un grand rôle. La forte absorption de cette raie dans la haute atmosphère rendrait compte de la température élevée qu'on y observe. Les interprétations dans ce domaine, requièrent beaucoup de données et se perfectionnent constamment avec les progrès de l'expérimentation.

Ce qui précède repose sur la connaissance du spectre du soleil. D'ailleurs pour des raisons expérimentales évidentes, c'est cet astre qui a fait l'objet du plus grand nombre d'observations. Les résultats obtenus (45) (46) peuvent être résumés comme suit :

1) Le spectre continu émis par le soleil

a été observé jusqu'à 1.000 Å environ, les variations d'intensité en fonction de la longueur d'onde étant interprétées comme provenant de l'existence de plusieurs régions d'émission dont les températures sont différentes.

2) On observe une émission de raies très nombreuses et souvent très intenses. Environ 150 raies ont été observées entre la raie L_α de l'hydrogène et la dernière raie 83,9 Å (probablement émise par Ne VIII). Grâce à une prédispersion, il a été possible d'obtenir des spectres d'excellente résolution. La conclusion d'ensemble est que le spectre est celui résultant de transitions optiques dans un milieu hautement ionisé, tel que la partie externe de la chromosphère et la couronne (raies de C I à C III, O I à O VI, Si I à Si IV, etc...). Parmi ces raies, on en trouve identifiées comme appartenant à Ne VIII d'une part et Mg X d'autre part. Or une énergie de 207,3 eV est nécessaire pour arracher le 7^e électron du Ne VII et il faut 327,9 eV pour enlever le 9^e du Mg IX. Ceci suppose des températures de l'ordre du million de degré, et l'émission a certainement lieu dans la couronne. Par ailleurs, la découverte des raies du néon, est la première preuve directe de l'existence du néon dans le soleil.

Plusieurs membres de la série de Lyman ont été observés ainsi que le spectre continu qui fait suite (vers 900 Å).

3) La raie L_α 1.216 Å de l'hydrogène, et la raie 303,8 Å de He II ont été particulièrement étudiées en raison de leur intensité. Cette dernière a été déterminée en valeur absolue par différentes observations (photographiques et photoélectriques). Il est nécessaire de tenir compte de l'absorption dans les couches supérieures de l'atmosphère lors du dépouillement des résultats obtenus. L'intensité de la raie L_α serait de l'ordre de 3 à 6 ergs/cm²/sec.⁻¹ ; celle de la raie 303,8 Å de l'hélium serait même plus élevée. Le chiffre de 20 ergs/cm²/sec.⁻¹ a été avancé comme contribution de l'ensemble des raies autres que L_α et He II 303,8.

4) On a pu réaliser une photographie du disque solaire en L_α 1.216 Å en utilisant un monochromateur à réseaux, un des réseaux

étant déformé mécaniquement afin d'obtenir une image rigoureusement stigmatique (45) (47). La radiation est plus intense dans les plages voisines des taches. On espère mettre en évidence une variation de λ_α avec l'activité solaire.

5) A l'aide d'un appareil de haute dispersion (réseau utilisé dans le 13^e ordre), on a déterminé (46) (48), le profil de la raie λ_α 1.216 Å (figure 16). On observe tout d'abord une raie d'absorption étroite se trouvant près du centre de la raie d'émission. Cette absorption est causée par l'hydrogène se trouvant entre la fusée et le soleil. Sa largeur correspond à un élargissement Doppler pour une température de 1.000 à 2.000° K. Ceci montre que la majeure partie de l'hydrogène absorbant ne se trouve pas près du soleil, mais est dans l'atmosphère extérieure entourant la terre, où l'on s'attend à des températures de cet ordre. De la valeur de l'absorption au centre, il est possible de calculer l'hydrogène total entre la terre et le soleil (3.10^{22} atomes/cm² au-dessus de 92 km).

La raie d'émission, elle-même, est large (1 Å). Au sommet se trouve une dépression peu accentuée causant la formation de deux maxima séparés par 0,4 Å. Ce profil serait dû à un processus de rediffusion multiple dans les couches émissives.

6) On a pu observer avec des photocompteurs sensibles la radiation λ_α ré-

émise par le ciel et provenant de l'absorption étroite signalée ci-dessus.

Nous ne nous étendrons pas plus sur les observations relatives au soleil, ainsi que sur les conclusions que l'on peut en tirer, relativement aux processus intervenant dans la couronne et la partie extérieure de la chromosphère, qui sont le siège de l'émission des radiations ultraviolettes observées.

On voit par les quelques exemples cités ci-dessus, pris parmi une documentation déjà abondante, la richesse des informations fournies par l'observation des spectres émis dans l'ultraviolet lointain par les corps célestes.

VIII) - CONCLUSION.

Au cours de cet exposé, les problèmes techniques, ainsi que quelques applications de la spectroscopie dans l'ultraviolet lointain, ont été passés en revue. Certaines de ces applications ont déjà donné lieu à des réalisations pratiques. D'autres, en particulier en absorption, n'en sont encore qu'au stade de la recherche, cependant les possibilités sont considérables, et l'ultraviolet lointain, qui était resté très longtemps une spécialité réservée à un très petit nombre de centres d'étude, entre maintenant dans la pratique courante ; nous sommes certains que l'avenir confirmera pleinement le mouvement d'intérêt auquel nous assistons actuellement.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) LYMAN T., The Spectroscopy of the Extreme Ultraviolet. Longmans, Green and Co London 1928.
- 2) BOMKE H., Vakuum Spektroskopie J.A. Barth, Leipzig 1937.
- 3) HOLWECK, De la lumière aux rayons X. Presses Universitaires, Paris 1927.
- 4) INN E.C.Y., Spectrochimica Acta 1955, 7, p. 65.
- 5) ROMAND J. et VODAR B., Spectrochimica Acta 1956, 8, p. 229.
- 6) HOLLIDAY J.E., Rev. Sc. Instr. 1960, 31, p. 891.
- 7) Travaux personnels non encore publiés.
- 8) DOUGLAS H.E. et HERZBERG G., J. Opt. Soc. Amer. 1957, 47, p. 625.
- 9) PURCELL J.D. et TOUSEY R., J. Geoph. Res. 1960, 65, p. 370.
- 10) FRIEDMAN H., XIth International Astronomical Congress (Stockholm 1960), p. 83.

- 11) HINTEREGGER H.E., *Phys. Rev.* 1954, *96*, p. 538.
- 12) BLANC A., JEHANNO C., JULLIOT C., VASSEUR J., Communication au Colloque d'Electronique (Belgrade, mai 1961).
- 13) HEROUX L. et HINTEREGGER H.E., *Rev. Sci. Instr.* 1960, *31*, p. 280.
- 14) CHUBB T.A. et FRIEDMAN H., *Rev. Sci. Instr.* 1955, *26*, p. 493.
- 15) TOMBOULIAN D.H. et HARTMAN P.L., *Phys. Rev.* 1956, *102*, p. 1.423.
- 16) WILKINSON P.G. et TANAKA Y., *J. Opt. Soc. Amer.* 1955, *45*, p. 344 et 710.
- 17) GARTON W.R.S., *J. Sci. Instr.* 1953, *30*, p. 119.
- 18) ROMAND J., BALLOFFET G. et VODAR B., *C.R. Acad. Sci.* 1955, *240*, p. 412.
- 19) GARTON W.R.S., *J. Sci. Instr.* 1959, *36*, p. 11.
- 20) BALLOFFET G., ROMAND J. et VODAR B. (en cours de publication).
- 21) PO LEE et WEISSLER G., *J. Opt. Soc. Amer.* 1952, *42*, p. 80.
- 22) WAINFAN N., WALKER W.C. et WEISSLER G.L., *J. Appl. Phys.* 1953, *24*, 1.318 ; *Phys. Rev.* 1955, *99*, p. 542.
- 23) ROMAND J., BALLOFFET G., VODAR B., *Spectrochimica Acta* 1958, *13*, p. 150.
- 24) ROMAND J. et VODAR B., *J. Phys. Rad.* 1958, *19*, p. 732.
- 25) BALLOFFET G., *Ann. Phys. Paris*, 1960, *5*, p. 1.243 (Thèse).
- 26) ROMAND J. et VODAR B., *Revue d'Optique* 1960, *39*, p. 167.
- 27) ROMAND J. et VODAR B., *Revue d'Optique* 1958, *37*, p. 329.
- 28) ROMAND J. et VODAR B., *Revue d'Optique* (à paraître).
- 29) ROBIN-KANDARE S., *J. Rech. C.N.R.S.* 1959, n° 49, p. 311 (Thèse).
- 30) HASS G. et TOUSEY R., *J. Opt. Soc. Amer.* 1959, *49*, p. 593.
- 31) ROBIN S. et ROMAND J., *C.R. Acad. Sci.* 1950, *231*, p. 1.455.
- 32) HARRISON G.R., *Metals and Alloys* 1936, *7*, p. 290.
- 33) MEGGERS W.F. *J. Opt. Soc. Amer.* 1941, *31*, p. 39 et 605.
- 34) ROMAND J., BACHET C. et BERNERON R., *Revue de Métallurgie* (en cours d'impression).
- 35) BALLOFFET G., ROMAND J. et VODAR B., *J. Phys. Radium* 1959, *20*, p. 510.
- 36) ROMAND J., BALLOFFET G. et VODAR B., *Spectrochimica Acta* 1959, p. 454.
- 37) WILKINSON P.G., *Jal Molecular Spectr.* 1961, *6*, p. 1.
- 38) WEISSLER G.L., *Handbuch der Physik* 1956, *21*, p. 304.
- 39) JONES L.C. et TAYLOR L.W., *Anal. Chemistry* 1955, *27*, p. 228.
- 40) BURDETT R.A., TAYLOR L.W. et JONES L.C., *Molecular Spectroscopy. The Institute of Petroleum* (London 1955), p. 30.
- 41) HUDSON B.E., ROBESY R.F. et NELSON J.E., *Fifth World Petroleum Congress* 1959.
- 42) KAYE W.I. Communication à « 12 th Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy 1961.
- 43) DITCHBURN R.W., BRADLEY J.E.S., CANNON C.G. et MUNDAY G. : « Rocket exploration of the upper atmosphere », p. 327. London : Pergamon Press 1954.
- 44) AUDRAN R., *Sci. Industr. Phot.* 1956, *27*, p. 434.
- 45) Space Research. Proceedings of the First International Space Science Symposium. Nice 1960, North Holland Publishing Company.
- 46) 10^e Congrès d'Astrophysique. Liège 1960, Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège — Cinquième série — tome IV.
- 47) PURCELL J.D., PACKER D.M. et TOUSEY R., *Nature* 1959, *184*, p. 8.
- 48) TOUSEY R., *Sci. Industr. Phot.* 1960, *31*, p. 303.

BIBLIOGRAPHIE

PETITE HISTOIRE D'UNE GRANDE INDUSTRIE (1)

par

M. André-A. GARANGER, *Directeur du Syndicat des Constructeurs français de Machines-Outils.*

Les constructeurs ont confié à M. Garanger le soin de rédiger et mettre en forme cet ouvrage : « document dont l'indépendance et l'intégrité se devaient d'être indiscutables ». Ils ne pouvaient faire un meilleur choix, l'auteur ayant consacré une bonne partie de son existence à dénoncer les idées fausses répandues dans le public par la presse assez mal informée, le snobisme xénophile, et les déductions hâtives tirées de statistiques fausses ou mal établies.

Le volume publié, bien imprimé, très lisible et d'une lecture facile, est abondamment illustré. Il fourmille de graphiques, de tableaux numériques et de reproductions photographiques de documents divers : extraits de presse, de rapports, etc... Ce n'est pas une description technologique de la machine outil, mais bien une histoire de son développement. Il comprend trois parties.

La première partie s'étend de 1800 à 1914. Elle montre les étapes de l'expansion industrielle et expose la situation à la veille de la première guerre mondiale.

La deuxième partie s'étend de 1914 à 1939. Elle passe en revue les années de guerre et d'après guerre et fait un bilan de crise mondiale et de l'effort général pour le réarmement. On voit apparaître l'U.R.S.S. parmi les pays compétiteurs.

La troisième partie s'étend de 1939 à 1960. Elle dépeint la situation pendant les années de guerre, puis expose celle de l'après guerre jusqu'à nos jours. L'avant dernier chapitre se subdivise en paragraphes concernant successivement l'Amérique, l'Europe de l'Ouest, l'Europe de l'Est (avec l'U.R.S.S.) puis l'Asie. Enfin le dernier chapitre résume ce que la France a réalisé en quinze années.

Cette énumération ne peut donner qu'une faible idée de la mine de renseignements de toutes sortes que présente cette histoire de la machine-outil. L'auteur expose clairement les idées fausses et préconçues qui nous ont créé d'énormes difficultés. Il constate que des erreurs ont été commises, provoquées généralement par des informations insuffisantes ou fausses. Il met en garde contre celles qui pourraient l'être de nouveau, de la même manière et avec la même bonne foi.

L'ouvrage est complété par un dépliant intitulé : « La machine-outil, mère de toutes les machines », il établit un parallèle chronologique entre les machines outils, la force motrice, les grandes inventions, les conditions de vie. Ce dépliant à lui seul mérite un examen attentif et approfondi, source de nombreuses et intéressantes réflexions.

R. BATIFOULIER.

(1) Un vol. (287 pages et un dépliant). Société d'Édition pour la Mécanique et la Machine-Outil, 150, boulevard Bineau, Neuilly-sur-Seine.

PETITE HISTOIRE D'UNE GAVIE MOUSSE (1)

1961

Le Président de la Société, Directeur Gérant : G. CHAUDRON. D. P. n° 1080

ÉDITIONS DU CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

I. — PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

LE BULLETIN SIGNALÉTIQUE paraît mensuellement et présente, sous la forme de courts extraits classés par matière, tous les travaux scientifiques, techniques et philosophiques publiés dans le monde entier.

Des TIRAGES A PART sont mis, en outre, à la disposition des spécialistes.

Le CENTRE DE DOCUMENTATION DU C.N.R.S. fournit également la reproduction photographique sur microfilm ou sur papier des articles analysés dans le BULLETIN SIGNALÉTIQUE ou des articles dont la référence bibliographique précise lui est fournie.

Ainsi, expérimentateurs, ingénieurs et techniciens bénéficient, sans quitter leur laboratoire ou leur bureau, d'une documentation abondante et rapide.

ABONNEMENT ANNUEL (y compris la Table des Auteurs)

	FRANCE	ÉTRANGER
PREMIÈRE PARTIE. — Mathématiques ; Physique ; Chimie ; Sciences de l'Ingénieur	120 NF	150 NF

TIRAGES A PART

Section I. — Mathématiques pures et appliquées ; Mécanique ; Physique mathématique	19 NF	24 NF
Section III. — Généralités sur la Physique ; Acoustique ; Thermodynamique ; Chaleur ; Optique ; Electricité et Magnétisme	34 NF	38 NF
Section IV. — Physique corpusculaire ; Structure de la Matière	17 NF	22 NF
Section VII. — Sciences de l'Ingénieur	42 NF	47 NF
N.B. — Les abonnés aux tirages à part du Bulletin signalétique peuvent recevoir la TABLE GÉNÉRALE DES AUTEURS, aux conditions suivantes . .	12 NF	16 NF

ABONNEMENT AU CENTRE DE DOCUMENTATION DU C.N.R.S.

15, quai Anatole-France - Paris-7^e. C.C.P. PARIS 9131-62. — Tél. : SOLférino 93-39.

JOURNAL DES RECHERCHES DU C.N.R.S., Revue trimestrielle publiant des articles de recherches faites dans les différents laboratoires du C.N.R.S.

ABONNEMENT ANNUEL (quatre numéros)	25	NF
Prix du numéro	8	NF

II. — OUVRAGES

Claude ROCCHICCIOLI. — Notions de Mathématiques	8	NF
LE FORMULAIRE DE MATHÉMATIQUES ET LES MONOGRAPHIES du Centre d'Etudes mathématiques en vue des applications :		

I. — MONOGRAPHIES

PETIAU G. — La théorie des Fonctions de Bessel exposée en vue de ses applications à la Physique mathématique	25	NF
DUMAS M. — Les épreuves sur échantillon	10	NF
COLOMBO S. — Les transformations de Mellin et de Hankel. (Applications à la Physique mathématique)	10	NF
LAVOINE J. — Calcul symbolique. Distribution et pseudo-fonctions	10	NF
DESTOUCHES J.-L. — Principes de la mécanique classique	3,50	NF
VOGEL Th. — Les fonctions orthogonales dans les problèmes aux limites de la physique mathématique	12	NF

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

Fascicule IV. — Algèbre et analyse tensorielle	7	NF
Fascicule VII. — Equations aux dérivés partielles	8	NF
Fascicule IX. — Fonctions de la Physique mathématique	8	NF
Fascicule XII. — Calcul des probabilités (2 ^e édition)	8	NF
A. DURIF et F. FORRAT. — Tables numériques adaptées à la Technique des Diagrammes Debye-Scherrer	2,50	NF

QUELQUES COLLOQUES INTERNATIONAUX DU C.N.R.S.

XXXVI. — Les méthodes formelles en axiomatique (logique mathématique)	6	NF
LII. — Géométrie différentielle	10	NF
LXX. — Le raisonnement en mathématiques et en sciences expérimentales	14	NF
LXXI. — La théorie des équations aux dérivés partielles	15	NF
LXXV. — Les problèmes mathématiques de la Théorie quantitative des champs ..	20	NF
LXXXII. — Calcul des Fonctions d'Onde moléculaire	34	NF
LXXXVII. — Le calcul des Probabilités et ses applications	20	NF

LES CAHIERS DE PAUL VALÉRY (écrits de 1894 à 1945)

Paul Valéry était tout à la fois poète, littérateur, penseur, épris des Sciences et artiste. Les Cahiers écrits tout au long de sa vie permettent de la mieux connaître sous ces divers aspects. Ils sont le complément indispensable des œuvres de Paul Valéry publiées jusqu'à ce jour et intéresseront tous ceux qui les possèdent.

Ces Cahiers se présentent sous la forme d'une trentaine de volumes d'environ 1.000 pages, du format 21 x 27, contenant la reproduction photographique du manuscrit et d'environ 80 aquarelles de l'auteur.

Volumes reliés	1.600	NF
(640 NF payables à la commande et 30 NF à la parution de chacun des volumes)		
Volumes sous étuis	1.740	NF
(780 NF payables à la commande et 30 NF à la parution de chacun des volumes)		

LES PUBLICATIONS DU CENTRE D'ÉTUDES SOCIOLOGIQUES

1. — Sociologie comparée de la famille contemporaine	10	NF
2. — A. TOURAINE. — L'Évolution du travail ouvrier aux Usines Renault	12	NF
3. — CROZIER. — Petits fonctionnaires au travail	6,40	NF
4. — CHOMBART de LAUWE. — La vie quotidienne des familles ouvrières	15	NF
5. — GUILBERT et ISAMBERT. — Travail féminin et travail à domicile	10	NF
6. — Andrée MICHEL. — Les travailleurs algériens en France	12	NF
7. — MENDRAS. — Les paysans et la modernisation de l'Agriculture	12	NF
8. — Ida BERGER. — Les Maternelles	18	NF
9. — Andrée MICHEL. — Famille, industrialisation et logement	21	NF
Visages et perspectives de l'Art Moderne (peinture, musique, poésie). Recueil des communications faites aux entretiens d'Arras	12	NF
Influences étrangères dans l'œuvre de Mozart	26	NF
Nicolas Poussin	130	NF
Répertoire des Travaux publiés avec le concours du C.N.R.S. (1953-1954)	15	NF
Le Groupe des Laboratoires de Bellevue	10	NF

Renseignements et vente au Service des Publications
du CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
15, quai Anatole-France - PARIS-7^e — C.C.P. PARIS 9061-11 — Tél. : SOLférimo 93-39.

**SOCIÉTÉ CHIMIQUE
DE
LA GRANDE PAROISSE**
AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

Société Anonyme au capital de 13.997.000 NF
8 RUE COGNACQ - JAY - PARIS 7^e - TEL. INV 44-30

AMMONIAQUE - ALCALI - ENGRAIS AZOTES

ENGINEERING - CONSTRUCTION D'USINES

HYDROGENE

GAZ de VILLE - GAZ de SYNTHÈSE

AMMONIAQUE

ACIDE NITRIQUE

ENGRAIS AZOTES

LES FILTRES DURIEUX



PAPIER A FILTRER

En disques, en filtres plissés, en feuilles 52x52

SPÉCIALITÉS :

FILTRES SANS CENDRES

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

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

Cartouches pour extracteurs de tous systèmes

PAPIER "CRÊPÉ DURIEUX"

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

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

Téléphone : ARCHIVES 03-51

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

20, rue Malher. PARIS (4^e)

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



PECHINEY, grâce à l'ampleur de ses moyens techniques et industriels, ne cesse de multiplier les produits indispensables aux industries de transformation les plus diverses.

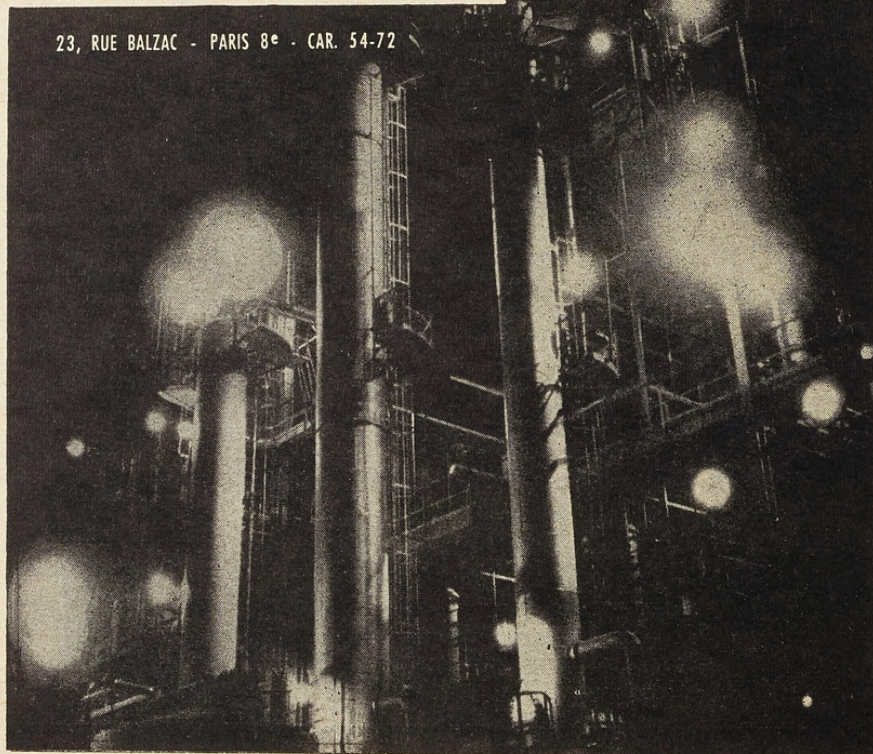
Il n'est guère aujourd'hui de secteurs industriels qui n'utilisent une ou plusieurs de ses fabrications, qu'il s'agisse des alliages légers, des matières plastiques ou des produits chimiques.

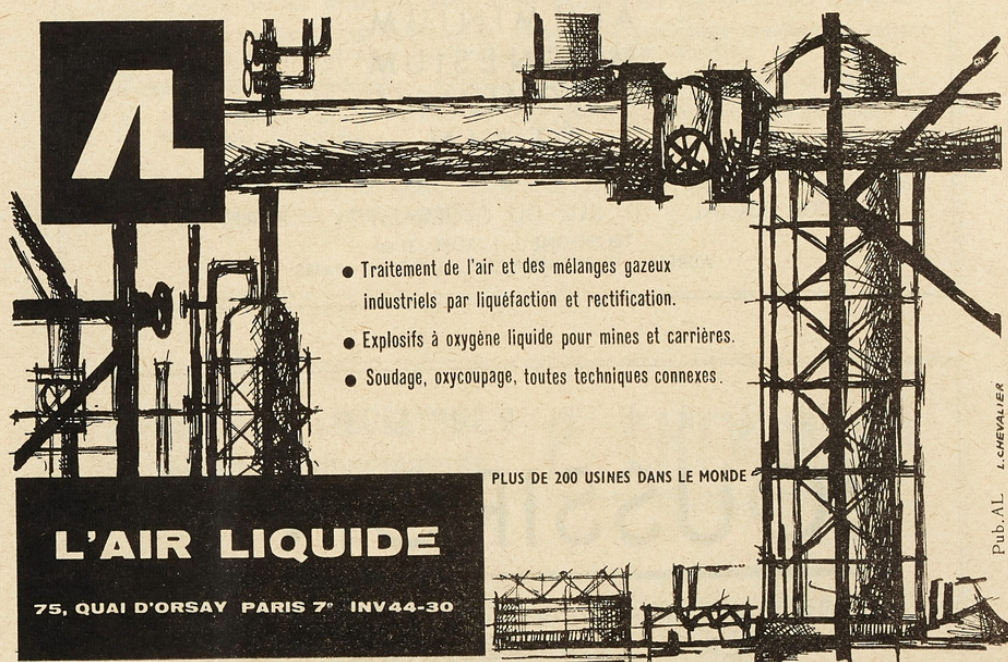
Aluminium et Alliages d'Aluminium - Ferro-
Alliages d'addition et de désoxydation - Cupro-
Alliages - Métaux Spéciaux - Produits Réfractaires
- Graphite Pur en particulier pour réacteurs
nucléaires - Matières Plastiques - Produits Dérivés
du Chlore - Produits Sodiques, Ammoniacaux,
Sulfureux, Alumineux, Fluorés, Cupriques -
Chlorates et Perchlorates.

PECHINEY

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 403.147.250 NF

23, RUE BALZAC - PARIS 8^e - CAR. 54-72





- Traitement de l'air et des mélanges gazeux industriels par liquéfaction et rectification.
- Explosifs à oxygène liquide pour mines et carrières.
- Soudage, oxycoupage, toutes techniques connexes.

PLUS DE 200 USINES DANS LE MONDE

L'AIR LIQUIDE

75, QUAI D'ORSAY PARIS 7^e INV44-30

Pub. AL L. CHEVALIER

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

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)

TRAVAUX PUBLICS
BÉTON ARMÉ ET PRÉCONTRAIT
CONSTRUCTIONS INDUSTRIELLES

C^{ie} Française de Raffinage

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 130.000.000 DE NF -- R. C. Seine n° 54 B 3492

SIEGE SOCIAL : 5, rue Michel-Ange, PARIS (16°)

La Compagnie Française de Raffinage dispose dans les Raffineries de Gonfreville- l'Orcher (Seine-Maritime) et de La Mède (Bouches-du-Rhône) :

- de la plus grosse Unité de Cracking Catalytique de France,
- de la plus grosse Unité de Reforming Catalytique du continent Européen,
- de tout un ensemble de fabrication d'huiles de graissage mettant en œuvre les techniques les plus modernes par solvants sélectifs,
- d'une unité de production d'éthylène d'une capacité annuelle de 30.000 t.,
- des laboratoires de recherche et de contrôle les plus importants de l'industrie française.

Elle est la plus importante des sociétés raffinant du pétrole brut en France et peut traiter 12 600 000 tonnes, chaque année.

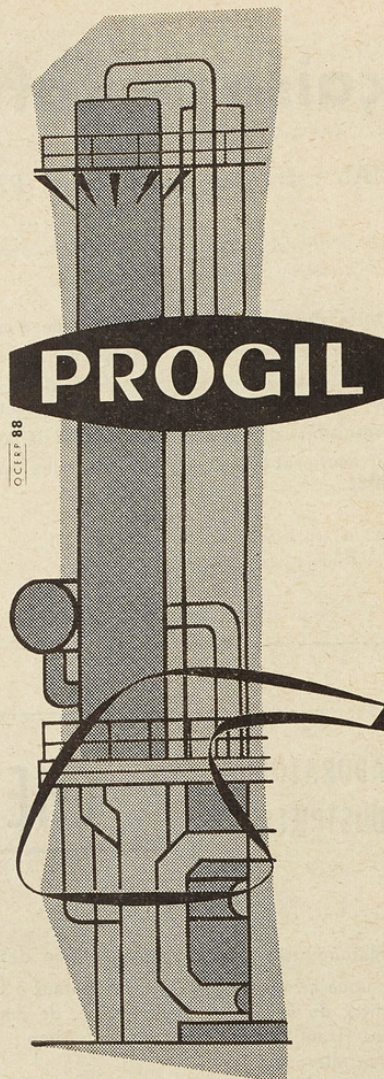
**APPAREILS DE LABORATOIRE
ET MACHINES INDUSTRIELLES**

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 ;
Etude 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)



Produits
chimiques
industriels

77-79, RUE DE MIROMESNIL, PARIS 8°
LAB. 91-60

ÉTABLISSEMENTS
KUHLMANN

SOCIÉTÉ ANONYME au CAPITAL de 124.985.200 N F
Siège Social : **25, Boul. de l'Amiral-Bruix, PARIS (16^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 PHOS-
PHORE - 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 ANTICRIPTO-
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

