

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

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

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
	1959, n° 2 (avril-juin)
	1959 n° 3 (juil.-sept.)
	1959, n° 4 (oct.-déc.)
	1960, n° 1 (janv.-mars)
	1960, n° 2 (avril-juin)
	1960, n° 3 (juil.-sept.)
	1960, n° 4 (oct.-déc.)
	1961, n° 1 (janv.-mars)
	1961, n° 2 (avril-juin)
	1961, n° 3 (juil.-sept.)
	1961, n° 4 (oct.-déc.)
	1962, n° 1 (janv.-mars)
	1962, n° 2 (avril-juin)
	1962, n° 3 (juil.-sept.)
	1962, n° 4 (oct.-déc.)
	1963, n° 1 (janv.-mars)
	1963, n° 2 (avril-juin)
	1963, n° 3 (juil.-sept.)
	1963, n° 4 (oct.-déc.)
	1964, n° 1 (janv.-mars)
	1964, n° 2 (avril-juin)
	1964, n° 3 (juil.-sept.)
	1964, n° 4 (oct.-déc.)
	1965, n° 1 (janv.-mars)
	1965, n° 2 (avril-juin)
	1965, n° 3 (juil.-sept.)
	1965, n° 4 (oct.-déc.)
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1966, n° 1 (janv.-mars)
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1966

Collation	1 vol. (39 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	50
Cote	INDNAT (74)
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.74

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Commission d'histoire de la Société d'Encouragement,

Juillet 2025.

Bibliographie

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

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

S. E. I. N.
Bibliothèque

L'INDUSTRIE NATIONALE

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

*Publiés avec le concours
du Centre National de la Recherche Scientifique*

Revue trimestrielle
1966 - N° 1

N° 1 — JANVIER-MARS 1966

SOMMAIRE ET RÉSUMÉS DES ARTICLES

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES.

- I. — **Le dosage en lecture directe des métalloïdes dans les aciers par spectrométrie d'émission dans l'ultra violet lointain,**
par M. R. BERNERON p. 1

LE DOSAGE DES METALLOIDES ET DES GAZ DANS LES METAUX PAR SPECTROMETRIE D'EMISSION DANS L'ULTRAVIOLET LOINTAIN

Les procédés d'élaboration actuellement utilisés dans la Sidérurgie nécessitent de nombreux contrôles précis et rapides à tous les stades de la fabrication. Parmi ceux-ci, l'analyse élémentaire du métal est d'une importance primordiale. Elle est le plus souvent effectuée par spectrographie d'émission au moyen d'appareils automatiques à lecture directe. Les appareils classiques permettent d'effectuer le dosage de la plupart des éléments dont il est important de connaître la teneur (C, Si, P, S, métaux), mais ils ne permettent pas de doser l'azote et l'oxygène, dont on sait pourtant qu'ils influent considérablement sur les propriétés des aciers. En effet, les raies sensibles de ces éléments sont émises dans l'ultraviolet lointain, région spectrale où les mesures nécessitent des techniques expérimentales particulières : en raison de l'absorption des radiations de courte longueur d'onde, le trajet du faisceau lumineux doit s'effectuer entièrement sous vide, et l'étincelle elle-même doit être produite dans un vide poussé. Par ailleurs, pour l'obtention des raies les plus sensibles des métalloïdes, qui correspondent au cas où les éléments sont à l'état d'ions ne possédant plus qu'un ou deux électrons externes, il faut produire une étincelle de haute énergie.

Nous avons étudié la possibilité d'effectuer le dosage de tous les métalloïdes intéressant la Sidérurgie, y compris azote et oxygène, par spectrographie

(Suite des sommaires et résumés en page 3 de couverture)

Publication sous la direction de M. Jean LECOMTE

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.

Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale

fondée en 1801, reconnue d'utilité publique

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

Abonnement annuel : 28 F.

le n° : 7,50 F.

C.C.P. Paris, n° 618-48

ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ

Président d'Honneur : M. A. CAGNOT, Membre de l'Institut.
Anciens Présidents : MM. G. DARRIEUS, Membre de l'Institut.
G. CHAUDRON, Membre de l'Institut.

Président :
M. Jean LECOMTE, Membre de l'Institut.

Vice-Présidents :
MM. BARATTE,
CHAMPETIER, Membre de l'Institut.

L'INDUSTRIE NATIONALE

Treasury :
M. Marcel PETIT.

ANNÉE 1966

PRÉSIDENCE DES COMITÉS

MM. CHAUDRON, Membre de l'Institut (Arts Chimiques) ; PRESSINET (Con-
structions et Beaux-Arts) ; LECATTE, Membre de l'Institut (Arts Physiques) ; de CHIRIS
(Arts Mécaniques) ; PETIT (Banks) ; REBERT, de l'Académie Française (Arts Écono-
miques) ; VASSIERE (Agriculture).

ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ

Président d'Honneur : M. A. CAQUOT, Membre de l'Institut.

Anciens Présidents : MM. G. DARRIEUS, Membre de l'Institut.
G. CHAUDRON, Membre de l'Institut.

Président :

M. Jean LECOMTE, Membre de l'Institut.

Vice-Présidents :

MM. BARATTE.
CHAMPETIER, Membre de l'Institut.
DEBRE.
de ROUVILLE.

Secrétaires généraux :

MM. BURE.
CARPENTIER.

Trésorier :

M. Marcel PETIT.

Censeurs :

MM. POMMIER.
ROGER-PETIT.

Agent général :

M. PAPILLON.

●

PRÉSIDENCE DES COMITÉS

MM. CHAUDRON, Membre de l'Institut (Arts Chimiques) ; FRESSINET (Constructions et Beaux-Arts) ; LEAUTE, Membre de l'Institut (Arts Physiques) ; de LEIRIS (Arts Mécaniques) ; PETIT (Fonds) ; RUEFF, de l'Académie Française (Arts Economiques) ; VAYSSIÈRE (Agriculture).

LE DOSAGE EN LECTURE DIRECTE DES MÉTALLOÏDES DANS LES ACIERS PAR SPECTROMÉTRIE D'ÉMISSION DANS L'ULTRAVIOLET LOINTAIN *

par M. R. BERNERON,

Ingénieur D.P.E., Chef de la Section Spectrographie, IRSID, St-Germain-en-Laye

L'évolution depuis la dernière guerre de l'ensemble des procédés d'élaboration en sidérurgie a nécessité la mise en œuvre de moyens de contrôle précis et rapides aux divers stades de cette élaboration ; parmi ceux-ci, l'analyse de tous les éléments intervenant dans les réactions métallurgiques est primordiale.

Les méthodes chimiques, qui restent à la base de l'analyse dans de nombreux cas, ne peuvent pas toujours répondre assez rapidement aux questions de l'aciériste qui envisage un réajustement éventuel de la composition du métal en cours d'élaboration ; de plus, ces méthodes ne permettent pas le dosage simultané de plusieurs éléments. Pour ces diverses raisons, les méthodes d'analyses physico-chimiques ont pris une grande extension depuis une quinzaine d'années. Cependant, l'analyse chimique reste utilisée pour l'étalonnage et le contrôle des appareils d'analyses par

voie physique qui, dans la majorité des cas, donnent des valeurs relatives (spectrographie, fluorescence X, etc.).

Les méthodes utilisées en spectrographie d'émission classique permettent l'analyse de 70 éléments environ (1) ; les quelque 20 éléments restants (halogènes, gaz rares, gaz usuels, azote, oxygène, hydrogène et certains métalloïdes, parmi lesquels l'élément principal des aciers, le carbone) nécessitent pour leur analyse des techniques particulières.

De nombreuses études ont été entreprises sur le dosage du carbone avec la raie C_{III} 2.296 Å et la détermination du phosphore avec les raies P_I 2.136 Å et 2.149 Å, mais la proximité de raies appartenant au spectre d'éléments perturbateurs comme nickel et cuivre requiert un appareil à très grande dispersion (généralement le second ordre d'un spectrographe à réseau).

* Conférence faite le 25 février 1965 à la Société d'encouragement pour l'Industrie Nationale.

DOUBLETES DE RESONANCE DES IONS DU TYPE ALCALIN		
ELEMENTS	TRANSITIONS	LONGUEURS D' ONDES
CARBONE _{IV}	$2s^2 S_{1/2} - 2p^2 P_{1/2}$	1550.768 Å
	$2s^2 S_{1/2} - 2p^2 P_{3/2}$	1548.195 Å
AZOTE _V	$2s^2 S_{1/2} - 2p^2 P_{1/2}$	1242.778 Å
	$2s^2 S_{1/2} - 2p^2 P_{3/2}$	1238.800 Å
OXYGENE _{VI}	$2s^2 S_{1/2} - 2p^2 P_{1/2}$	1037.613 Å
	$2s^2 S_{1/2} - 2p^2 P_{3/2}$	1031.912 Å
SILICIUM _{IV}	$3s^2 S_{1/2} - 3p^2 P_{1/2}$	1402.73 Å
	$3s^2 S_{1/2} - 3p^2 P_{3/2}$	1393.73 Å
PHOSPHORE _V	$3s^2 S_{1/2} - 3p^2 P_{1/2}$	1128.006 Å
	$3s^2 S_{1/2} - 3p^2 P_{3/2}$	1117.979 Å
SOUFRE _{VI}	$3s^2 S_{1/2} - 3p^2 P_{1/2}$	944.517 Å
	$3s^2 S_{1/2} - 3p^2 P_{3/2}$	933.382 Å
ARSENIC _V	$4s^2 S_{1/2} - 4p^2 P_{1/2}$	1029.50 Å
	$4s^2 S_{1/2} - 4p^2 P_{3/2}$	987.69 Å
AZOTE _{IV}	$2s^2 {}^1S_0 - 2sp {}^1P_1^0$	765.14 Å
OXYGENE _V	$2s^2 {}^1S_0 - 2sp {}^1P_1^0$	629.732 Å

Tableau-1

En outre, on constate un manque de sensibilité pour la détection des métalloïdes par spectrographie qui est géné-

ralement attribué à la valeur élevée de leur potentiel d'ionisation par rapport à celui de l'élément de base, le fer dans le cas des aciers.

D'autre part, les longueurs d'onde des raies sensibles d'atome neutre de ces éléments sont inférieures à 2.000 Å (C_1 1.930 Å, C_1 1.656-1.658 Å, P_1 1.783 Å, S_1 1.820 Å). Dans cette région spectrale, l'oxygène de l'air et la vapeur d'eau absorbent une grande partie du rayonnement.

Malgré ces difficultés, le problème de l'analyse spectrographique rapide des métalloïdes a été étudié et résolu par deux méthodes différentes :

La première consiste à utiliser les raies citées plus haut, qui, on le remarquera, sont situées dans la région des grandes longueurs d'onde de l'ultraviolet lointain (rappelons que l'ultraviolet lointain s'étend de 2.000 Å aux rayons X mous). Les difficultés expérimentales relatives à l'ultraviolet lointain sont atténuées dans cette région. En effet, on peut se contenter d'un vide de quelques 10^{-2} torr, aisément obtenu à l'aide d'une pompe mécanique à deux étages. Le quartz est encore transparent jusqu'à 1.600 Å, ce qui permet d'utiliser des optiques d'entrée et de sortie ainsi que des récepteurs photo-électriques à fenêtre de quartz de type courant. La fluorine, qui est transparente jusqu'à 1.250 Å, permet même la réalisation de prismes, mais on utilise plus généralement un réseau de diffraction par réflexion.

Enfin, l'excitation des raies peut être obtenue à l'aide d'un générateur arc-étincelle d'un modèle classique. Il convient de faire jaillir l'étincelle dans un gaz transparent dans le domaine des longueurs d'onde considérées (azote ou plus souvent argon).

Des spectrographes à lecture directe utilisant ces principes ont été réalisés et commercialisés (2), (3), (4). De nombreux appareils de ce type sont utilisés dans les laboratoires de contrôle des usines sidérurgiques. Ces appareils répondent au but poursuivi : en particulier, ils permettent le dosage du carbone, du soufre et du phosphore dans les aciers. Mais la détection d'éléments dont les raies sensibles se trouvent en dessous de 1.400 Å (azote et oxygène) est pratiquement impossible, en raison même de la technique adoptée (vide médiocre, fenê-

tres multiples, présence de gaz dans la chambre d'étincelle).

La seconde méthode, qui a été mise au point et développée, sous la direction du Professeur Vodar, par le Docteur J. Romand, avec la collaboration de Mlle G. Balloffet (5), au Laboratoire des Hautes Pressions du Centre National de la Recherche Scientifique, est très différente dans son principe, puisqu'elle permet de faire des mesures dans un vaste domaine de longueurs d'onde de l'ultraviolet lointain, ce qui est d'une importance capitale si l'on envisage de doser l'azote et l'oxygène.

Nous avons étudié qualitativement par voie photographique tout d'abord, puis en lecture directe, les possibilités d'application de cette méthode aux problèmes analytiques concernant les produits sidérurgiques. Nous indiquerons de plus les autres possibilités analytiques que cette méthode permet d'envisager.

BASE PHYSIQUE DE CETTE METHODE.

Les travaux effectués au C.N.R.S. ont montré que l'on peut étendre à l'ensemble du spectre émis par les atomes et les ions de tous les éléments les conclusions de Meggers (6) : cet auteur a constaté, d'après la liste des raies les plus sensibles du spectre des éléments, qu'une raie ultime provient toujours d'un saut électronique entre les états s et p .

Dans le cas des atomes neutres, ce sont les éléments à un seul électron (s) de valence (comme les alcalins) qui présentent la plus grande sensibilité.

Pour les métalloïdes (possédant des électrons p de valence), il suffit de considérer le spectre des atomes suffisamment ionisés pour ne posséder qu'un ou deux électrons, qui sont alors des électrons s .

Les transitions les plus sensibles sont indiquées dans le tableau 1 pour les métalloïdes à ions du type alcalinoïde. Les longueurs d'onde soulignées sont celles des raies que nous utilisons pour le dosage de ces éléments dans les aciers.

Les raies de résonance de l'azote et de l'oxygène interférant avec des raies du fer, on utilise pour l'analyse de ces éléments deux raies de l'ion à deux électrons.

L'observation de ce tableau montre que les raies sont en général situées au voisinage de $1.000 \text{ \AA}$; donc, la seule technique possible pour mesurer leur intensité est l'emploi d'un spectrographe sous vide suffisant comportant un réseau

loppé en glissant sur le support selon un mécanisme encore mal interprété, mais qui, en tout cas, correspond à un abaissement notable du potentiel disruptif par rapport à l'étincelle ordinaire (hot spark de Millikan), inutilisable en raison de son instabilité.

De nombreux problèmes (7) furent étudiés avec cette source qui présentait malgré tout l'inconvénient d'émettre simultanément le spectre des électrodes et

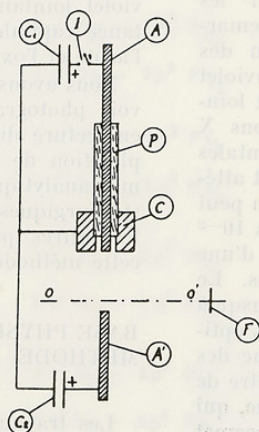


Fig. 1 - Schéma de principe de l'étincelle initiée dans le vide.

de diffraction par réflexion comme élément dispersif : c'est ce qui est réalisé dans l'appareil que nous employons et la source d'excitation utilisée est une étincelle dans le vide qui, par sa forte énergie, permet la production et l'excitation des ions de haut degré d'ionisation étudiés.

ETINCELLES DANS LE VIDE

Différents types d'étincelles peuvent être utilisés :

1° ETINCELLE GLISSANTE.

Dans ce type d'étincelle, les électrodes sont disposées en contact avec un support peu conducteur ; l'étincelle se déve-

loppe en glissant sur le support selon un mécanisme encore mal interprété, mais qui, en tout cas, correspond à un abaissement notable du potentiel disruptif par rapport à l'étincelle ordinaire (hot spark de Millikan), inutilisable en raison de son instabilité.

2° ETINCELLE INITIÉE DANS LE VIDE.

L'initiation sous vide d'une étincelle sans support a également été étudiée au Laboratoire des Hautes Pressions du C.N.R.S. (8) : elle utilise une étincelle glissante auxiliaire qui ionise l'espace situé entre les électrodes. La source comporte alors trois électrodes, conformément au schéma de la figure 1. L'étincelle glissante d'amorçage se produit entre les électrodes concentriques A et C, isolées l'une de l'autre par le cylindre

isolant (alumine) P. Cette étincelle glissante ionise l'espace situé entre les électrodes A' et C, ce qui permet le développement de l'étincelle principale entre ces deux électrodes. L'électrode A' constitue le matériau à analyser.

L'étincelle d'amorçage est réalisée par la décharge d'une faible capacité C_1 (0,05 à 0,2 μF) chargée sous un potentiel de quelques kilovolts. La fréquence des décharges est réglée par l'interrupteur I.

L'anode A' est reliée directement à un condensateur C_2 (2 à 4 μF) chargé sous

à permettre en une seconde (durée séparant deux étincelles) la charge quasi totale d'une capacité C_2 de 2 μF sous une tension de l'ordre de 20 kV. L'énergie disponible est donc de l'ordre de 400 joules. Le circuit est de conception classique : il comporte un transformateur haute tension, un redresseur constitué par deux kénotrons montés en parallèles. La self du circuit de décharge doit être très faible, de l'ordre de 2 μH .

2° L'énergie nécessaire pour le fonctionnement de l'étincelle d'amorçage est

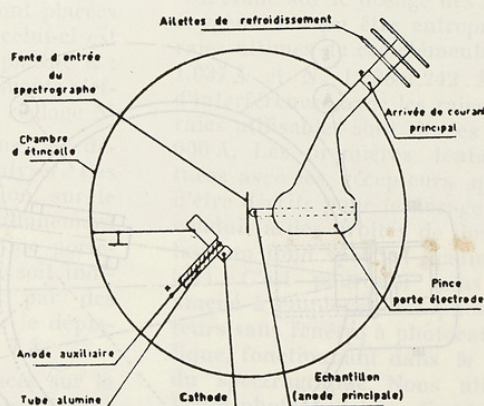


Fig. 2 - Schéma de la chambre d'étincelles.

une tension de l'ordre de 20 kV. La capacité C_2 se décharge chaque fois que l'espace A'C est ionisé, et une étincelle très brillante (composée exclusivement des ions de cette électrode) apparaît à l'extrémité de A'.

C'est ce dernier type d'étincelle que nous avons utilisé pour l'étude du dosage des métalloïdes dans les aciers.

APPAREILLAGE.

A) GÉNÉRATEUR.

1° Le circuit principal du générateur d'étincelles doit être constitué de façon

beaucoup plus faible et le circuit d'amorçage comporte une capacité C_1 de 0,1 μF chargée sous une tension qu'il est commode pour des raisons pratiques de prendre égale à la tension de charge du circuit principal.

Des travaux récents (9) ont montré que l'énergie peut être encore beaucoup plus réduite et qu'il est important d'avoir pour l'amorçage une grande puissance instantanée pendant un temps très court.

B) CHAMBRE A ÉTINCELLE.

La chambre à étincelle est représentée sur la figure 2. Elle comprend tous les

accessoires nécessaires à la mise en place, au réglage et à l'étincelage des échantillons à analyser.

Ces dispositifs ont été étudiés pour que la position de l'électrode par rapport à l'axe optique du spectrographe soit parfaitement reproductible et que le vide dans la chambre soit suffisant pour le dosage de l'azote et de l'oxygène (10^{-6} torr). L'introduction et l'extraction des échantillons s'effectuent par l'intermédiaire de sas, qui évitent l'ouverture de la chambre.

Le spectrographe peut être équipé soit d'une sortie photographique, soit d'une sortie photoélectrique (fig. 3). Le réseau A et la fente d'entrée B sont solidaires d'une platine massive C. Les fentes de sortie et leurs mécanismes (pour la lecture directe) sont assemblés sur une seconde platine D fixée sur C. La platine C est située dans l'enceinte E, qui a la forme d'une cuve cylindrique à axe vertical. Dans ces conditions, les différents éléments du système optique sont fixés sur un même support (C) qui n'est soumis à aucun effort dû à la pression

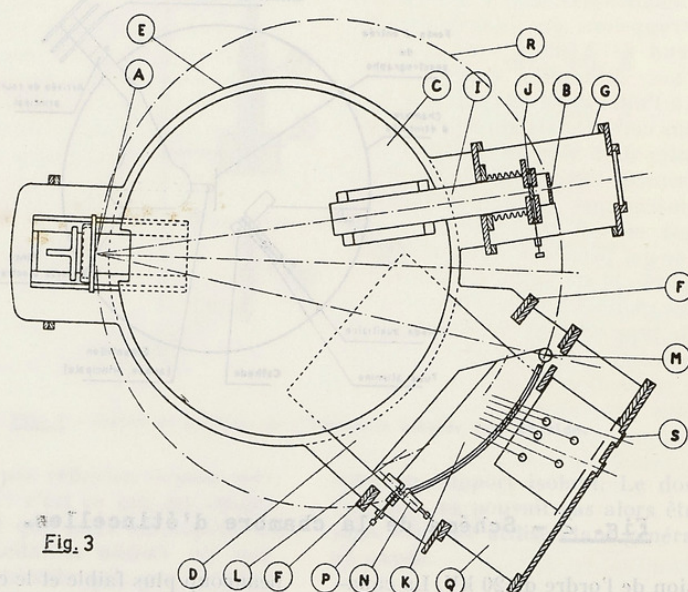


Fig. 3

Schéma du SPECTROGRAPHE sous VIDE

C) SPECTROGRAPHE.

1° Le spectrographe utilisé est équipé d'un réseau concave utilisé sous une incidence voisine de la normale (10°). Ce réseau a un rayon de courbure de 1 mètre, il est gravé à 1.200 traits au mm et donne le maximum de lumière dans le premier ordre à $1.700 \text{ \AA}$, mais l'on peut observer des raies jusqu'à $500 \text{ \AA}$, la dispersion inverse est de $7,8 \text{ \AA/mm}$ dans le premier ordre.

atmosphérique. Il n'y a donc à craindre aucune déformation ni aucune modification des positions respectives de ces éléments lorsque l'on fait le vide dans l'appareil.

2° LE VIDE.

Le spectrographe est équipé d'un système de pompage conçu de façon à assurer des opérations aussi rapides que possible. Le vide dans la cuve du spectrographe est de l'ordre de 10^{-6} torr.

3° FENTE D'ENTRÉE (B).

La fente d'entrée a une largeur de 25 μ . Elle est protégée d'une métallisation excessive par une préfente disposée entre elle et l'étincelle.

Une petite vanne J située à l'extrémité du tube I, fixée sur C, permet d'isoler, en ce qui concerne le vide, la chambre d'étincelle G de la cuve du spectrographe.

4° FENTES DE SORTIE.

Dans le montage actuel, douze fentes de sortie de 40 μ de largeur sont placées sur le cercle de Rowland R ; celui-ci est matérialisé par le bord de la platine K ; la coïncidence de ces deux éléments s'effectue au moyen du point de réglage N.

Chaque fente sélectionne une raie déterminée d'un élément à analyser. Ces fentes sont réglables en position, sur le cercle de Rowland, soit simultanément par le déplacement de la platine porte-fentes, au moyen de la vis P, soit individuellement, de l'extérieur, par des commandes étanches au vide ; le déplacement possible est alors de ± 7 Å.

Une fente est également placée sur la tache centrale M (ordre zéro du réseau) qui sert de référence analytique.

D) SORTIE PHOTOÉLECTRIQUE.

1° PHOTOMULTIPLICATEURS CLASSIQUES.

La mesure des intensités des raies n'est pas possible directement avec des photomultiplicateurs à fenêtre de verre en dessous de 3.000 Å, en raison de l'absorption du rayonnement par le verre. Les photomultiplicateurs à fenêtre de quartz sont utilisables entre 3.000 et 1.600 Å environ. Les photomultiplicateurs à fenêtre de verre sont cependant utilisables au-dessous de 3.000 Å, si l'on convertit par fluorescence le rayonnement à mesurer en rayonnement de plus grande longueur d'onde. C'est la méthode que nous utilisons pour les raies de longueur d'onde supérieure à 1.000 Å.

La fluorescence est produite par une couche de salicylate de sodium qui don-

ne un rayonnement bleu correspondant bien au maximum de sensibilité d'un récepteur à cathode Cs Sb (150 A.V.P. de la Radiotechnique). Il y a avantage à placer la couche fluorescente le plus près possible de la photocathode du récepteur. Pratiquement, nous avons déposé cette couche sur la face interne de fenêtres de verre, assurant l'étanchéité du spectrographe.

2° PHOTOMULTIPLICATEUR SANS FENÊTRE.

L'étude sur le dosage des gaz, azote et oxygène, n'a pu être entreprise avec les raies ultimes de ces éléments (O_{VI} 1.031-1.037 Å et N_V 1.238-1.242 Å) par suite d'interférences avec les raies du fer. Les raies utilisables sont situées entre 800 et 600 Å. Les premières tentatives effectuées avec les récepteurs qui viennent d'être décrits pour le dosage des gaz ont conduit à des droites de dosage présentant un fond spectral inadmissible (10) (11). C'est pourquoi nous avons été amené à employer des photomultiplicateurs sans fenêtre à photocathode métallique, fonctionnant dans le vide même du spectrographe. Nous utilisons ainsi l'effet photoélectrique direct des photons de courte longueur d'onde tombant sur un métal massif. C'est un effet de volume (12), beaucoup moins sensible à l'état de surface que celui qui intervient dans les récepteurs classiques. Le seuil étant situé au-dessus de 1.500 Å, l'influence des rayonnements parasites de longueur d'onde relativement grande est fortement diminuée. Enfin, le rendement photoélectrique croît rapidement lorsque la longueur d'onde décroît, ce qui compense partiellement la perte d'efficacité du réseau de diffraction dans ce domaine.

Dans les conditions où nous les employons, les deux types de récepteurs donnent des résultats à peu près équivalents vers 1.000 Å.

Les photomultiplicateurs « sans fenêtre » que nous utilisons comportent une cathode, généralement en or ou en nickel, associée avec une série d'électro-

des multiplicatrices en matériau peu sensible aux rentrées d'air (alliage cuivre-béryllium). Ils ont été mis au point au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay par C. Julliot (13) (14) et sont maintenant commercialisés. Un récepteur de ce type a été monté sur chacun des faisceaux correspondant aux raies de l'oxygène O_V 629 Å de l'azote N_{IV} 765 Å et sur la tache centrale dans ce dernier cas ; le seuil de sensibilité vers 1.500 Å joue le rôle de filtre passe-haut et le réseau, le rôle de filtre passe-bas ; la lumière de référence est donc constituée par une gamme de rayonnement compris entre 500 et 1.500 Å.

3° DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Certains récepteurs reçoivent les radiations directement. Pour des raisons géométriques, les autres faisceaux lumineux sont déviés par de petits miroirs situés derrière les fentes de sortie et montés en incidence tangentielle : dans ces conditions, le pouvoir réflecteur est acceptable dans l'ultraviolet lointain. Chaque récepteur est monté dans un tube protecteur jouant le rôle de blindage et renfermant également le diviseur de tension des dynodes et l'étage de sortie.

E) APPAREILLAGE ÉLECTRONIQUE.

L'appareil électronique (15) est destiné à effectuer, pour chaque élément, l'intégration d'un signal électrique proportionnel au signal optique et à comparer les grandeurs intégrées relatives à chaque élément, à une référence.

A chaque élément correspondent donc un amplificateur et un intégrateur. L'armoire électronique actuelle comporte dix canaux complets : neuf pour les différents éléments à analyser et un pour la référence, ainsi que les alimentations basse et haute tensions, les circuits d'au-

timation, les contrôles de vide et le quotientmètre enregistreur.

La figure 4 montre une vue d'ensemble de l'appareillage destiné au dosage des métalloïdes par spectrométrie d'émission dans l'ultraviolet lointain.

MODE OPERATOIRE

A) ECHANTILLONNAGE.

Les électrodes soumises à l'analyse doivent avoir une forme déterminée pour pouvoir être introduites dans la chambre d'étincelles par le sas de chargement et mises en place dans la pince porte-électrodes. Ce sont des baguettes cylindriques de 3,5 mm de diamètre et 50 mm de longueur maximum.

1° ECHANTILLONNAGE SUR PRODUITS A L'ÉTAT SOLIDE.

Dans le cas d'une analyse à effectuer sur du métal solide, l'échantillon peut être prélevé soit par découpage et tournage, soit par prélèvement direct d'une carotte dans la masse de la pièce. La figure 5 a montre un petit lingot dans lequel une baguette a été prélevée par cette technique.

2° ECHANTILLONNAGE SUR PRODUIT A L'ÉTAT LIQUIDE.

Pour le contrôle de la composition du métal au cours de son élaboration, il est essentiel que la prise de l'éprouvette soit très rapide. C'est pourquoi une méthode de prélèvement de baguette à partir de l'état liquide a été étudiée à l'IRSID (16).

Une petite pompe, actionnée par de l'air comprimé, permet d'aspirer dans un tube de silice transparente une baguette de métal de 3,5 mm de diamètre et de 150 à 200 mm de longueur (fig. 5 b). Pour les fontes, le prélèvement

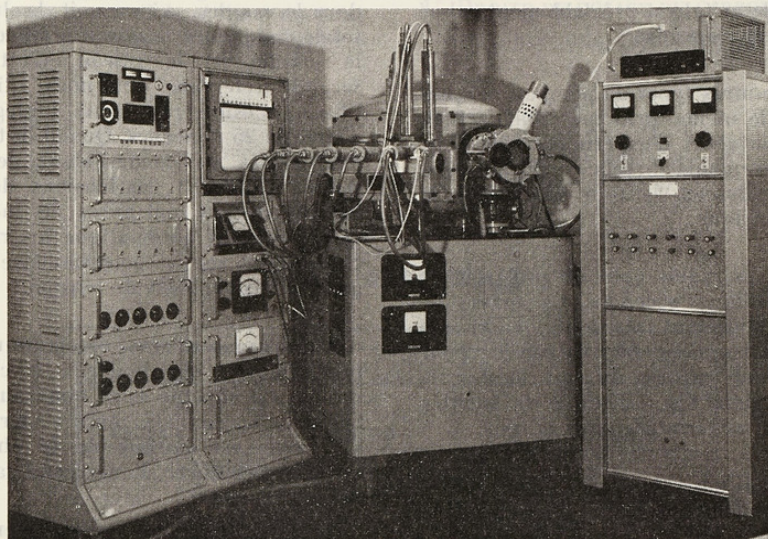


FIG. 4. — Vue d'ensemble de l'appareillage de spectrographie dans l'ultraviolet lointain

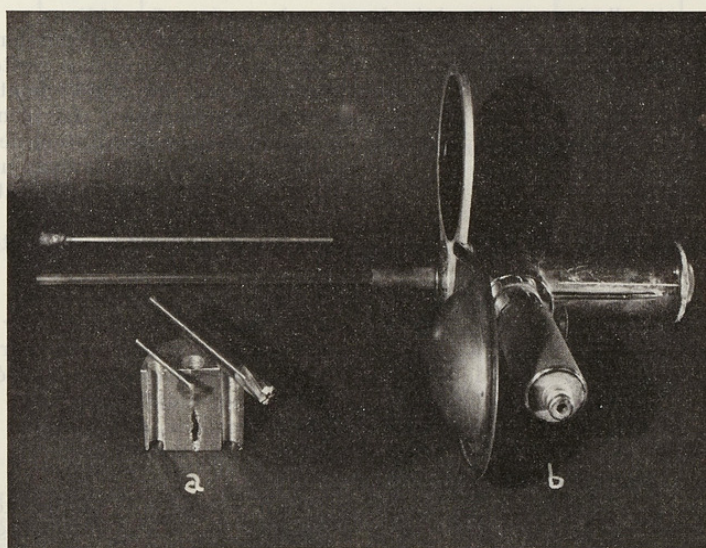


FIG. 5. — Prélèvements d'échantillons : a) sur produits finis ; b) sur métal liquide

a lieu dans le chenal de coulée ; pour les aciers, il est effectué dans une louche, où le métal est préalablement calmé si cela est nécessaire.

Deux autres types de pompes, conçues suivant le même principe, sont actuellement en cours d'expérimentation pour les prélèvements directs en poche, dans le convertisseur, le four Martin ou le four électrique.

Le temps requis pour un prélèvement est de quelques secondes. La masse de l'échantillon étant très petite, la vitesse de refroidissement est très élevée ; pour l'augmenter encore, on fait tomber la baguette dans l'eau, dès que la montée du métal est terminée dans le tube.

L'échantillon est ensuite tronçonné à longueur et apointé à 90° à l'aide d'une petite tronçonneuse.

B) ANALYSE.

1° La baguette d'acier est alors introduite dans la pince porte-électrode et l'extrémité réglée sur l'axe optique.

La butée de réglage et le sas d'introduction sont alors écartés et l'étincelage peut commencer.

2° INTEGRATION DES SIGNAUX.

Après une période de préflambage de 60 secondes destiné à la mise en forme de l'extrémité de l'électrode et à la stabilisation de l'émission des différents éléments dans le temps, les intégrateurs sont mis en circuit ; le signal électrique issu de chaque récepteur vient, après amplification, charger une capacité d'intégration.

En spectroscopie, on ne peut effectuer de mesures absolues sur une raie ; il

faut prendre un signal de référence, soit une raie de l'élément de base, le fer dans le cas des aciers, soit la lumière totale composant le faisceau réfléchi par le prisme ou le réseau. C'est cette seconde référence que nous utilisons. Chaque mesure représente l'intégration d'environ 25 étincelles. Quand la tension aux bornes du condensateur de référence atteint 20 V, les tensions de tous les intégrateurs sont mises en mémoire et le dispositif automatique inscrit successivement sur le potentiomètre enregistreur les rapports de tension.

Après remise à zéro automatique des intégrateurs, un nouveau cycle de mesure est effectué sans nouveau flambage. Cette seconde mesure terminée, l'électrode est extraite de la chambre par l'intermédiaire d'un second sas.

Le tableau 2 résume les opérations d'un cycle analytique.

C) ETALONNAGE DE LA METHODE.

La spectrométrie d'émission est une méthode relative qui nécessite un étalonnage au moyen d'échantillons de composition connue. La connaissance absolue de la concentration de ces étalons n'est possible que dans un nombre limité de cas, lorsque l'on peut préparer des échantillons synthétiques dans des conditions de fiabilité suffisante.

Dans la majorité des cas, il faut utiliser des étalons dosés par d'autres méthodes, le plus souvent par voie chimique. Nous avons utilisé les étalons du N.B.S. pour établir les droites de dosages du carbone, du silicium, du phosphore et de l'arsenic.

Pour le soufre et l'azote, nous avons employé des aciers de diverses provenances après analyses par voie chimique.

L'oxygène n'étant généralement pas réparti de façon homogène dans les aciers, nous avons élaboré dans un petit four haute fréquence, sous atmosphère

D) DROITES ANALYTIQUES.

1° DROITE DE DOSAGE DU CARBONE.

Nous utilisons l'émission de la raie

CYCLE ANALYTIQUE

Temps	Opération	Durée
0	Introduction électrode dans le sas Pompage du sas Introduction électrode dans la pince	20"
+20"	Préétincelage	60"
+80"	Première série d'intégration (20 étincelles environ)	20"
+100"	Affichage des résultats (pour 10 éléments) (2" par canal)	20"
+120"	Deuxième série d'intégration	20"
+140"	Affichage de la deuxième série	20"
+160"	Fin de la première mesure Extraction de l'électrode et introduction de la suivante...	

Tableau-2

d'argon, des alliages fer-oxyde de fer, qui ont ensuite été analysés par la méthode classique de fusion réductrice sous balayage d'argon.

C_{IV} 1.548 Å du doublet de résonance du carbone. Le spectre du fer est assez dense dans cette région, mais le doublet du carbone a une sensibilité telle que ce spectre ne perturbe pas le dosage, même

pour les faibles concentrations de carbone (fig. 6).

2° DROITE DE DOSAGE DU SILICIUM.

L'analyse du silicium est effectuée avec la raie Si_{IV} 1.393 Å du doublet ultime du silicium. Comme pour le carbone, le spectre du fer est très riche dans cette région. Mais, pour les concentrations en silicium rencontrées dans les aciers, la sensibilité est suffisante (fig. 7).

La raie P_V 1.128 Å du doublet de résonance est perturbée par des raies intenses du fer et du silicium, seule la raie P_V 1.118 Å de ce doublet est utilisable dans de bonnes conditions de sensibilité ; mais le réglage de la fente de sortie doit être particulièrement précis, car une raie faible du fer est très proche de la raie P_V (fig. 8).

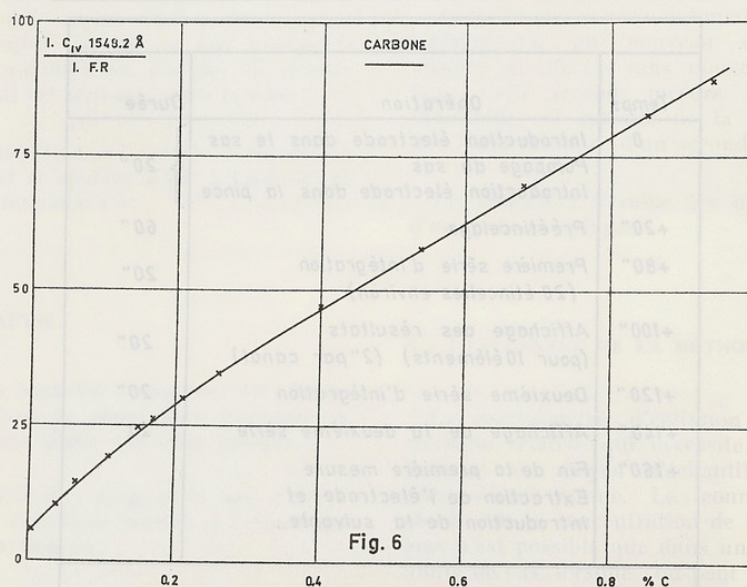


Fig. 6. — Courbe analytique du carbone dans les aciers

3° DROITE DE DOSAGE DU PHOSPHORE.

Il y a peu de choix pour les raies du phosphore, du moins si l'on veut rester dans un domaine de haute sensibilité, ce qui est généralement nécessaire pour cet élément.

4° DROITE DE DOSAGE DE L'ARSENIC.

Les deux raies du doublet de résonance de l'arsenic sont As_V 987 et As_V 1.029 Å ; pour des raisons mécaniques, nous ne pouvons actuellement utiliser la raie As_V 987 Å, plus sensible et moins

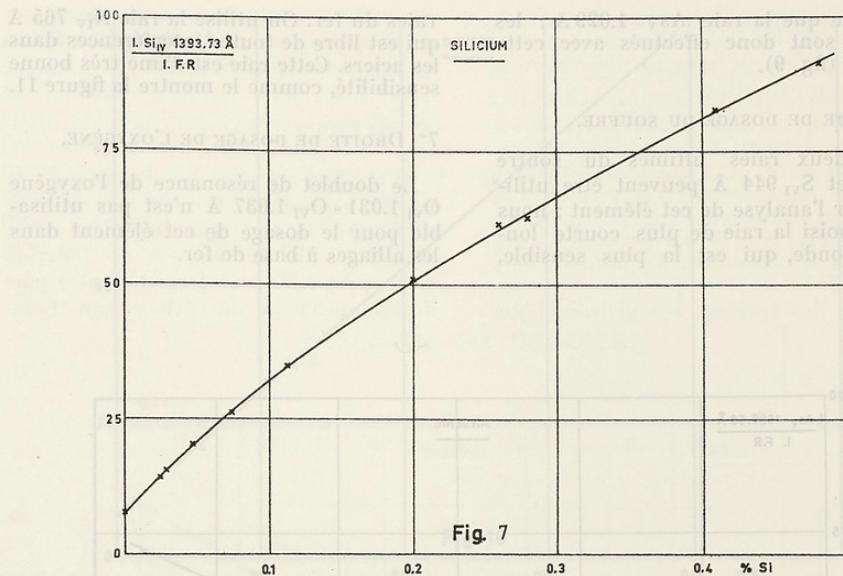


Fig. 7. — Courbe analytique du silicium dans les aciers

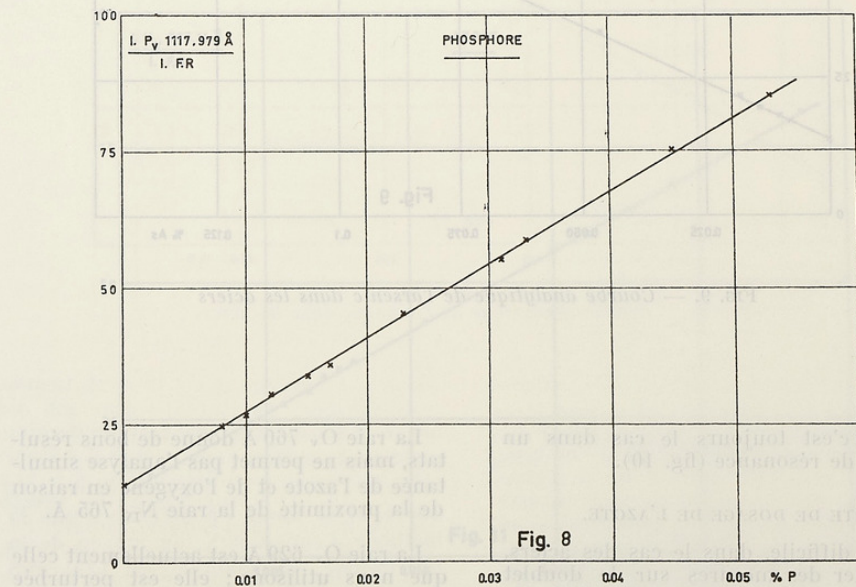


Fig. 8. — Courbe analytique du phosphore dans les aciers

perturbée que la raie As_V 1.029 Å ; les dosages sont donc effectués avec cette dernière (fig. 9).

5° DROITE DE DOSAGE DU SOUFRE.

Les deux raies ultimes du soufre S_{VI} 933 et S_{VI} 944 Å peuvent être utilisées pour l'analyse de cet élément ; nous avons choisi la raie de plus courte longueur d'onde, qui est la plus sensible,

raies du fer. On utilise la raie N_{IV} 765 Å qui est libre de toutes interférences dans les aciers. Cette raie est d'une très bonne sensibilité, comme le montre la figure 11.

7° DROITE DE DOSAGE DE L'OXYGÈNE.

Le doublet de résonance de l'oxygène O_{VI} 1.031 - O_{VI} 1.037 Å n'est pas utilisable pour le dosage de cet élément dans les alliages à base de fer.

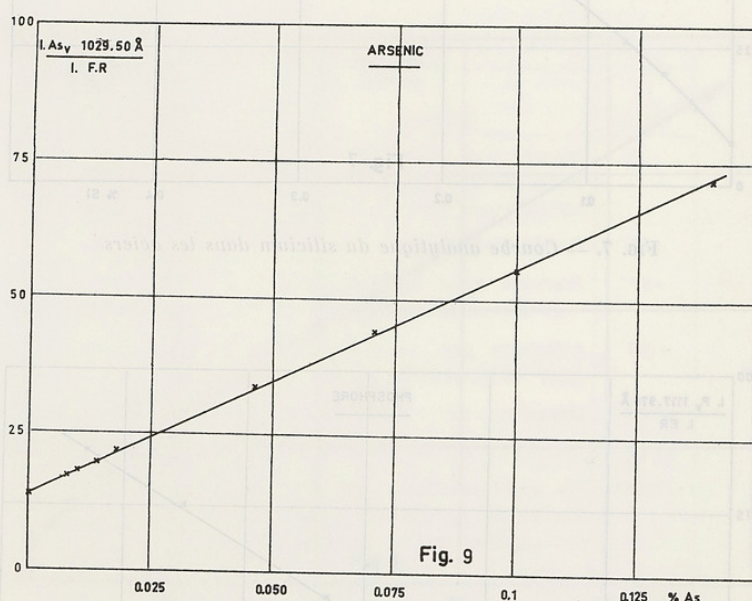


Fig. 9. — Courbe analytique de l'arsenic dans les aciers

comme c'est toujours le cas dans un doublet de résonance (fig. 10).

6° DROITE DE DOSAGE DE L'AZOTE.

Il est difficile, dans le cas des aciers, d'effectuer des mesures sur le doublet de résonance de l'azote : N_V 1.238 - N_V 1.242 Å, celui-ci étant perturbé par des

La raie O_V 760 Å donne de bons résultats, mais ne permet pas l'analyse simultanée de l'azote et de l'oxygène en raison de la proximité de la raie N_{IV} 765 Å.

La raie O_V 629 Å est actuellement celle que nous utilisons ; elle est perturbée par un multiple de chrome Cr_{IV} à des teneurs de l'ordre de 0,25 % de Cr.

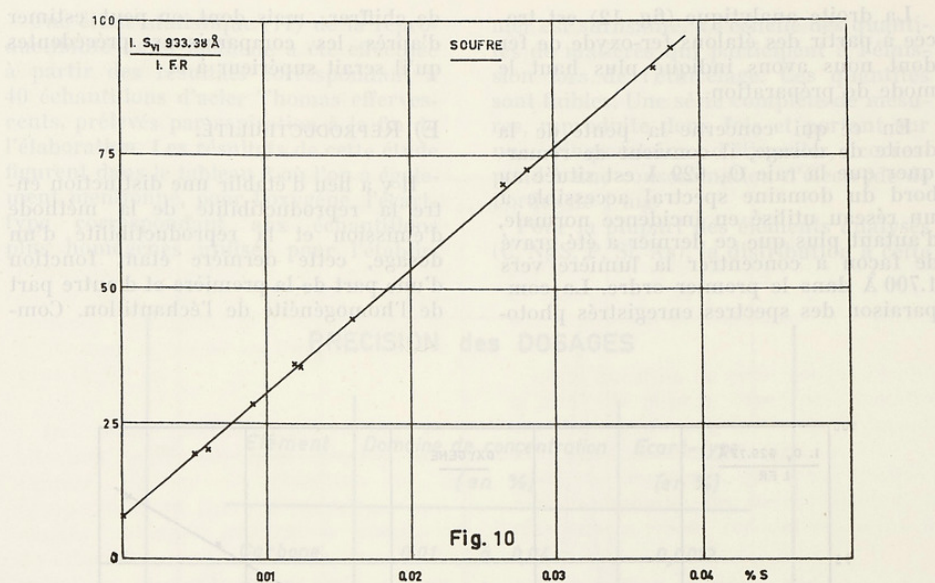


FIG. 10. — Courbe analytique du soufre dans les aciers

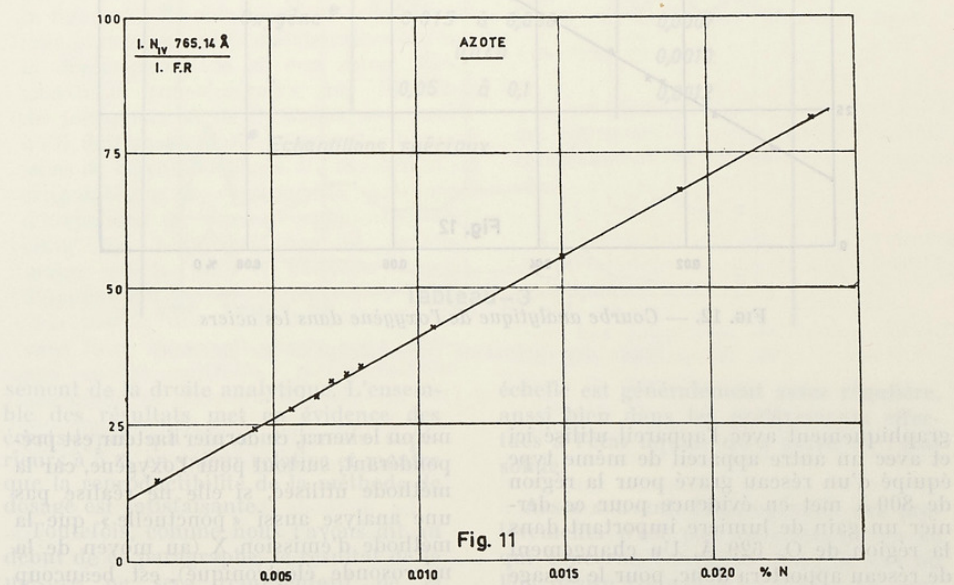


FIG. 11. — Courbe analytique de l'azote dans les aciers

La droite analytique (fig. 12) est tracée à partir des étalons fer-oxyde de fer dont nous avons indiqué plus haut le mode de préparation.

En ce qui concerne la pente de la droite de dosage, il convient de remarquer que la raie O_V 629 Å est située au bord du domaine spectral accessible à un réseau utilisé en incidence normale, d'autant plus que ce dernier a été gravé de façon à concentrer la lumière vers 1.700 Å dans le premier ordre. La comparaison des spectres enregistrés photo-

de chiffrer, mais dont on peut estimer d'après les comparaisons précédentes qu'il serait supérieur à 5.

E) REPRODUCTIBILITÉ.

Il y a lieu d'établir une distinction entre la reproductibilité de la méthode d'émission et la reproductibilité d'un dosage, cette dernière étant fonction d'une part de la première et d'autre part de l'homogénéité de l'échantillon. Com-

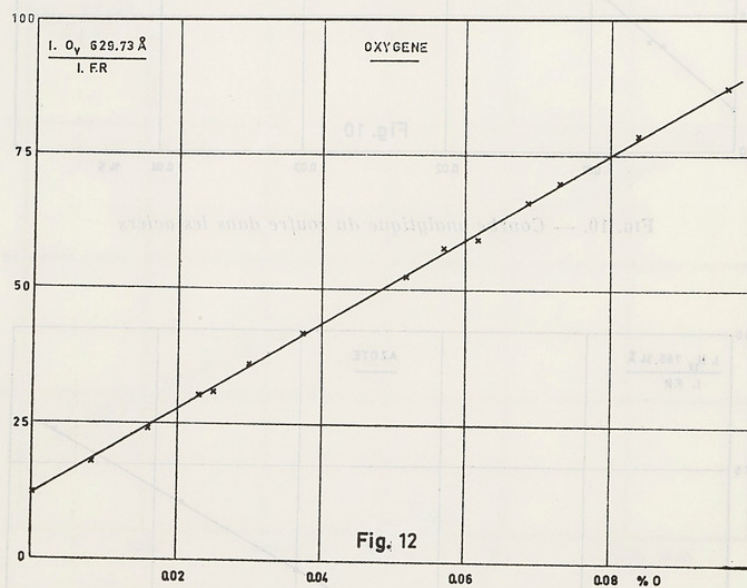


Fig. 12. — Courbe analytique de l'oxygène dans les aciers

graphiquement avec l'appareil utilisé ici et avec un autre appareil de même type équipé d'un réseau gravé pour la région de 800 Å met en évidence pour ce dernier un gain de lumière important dans la région de O_V 629 Å. Un changement de réseau apportera donc, pour le dosage de l'oxygène, une amélioration de la sensibilité dans un rapport qu'il est difficile

me on le verra, ce dernier facteur est prépondérant, surtout pour l'oxygène, car la méthode utilisée, si elle ne réalise pas une analyse aussi « ponctuelle » que la méthode d'émission X (au moyen de la microsonde électronique), est beaucoup moins « massique » que l'analyse chimique.

Une étude statistique (17) de la reproductibilité de la méthode a été effectuée à partir des résultats correspondant à 40 échantillons d'acier Thomas effervescents, prélevés par aspiration à la fin de l'élaboration. Les résultats de cette étude figurent dans le tableau 3 où l'on a également mentionné, pour l'oxygène, l'écart-type correspondant aux échantillons plus homogènes utilisés pour l'établis-

nier est suffisante, à l'échelle des quantités de matières qui participent à l'émission lors de l'étincelage. Ces quantités sont faibles. Une série complète de mesures, reproduite deux fois et portant sur une cinquantaine d'étincelles, correspond à une consommation d'électrode de l'ordre de 1 mg.

Pour la plupart des éléments analysés (C, N, S, P, Si, As), la distribution à cette

PRECISION des DOSAGES

Elément	Domaine de concentration (en %)	Ecart-type (en %)
Carbone	0,01 à 0,04	0,0013
Silicium	0,002 à 0,030	0,0007
Phosphore	0,003 à 0,045	0,0008
Soufre	0,016 à 0,032	0,0005
Azote	0,003 à 0,011	0,0003
Oxygène *	0,015 à 0,030	0,0007
"	0,040	0,0010
"	0,05 à 0,1	0,0012

* Echantillons spéciaux

Tableau - 3

sement de la droite analytique. L'ensemble des résultats met en évidence des écarts-types qui ne sont jamais supérieurs à 5 % en valeur relative et montre que la reproductibilité de la méthode de dosage est satisfaisante.

Toutefois, comme nous l'avons dit au début de ce paragraphe, le résultat de la mesure ne sera représentatif de la concentration dans l'échantillon que dans le cas où l'homogénéité de ce der-

rière est généralement assez régulière, aussi bien dans les prélèvements effectués à l'état liquide qu'à partir de l'état solide.

Assez souvent, l'homogénéité des prélèvements n'est pas satisfaisante en ce qui concerne l'oxygène. Pour le cas où l'on désire connaître la teneur en oxygène moyenne dans un bain d'acier liquide, on doit rechercher un procédé

de prélèvement comportant un calmage local, qui permette d'obtenir, après solidification, un échantillon homogène et représentatif. Des travaux sont en cours

d'être liées à la distribution des éléments dans le matériau (18). Cette question importante mérite d'être analysée plus en détail.

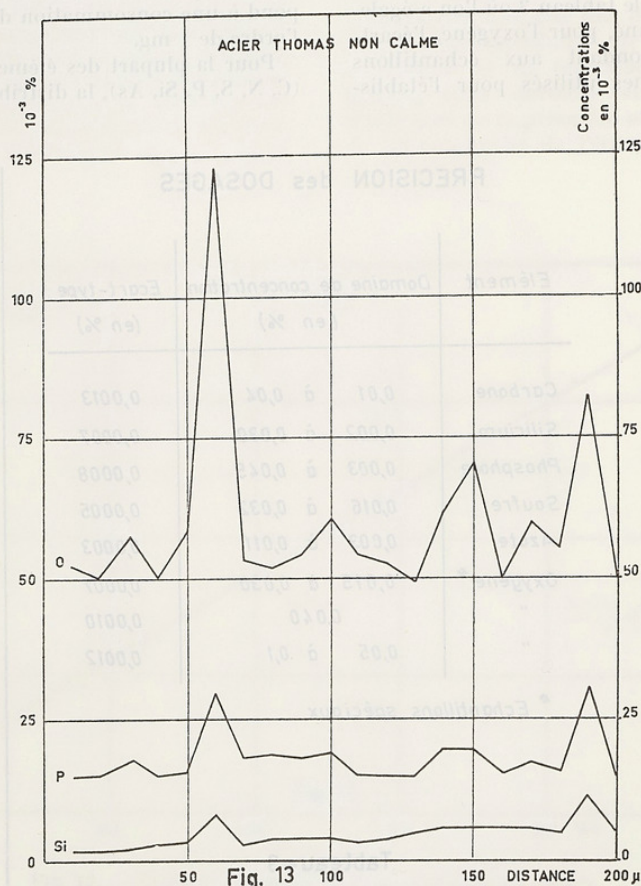


Fig. 13. — Etude des inclusions (silicophosphate de calcium)

à l'IRSID à ce sujet (16) ; la description des essais effectués sortirait du cadre de cet exposé ; signalons seulement que le calmage classique à l'aluminium donne une distribution irrégulière des amas d'alumine et ne résout pas le problème posé. Mais les fluctuations des valeurs données par la méthode présentent, par contre, l'intérêt considérable

F) ETUDE DES HÉTÉROGÉNÉITÉS (SÉGRÉGATIONS, INCLUSIONS).

La méthode de spectrométrie d'émission dans l'ultraviolet lointain peut, précisément parce qu'elle utilise une quantité minime de matière, être mise à profit pour l'étude des hétérogénéités locales.

L'examen de l'extrémité des électrodes montre que, au cours de la période de flambage, celle-ci, initialement conique, prend progressivement la forme d'une calotte arrondie qui se modifie peu par la suite, mais se décale au fur et à mesure de l'étincelage par suite de la consommation de matière, d'une quantité de l'ordre de $0,4 \mu$ par étincelle. Si l'on admet que la surface intéressée par l'étincelle correspond à peu près à un cercle de 3 mm de diamètre, chaque étincelle correspond à la vaporisation de $0,003 \text{ mm}^3$ de métal environ, soit un peu plus de $20 \mu\text{g}$.

Des essais préliminaires (19) ont été effectués pour voir quel pourrait être l'intérêt de suivre l'évolution de la composition au cours d'étincelages successifs : chaque intégration comporte 25 étincelles, c'est-à-dire une tranche de métal de 10μ d'épaisseur, soit $500 \mu\text{g}$. Les mesures ont été faites généralement sur 20 séries de 25 étincelles, soit 200μ : l'usure de l'électrode est alors assez faible pour que sa position sur l'axe optique reste satisfaisante. A titre d'exemple, la figure 13 est relative à un acier Thomas prélevé en cours d'élaboration après la déphosphoration et non calmé. Les variations concomitantes du silicium, du phosphore et de l'oxygène montrent qu'il doit rester dans le bain des inclusions de silico-phosphate. Un examen micrographique a confirmé la présence d'inclusions de silico-phosphate de calcium (20). L'interprétation est parfois moins simple, mais ce nouveau champ d'application de la spectrographie sous vide justifie une étude approfondie devant faire intervenir divers paramètres non encore contrôlés : refroidissement énergétique de l'électrode, recherche des moyens propres à diminuer les dimensions de l'aire explorée, etc.

AUTRES POSSIBILITES ANALYTIQUES INTERESSANT DIRECTEMENT LA SIDERURGIE.

A) ANALYSE DES MÉTALLOÏDES DANS LES FONTES.

La difficulté majeure du dosage du carbone dans les fontes par spectrométrie d'émission est la présence simultanée de graphite et de cémentite dans la matrice. Pour éviter la formation de graphite, la masse de l'échantillon doit être petite et son refroidissement très rapide. Ce qui est le cas pour les prélèvements par aspiration de baguettes de petit diamètre.

Cette question de prélèvement résolue, la difficulté pour le dosage des métallobides dans les fontes, sur le spectrographe sous vide, est liée à la réabsorption des raies de résonance que nous utilisons dans le domaine des concentrations élevées généralement rencontrées dans les fontes.

L'utilisation de raies appartenant au spectre des ions à deux électrons externes (C_{III} , Si_{II} , P_{IV}) permettra sans doute d'obtenir des résultats meilleurs.

B) ANALYSE DES MÉTALLOÏDES DANS LES FERS PURS.

Le problème de l'analyse des fers purs, qui concerne le dosage des traces, intéresse surtout les laboratoires de recherches.

La sensibilité de détection des traces de métallobides est liée à deux facteurs principaux :

a) Les propriétés du réseau de diffraction, caractérisé par son rendement dans le domaine de longueur d'onde considéré (produit du pouvoir réflecteur par la répartition spatiale de l'énergie due au profil particulier des traits) et par son « bruit de fond » (lumière diffusée).

b) Il est évident que la nature du spectre dépend des conditions d'excitation. En particulier, le fond spectral comprend la lumière diffusée par le réseau

(paragraphe a), mais aussi un spectre constitué par la vaporisation des électrodes (21), (22). L'intensité de ce spectre décroît très vite lorsque l'énergie dépensée dans l'étincelle diminue, et surtout lorsque le rapport capacité-self décroît. On doit donc rechercher les conditions minimales d'énergie, compatibles avec une reproductibilité suffisante des étincelles. La figure 14 illustre ces données.

Une étude prospective effectuée par voie photographique a montré que le spectre fourni par l'étincelle sous vide, excitée dans les conditions de haute énergie nécessaire pour l'obtention des ions de haut degré d'ionisation, comportait également les spectres d'ions de faible ionisation (émis vraisemblablement dans la phase finale de l'étincelle). On retrouve les raies sensibles couramment utilisées en analyse spectrographique classique. Ainsi, nous avons pu observer les

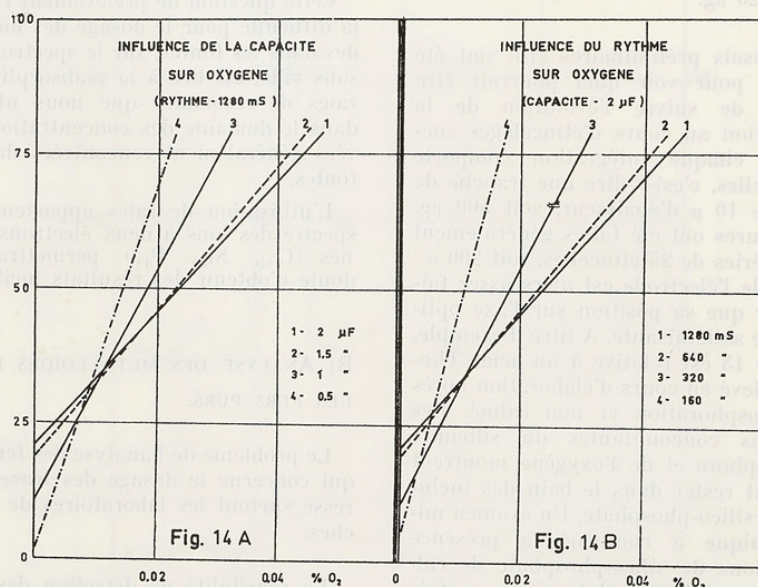


FIG. 14. — Variations de pente de la droite de dosage de l'oxygène : a) en fonction de la capacité du générateur d'étincelles ; b) en fonction du rythme des décharges

C) ANALYSE DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES DANS LES ACIERS.

On conçoit l'intérêt du dosage simultané des métaux et des métalloïdes dans l'étude des hétérogénéités et il n'est pas besoin d'insister sur le fait que cette possibilité supplémentaire donnerait à la méthode un caractère universel.

raies du cuivre Cu_{II} 2.135-2.192 Å, du nickel Ni_{II} 2.270-2.316 Å, du manganèse Mn_{II} 2.576-2.593 Å, du chrome Cr_{II} 2.677 Å. Pour les éléments dont la couche externe est pauvre (3^e colonne de la classification périodique), on obtient également le doublet de résonance de l'ion à un électron externe A_{III} 1.854-1.862 Å et B_{III} 2.065-2.067 Å. Le dosage

en lecture directe a été effectué pour le manganèse, le chrome, en utilisant des raies de moindre sensibilité, et l'aluminium avec la raie Al_{III} 1.862 Å (fig. 15).

Etant donné cette extension de la méthode à des ions et des raies de moindre énergie, il est souhaitable de pouvoir augmenter le domaine d'observation vers

tube métallique ayant le diamètre des électrodes habituelles : la très grande énergie dissipée à l'extrémité de l'anode permet la vaporisation et l'excitation du matériau (22), (23). Le premier problème qui se pose est celui du prélèvement de l'échantillon à analyser, celui-ci doit être effectué très rapidement. Le mode

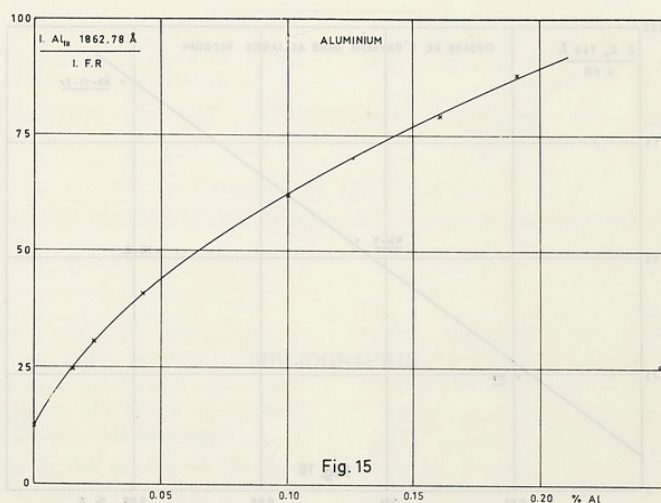


Fig. 15. — Courbe analytique de l'aluminium dans les aciers.

les grandes longueurs d'onde, ce qui est en cours d'étude. Une nouvelle sortie photoélectrique couvrira tout le spectre entre 300 et 4.000 Å.

D) ANALYSE DE MATÉRIAUX NON CONDUCTEURS (LAITIERS).

L'analyse d'un matériau non conducteur peut être effectuée en introduisant celui-ci sous forme de poudre dans un

opérateur en cours d'essai est le suivant : le laitier est prélevé par aspiration à l'état liquide dans un petit tube métallique. Le tube contenant le laitier solidifié est mis en place comme un échantillon normal dans la pince porte-électrode et étincelé. Le tube doit être constitué par un métal à point de fusion suffisamment élevé et, d'autre part, les raies d'émission de ce métal ne doivent pas perturber le spectre des éléments à détec-

ter. Le titane répond à ces deux impératifs et les essais entrepris sont prometteurs. Il faudra ensuite choisir les raies d'émission en fonction des fortes concentrations à doser.

riaux que le fer. Des travaux antérieurs (22), (24) avaient montré par des mesures faites par voie photographique qu'elle était applicable au dosage de l'oxygène et de l'azote dans le titane.

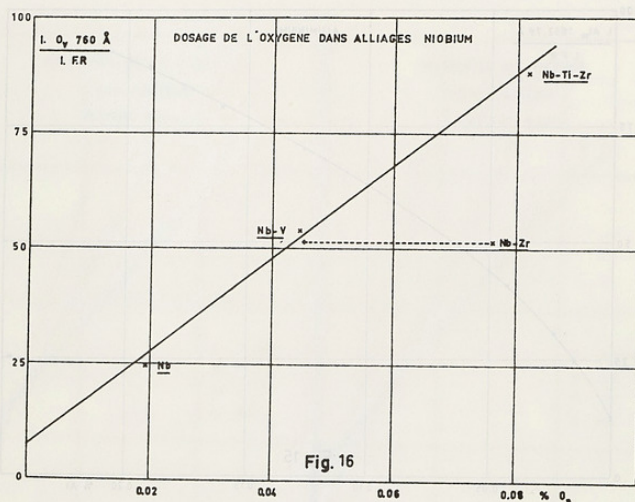


Fig. 16. — Courbe analytique de l'oxygène dans les alliages de Nb

AUTRES DOMAINES D'APPLICATION

La méthode d'analyse directe des métalloïdes et gaz dans l'ultraviolet lointain peut être étendue au cas d'autres maté-

Nous avons montré récemment, au cours d'essais de caractère préliminaire, qu'il était possible d'effectuer le dosage des gaz dans des métaux réfractaires, tels que tantale, tungstène, niobium (fig. 16).

D'autres bases métalliques : aluminium, magnésium, béryllium, cuivre, etc., peuvent être étudiées ; dans chaque cas, une étude approfondie est nécessaire pour définir non seulement les raies à utiliser, mais aussi pour préciser les

conditions d'étincelage, qui semblent différentes ; le développement de l'étincelle est fonction de paramètres encore mal définis, parmi lesquels interviennent certainement les conductibilités électrique et thermique du métal.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) G. R. HARRISON, R. C. LORD et J. R. LOOFBOUROW. — *Practical Spectroscopy*. Practice Hall N. Y. (1948), 426.
- (2) *Hilger Journal* (1957), 4, 19.
- (3) E. LUSCHER. — *La Metallurgia Italiana*, IV^e Session spectro-chim. (1956), 48.
- (4) M. DE BELDER et M. LAMBION. — *Revue M.B.L.E.* (1960), 3, 125.
- (5) G. BALLOFFET et J. ROMAND. — *C.R. Acad. Sci.* (1956), 242, 2333.
- (6) W. F. MEGGERS. — *J.O.S.A.* (1941), 31, 39 et 605.
- (7) G. BALLOFFET et J. ROMAND. — *J. Phys.* (1955), 16, 489 et 491.
- (8) J. ROMAND et B. VODAR. — *J. Phys. Rad.* (1958), 19, 732.
- (9) H. DAMANY. — *Communication personnelle*. Article en cours de rédaction.
- (10) J. ROMAND et R. BERNERON. — *Comptes rendus du IX^e Colloquium Spectroscopicum Internationale*, Lyon (1961), t. II.
- (11) J. ROMAND et R. BERNERON. — *V^e Colloque de Metallurgie*, C.E.N. Saclay (1961).
- (12) H. E. HINTEREGGER et K. VATANABE. — *J.O.S.A.* (1953), 43, 604.
- (13) M. BRUNET, C. JEHANNO, C. JULLIOT et A. TARRIUS. — *L'onde électronique* (1962), 426, 746.

- (14) M. BRUNET, C. JEHANNO, C. JULLIOT et A. TARRIUS. — *Rapport C.E.A., DE/EAEP/1703/236.*
- (15) J. ROMAND, C. BACHET et R. BERNERON. — *Mém. Sci. Rev. Métal.* (1961), 58, 481.
- (16) G. CAVALIER. — *Mém. Sci. Rev. Métal.* (1964), 61, 221.
- (17) J. ULMO et T. CHPILOTOFF. — *Rapport intérieur IRSID.*
- (18) R. BERNERON et J. ROMAND. — *Mém. Sci. Rev. Métal.* (1964), 61, 209.
- (19) L. BEAUJARD, G. CAVALIER, R. ROCHE et R. BERNERON. — *Mém. Sci. Rev. Mét.* (1965), 62, n° 7-8, 675-680.
- (20) L. BEAUJARD, R. ROCHE et G. CAVALIER. — *Mém. Sci. Rev. Métal.* (1965), 62, n° 7-8, 667-674.
- (21) G. BALLOFFET, J. ROMAND et B. VODAR. — *C.R. Acad. Sci.* (1961), 252, 4131.
- (22) G. BALLOFFET. — *Ann. Phys.* (1960), 5, 1243.
- (23) J. ROMAND, G. BALLOFFET et B. VODAR. — *J. Phys. Rad.* (1959), 20, 510.
- (24) J. ROMAND, G. BALLOFFET et B. VODAR. — *Spectroch. Acta* (1959), 454.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) G. R. HARRISON, R. C. LUND et J. H. JACOBSON. — *Functional Spectroscopy*, Prentice Hall N. Y. (1968), 420.
- (2) Hilpert Journal (1957), 4, 19.
- (3) E. LASCAR. — *La Métallurgie Moderne*, 17, Session spectro-chim. (1960), 18.
- (4) M. de BERNIER et M. LAMON. — *Revue M.A.E.* (1960), 2, 125.
- (5) G. BALLOFFET et J. ROMAND. — *C.R. Acad. Sci.* (1960), 245, 3332.
- (6) W. K. JACOBSON. — *J.O.S.A.* (1941), 31, 430 et 605.
- (7) G. BALLOFFET et J. ROMAND. — *A. Phys.* (1960), 5, 1243 et 1241.
- (8) J. ROMAND et B. VODAR. — *A. Phys.* (1960), 5, 1243.
- (9) H. DUMAS. — *Communication personnelle*, Article en cours de rédaction.
- (10) J. ROMAND et R. BERNERON. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences et des Lettres de l'Institut National de la Recherche Scientifique*, Paris (1961), 4, 11.
- (11) J. ROMAND et R. BERNERON. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences et des Lettres de l'Institut National de la Recherche Scientifique*, Paris (1961), 4, 11.
- (12) H. E. HARRISON et R. C. LUND. — *J.O.S.A.* (1963), 42, 501.
- (13) J. ROMAND, C. JEHANNO, C. JULLIOT et A. TARRIUS. — *A. Phys.* (1963), 12, 718.

LA TRADUCTION AUTOMATIQUE *

Introduction de M. l'Ingénieur Général P. Nicolau

Président de L'A.T.A.L.A.

Ancien Président du Comité des Arts mécaniques de la Société d'Encouragement

A mesure que, sur cette terre, l'espace et le temps qui nous séparent s'amenuisent, nous prenons peu à peu conscience que la pire malédiction de l'humanité fut la confusion des langues.

Imagine-t-on le raz de marée de pensée qui, pour le meilleur et pour le pire, une fois jetées bas les barrières du verbe, déferlerait à travers le monde... et, qui sait, à force de se comprendre, les hommes n'en viendraient-ils pas un jour à s'entendre, sinon à s'aimer ?

Après l'échec du latin à s'imposer comme langue universelle des peuples cultivés, après les vaines tentatives du volapük, de l'espéranto et en dépit de l'infiltration progressive à travers le monde d'un patois anglo-saxon que chacun parle et entend à sa façon, comment les machines automatiques, qui mieux et plus vite que l'homme accomplissent cer-

taines démarches de l'esprit, n'éveilleraient-elles pas les espoirs de ceux qui rêvent à « débabeliser » le monde ?

Déjà, quelques années avant la dernière guerre, en 1933, un ingénieur français d'origine arménienne, Georges Artsrouni, avait réalisé, sous le nom de « cerveau mécanique », la première machine à traduire **. Après avoir été l'un des clous de l'Exposition universelle de Paris 1937, cette machine vient d'être pieusement recueillie par le C.N.A.M. en son musée, avec tant d'autres vestiges du passé avec quoi s'est fait l'avenir.

L'avenir, ce fut la « fée électronique » qui, au lendemain des années tragiques, en apporta le germe. Elle eut tôt fait de vaincre les lenteurs de la lourde mécanique de notre génial précurseur, d'en exacerber la mémoire tout en la condensant.

* Conférence faite le 11 mars 1965 à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale et organisée avec le concours de l'A.T.A.L.A., Association pour l'Etude et le Développement de la Traduction automatique et de la Linguistique appliquée, sous la Présidence de M. J. Lecomte, Membre de l'Institut.

** Michael Corbe, « Automatisme ». T. V, n° 3, mars 1960, p. 87 à 91.

Au « cerveau électronique » s'ouvraient désormais d'immenses horizons.

Un peu partout, on y courut, aux U.S.A., en U.R.S.S., au premier rang, bien sûr. Mais il apparut bientôt, qu'en dépit des progrès incessants des calculateurs à tout faire de l'automatique d'aujourd'hui, les efforts des électroniciens ne sauraient ici suffire pour aboutir, sans le secours des tenants de la logique mathématique et de la linguistique. En fait, partout, les calculateurs ont renvoyé la balle aux linguistes*.

Ce fut la raison essentielle pour laquelle chez nous, en 1959, M. Delavenay, avec la poignée d'hommes déjà engagés dans les recherches, quelques apôtres et un quarteron de croyants, s'employa à créer l'Association pour l'Etude et le Développement de la Traduction automatique et de la Linguistique appliquée (A.T.A.L.A.)..., en un mot, le forum où, en toute liberté, puissent, au jour le jour, se réaliser, entre électroniciens, mathématiciens et linguistes, les mariages capables de promouvoir l'indispensable recherche inter-disciplinaire.

A.T.A.L.A. s'est aussi donnée pour mission d'assurer, ne serait-ce que par la publication de son bulletin périodique qui constitue pour ainsi dire le liant de son conglomerat national, la représentation de la pensée française au sein du mouvement d'idées qui se développe sur le plan international.

Une poignée d'hommes, ce conglomerat, ai-je dit, mais quels hommes et quelles équipes déjà, car vous pensez bien que nos services de recherches — l'initiative individuelle et le dévouement de chacun à la chose publique aidant — ne sont pas restés inactifs :

C'est d'abord, comme il se doit, le C.N.R.S. :

— A Grenoble, sous la direction d'un mathématicien, M. Vauquois, Vice-Président d'A.T.A.L.A. : le C.E.T.A.G.

— A Nancy, sous la direction de deux

linguistes, MM. Pottier et Bourquin : le C.E.T.A.N.

— A Besançon, le Centre de lexicologie, dirigé par M. Quémada.

— Les centres de recherches de Rennes (M. Benzécéri), de Strasbourg (M. Weil).

Dans l'industrie privée, le Centre de recherches de I.B.M. France (MM. Moreau, Tabory, actuellement détaché aux E.U., et Mlle Mommey) et aussi, pour mémoire, le concours apporté en son temps par la C^{ie} des Machines Bull.

Il faut par ailleurs souligner tout particulièrement l'œuvre du Centre de linguistique quantitative de la Faculté des Sciences de Paris, que dirigeait jusqu'à sa mort récente notre éminent collègue le professeur Favard. Ce Centre s'attache en effet à former, par un haut enseignement, une pépinière de chercheurs bivalents :

- linguistes confirmés, initiés aux disciplines mathématiques,
- mathématiciens ouverts aux problèmes linguistiques.

Et il convient de rendre hommage à la pléiade de grands professeurs en Sorbonne qui, bien que dépourvus de moyens matériels de recherche, entraînent une jeunesse ardente et enthousiaste sur les voies de la traduction automatique, grâce à leur ferveur désintéressée. Au premier rang de ces apôtres, je me plais à citer les noms des professeurs Gougenheim, Vice-Président de A.T.A.L.A., Fourquet et Cucioli.

Pour terminer cette énumération encore trop brève, et sans doute incomplète, mais si riche de promesses :

— l'Institut Blaise-Pascal de Paris, où, tandis qu'un mathématicien, M. Lentin, se consacre aux problèmes de programmation, M. le professeur de Possel poursuit de belles recherches sur la lecture automatique ;

— L'Ecole d'Ingénieurs électroniciens et l'Institut de phonétique de Grenoble,

* Andrew Booth, « Automatisme », T. IV, n° 3, mars 1959, p. 96 à 100.

enfin, où M. le professeur Gsell se consacre à l'analyse et à la synthèse de la parole, en vue notamment de permettre un jour la lecture automatique des textes parlés.

Il s'agit là, au total, de faire que la machine sache lire et entendre. Aussi bien, sait-elle déjà écrire et parler.

Au nom de tous ces hommes d'avant-garde et de leurs équipes de chercheurs, de leurs disciples, je vous prie, Monsieur le Président, d'agréer notre très vive gratitude pour l'accueil que vous avez bien voulu réserver à notre jeune Société.

Aussi bien me direz-vous, depuis 165 années, il est dans la tradition de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale de donner aux « défricheurs » des sciences et techniques industrielles le garant de sa haute autorité,

l'aide morale qui, pour le bien de la collectivité, les garde de désespérer.

M. Delavenay, M. Gentilhomme vous diront les longs et durs chemins où sont engagés les hommes d'A.T.A.L.A., à la recherche d'une inaccessible perfection, parmi les écueils des syntaxes, dans les pénombres sémantiques. Je ne saurais cependant douter que, forts de la sollicitude et de l'appui de votre grande Société, et pleinement conscients de la haute élévation de la mission salvatrice à laquelle ils sont associés, ils ne soient un jour récompensés de leur patient labeur.

Puissent-ils seulement entendre la voix du grand réalisateur, le Général Estienne, le père des chars de combat de 1918 — qui a guidé tant d'ingénieurs militaires de ma génération : « Réaliser, c'est accepter délibérément de faire une œuvre imparfaite. »

La traduction automatique

Principes et perspectives

par M. EMILE DELAVENAY,

ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure, Agrégé d'anglais,

Président-fondateur de l'A.T.A.L.A.

Dans le but d'introduire le sujet de la traduction automatique à un public non spécialisé, je me propose essentiellement de donner à mes auditeurs une idée de ce dont il s'agit sur le plan scientifique et sur le plan pratique et un aperçu des recherches très variées auxquelles la traduction automatique a donné lieu. M. Gentilhomme parlera après moi d'un aspect important de ces recherches, les travaux, qu'il connaît de première main, effectués en U.R.S.S. depuis une dizaine d'années.

LA TRADUCTION AUTOMATIQUE DES LANGUES NATURELLES.

Qu'entend-on par chacun des termes de cet énoncé ?

Le mot *traduction* est susceptible d'être entendu avec diverses significations. La *sténographe* « traduit » ses notes ; le *bibliographe* « traduit » les caractères cyrilliques ou les idéogrammes chinois en caractères romains. Nous avons affaire ici à des transpositions littérales ou translittérations. La *calculatrice électronique*, qui reçoit un programme en langage synthétique ou langage de programmation, le « traduit »

dans son langage d'instructions. L'interprète, qui écoute un discours en espagnol et en reproduit le sens en allemand, traduit également : le mot a ici un autre sens. Nous lui donnons dans cet exposé un sens restrictif : la traduction sera pour nous seulement l'expression dans les mots d'une langue du sens d'un énoncé écrit ou prononcé dans une autre langue.

Il convient de souligner ce qui fait l'originalité et la complexité de ce processus : il tient compte de tous les niveaux auxquels peut s'analyser une langue, niveau phonémique, niveau graphémique, niveau morphémique, niveau syntaxique, et niveau sémantique.

Chez l'homme qui traduit, cette opération est, ou paraît, partiellement intuitive : elle est toujours complexe comme celle qui consiste à comprendre un énoncé. Dans la plupart des cas, l'esprit appréhende tous les niveaux à la fois, interprétant l'un par l'autre, au besoin reconstituant ce qui peut manquer à l'un grâce à l'information apportée par un autre. On peut dire que l'esprit du traducteur effectue simultanément des opérations correspondant à plusieurs programmes distincts. Nous concluons donc que la traduction est une opération complexe.

S'il s'agit de traduction automatique, il sera nécessaire, pour obtenir cet automatisme de la part d'une machine, d'élaborer pour cette machine un programme qui la rende capable de créer une phrase quelconque dans une langue donnée, à partir d'une phrase quelconque dans une autre langue, et ayant le même sens qu'elle. L'automate devra pouvoir prendre une phrase russe quelconque, par exemple, et « engendrer » une phrase française correcte ayant le même sens.

Il s'agit donc de préparer pour cette machine un programme qui puisse s'appliquer, sans intervention humaine, à n'importe quel énoncé dans la langue de départ ou langue source.

Qu'est-ce enfin qu'une *langue naturelle* ? Le dictionnaire nous dit qu'une langue est un système d'expression propre à un groupe humain donné — par exemple la langue française, la langue anglaise. Si le concept de langue tombe sous le sens, celui de langue naturelle, par contre, ne se définit que par contraste avec — non pas les langues artificielles comme l'espéranto, — mais les langages formels, normalisés, ou construits, avec lesquels nous ont familiarisés les mathématiciens.

Ainsi, le langage d'une calculatrice est un langage formel, rigoureux, suite de chiffres binaires, ordonnés de telle façon qu'ils commanderont dans la machine une suite de changements d'état ou d'opérations exactement prévus. Ce n'est pas une *langue*, servant de système d'expression à un *groupe humain*, mais un langage ; de même l'algèbre est un langage. La chimie a son langage propre. Dans chacun de ces cas, il y a définition rigoureuse de la signification exacte de chaque mot, de chaque signe, qui représente soit une substance, soit une quantité, soit une opération. Les signes de ces langages formels sont univoques.

Les langues naturelles diffèrent de ces langages construits par les caractères suivants :

a) étant un héritage social, elles contiennent l'apport des âges écoulés

qui y constitue une sédimentation importante et inconsciente et ceci sur tous les plans, orthographe, phonétique, vocabulaire, syntaxe, signification logique ou charge émotive des mots ;

b) elles sont un moyen de communication fort approximatif ; comprises, ou peu s'en faut de chaque membre du groupe, elles se prêtent à de nombreux malentendus. Plus le groupe est vaste, plus ses liens sémantiques et logiques tendent à se relâcher. Chaque membre du groupe comprend un nombre d'expressions largement supérieur à l'ensemble de celles qu'il emploie communément ;

c) elles sont très riches et ont une immense capacité d'expression ; il suffit pour s'en convaincre de songer à la richesse des grandes littératures nationales ;

d) elles englobent toutes sortes de langages spécialisés, langages scientifiques et techniques (y compris des langages formels), argots de métiers, langues provinciales, etc...

De ce qui précède, on peut conclure que, tandis que les langages formels, par exemple l'algèbre de Boole, se prêtent presque instantanément aux méthodes de travail des calculatrices ou des machines « à états finis », les langues naturelles demandent, afin d'être traitées dans toute leur complexité par des machines, l'élaboration de programmes infiniment plus complexes. C'est de cette intuition que provient la vieille opposition suscitée chez nos « littéraires », par l'ambition des scientifiques d'automatiser la traduction des langues naturelles.

Automatiser la traduction des langues naturelles, c'est donc constituer des programmes permettant la précision, et le traitement par la machine de n'importe quelle phrase d'une langue : c'est donc implicitement admettre que les éléments rigoureusement nouveaux dans des énoncés futurs ne représentent qu'une petite fraction, négligeable en pratique,

du total des énoncés. C'est aussi admettre que la variété des combinaisons passées et futures possibles peut être couverte par des programmes préétablis. On mesure la hardiesse des postulats sur lesquels se fondent les travaux déjà accomplis.

Réduites à leur plus simple expression, et supposant acquises l'entrée des mots d'une phrase dans la machine et la sortie de la traduction, les opérations de traduction seront essentiellement les suivantes :

- identification de chaque mot de la phrase avec un mot du dictionnaire enregistré dans les mémoires de la machine ;
- établissement de l'équivalence de ce mot avec un mot de la langue de sortie.

Les mots pouvant assumer des formes diverses avec le genre, le temps du verbe, etc..., il y aura des sous-programmes de réduction de désinences, recherche du radical ou de la base du mot ; les mots ayant souvent plus d'un sens selon le contexte, il y aura une recherche des sens possibles dans le contexte de ces mots polysémiques ; l'analyse des structures syntaxiques sera un aspect important de la programmation, car elle doit se faire pour lever un certain nombre d'ambiguïtés dans des phrases susceptibles de diverses constructions. Analyses morphologiques des mots ; un premier degré d'analyse sémantique des significations possibles de ces mots ; analyse structurale de la syntaxe des phrases et de leurs éléments principaux, enfin un second degré d'analyse des structures sémantiques des langues, voilà quelles seront les principales étapes linguistiques du travail de programmation qui doit aboutir à une traduction automatique de bonne qualité.

Il était normal que la recherche, des précurseurs aux chercheurs actuels, dans leurs premières tentatives, porte à la fois un peu sur tous les aspects, avant de s'organiser plus logiquement et de se faire une méthodologie. D'ailleurs, les

aspects proprement linguistiques de ce travail étaient au départ quelque peu obnubilés par la nécessité de préparer l'entrée et l'enregistrement en machine des données proprement linguistiques. C'est, par exemple, sur ces aspects techniques de l'automatisation qu'ont largement porté les premiers travaux de Booth dès 1946, puis ceux de Richens.

Ce n'est qu'à partir de 1952 que l'on a pu se concentrer sur la syntaxe grâce à des machines permettant des programmes plus complexes et des retours en arrière dans l'exploration des structures. C'est ainsi que l'on a passé, petit à petit, des recherches sur l'entrée des mots dans la machine et sur le découpage des mots pour leur classement dans le dictionnaire, à des travaux sur la syntaxe, sur les rapports cachés, non signalisés extérieurement, entre les mots d'une même phrase. Une étape décisive a été l'étude par E. Reifler des rapports entre les éléments des mots composés allemands.

Vers 1955, au moment où les recherches se généralisent dans le monde, on pense moins aux méthodes de traitement du langage par la machine qu'à l'analyse structurale du langage lui-même qui doit permettre une programmation automatique. On peut dire qu'à ce moment la *linguistique mathématique* a acquis droit de cité dans le monde savant.

De 1955 à 1961, on a vu se multiplier les centres de recherches particulièrement aux Etats-Unis. Certains ont poursuivi leurs travaux selon des méthodes plus ou moins empiriques, tandis que d'autres recherchaient soit un principe général d'association entre les mots dans la phrase (Rand, David Hays), soit une théorie générale de la traduction et de la signification (M.I.T.) : Yngve ; Austin, Texas : Lehman ; Berkeley : Lamb).

Mises à part des divergences d'écoles, sur quoi portent aujourd'hui les recherches ?

1° Sur une théorie mathématique de la structure des phrases, que l'on essaye

de représenter par des graphes, selon une méthode explorée par le Français Tesnière et par l'Américain Chomsky, puis en France par Yves Lecerf. On s'efforce de construire des grammaires interprétatives dites « hors contexte », c'est-à-dire dans lesquelles les éléments de structure se suffisent à eux-mêmes sans avoir à être interprétés à l'aide de la signification des termes.

2° On élabore des « grammaires génératives », c'est-à-dire des règles susceptibles de mettre une machine en mesure de former des phrases reconnaissables comme étant « françaises », « anglaises », etc... D'excellents exemples de ces phrases se trouvent dans la communication de M. Yngve, dans le recueil publié par les Presses Universitaires de France sous le titre : « Traduction automatique et linguistique appliquée ».

3° On élabore des programmes d'analyse syntaxique semi-heuristiques, par exemple : « L'analyse prédictive », de Mme Ida Rhodes, reprise par M. Oettinger à Harvard ; chaque mot d'une phrase donne lieu à une « prédiction » par la machine, des rôles possibles du mot suivant. Le programme analyse la phrase de gauche à droite, mot après mot, formule les hypothèses nécessaires, les vérifie et résout, dans une forte proportion des cas, la structure générale de la phrase.

4° On démontre la difficulté de semblables solutions ; d'où la recherche de procédés de filtrage permettant de réduire le nombre de combinaisons que le programme devra explorer. Yves Lecerf a montré (*La traduction automatique*, vol. 2, n° 2-3, septembre 1961) que la phrase : « Le page brise la pointe de la lance », comporte théoriquement au moins 288 combinaisons que la machine devrait explorer si on ne la mettait pas en mesure d'abréger cette recherche.

5° On cherche des programmes simplifiés, qui savent prendre des options — comme le ferait un traducteur devant une phrase qu'il ne comprend pas d'em-

blée (cf. les travaux de B. Vauquois au C.E.T.A., Grenoble).

6° On recherche des algorithmes exprimant sous forme mathématique les relations entre les mots (Olga Kulagina).

7° On travaille sur le substrat intuitif du langage pour tenter de comprendre ce qui détermine la signification (la « Sphère notionnelle » de S. Ceccato).

8° On étudie les bases d'une « langue intermédiaire » susceptible d'exprimer tout l'essentiel de ce qu'exprime chaque langue naturelle (N. D. Andreev, V. V. Ivanov).

En 1961, la Conférence Internationale de Teddington a permis de constater que les études morphologiques étaient très avancées ; que les études de syntaxe, d'analyse automatique de la phrase étaient en plein essor et s'orientaient de plus en plus vers l'exploration des confins de la syntaxe et de la sémantique.

Les études de sémantique proprement dites — et notamment des équivalences de mots de langue à langue — étaient encore relativement peu avancées, mais pouvaient se fonder sur les dictionnaires bilingues existants.

Depuis Teddington, il y a eu aux Etats-Unis une réduction du nombre des entreprises de recherche. Ont subsisté celles qui se penchent sur des problèmes fondamentaux de structure du langage. La traduction automatique apparaît possible dans certaines limites : la machine peut déterminer la structure d'une phrase, utiliser un dictionnaire bilingue avec une certaine efficacité, mais sans certitude absolue, ressemblant en cela à un traducteur qui ne connaît pas le sujet. Les progrès les plus rapides se feront lorsque sera possible la lecture automatique des textes par la machine, car, alors la traduction automatique plus ou moins « dégrossie » de textes volumineux deviendra possible à peu de frais.

D'ici là, de nombreuses applications sont déjà réalisables : ce sont notamment l'étude du langage à l'aide des

machines — réalisation de dictionnaires annotés, passages en machine de « classes » de mots — verbes gouvernant le datif, mots russes gouvernant le génitif, etc., tirés d'un « corpus » de mots intégrés dans les mémoires d'une machine.

— La réalisation de dictionnaires complets d'une langue, par voie de fusion des diverses listes de mots contenus dans divers dictionnaires, tel le dictionnaire de la langue anglaise réalisé par l'Université de Pennsylvanie, comprenant un demi-million de mots anglais.

— La réalisation de dictionnaires polyglottes de mots « en contexte », tel le « Dicautom » réalisé à Bruxelles pour la Communauté européenne.

— Des traductions automatiques d'analyses normales de textes scientifiques, avec indexage multilingue automatique.

— Un accroissement rapide de nos connaissances sur les faits du langage à l'aide du traitement automatique de textes et de listes de mots.

Nous pouvons conclure que la traduction pleinement automatique de haute qualité n'est pas réalisable dans l'immé-

diat, mais que nous nous en approchons rapidement. Le programme de travail immédiat qui nous y aidera est le suivant :

— constituer des mémoires-machine sur les faits du langage ; apprendre à se servir de ces mémoires, ce qui demande la formation de spécialistes ;

— poursuivre la recherche des algorithmes exprimant sous forme mathématique les relations grammaticales du langage ;

— poursuivre la formation de nombreux chercheurs rompus à la programmation, à l'application des mathématiques au langage, à la compréhension des caractéristiques des faits linguistiques ;

— poursuivre la normalisation des exposés scientifiques, pour améliorer leur communicabilité et les rendre traduisibles par des machines, grâce à une présentation uniforme et à une normalisation terminologique.

Le but de tous ces travaux est en effet, non pas de substituer la machine à l'homme ou de déplacer le traducteur humain, mais d'accroître et d'améliorer la communication des connaissances entre les hommes.

Quelques aspects de recherches récentes effectuées en U.R.S.S. en liaison avec la traduction automatique

par M. YVES GENTILHOMME,

Chercheur au C.N.R.S.,

Professeur de mathématiques et de langue russe

Le petit monde de la T.A., je veux dire, par-là, à la fois : les recherches en vue d'un programme-machine pour la traduction des textes ; les développements théoriques et technologiques connexes, les travaux des linguistes visant à décrire la langue avec de plus en plus de précision, comme ceux des mathématiciens, logiciens et cybernéticiens, créant des modèles où, si l'on préfère, des édifices abstraits, des agrégats de concepts, des sortes de moules, dans lesquels la réalité serait susceptible d'être coulée ; les centres d'études, les instituts s'intéressant au traitement plus ou moins automatisé des langues ; enfin, les êtres humains : le personnel scientifique, ingénieurs, programmeurs, chercheurs divers.

Tout ce petit monde de la T.A., dis-je, a connu en U.R.S.S., comme dans les autres pays, ses pionniers, le plus souvent méconnus, incompris, voire décriés ; sa phase d'enthousiasme, « l'époque rose » (selon le mot d'un promoteur de la T.A.), où l'enthousiasme naïf, stimulé par la presse en quête d'informations neuves, s'est heurté en définitive à un découragement éga-

lement exploité ; enfin, une époque de grisaille, c'est-à-dire de recherches méthodiques, patientes, sans éclat et sans miracles, celle de la science authentique.

1. « ECLATEMENT » DES RECHERCHES

En U.R.S.S., comme partout ailleurs, le microcosmos de la T.A. a été en quelque sorte dépassé par l'ampleur et la diversité de la découverte. C'est ainsi que, pour souligner « l'éclatement » des recherches, la *Section de Linguistique Appliquée de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.* (1958) devient, en 1960, la *Section de Linguistique Appliquée et Structurale*.

Le *Bulletin de l'Association de Traduction-Machine*, publié par le *Premier Institut Pédagogique National des Langues Etrangères de Moscou*, change de nom (1959), augmente son tirage et devient la *Traduction-Machine et la Linguistique Appliquée*.

La T.A. est considérée comme une des facettes d'une réalité plus vaste, le traitement de l'information non numérique, mais une facette d'une importance essentielle, car elle donne l'exemple d'un

contrôle matériel objectif des théories linguistiques qui, jusque-là, y avaient échappé.

Dans un ouvrage récent (1964), Revzin et Rozentsveig écrivent : « La T.A., c'est le premier pas vers une expérimentation dans la théorie de la traduction et, d'une façon générale, en linguistique. La T.A. suppose certaines hypothèses sur le processus de la traduction qui, par la suite, sont soumises à une vérification expérimentale grâce à la simulation du processus de la traduction en machine. »

Tirons-en la leçon : la T.A. joue, vis-à-vis de nous, le rôle d'un censeur juste et incoercible qui nous administrerait la discipline à la moindre de nos défaillances, toute erreur entraînant instantanément le mauvais fonctionnement de la machine. On ne saurait être trop reconnaissant à tant de sollicitude.

Très rapidement, on se rend compte que la T.A. est une œuvre à l'échelle mondiale.

Cependant, chaque nation, peut-on dire, a coloré son microcosmos de nuances particulières. C'est précisément ces nuances que j'essaierai de faire ressortir en les intensifiant peut-être quelque peu.

Ainsi, en parlant de l'U.R.S.S., on ne peut s'empêcher d'évoquer les mots de : « *planification, popularité, diversité, patience* ». Mais voyons ce que ces mots veulent dire dans un contexte historique donné.

2. LA MATERIALISATION DU SPIRITUEL

Tout d'abord, vue à travers certaines philosophies, la T.A. s'est inscrite dans un programme de matérialisation du spirituel. Quelques dialecticiens y ont vu une prise de position similaire à celle qui opposait jadis les chimistes, partisans ou non-partisans de la synthèse des corps organiques.

Il fallait à tout prix que la T.A. réussisse et réussisse rapidement, pour ap-

porter un argument de poids à une conception donnée de l'univers. La lenteur des réalisations devenait presque une honte. Une telle attitude ne pouvait avoir comme effet que d'engendrer des affirmations prématurées. Ainsi, une petite pointe d'orgueil aidant, pouvait-on entendre de personnes non averties des propos tels que : « Chez nous, les machines traduisent depuis longtemps. Et chez vous ? », propos qui contrastaient avec la modestie, la simplicité et la sagesse des chercheurs soviétiques de métier qui, loin d'annoncer des réussites imaginaires, conseillaient la plus grande patience.

3. LA COURSE AUX PRECURSEURS

Le deuxième aspect amusant de la recherche est la course aux précurseurs. M. Delavenay précise, dans son livre : *La Machine à Traduire* (*), que c'est en 1946 que les Anglais A.D. Booth et Warren Weaver, de la Fondation Rockefeller, ont abordé ensemble le problème de la T.A.

Georges Mounin, dans un autre ouvrage de même nom (**), écrit : « L'initiateur le plus certain des recherches actuelles, Warren Weaver, examine dans son Mémoire de 1949 la possibilité pour l'avenir de "la traduction effectuée par une calculatrice". »

Cependant, les Français, dans la machine électromécanique d'Artsrouni (***), exposée depuis 1964 au Musée des Techniques du Conservatoire des Arts et Métiers, voient un prototype de la machine à traduire. Quant aux Soviétiques, ils attribuent la première tentative de T.A. à Pierre Pétrovitch Smirnov-Trojansky qui, en 1933, obtint un brevet intitulé : « Machine pour la fabrication automatique des traductions imprimées, simultanément d'une langue en une série d'autres langues, traductions nécessitant seulement une post-révision litté-

(*) Emile DELAVENAY : *La Machine à Traduire*, Presses Universitaires, Paris, 1959.

(**) Georges MOUNIN : *La Machine à Traduire*, chez Mouton & Co, La Haye, 1964.

(***) Réalisée dès 1932, 1^{re} ébauche vers 1929. Brevet 22 juillet 1933. Cf. « La machine à traduire française aura bientôt 30 ans », Michael CORBÉ, *Automatisme*, 1960, N° 5.

raire ». Il lui est délivré une attestation sous le n° 40995, sous le titre : « Machine pour la sélection et l'impression des mots au cours d'une traduction », en date du 5 septembre 1933.

4. HISTOIRE D'UN PIONNIER

Trojansky, précise-t-on dans la notice éditée en 1959 par l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., est issu d'une famille ouvrière ; il est né en 1894 à Orenbourg, aujourd'hui Tchkalov, centre intellectuel et industriel de l'Oural. La famille Trojansky (14 enfants) connaît des moments très pénibles mais, néanmoins, Pierre, après avoir été élève d'une école paroissiale, entre à l'Université de Pétersbourg (actuellement Léninegrad). Il donne des leçons particulières, ce qui lui permet de vivre ; mais la première guerre mondiale interrompt ses études, qu'il achève après la Révolution d'octobre, à l'Institut des professeurs rouges. Il se consacre alors à l'enseignement des sciences sociales, de l'histoire des sciences et de la technique. La maladie l'empêche d'achever son œuvre maîtresse : la mécanisation de la traduction. Il meurt le 24 mai 1950.

Malgré quelques échos bienveillants du Recteur de l'Université de Moscou (1933) et de l'Académicien S.I. Vavilov (1946), l'œuvre reste méconnue. Ni les linguistes soviétiques (1939), ni l'Institut d'Automatique et de Télémécanique de l'Académie des Sciences (1944) ne la jugent digne de retenir leur attention.

Ce n'est qu'en 1957 que le Présidium de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., à la suite des recherches similaires faites à l'étranger, désigne une commission chargée d'examiner les manuscrits précieusement conservés par Mme Z.N. Smirnova-Trojanskaja.

5. LE PRINCIPE

La méthode de Trojansky est fondée sur l'hypothèse, actuellement dépassée

(intéressante pour souligner l'évolution des idées), d'une structure logique simple de la phrase. La langue ayant comme fonction de transmettre des messages, Trojansky analyse la phrase en composantes possédant chacune une fonction logique appropriée ; ainsi, conformément à la grammaire traditionnelle, il distingue l'acteur d'une action du bénéficiaire, de l'objet reçu et des diverses circonstances de lieu, de but, de temps, etc...

Il ramène à 25 le nombre de ces fonctions, d'où une centaine de combinaisons possibles grâce auxquelles il prétend exprimer les moindres nuances de la pensée.

Un pré-traducteur transcrit chaque mot sous une forme normalisée et ajoute un nombre assez réduit d'informations complémentaires. La machine n'a aucune analyse à effectuer, elle remplace simplement chaque mot par son équivalent ou ses équivalents en cas de polysémie. Enfin, un post-traducteur, compte-tenu des indications, n'a plus qu'à mettre en forme le texte définitif.

Ainsi, écrit Trojansky, *je mets en quelque sorte en facteurs ce en quoi les langues se ressemblent et je laisse entre parenthèses ce en quoi elles diffèrent*, et, insiste-t-il, le pré-traducteur et le post-traducteur n'ont besoin de connaître aucune langue autre que leur propre langue. Aucune formation particulière n'est requise autre que celle que chacun d'entre nous reçoit à l'école.

6. OUVERTURE VERS LES RECHERCHES ETRANGERES

Une autre caractéristique des savants soviétiques est une extrême ouverture vers les idées concernant la T.A. venant de l'étranger. On se souvient de l'impulsion qui a présidé à la mise à l'honneur de Trojansky (apparemment l'adage : « Nul n'est prophète en son pays », est international).

De nombreux travaux sont traduits en russe (*). Toutes les publications sont analysées avec soin, bienveillance et grande impartialité. On cherche non à critiquer, mais à mettre en évidence ce que chaque école apporte d'original et de constructif.

En 1957, par exemple, Mološnaja, Purto, Revzin et Rozentsveig font le point dans la Revue « Questions de Linguistique » des recherches théoriques à l'étranger.

En 1962, l'Académie des Sciences publie, sous la rédaction de Melčuk et de Cveig, la bibliographie (**) des travaux non russes sur la T.A. De sorte que, par boutade, on peut dire que, pour obtenir une critique équitable des diverses chapeaux américaines, c'est aux Russes qu'il faut s'adresser.

7. L'EXTENSION DE LA T.A.

Les premières expériences de la T.A. sur une calculatrice importante de l'Institut de Mécanique de Précision et de Technique de Calcul datent de 1955.

Dès la fin de 1956, la revue de l'Académie des Sciences : « Questions de Linguistique » consacre une rubrique à ces problèmes.

Il en est de même de la publication périodique « Les problèmes de Cybernétique », dont le rédacteur A. A. Ljapunov, fils de mathématicien et mathématicien de valeur lui-même, à vaste culture littéraire, parlant un français impeccable, coordonne les multiples recherches.

Le Premier Institut National Pédagogique des Langues Etrangères de Moscou crée, sous la direction de Rozentsveig, un laboratoire de T.A. et publie ses résultats dans « La T.M. et la L.A. ».

Dès 1957, une conférence scientifique et technique, tenue à Moscou, présente 57 publications.

La première conférence fédérale sur la T.A., en mai 1958, organisée par l'Ins-

titut Pédagogique National des Langues Etrangères, réunit 79 organismes, dont 11 universités, 19 établissements d'enseignement supérieur, 21 instituts de l'U.R.S.S., 8 instituts des Républiques fédérées, soit au total 340 participants et 61 exposés. Elle fixa les objectifs à poursuivre et présenta une série de vœux au Ministère, vœux qui aboutirent à une extension considérable des recherches.

A Léninegrad, en 1959, la conférence de Mathématique Linguistique, sous la présidence d'Andreev, publie 60 résumés de 78 auteurs.

Une nouvelle conférence sur le traitement de l'information, la traduction-machine et la lecture automatique, a lieu à Moscou en 1961.

Les centres de recherches se multiplient dans toute l'Union ; les publications telles que « L'Enseignement Mathématique », « Les nouvelles des Etablissements d'Enseignement Supérieur », « le Recueil Cybernétique », « L'information scientifico-technique »..., consacrent des rubriques à la T.A.

L'Université de Kiev publie, en 1962, un recueil de huit études sur la L.A. et la traduction-machine.

L'esprit et les schémas de la T.A. exercent de plus en plus leur influence sur la linguistique et même sur la pédagogie.

« Les Modèles Linguistiques » de Revzin (Moscou, 1962), les « Fondements de la Traduction Générale et de la Traduction-Machine » de Revzin et Rozentsveig (Moscou, 1964), « Les problèmes de Linguistique Structurale » (Moscou, 1962 et 1963), « Les Recherches sur la Typologie Structurale » (Moscou, 1963), « La Méthode Transformationnelle en Linguistique Structurale » (Moscou, 1964) et bien d'autres en font foi.

Enfin, on vient d'annoncer la parution prochaine d'un ouvrage de référence sur la T.A. (1953-1963), fait par Melčuk et Ravič, qui sera publié par l'Institut Fé-

(*) Ceci contraste avec notre ignorance des travaux accomplis en U.R.S.S.

(**) Un travail similaire a été fait par M. et M^{me} DELAVENAY, en 1960, « Bibliographie de la T.A. » (Mouton & Co).

déral de l'Information Scientifique et Technique de l'Académie de l'U.R.S.S. Par ailleurs vient de paraître, sous la signature de Melčuk, un ouvrage intitulé : « Analyse syntaxique automatique (*) ».

8. LE FACTEUR HUMAIN

En U.R.S.S., tout comme ailleurs, le facteur humain est prépondérant. Il y a un certain nombre de chefs de file qui entraînent, assistent, soutiennent leurs collègues.

J'ai eu l'honneur d'en rencontrer quelques-uns.

Olga Sergueevna Kulagina, mathématicienne de talent, de l'Institut Mathématique Steklov, a construit une théorie ensembliste des notions grammaticales, peu connue chez nous, mais qui semble avoir profondément influencé la nouvelle école des linguistes soviétiques. Sa théorie des opérateurs ne peut être ignorée si l'on désire tirer quelque profit de la littérature concernant la T.A.

Igor Aleksandrovič Melčuk, linguiste remarquable, connaissant de nombreuses langues, notamment les langues paléo-sibériennes, le hongrois, les langues slaves, etc..., s'est formé aux mathématiques ; c'est un spécialiste de la syntaxe ; il a participé à la plupart des travaux sur la T.A.

Jurij Sémenovič Martemianov pratique une véritable ascèse de la pensée. Pour découvrir, dit-il, il faut savoir diriger, protéger sa pensée contre la contamination par des lieux communs. On peut lire ses recherches originales dans le dernier recueil de l'Institut des Langues Etrangères.

Victor Juriévič Rozentsveig, littéraire pur, d'origine, ayant vécu en France, appartient à cette équipe de la première époque, qui s'est rendu compte de l'im-

mense portée des recherches sur la T.A. Il est le fondateur du Laboratoire de T.A. de l'Institut des Langues Etrangères de Moscou. Ses recherches portent principalement sur la traduction humaine (T.H.) et, dans son dernier livre, en collaboration avec Revzin, il inverse le problème et applique à celle-ci les schèmes élaborés par celle-là. La théorie de la T.H. gagne ainsi en clarté et en précision.

M. Isaac Iosiforič Revzin, qui vient de soutenir brillamment une thèse de doctorat, a orienté ses recherches vers les modèles mathématiques destinés à décrire les différents aspects de la langue. Si on veut situer son œuvre dans le degré d'abstraction, par rapport aux chercheurs français par exemple, il se placerait entre les travaux mathématisants du Centre de Rennes et ceux plus linguistiques de Nancy.

Il va sans dire que, ne parlant que de quelques individus, je commets une injustice à l'égard de beaucoup d'autres (**). De Novosibirsk à Léninegrad, on rencontre de nombreux travailleurs scientifiques de haute valeur, mais il n'est guère possible, en ces quelques lignes, d'évoquer chaque nom avec sa contribution spécifique à l'œuvre collective.

9. QUELQUES TRAITS CARACTERISTIQUES DES TRAVAUX RUSSES

Pour ne pas rester sur le plan des généralités, examinons, par exemple, la contribution de Melčuk.

Comme la plupart des praticiens de la T.A., Melčuk part des deux échelons bien connus : l'analyse morphologique, qui ne dépasse pas le niveau du mot formel, suivi de l'échelon syntaxique, subdivisé à son tour en trois niveaux : le syntagme, la proposition, la phrase.

* Publié par la Section Sibérienne de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., Novosibirsk, 1964. Tome premier (358 p.) d'une œuvre qui s'avère monumentale, sous la direction de A. A. LJAPUNOV et O. S. KULAGINA.

** Cf. par exemple : J. Apresian, N. G. Arsentjeva, G. P. Bagrinovskaja, I. K. Belskaja, G. V. Vakulovskaja, Z. M. Volockaja, V. M. Gluškov, L. I. Gutenmaxer, R. L. Dobrušin, A. K. Zolkovskij, V. V. Ivanov, L. A. Kalužnin, M. V. Keldyš, T. I. Korovina, N. N. Leonteva, V. A. Matvenko, T. N. Mološnaja, S. E. Nikitina, T. M. Nikolaeva, E. V. Padučeva, F. J. Panov, L. E. Pseničnaja, A. A. Reforckij, P. A. Soboleva, T. M. Ter-Mikaeljan, V. A. Uspenskij, S. JA. Fitilov, R. Frumkina, G. S. Tsejtin, S. K. Šaumjan, JU. A. Šredjer, et combien d'autres.

Cependant, l'esprit de ces analyses diffère de celles des autres centres. Melčuk cherche à dégager, à partir de procédures particulières concernant un couple de langues données (une dizaine ont été étudiées à ce jour), une marche à suivre générale de traduction automatique. Simplement, d'une langue à une autre et selon qu'elle est considérée comme source ou comme cible, certains « opérateurs » varieraient. Ces sous-programmes se présentent d'ailleurs sous forme de listes plus ou moins longues, même vides à l'occasion.

On conçoit l'importance d'un tel point de vue dans un pays comme l'U.R.S.S., où un nombre considérable de langues servent de moyen d'expression et de communication.

Un deuxième trait caractéristique est la théorie mathématique sous-jacente de Kulagina, aussi bien en ce qui concerne la structure du langage que celle de la programmation.

Se fondant sur des travaux actuellement considérés comme classiques en U.R.S.S., on estime qu'une même langue peut être décrite de façons diverses. Ainsi, rien n'empêche de faire une grammaire russe avec seulement quatre cas, ou au contraire, huit cas au lieu des six traditionnels, seulement les règles seront différentes. Il appartient de choisir la grammaire la plus efficace, en fonction du but que l'on se propose. L'algorithme général, autrement dit la stratégie, n'en sera pas altéré. Cependant, la tactique d'application s'avérera plus ou moins rentable.

A la suite des travaux mémorables des premiers théoriciens, le linguiste soviétique dispose d'un ensemble, disons d'idéogrammes, qui lui permettent de s'exprimer de façon concise, claire et utilisable par le mathématicien (langage de programmation). Toute recherche linguistique devra, en définitive, être exprimée dans ce langage. Les étudiants en

T.A. ont pour tâche d'examiner une situation linguistique définie de faible étendue et de transcrire leurs résultats au moyen de ce langage (*).

Un troisième trait consiste à opérer par approximations successives. La machine propose d'abord une première analyse, la plus simple possible, cependant certains résultats sont considérés comme douteux ; les renseignements sujets à caution seront dotés d'un indice spécial qui permettra une révision ultérieure en fonction d'un contexte plus large. Les analyses premières pourront être reprises plusieurs fois en tenant compte des restrictions nouvelles.

Melčuk estime que, dans la majorité des cas, il convient d'abord de rechercher les structures simples, par exemple de supposer que la phrase est projective, les enchevêtrements plus complexes se situant comme une dérogation motivée par effets, de style par exemple, et annoncés par des indices qu'il convient de repérer au fur et à mesure des possibilités.

Un quatrième trait est celui de la particularisation des liaisons existant entre les mots... Une étude de Iordanskaja en fixe provisoirement le nombre à 32.

Sans aller plus avant, disons que ce programme d'analyse a déjà fonctionné sur machine avec des corpus réduits. Il ne paraît pas indispensable de recommencer fréquemment de tels essais, le principe étant acquis.

La phase de « bricolage » sur les modestes calculatrices de notre temps se trouve dépassée. Certes, de telles manipulations sont nécessaires aux étudiants pour se faire la main. Les appareils courants y pourvoient. La recherche fondamentale s'oriente vers des programmes nécessitant des performances techniques à venir.

Les travaux les plus récents dont j'ai eu connaissance consistent à approfondir certains opérateurs particuliers.

(*) Cette façon de voir a permis, non seulement la division de la difficulté en secteurs spécialisés, cohérents entre eux, mais encore la participation à l'œuvre collective de chercheurs débutants. Ce rôle modeste mais actif des jeunes facilite la formation et le recrutement des cadres en vue d'une tâche à longue portée.

Exemple : Iordanskaja, 1961 : « Analyse du russe. Opérateur relatif aux rec-tions fortes ».

Iordanskaja, 1964 : « Synthèse du russe, emploi du pronom personnel à la troisième personne ».

Parallèlement, dans un centre différent, Martemianiov analyse le point de vue sémantique, celui-ci devant compléter l'approximation morphosyntaxique.

Exemple : 1964, « Formalisation de la notion de situation linguistique » (ainsi en français on marche *dans* la rue, en russe *sur* la rue. Ce changement de pré-position correspond à une conception différente de la *rue* qui dépasse le cadre des exemples cités).

10. CONCLUSIONS

Nous concluons donc qu'il faut s'attendre à ce que la ténacité et la patience des chercheurs soviétiques viennent à bout prochainement du plan de travail tracé dans les grandes lignes par les théoriciens des années 1950. Le dilemme : « La T.A. existe ou n'existe pas ? », fait partie des fausses questions auxquelles il est aussi absurde de répondre par un *oui* que par un *non*. Tout ce que l'on

est en droit de se demander, c'est avec quelle approximation, quelle rentabilité, en vue de quelles utilisations pratiques, les savants soviétiques parviennent-ils à transformer un texte écrit dans une langue en un autre écrit dans une autre langue ?

Pour d'aucuns, la T.M. parfaite est un mythe, *a fortiori* celle de la T.A. Quant à nous, nous préférons reprendre à notre compte cette argumentation pertinente d'un de nos compatriotes (*) :

« Tous les arguments contre la traduction se résument en un seul : elle n'est pas l'original.

« Toutefois, comme on continue à traduire en dépit de tous les raisonnements (ceux de Joachim du Bellay, ceux de Rivarol et ceux de tous les grands traducteurs d'Homère interminablement redits), le problème de la traduction se trouve à chaque instant posé de nouveau. Dans ce domaine de l'inductibilité, tout se passe comme si vivaient côte à côte une théorie toujours alléguée, mais à laquelle les théoriciens ne croient pas vraiment eux-mêmes, et une pratique à peu près sans influence contre cette théorie. »

(*) G. MOUNIN : *Les Belles Infidèles*, p. 7, Paris, 1955.

**ÉDITIONS DU
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

15, quai Anatole-France, Paris-7°

C.C.P. PARIS 9061-11

Tél. : 705-93-39

COLLOQUES INTERNATIONAUX

N° 146

**LA THÉORIE
DU POTENTIEL**

ORSAY

22-26 juin 1964

La théorie du potentiel n'était, il y a cinquante ans, qu'un chapitre restreint de mathématiques inspiré de l'électrostatique. Mais les problèmes se sont raffinés et généralisés grâce à de nouveaux instruments, et les diverses structures sous-jacentes et d'une richesse inattendue ont donné naissance à des développements axiomatiques autonomes et maintenant considérables

Ouvrage de 324 pages in-8° raisin, relié balacron

PRIX : 36 F

MAISON FONDÉE EN 1895

“ LES ÉLECTRICIENS DE FRANCE ”

Ets JULES VERGER & DELPORTE

Société Anonyme, au Capital de 10.000.000 de F

ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES, ÉLECTRONIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

Siège Social, Bureau d'Etudes, Service : 141 bis, 141 ter, rue Saussure, PARIS-17^e
TEL. (1) 267-18-51 - 20 lignes groupées - TELEX. JULES 28482

Usine et Départements : Réparations — Bobinage — Radio — Télévision — Electronique — Automation
53, rue Maurice-Bokanowski, ASNIERES - Tél. 473 39-90, 62-28

Département : ELECTRO-VAPEUR - 92, avenue des Ternes, PARIS-17^e - Tél. 380 42-70

Agence de VERSAILLES : 2, place Gambetta - Tél. 950-51-50 950-17-75 - Mag. 21, rue d'Anjou - Tél. 950-01-10
Agence de CANNES : 3, pas. Ste-Catherine - LE CANNET Tél. 39-58-71 Cannes (A.-M.)

MAGASIN DE VENTE : Radio — Télévision — Electro-Ménager — Froid :

92, Avenue des Ternes, PARIS-17^e - Tél. 330 42-70
53, Rue Maurice Bokanowski, ASNIERES - Tél. 473- 39-90, 62-28.

EN AFRIQUE : SENEGAL

- DAKAR

Bureaux-Magasins : 164, rue Blanchot - B. P. 968 - Tél. 227-26, 227-29.
Ateliers : Km 6,5, route de Rufisque, Hann - 451-39.
B. P. 101 - Tél. 51.

- SAINT-LOUIS *

B. P. 4140 - Tél. 553-95.

Côte-d'Ivoire

- ABIDJAN

B. P. 184 - Tél. 27-76.

Dahomey

- COTONOU

B. P. 68 - NOUAKCHOTT : B. P. 3 - Tél. 23-06.

Mauritanie

- PORT-ETIENNE

B. P. 394 - Tél. 23-54 - BOBO DIOULASSO : B. P. - Tél. 26.

Haute-Volta

- OUAGADOUGOU

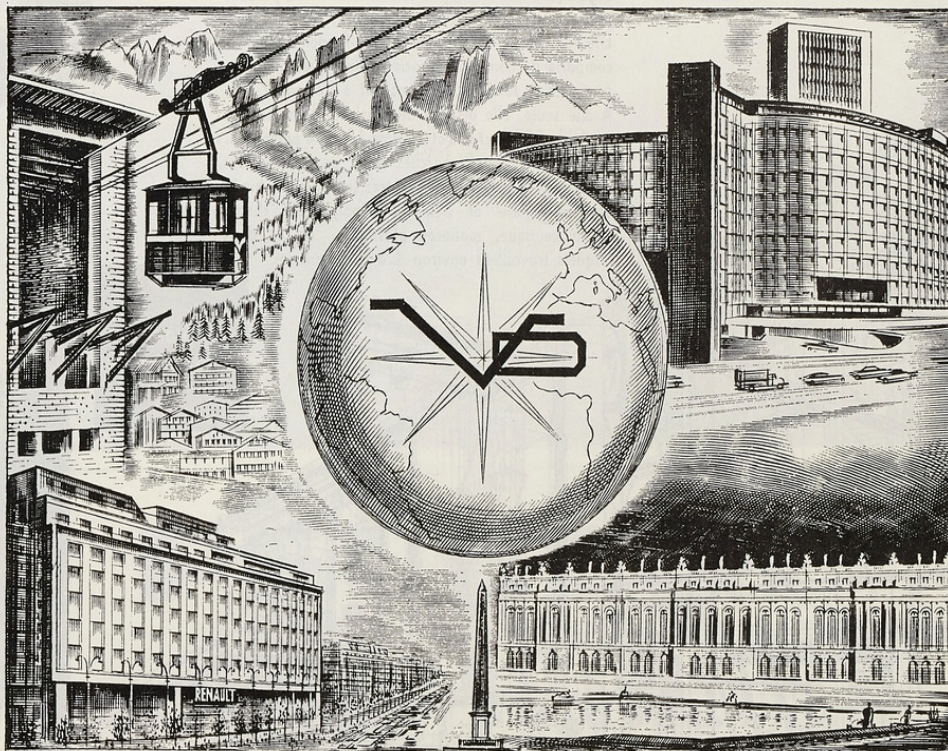
B. P. 1147.

Togo

- LOME

VAL D'ISERE - Téléphérique *quelques réalisations récentes*

MAISON DE LA RADIO



RENAULT (Champs-Élysées)

PALAIS DE VERSAILLES

« LES ELECTRICIENS DE FRANCE » SONT JOUR ET NUIT
DIMANCHE ET FETES A LA DISPOSITION DE LEUR CLIENTELE

SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES

RHÔNE POULENC

- PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES DE SYNTHÈSE
- PRODUITS MINÉRAUX PURS
- MATIÈRES PLASTIQUES



La Société des Usines Chimiques RHÔNE-POULENC fabrique environ 3.000 produits chimiques : produits organiques industriels, produits minéraux fins, produits pharmaceutiques, matières plastiques, etc...

Elle fait partie du groupe Rhône-Poulenc S.A. qui comporte de nombreuses sociétés chimiques, pharmaceutiques et textiles, en France et à l'étranger.

A elle seule, elle dispose de 8 usines, d'une surface totale de 500 hectares et emploie 13.000 personnes. Ses Services de Recherches sont particulièrement importants, répartis en des centres spécialisés (chimie organique pure et des hauts polymères, chimie pharmaceutique, matières plastiques, etc...) dans lesquels travaillent environ 1.600 personnes.

22 AV. MONTAIGNE
PARIS - ALM. 40-00



PEUGEOT

403.404

VOITURES DE QUALITÉ

L.P.F. 0,285.

L.P.F. 306

VENTE A CRÉDIT PAR LA **Din**

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE LA GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

Société Anonyme au capital de 19.595.800 F.

8, Rue Cognacq-Jay - PARIS-7^e - Tél INV. 44-30

AMMONIAQUE - ALCALI - ENGRAIS AZOTÉS

**ENGINEERING - CONSTRUCTIONS D'USINES
HYDROGÈNE**

GAZ DE VILLE - GAZ DE SYNTHÈSE

AMMONIAQUE

ACIDE NITRIQUE

ENGRAIS AZOTÉS

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ENTREPRISES

Société Anonyme au Capital de 36.160.000 F

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

**ENTREPRISES GÉNÉRALES
TRAVAUX PUBLICS ET BATIMENT
ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE**

Barrages - Usines hydro-électriques et thermiques - Usines, ateliers
et bâtiments industriels - Travaux maritimes et fluviaux - Aéroports -
Ouvrages d'art - Routes - Chemins de fer - Cités ouvrières -
Edifices publics et particuliers - Assainissement des villes -
Adductions d'eau - Bureaux d'études

Grands postes de transformation
Centrales électriques
Lignes de transport de force

Électrification de voies ferrées
Électrifications rurales
Équipements électriques industriels

SOMMAIRE ET RÉSUMÉS DES ARTICLES

(Suite de la page 2 de couverture)

d'émission dans l'ultraviolet lointain, en utilisant le spectrographe sous vide mis au point au Centre National de la Recherche Scientifique par les Professeurs B. Vodar et J. Romand. L'appareil a été équipé d'une sortie photoélectrique pour la lecture directe. Des photomultiplicateurs spéciaux fonctionnant sans fenêtre dans le vide même de l'appareil sont utilisés pour la mesure de l'intensité des raies de longueur d'onde inférieure à 1.000 Å (N_v 765 Å et O_v 629 Å) dans de bonnes conditions de sensibilité. L'équipement actuel permet une double détermination du carbone, du silicium, du phosphore, de l'arsenic, du soufre, de l'azote et de l'oxygène en un temps inférieur à trois minutes.

Les résultats obtenus (sensibilité, reproductibilité) seront exposés.

Les possibilités d'extension de la méthode, d'une part à l'étude des hétérogénéités locales du métal, d'autre part à l'analyse des métaux autres que les aciers, seront examinées.

II. — La traduction automatique. Principes et Perspectives,

par M. E. DELAVENAY p. 28

1. Ce que l'on entend par « la traduction automatique des langues naturelles » : historique des recherches, exposé des principes généraux et des méthodes de traduction automatique.
2. Les différents niveaux d'analyse du langage pour la traduction automatique. Les problèmes et les difficultés. Quelques exemples de progrès réalisés.
3. L'apport de cette recherche aux études de linguistique.
4. L'état présent des travaux et les applications immédiates.

III. — Quelques aspects de recherches récentes effectuées en U.R.S.S. en liaison avec la traduction automatique,

par M. Y. GENTILHOMME p. 33

L'exposé a pour objet de mettre en évidence quelques caractéristiques spécifiques des travaux effectués en Union Soviétique dans le domaine de la traduction automatique. Plus précisément, l'évolution des conceptions depuis les origines ; l'éclatement, l'extension considérable et la popularité des recherches, l'intérêt bienveillant pour l'œuvre des savants étrangers, le facteur humain et, pour finir, un schéma très simplifié des principes de I. A. Melcuk.

Cet exposé s'adresse à des non-professionnels de la traduction automatique qui portent leur attention moins sur la description des techniques particulières que sur la situation générale : psychologique et sociale, des chercheurs soviétiques, placée dans un contexte scientifique large.

