

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.)
	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
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1975, n° 2
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1975

Collation	1 vol. (35 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	40
Cote	INDNAT (111)
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/redirect?INDNAT.111

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*

*fondée en 1801
reconnue d'utilité publique*



Revue trimestrielle
1975 - N° 2



N° 2 - 1975

SOMMAIRE

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

— Les gouverneurs programmables,

par M. G. DUREAU, p. 5

— La culture des algues et ses perspectives,

par M. R. PEREZ, p. 21

Publication sous la direction de M. Henri NORMANT

Membre de l'Institut, Président

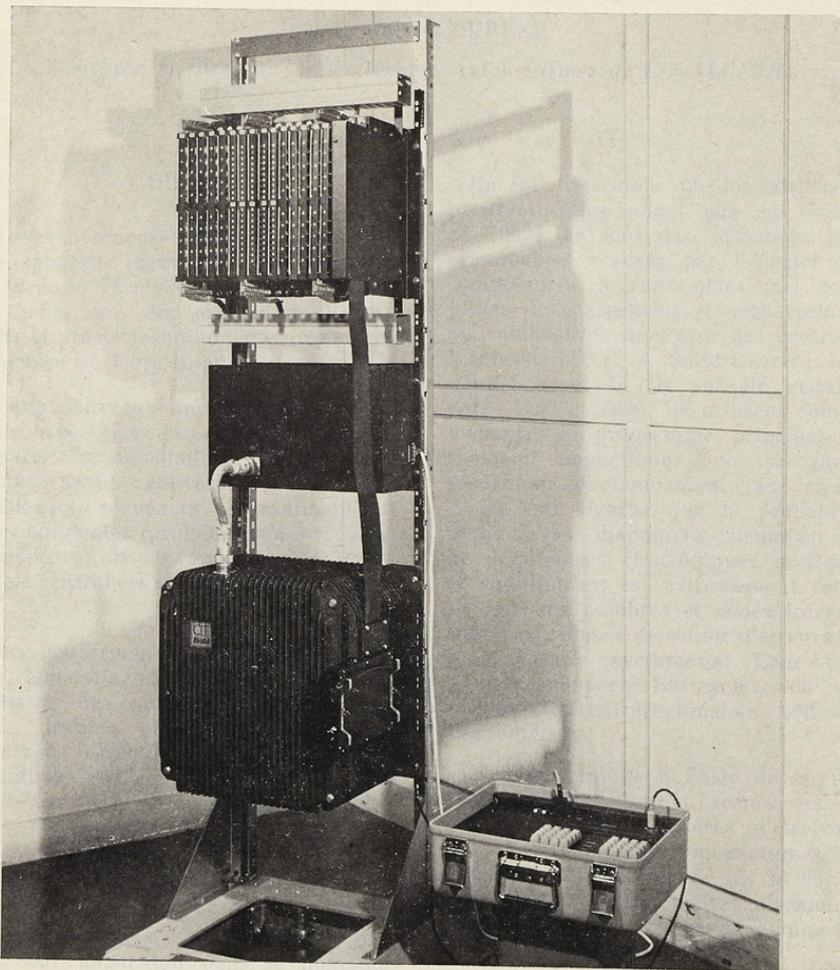
Les textes paraissant dans *L'Industrie Nationale* n'engagent pas la responsabilité de la Société d'Encouragement quant aux opinions exprimées par leurs auteurs.

Abonnement annuel : 40 F le n° : 20,00 F C.C.P. Paris, n° 618-48

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Les gouverneurs programmables



Industriel en France, les gouverneurs programmables de type PDP 11 de Digital Equipment Corporation installés sur les machines Constructis de la General Motors.

En 1972, la Compagnie Générale de Navigation a été le premier utilisateur programmable industriel français de SPANSA et, en 1974, que nouvelle

Conférence organisée le 4 mars 1975 devant le Comité d'Encouragement pour l'Industrie.



Les gouverneurs programmables *

par M. Gabriel DUREAU

Attaché à la Direction de la Division Automatismes de CIT-ALCATEL

1. — DEFINITION

Les gouverneurs programmables sont des appareils encore assez peu connus en France. Il n'y a guère que depuis six mois que des articles paraissent dans la presse technique, décrivant leur structure et leurs applications.

Cette nouveauté fait que la terminologie n'est pas encore bien fixée en France ; les appellations les plus courantes sont « gouverneurs programmables », « séquences programmables » et « automates programmables ». Aux Etats-Unis, on les appelle « programmable controllers » ou plus simplement : P.C.

Les gouverneurs programmables sont des appareils électroniques de taille modeste, de construction très modulaire, destinés principalement à remplacer les dispositifs de commande séquentielle réalisés jusqu'à présent à l'aide de relais électromagnétiques.

2. — UN PEU D'HISTOIRE

Les automates programmables ont fait leur apparition dans le domaine industriel en 1969, aux Etats-Unis. Ce furent les PDP 14 de Digital Equipment Corporation, installés sur les machines-transferts de la General Motors.

En fait, il semble que les automates programmables soient nés en France en 1962 : ce sont des automates programmables réalisés par l'Alcatel qui commandent les ensembles fort complexes de chargement et déchargement du combustible nucléaire des centrales E.D.F. 3, E.D.F. 4, Saint-Laurent I et Saint-Laurent II. Ils ont été installés entre 1963 et 1966. Ils utilisent comme mémoire de programme principal un tambour magnétique. Une très haute sécurité de fonctionnement étant requise — ce qui signifie que la probabilité d'une fausse manœuvre, même en cas de défaillances électroniques multiples et simultanées, est extrêmement faible — tous les nombres et codes internes sont des codes à détection d'erreurs du type « codes cycliques ». Leur programme comporte 130 cycles, 700 opérations, 700 entrées binaires, 600 sorties binaires.

Ils sont réalisés à l'aide de circuits logiques à diodes et transistors, et occupent quatre armoires d'électronique. En relais électromagnétiques, on aurait largement dépassé les 20 000 relais logés dans 100 mètres d'armoires, et ce avec un service rendu et une fiabilité plus faibles.

En 1971, la Compagnie CIT-Alcatel a mis sur le marché le premier automate programmable *industriel* français : le SPAC/M et, en 1974, une nouvelle

* Conférence prononcée le 6 mars 1975 devant la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

version, le SPAC/PS, qui est, pensons-nous, un des plus perfectionnés actuellement sur le marché mondial.

3. — LES AUTOMATES PROGRAMMABLES AUX U.S.A. ET EN EUROPE

Les principaux constructeurs d'automates programmables aux U.S.A. sont :

Digital Equipment Corporation, Allen Bradley, I.S.S.C., Modicon. Il faut noter l'arrivée récente de deux géants de la construction électrique : General Electric et Westinghouse. Nous mentionnerons encore quelques constructeurs assez actifs : Struthers Dunn, G.W Eagle, Square D, FX Systems, Reliance, Entrek. Vingt-six constructeurs étaient recensés à la fin de 1974.

Cette abondance de constructeurs est suscitée par l'optimisme général qui règne sur l'avenir de ce matériel et par l'examen des statistiques de vente :

- 1972 : 65 millions de francs ;
- 1973 : 105 millions de francs ;
- 1974 : 150 millions de francs ;
- 1975 : prévision de 250 millions de francs ;

— 1977 : prévision de 380 millions de francs, soit à 10 % près, ce qui est prévu pour la commande numérique des machines-outils. Les automates atteindront en cinq ans ce que la commande numérique a mis vingt ans à atteindre.

Aux Etats-Unis, on distingue trois tailles, trois classes de matériel :

- le matériel de haut de gamme comportant de 300 à 2 000 entrées plus sorties binaires ;
- le matériel de milieu de gamme allant de 60 à 300 entrées plus sorties ;
- le matériel de bas de gamme allant de 12 à 100 entrées plus sorties.

Les prix commencent ainsi aux environs de 5 000 F. Un automate compor-

tant 300 entrées et 150 sorties vaut environ 90 000 F. Les automates pour très grandes installations peuvent atteindre 250 ou 300 000 F. Avec ces trois classes de matériel, on couvre le domaine correspondant aux dispositifs de commande comportant de 20 à 4 000 relais.

4. — LOGIQUE A RELAIS LOGIQUE BOOLEENNE LOGIQUE PROGRAMMEE

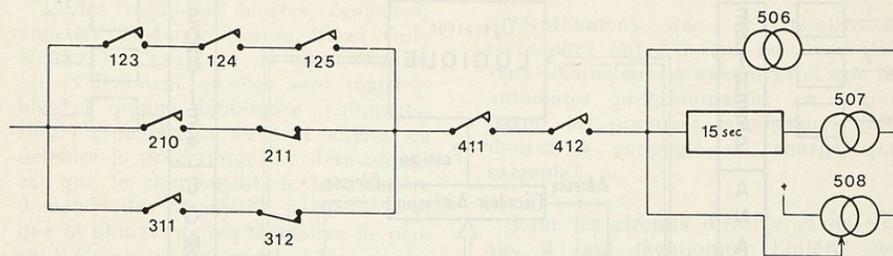
Dans le domaine industriel, un dispositif logique élémentaire a pour fonction de commander une action — habituellement par fermeture d'un circuit électrique — lorsque les conditions d'exécution résultant de l'état de l'installation, de la machine, sont satisfaites.

Dans les installations traditionnelles, on réunit donc par des connexions adéquates des contacts de fin de course, des contacts fugitifs de toute nature, des bobines de relais, des contacts de relais, et le circuit de commande d'un contacteur. On constitue ainsi un réseau de contacts, par opération élémentaire (voir figure 1, un exemple d'un tel réseau de contacts). Suivant la complexité de la machine, on aura un réseau de ce genre, ou mille...

La découverte et la possibilité d'existence des automates programmables proviennent du fait qu'à l'échelle des temps électroniques, il se produit extrêmement peu de changements d'états de contacts et donc peu d'émissions de commande, à l'intérieur d'un ensemble de réseaux.

Les réseaux de contacts, représentant chacun une équation logique booléenne, sont donc, la plupart du temps, figés dans un même état : on en arrive à dire qu'un matériel qui ne bouge pas, qui ne fait rien, est un matériel mal utilisé.

SEQUENCE 128



PROGRAMMATION

S128 D123 D124 D125 FPAR D210 B211

FPAR D311 B312 FSER D411 D412

A506 T120 O150 A507 E508

S129

D'où l'idée d'avoir *un seul* réseau logique, à structure rapidement variable, et qui vient successivement dans le temps accomplir la fonction de *tous* les réseaux primitivement nécessaires.

La « structure » du réseau est l'image d'une *équation booléenne*. Les *variables booléennes* sont représentées par l'état binaire des contacts représentant l'état de l'installation. Le *résultat* de la résolution de l'équation booléenne est l'état à imprimer aux sorties, c'est-à-dire les ordres de mise en mouvement ou d'arrêt. Ces résultats obtenus fugitivement (pendant quelques microsecondes) sont évidemment conservés dans des mémoires électroniques (mémoires de sortie). Les équations et les variables booléennes sont mises en mémoire dans la mémoire principale : la mémoire de programme.

Tels sont donc l'origine et le fonctionnement des automates programmables.

5. — STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT GENERAL

La fonction d'un automate programmable est donc d'émettre des ordres binaires en tenant compte, d'une part, de l'état de l'installation à un instant donné, et, d'autre part, du programme mis en mémoire.

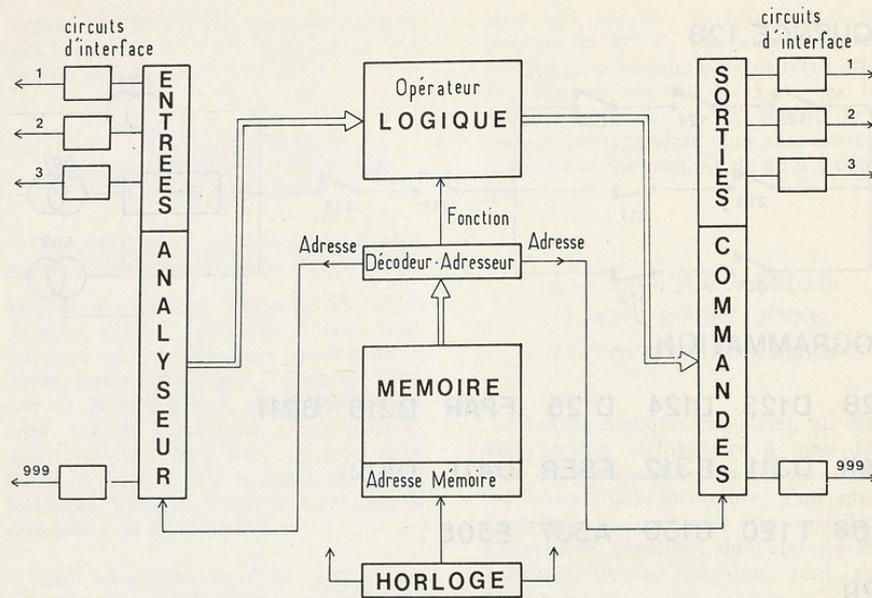
Un automate programmable comporte quatre sous-ensembles fonctionnels :

1° *à l'entrée*, un analyseur d'états binaires : c'est-à-dire, un analyseur de l'état des contacts de passage de fin de course situés dans la machine ou l'installation ;

2° *à la sortie*, un ensemble de registres et de circuits émetteurs de puissance pouvant commander directement des contacteurs, des électrovannes, ou même, des petits moteurs ;

3° *une mémoire* de programme ;

4° *un bloc opérateur logique* capable



AUTOMATE PROGRAMMABLE

SPAC/ PS
CIT-ALCATEL

d'effectuer les opérations : somme logique, produit logique, et inversion, ou encore, en employant la terminologie d'algèbre moderne, les opérations : union, intersection et complément.

Le programme est mis en mémoire, comme nous le reverrons plus loin, sous forme de séquences. Chaque séquence est une suite de nombres repérant les variables d'entrées, séparées par des signes opérateurs logiques et se terminant par le ou les ordres à appliquer sur des sorties également repérées par des nombres.

Les termes d'une séquence sont extraits successivement de la mémoire et donc aiguillés vers le bloc d'analyse d'entrée, l'opérateur logique, le réparateur d'ordre de sortie.

Ce processus d'analyse, opération, émission d'ordre, se déroule d'une façon absolue continue. La durée totale d'un

cycle d'analyse est habituellement comprise entre 10 et 30 millisecondes ; elle est donc inférieure au retard à l'enclenchement des contacteurs de moteurs.

6. — TECHNOLOGIE

Le rapide développement des automates programmables auquel nous assistons est dû principalement à l'accroissement des caractéristiques et à la diminution de prix qu'ont apportés les progrès techniques récents.

Le premier progrès concerne l'utilisation de circuits intégrés à plus large intégration : MSI et même LSI qui rendent le matériel plus compact et moins cher, ou sous un volume donné et admissible, permettent d'augmenter les caractéristiques.

Le second progrès concerne les mémoires. Deux sortes de mémoire sont

utilisées dans les automates programmables :

1° des mémoires mortes, également appelées à simple lecture (Read Only Memory). L'avantage de ces mémoires est évidemment qu'elles sont inaltérables et qu'une défaillance d'alimentation ou de circuit ne peut altérer ou détruire le programme. Le désavantage est que le chargement de la mémoire demande des dispositifs particuliers et que la plupart de ces mémoires ne peuvent être reprogrammées. S'il y a une modification à effectuer, il faut échanger un élément de la mémoire.

Sur ses premiers automates, le SPAC/M notamment, CIT-Alcatel utilisait des mémoires de sa fabrication. Elles étaient constituées d'une matrice de transformateurs à une seule spire.

En regard du plan de ces transformateurs, on place une feuille de mylar comportant ou non des disques métallisés, faisant face aux petits transformateurs. Un disque métallisé se conduit comme une spire en court-circuit et supprime le couplage primaire-secondaire de ce transformateur. Ce système de mémoire est particulièrement simple, robuste et sûr, mais il est un peu plus cher que les mémoires modernes à semi-conducteurs.

Les mémoires mortes (Read Only Memories) les plus utilisées actuellement sont les mémoires à diodes fusibles et les mémoires MOS (MOS-ROM).

2° Dans les automates programmables, de classe moyenne ou élevée, on utilise, comme dans les calculateurs, des mémoires chargeables par des moyens électroniques classiques (« mémoires adressées » - en anglais : R.A.M.).

Ce sont les mémoires à tores classiques qui sont les plus utilisées de nos jours ; mais les progrès techniques et les baisses de prix des mémoires MOS font que certainement elles vont tendre rapidement à remplacer les mémoires à tores. Il faut notamment citer les mémoires à C-MOS, dont la vitesse et

la faible consommation présentent beaucoup d'intérêt.

Mentionnons que de nombreuses recherches ont lieu sur les dispositifs semi-conducteurs à mémoires et que les automates programmables en seront parmi les premiers bénéficiaires (Mémoires à couplage de charge, par exemple).

Pour les circuits d'entrée et de sortie, il faut mentionner l'intérêt des dispositifs coupleurs optoélectroniques qui permettent de séparer parfaitement les circuits électriques industriels véhiculant des courants parasites de toutes sortes, des circuits électroniques internes à l'automate et fonctionnant donc à bas niveau.

Pour la commande de contacteurs en courant alternatif, l'utilisation de thyristors ou triacs dans les circuits de sortie fournit une solution peu encombrante et très économique.

Il faut enfin citer les techniques de microprogrammation, et les mémoires rapides pour microprogrammation qui sont utilisées dans l'unité centrale du SPAC/PS et dans son unité de programmation amovible. La microprogrammation est une technique de réalisation particulièrement économique et puissante.

7. — LE LANGAGE DE PROGRAMMATION

Par suite de la présence d'un programme enregistré dans une mémoire, on a souvent encore tendance à considérer un automate comme une variété de minicalcuteur.

Cette assimilation est un véritable contre-sens car un calcuteur est essentiellement construit pour faire des calculs, des calculs complexes. Pour les programmer, on utilise suivant les cas un, deux ou trois niveaux de langages

qui deviennent, au fur et à mesure, plus synthétiques, plus symboliques, mais aussi plus difficiles à apprendre. Au premier niveau, on trouve le langage machine qui comporte déjà de 50 à 200 instructions.

Un automate programmable a pour fonction d'effectuer des opérations logiques : les opérations fondamentales sont au nombre de trois. On ajoute habituellement quelques fonctions telles que : comptage, retard, mise en mémoire de résultats partiels, etc... On aboutit en général à une liste de 8 à 15 instructions dont la signification est parfaitement claire, et au niveau des connaissances des agents techniques des bureaux d'études ou service d'entretien.

Nous prendrons comme exemple de langage de programmation celui du SPAC/PS. Ce langage permet de décrire

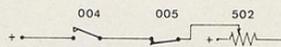
SEQUENCE 001



PROGRAMMATION

S001 D001 D002 D003 A501

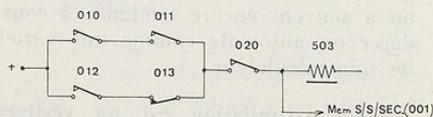
SEQUENCE 002



PROGRAMMATION

S002 D004 B005 E502

SEQUENCE 003



PROGRAMMATION

S003 D010 D011 FPAR D012 B013
FSER D020 A503 M001

une équation booléenne, autrement dit et plus pratiquement, l'ensemble des contacts interconnectés correspondant à cette équation. Le vocabulaire des « relayeurs » a été choisi de préférence à celui des logiciens ou informaticiens, de façon à permettre l'utilisation du matériel par le personnel utilisant jusqu'à présent des relais.

Toutes les instructions de commande sont constituées de quatre caractères : une lettre et trois chiffres, quatre lettres, ou quatre chiffres (pour deux informations purement numériques).

Pour analyser l'état d'un contact (le n° 199 par exemple) et l'utiliser directement dans une équation logique, il suffit d'écrire : D 199 (D comme Direct).

Si l'on désire utiliser le complément logique du résultat de l'analyse, on écrit : B 199 (B comme Barre, une barre sur un terme signifiant sa complémentation).

Pour former un « monôme », c'est-à-dire le produit logique d'un certain nombre de résultats d'analyses, ou encore représenter une chaîne de contacts en série, il suffit d'écrire à la suite les mots « analysés ».

Ex. : D 001, D 002, D 003 ou D 004, B 005.

Si l'on veut représenter deux chaînes de contact de ce genre mises en parallèle, ce qui constitue un « polynôme logique », on écrit entre les deux « monômes » le mot « FPAR » (Fonction mise en Parallèle).

Ex. : D 010, D 011, FPAR, D 012, B 013.

Si un tel ensemble conditionne la commande du circuit de sortie N° 501, on écrira simplement à la suite : A 501 qui se lit « Actionner ou activer la sortie 501 ».

FORMAT

Fonction ET = Contacts SERIE = Monôme

[FONCTION IMPLICITE]

$$M_i = [a \cdot b \cdot \bar{c} \cdot d \cdot \bar{e} \dots]$$

ILLIMITE

Fonction OU = Mise en PARALLELE = Polynôme

[FPAR]

$$P_i = [M_1 + M_2 + M_3 + \dots]$$

ILLIMITE

Fonction ET = Mise en SERIE = Produit de polynômes

[FSER]

$$X_i = [P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots]$$

ILLIMITE

Fonction OU = Mise en parallèle - ASSOCIATION = Somme de produits

[FASS]

$$Y = [X_1 + X_2 + X_3 + \dots]$$

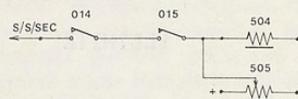
ILLIMITE

Seule limite : ces quatre niveaux successifs d'opérations logiques

Faire cesser l'action s'écrit E 502 (Effacer 502).

Notons que 450 commandes peuvent être temporisées en utilisant des horloges numériques internes. Si l'on voulait utiliser l'horloge N° 001 pour temporiser la commande 506 de 10 secondes, on écrirait : T 001 0100 A 506.

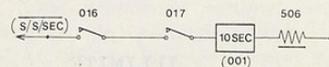
SEQUENCE 004



PROGRAMMATION

S004 P001 D014 D015 A504 E505

SEQUENCE 005



PROGRAMMATION

S005 N001 D016 D017 T001 0100 A506

Une des caractéristiques les plus intéressantes du SPAC/PS, et que l'on rencontre dans peu d'automates programmables, est la programmation à « format libre ». Ceci signifie qu'un monôme peut inclure autant de termes qu'on le désire (chaîne de contacts en série non limitée). On peut mettre en parallèle autant de chaînes qu'on le désire = polynôme à nombre de monômes non limité. On peut ensuite effectuer le produit d'un nombre non limité de polynômes, puis remettre de tels produits en parallèle. Une table donnée en annexe résume, en notation algébrique et logique, cette souplesse de la programmation.

8. — INTRODUCTION ET MODIFICATION DU PROGRAMME

Un programme d'automatisation d'une machine n'a pas à être modifié plusieurs fois par jour. D'autre part, il est pru-

dent de ne pas permettre à un personnel non qualifié d'effectuer des modifications. La pratique courante est donc de séparer les moyens d'introduction du programme de l'automate lui-même.

L'unité de programmation prend donc la forme d'un petit pupitre, d'un pupitre logé dans une valise, ou d'un pupitre avec clavier et affichage de données sur tube à rayon cathodique. Cette dernière forme est la plus courante aux Etats-Unis. Elle présente l'inconvénient d'être plus chère que celles employant d'autres moyens d'affichage plus simples. Elle entraîne fréquemment une limitation dans le nombre de termes d'une même équation booléenne (programmation à format fixe).

L'unité de programmation du SPAC/PS est logée dans une valise dont les dimensions sont les maxima admis pour les valises de cabine par les compagnies aériennes.

Elle présente un clavier alphanumérique à 10 chiffres et 16 lettres, un clavier de 16 fonctions, et un affichage alphanumérique de 36 caractères.

Chaque mot composé au clavier vient s'inscrire sur les quatre positions de droite de l'affichage ; il suffit d'appuyer sur la touche « d'introduction » pour faire entrer ce mot en mémoire et le voir se placer sur l'affichage à la suite des mots déjà introduits.

Un véritable petit calculateur micro-programmé se trouve dans cette unité de programmation. Il effectue toute la gestion de la mémoire : gestion des adresses, du contenu, et cinq opérations extrêmement importantes pour les modifications et mise au point de programme :

1) On peut insérer des instructions nouvelles au milieu d'une séquence. Les deux moitiés de la séquence et, par voie de conséquence, tout le programme « s'écartant » pour laisser de la place à ces instructions.

2) Il est possible de supprimer des instructions, le « trou » venant automa-

INSTRUCTIONS SPAC

CARACTERES UTILISES

A B C D E F J L M N P R S T V
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

INSTRUCTIONS A ADRESSE

Entrée Sortie	}	S * * *	< numéro de séquence >
		D * * *	< entrée VRAI > (DIRECT)
		B * * *	< entrée COMPLEMENT > (BARRE)
		A * * *	< sortie VRAI > (ACTIVER)
		E * * *	< sortie COMPLEMENT > (EFFACER)
Adresse Symbolique Mémoire	}	M * * *	< résultat en mémoire > (MEMORISER)
		P * * *	< utiliser résultat en mémoire > (PRELEVER) VRAI
		N * * *	< utiliser résultat en mémoire > (PRELEVER NEGATIF) COMPLEMENT
		T * * *	< temporisation > (TEMPORISATION)
		C * * *	< comptage > (COMPTAGE)

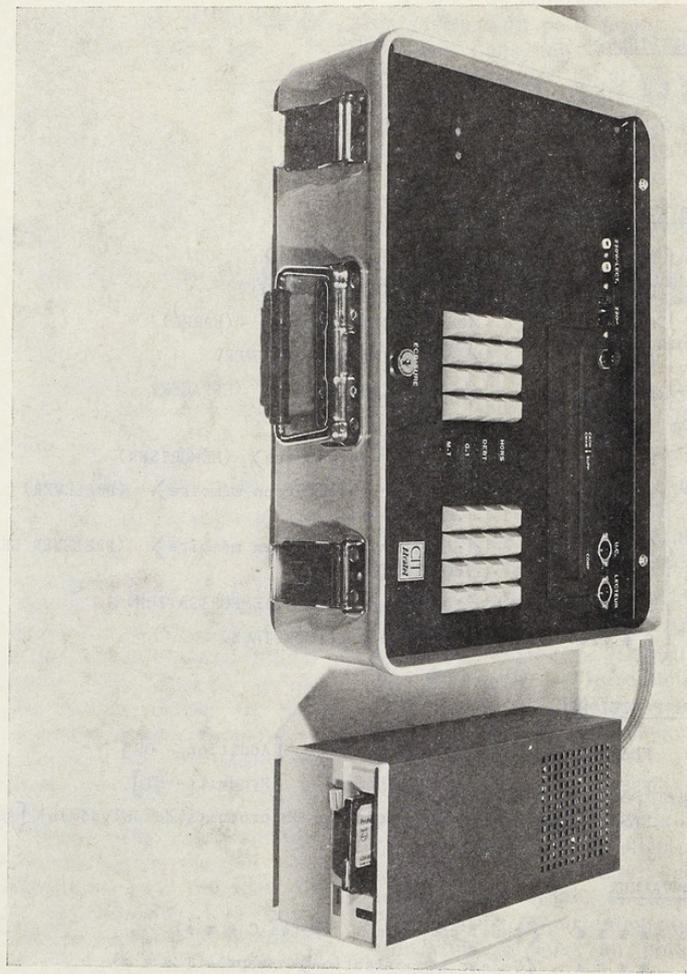
INSTRUCTIONS-FONCTIONS

FPAR (Formation de polynôme) [Addition - OU]
FSER (Produit de polynômes) [Produit - ET]
FASS (Addition - Association de produits de polynômes) [Addition-OU]

INSTRUCTION VALEUR

* * * * < Seuil comptage > (après C * * * *)
* * * * < Valeur temporisation > (après T * * * *)

OBSERVATION : L'opération [produit - ET] sur des données d'entrée ne nécessite aucune instruction, Elle est obtenue par simple écriture en série des instructions d'entrée (INSTRUCTION IMPLICITE).



tiquement se boucher par rapprochement des deux moitiés du programme.

3) Il est possible de limiter l'exécution du programme à quelques séquences consécutives. On dénomme cette opération : segmentation. Pour la vérification d'un programme, on concentrera donc son attention sur un nombre limité d'organes de la machine et on évitera facilement des incidents dus à des erreurs de programmation toujours possibles, et à prévoir.

4) Il est possible de « forcer » certaines variables d'entrées ou de sorties dans un état donné (considérer un contact fermé ou ouvert quel que soit son état réel). Cette opération permet également de faciliter les essais de mise au point du programme d'automatisation d'une installation.

5) La cinquième possibilité est de faire défiler tout le programme sur le dispositif d'affichage, de l'arrêter à n'importe quel endroit, de le cadrer de la façon la plus pratique.

C'est cette souplesse du système de visualisation qui facilite l'utilisation d'une programmation à « format libre ».

9. — POURQUOI UTILISER DES AUTOMATES PROGRAMMABLES

Il est évident que dans le domaine industriel, et particulièrement en ces jours difficiles, les premières qualités recherchées dans un appareil sont de nature économique.

Il importe donc de faire une étude comparative d'une automatisation à l'aide de relais et d'une automatisation par automate programmable. Le difficile dans cette étude est de bien tenir compte de tous les paramètres intervenant dans le prix lorsqu'on utilise des relais : analyse, établissement des documents et dessins, montage, câblage et « sonnage », mise au point en liaison avec la machine, mise au point des dessins, puis ensuite : entretien périodique, dépannage, modification de l'automatiza-

tion, lorsqu'on modifie la machine ou son utilisation, etc...

On peut affirmer que même si on ne considère pas des modifications ultérieures du programme, les automates programmables sont toujours plus économiques lorsqu'ils remplacent des automates à relais de plus de 80 relais ; ils le font fréquemment, et le deviendront de plus en plus avec les progrès technologiques pour les automates requérant de 20 à 80 relais.

La rapidité d'installation et de mise en service est une qualité très prisée de nos jours où la réduction des prix de revient et la réduction des délais de fourniture du matériel sont des facteurs primordiaux de la compétitivité commerciale.

Les automates programmables peuvent être programmés à l'avance, en temps masqué, à l'intérieur du planning de réalisation de la machine. Il n'est pas nécessaire d'attendre les premiers essais de la machine pour vérifier son fonctionnement. Le programme est facile à modifier, à ajuster au fonctionnement exact de la machine. L'installation de l'automate programmable est très rapide car le raccordement s'effectue sur des réglettes standards très accessibles ; on peut, d'autre part, utiliser des dispositifs de regroupement de fils, de commandes matricées ou adressées permettant de diminuer considérablement le nombre de câbles.

Voyons maintenant les problèmes d'entretien et dépannage. L'entretien est absolument nul sur les dernières versions d'automates programmables dont, notamment, l'unité centrale se trouve dans un bloc métallique étanche. Cela les protège des poussières, vapeurs agressives, chocs. Ils supportent une température ambiante au moins égale à celle supportée par le personnel humain de service dans l'atelier...

Le dépannage s'effectue par remplacement standard de cartes enfichables. Dans l'unité centrale, il y a deux cartes. Les circuits d'entrée et de sortie sont

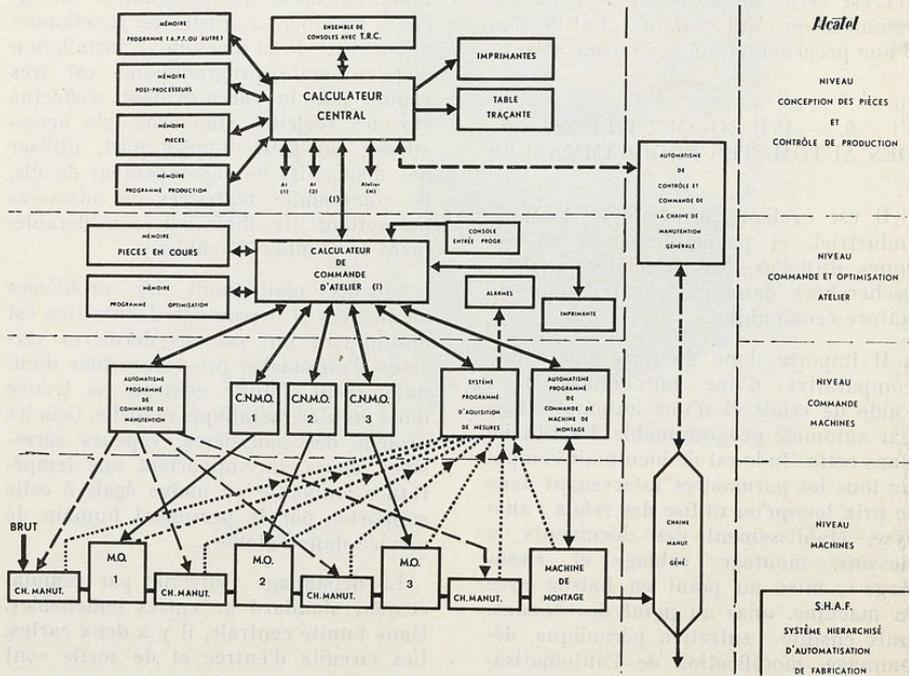
disposés par 10 ou 20 également sur des cartes enfichables. De petits voyants lumineux placés sur les faces avant de ces cartes d'entrée-sortie permettent de repérer rapidement un circuit « non vivant », donc défectueux.

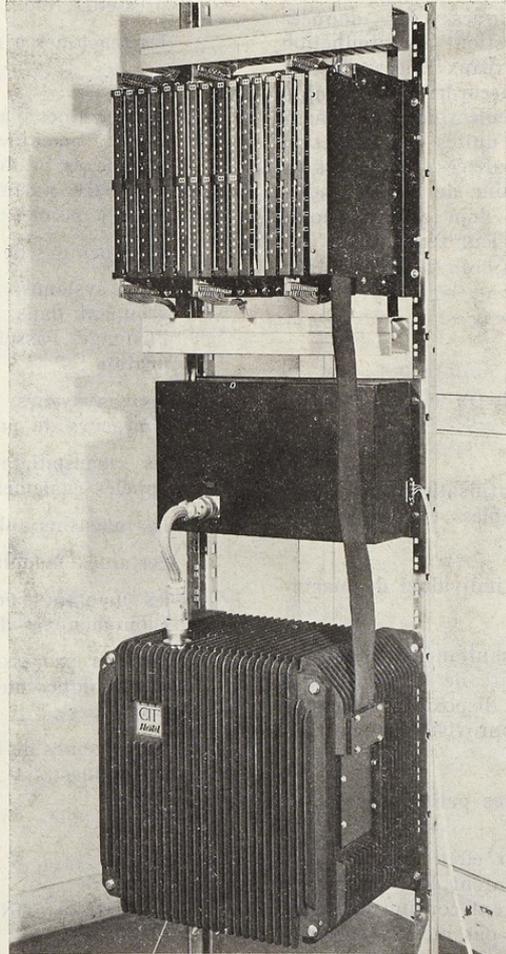
Il faut maintenant envisager néanmoins le problème d'une modification ultérieure de la machine ou de son programme de fonctionnement. La compétitivité commerciale, elle encore, oblige à renouveler les modèles plus souvent qu'autrefois, même dans le domaine dit de « la grande série ». Là encore, la nouvelle programmation peut être faite en temps masqué pendant la modification de la machine. Il faut noter, d'autre part, la tendance de construire maintenant des machines automatisées souples et modulaires destinées à produire une famille de pièces et non une pièce déterminée. Pour passer d'une pièce à l'autre, la modification essentielle est celle du programme. Cela ne dure qu'une minute ou deux lorsqu'il s'agit

d'un programme enregistré. De telles machines peuvent avoir des productivités très élevées, et, d'autre part, elles peuvent procurer une diminution des « en cours », car il est possible de travailler par « campagnes » de pièces suivant la cadence de renouvellement de stock économiquement optimum. Cela fait partie des avantages économiques difficiles à chiffrer *a priori*, mais néanmoins certains et très appréciables. La commande numérique des machines-outils nous a habitués à tenir compte de ces phénomènes.

Le dernier élément dont nous devons tenir compte, c'est la préparation de l'automatisation générale de l'entreprise.

Un automate programmable ne nécessite que peu d'adjonctions, essentiellement des systèmes d'affichage si l'on veut lui faire faire de la surveillance et signalisation d'état des machines (monitoring). Les automates programmables ont, d'autre part, un accès prévu pour





les réunir entre eux ou les réunir à des minicalculateurs. La tendance actuelle est de constituer des systèmes hiérarchisés d'automates et calculateurs. Dans cet ensemble, les ordres d'automatisation et production descendent les niveaux hiérarchiques, les données d'exécution et gestion de production remontent les niveaux hiérarchiques. Tout le monde s'accorde maintenant à dire que c'est la seule voie pour constituer sûrement des unités de production entièrement automatisées. Ces unités ne sont pas du domaine de la science-fiction, il en existe déjà et c'est notre devoir de préparer leur réalisation.

10. — DOMAINE D'UTILISATION

Le domaine d'utilisation des automates programmables est déjà très vaste ; il concerne :

- l'équipement individuel de machines ;
- la conduite simultanée de plusieurs machines, voire de plusieurs machines et des dispositifs de manutention et approvisionnement annexés ;
- la conduite des petits processus.

Il faut noter, en effet, que certains processus ne présentent pas de phénomènes de déroulement continu des opérations, qu'il n'y a pas mesure et régulation continues, mais que ces processus sont contrôlés par des données et ordres par tout et rien.

Pour être plus précis, nous citerons les applications des automates programmables sur les machines suivantes :

- tours automatiques pour fabrication de moyenne et grande séries,

ainsi que leurs systèmes d'approvisionnement ;

- les machines-transferts pour la construction automobile et la construction de pompes, turbines, compresseurs, etc... ;
- les machines à rectifier ;
- les presses ;
- les machines d'assemblage et montage : machines habituellement complexes et dont le programme doit être parfaitement étudié et mis au point ;
- les machines de soudage ;
- les « systèmes intégrés » qui regroupent dans une même ligne : l'usinage, l'assemblage et la vérification ;
- les convoyeurs, les ascenseurs, les chargeurs de palettes ;
- les manipulateurs programmés, appelés également « robots » ;
- les magasins automatisés ;
- certaines machines textiles ;
- les machines pour l'industrie du caoutchouc et des pneumatiques ;
- certains processus chimiques, pétrochimiques ou de l'industrie des plastiques ;
- les systèmes de distribution de gaz et liquides ;
- etc...

11. — CONCLUSION

Les industriels ont, de nos jours, trois grandes préoccupations :

- augmenter sans cesse la productivité de leurs machines et de leur entreprise ; l'augmentation de la productivité est une des meilleures armes contre l'inflation ;
- éliminer l'homme de tous les pos-

tes de travail où le travail est répétitif, lassant, dangereux ;

- faire face au manque de main-d'œuvre, le plus souvent d'ailleurs pour les travaux répétitifs et ennuyeux.

Les automates programmables, par leurs larges possibilités et par leur simplicité de mise en œuvre, constituent un outil de choix pour résoudre ces problèmes.

L'avènement des automates programmables est un phénomène important dont nous devons tenir compte comme nous l'avons fait il y a dix ans pour la commande numérique.

Mais les automates programmables prendront, sans doute, une place encore plus large, plus importante, car ils toucheront tous les domaines industriels.

12. — ANNEXE

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU SPAC/PS

Nous résumerons quelques caractéristiques essentielles du SPAC/PS de CIT-Alcatel.

- *Structure de l'unité centrale :*
Opérateur logique microprogrammé, travaillant bit à bit.
- *Mémoire de données et programme :*
Mémoire à tore - cycle de 1 micro-seconde.
Capacité : 4,8 K mots de 18 bits (16 K max.).
- *Temporisation :*
Nombre de sorties temporisées : 450 au maximum.
Gamme : 0,1 à 1 000 secondes.
- *Comptages :*
Nombre de phénomènes soumis à comptage : 450 au maximum.
Capacité maximum : 5 000 coups ou 10 000 changements d'état.
Fréquence de comptage \approx 50 Hz

(jusqu'à 2 000 Hz par astuce de programme).

- *Entrées et sorties :*
1 000 entrées et 1 000 sorties binaires.
50 entrées et 50 sorties de valeur.
- *Circuits d'interface d'entrée :*
Soit alimentation en 110 V alternatif 50 ou 60 Hz.
Soit alimentation en 24 V courant continu.
Soit alimentation en 48 V courant continu.
- *Circuits d'interface de sortie :*
Soit alimentation en 110 V alternatif, 1 ampère permanent et 3 ampères de crête pour commande de contacteurs.
Soit alimentation en courant continu 24 V, 0,1 ampère ou 2 ampères.
Soit alimentation en courant continu 48 V, 0,1 ampère ou 2 ampères.

13. — ANNEXE

CITATIONS ET ÉTYMOLOGIE

Littéré.

Automate : s.m. - Machine, et en particulier machine imitant les êtres animés, qui se meut par ressorts.

Ety. - grec : *automatos* - celui ou ce qui fait effort par soi-même.

Citation - Rabelais : Ils bâtissaient plusieurs petits engins automates, c'est-à-dire se mouvant eux-mêmes.

Automatiser : Rendre automate.

Larousse.

Automate : Instrument construit de façon à obéir mathématiquement à une cause de mouvement qu'un agent extérieur lui a communiqué.

Automatisation : Action de rendre automate.

Encycl. - ...On construit cependant des chefs-d'œuvres automatiques pour de plus nobles destinations : la plupart des

appareils télégraphiques, les chronomètres, etc... sont de merveilleux automates.

Robert.

Automate : Toute machine animée par un mécanisme intérieur.

Automatisme : Fonctionnement automatique d'une machine.

Ces définitions et ces citations étymologiques montrent que, de par ses

racines, et par son usage, le mot « automate » ne s'applique pas obligatoirement à des machines « anthropomorphes ».

Il nous a donc semblé qu'employer le mot « automate » pour désigner l'organe fonctionnel faisant qu'une machine devient « automatisée » ou qu'un ensemble complexe devient « un automatisme », n'est ni un néologisme, ni un barbarisme... mais un emploi du langage classique.

*La culture des Algues - Perspectives **

par René PEREZ

Docteur d'Etat

Chef du Laboratoire d'Algologie appliquée
de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes

Un des problèmes qui se pose actuellement à l'économie mondiale et qui se posera, sans nul doute, avec de plus en plus d'acuité dans un proche avenir est celui de la faim dans le monde.

Parmi les moyens susceptibles de contribuer à la solution, celui qui consiste à pratiquer la culture, semble être un des plus sûrs.

Le pas permettant de franchir le stade séparant la cueillette de la culture a été, depuis longtemps, réalisé pour les végétaux terrestres ; il est en train de l'être pour les végétaux aquatiques qu'ils soient marins ou d'eau douce.

De ce fait, la culture des algues, bien qu'encore au stade expérimentale ou semi-expérimentale, prend de plus en plus d'importance et voit s'ouvrir devant elle de nombreuses voies de développement.

Nous distinguerons deux sortes de cultures d'algues :

- la culture des algues unicellulaires et paucicellulaires ;
- et la culture des algues pluricellulaires, qui diffèrent sensiblement par les méthodes employées.

Pour traiter de la culture des algues

unicellulaires et paucicellulaires, nous serons amenés à parler :

- des conditions à respecter pour la réalisation de telles cultures ;
- des types de cultures destinées à l'alimentation humaine ou animale ;
- des types de cultures réalisées pour la purification des eaux ;

Nous pourrions reprendre ce même plan pour analyser les cultures des algues pluricellulaires en considérant :

- celles destinées à l'alimentation humaine comme les cultures de *Porphyra*, d'*Undaria*, de *Laminaria*, de *Monostroma* ;
- celles réalisées pour la production de matières premières destinées à l'industrie, comme les cultures de *Macrocystis*, d'*Eucheuma* et de *Chondrus*.

I. — LES CULTURES UNICELLULAIRES

Qu'elles soient marines ou d'eau douce, les algues unicellulaires ont besoin

* Conférence prononcée dans l'Hôtel de la Société le 13 mars 1975.

d'un certain nombre de facteurs pour leur développement.

A) CONDITIONS A RESPECTER POUR LA RÉALISATION DE TELLES CULTURES.

Elles ont tout d'abord besoin d'un milieu aquatique qui contient constamment les sels minéraux, les vitamines et le gaz carbonique nécessaires à la croissance. Ces éléments sont certes présents dans l'eau douce ou l'eau marine, mais ils le sont en quantité telle qu'ils sont rapidement épuisés. Une culture ne pourra donc réussir que dans de l'eau douce ou de l'eau marine fortement enrichie en sels minéraux, gaz carbonique (ou carbonates) et vitamines. Ce milieu aquatique enrichi ou parfois créé de toutes pièces constitue le milieu de cultures.

Le milieu de cultures le plus simple et le moins onéreux est celui formulé par Foy et Schreiber en 1927. Il se compose d'eau de mer ou d'eau douce additionnée de nitrates sous forme de nitrate de sodium jusqu'à la concentration de 0,2 g par litre et en phosphate sous forme de phosphate acide de sodium jusqu'à la concentration de 0,03 g par litre. A la solution ainsi obtenue, on ajoute 50 ml d'extrait de terre par litre. Qu'est-ce que l'extrait de terre ? Pour le fabriquer, on porte à 100° pendant 1 heure un mélange de terre de jardin et d'eau douce dans la proportion de 1 kg de terre pour 2 litres d'eau ; on filtre le magma obtenu et l'on recueille un liquide noirâtre appelé « extrait de terre », très riche en éléments nutritifs. Le seul inconvénient de ce milieu est qu'il y a parfois formation d'un précipité au moment de la stérilisation.

Un milieu plus élaboré a été mis au point par Provasoli. Il s'établit en deux solutions qu'on mélange au moment de l'emploi.

— La solution A se compose de :

- 100 ml d'eau distillée, milliporée ou stérilisée par Ultra-violets,

- 350 mg de nitrate de sodium,
- 50 mg de glycérophosphate de sodium,
- 2,5 mg de EDTA-fe jouant le rôle de chelateur,
- 10 µg de vitamine B₁₂,
- 0,5 mg de thiamine,
- 5 mg de Biotine,
- 500 mg de diamino 2 hydroxyméthyl 1-3 propane diol appelé, plus couramment TRIS servant à tamponner le milieu.

— La solution B comprend principalement des métaux sous forme :

- d'acide Borique 0,114 g,
- de chlorure de fer 4,9 mg,
- de sulfate de manganèse 14,4 mg,
- de sulfate de zinc 2,2 mg,
- de sulfate de Cobalt 0,48 mg,
- de Na₂ EDTA 100 mg (Etylène Dioxyde Triméthylamine), pour 1 000 ml d'eau distillée.

Au moment de l'emploi, on ajoute 25 ml de la solution B à la solution A.

Ce milieu a l'avantage d'avoir une composition parfaitement connue laissant peu de place au hasard. Il ne pourra cependant pas être stérilisé à 100°, opération qui détruirait les vitamines. Il est généralement stérilisé par ultrafiltration sur millipore ou par exposition aux rayons ultra-violet.

La deuxième condition pour la réussite d'une culture d'algues unicellulaires réside dans la température qui doit se situer en moyenne entre 18° et 20 °C.

La troisième réside dans l'éclairage, l'intensité lumineuse doit être suffisante pour assurer le métabolisme ; l'exigence varie selon les espèces de 2 500 à 5 000 lux ; elle peut être fournie naturellement par l'énergie solaire dans le cas des bassins à ciel ouvert, par des tubes fluorescents ou des lampes à décharges dans le cas d'éclairage artificiel.

B) LES CULTURES D'ALGUES UNICELLULAIRES POUR L'ALIMENTATION.

Lorsque les conditions précédemment citées sont respectées, on peut obtenir des cultures d'algues unicellulaires. Nous parlerons d'abord de celles réalisées pour l'alimentation et en premier lieu de celles destinées à l'alimentation humaine.

1. — Cultures d'algues unicellulaires pour l'alimentation humaine.

Les cultures d'algues unicellulaires pour l'alimentation humaine concerne deux espèces : *Chlorella vulgaris* et *Spirlina maxima*.

a) *Chlorella* est une algue verte appartenant à la classe des chlorophycées et à l'ordre des chlorococcales.

C'est une cellule arrondie de 5 à 6 μ de diamètre, pourvue d'un chromatophore portant un pyrénocèle. Elle ne possède jamais de flagelle, même en période de reproduction.

La reproduction est réalisée par la division d'une cellule adulte en quatre cellules-filles, soit jouant le rôle d'individus asexués, soit copulant lorsque les conditions de milieu deviennent difficiles à supporter.

L'étude de sa composition chimique montre qu'elle contient jusqu'à 50 % de protéines parmi lesquels les acides aminés essentiels, 20 % de lipides (cette valeur pouvant être nettement plus élevée chez les individus âgés cultivés dans un milieu pauvre en azote), 15 % de glucides. On y trouve aussi la plupart des facteurs de croissance comme la Provitamine A c'est-à-dire le β carotène, la vitamine B, la vitamine C, la vitamine K et la provitamine D.

Trois techniques de cultures sont connues.

— La culture en milieu fermé ; dans ce cas, les algues circulent simplement dans des tubes en verre ou vinyl, généralement plats. Le débit est d'environ

35 à 50 cm à la seconde pour un volume total de milieu compris entre 800 et 1 000 litres. La zone éclairée couvre près de 15 m² ; l'air enrichi en CO₂ vient barboter dans le milieu selon un débit maintenu entre 25 et 30 l par minute.

— La culture peut aussi se faire en milieu fermé avec recyclage de l'eau. Ce système diffère du précédent par le fait que l'eau du milieu est constamment régénérée par passages à travers des filtres.

— Enfin, il y a la méthode du milieu ouvert. La culture est réalisée dans de grands bacs ayant de nombreuses arêtes, ce qui favorise l'agitation et l'illumination. L'eau est enrichie en gaz carbonique par une série de tubes dont le débit est de 250 l par minute ; la surface éclairée mesure selon les cas de 2,5 à 5,5 m². Le volume liquide dépasse généralement 300 litres, mais atteint rarement 600 litres. La culture se fait la plupart du temps à ciel ouvert, utilisant ainsi directement l'énergie solaire.

Le système mis au point par les japonais est précisément un milieu ouvert : il consiste en un bassin de 5 m de diamètre et 20 cm de profondeur avec un îlot au centre. Une pompe de 1/2 CV aspire la culture du bassin et la conduit à l'intérieur d'un tourniquet placé sur l'îlot central et muni de bras percés de trous. Sous l'effet du courant, les bras tournent et répartissent la culture en la brassant ainsi continuellement.

Avec un tel dispositif, on peut obtenir 12,5 g de substance sèche par m² et par jour, alors que le système ouvert classique ne donne que 7,6 g/m² et par jour.

Le coût de la production d'un kg de *Chlorella* sèches est évalué à 1,10 F. Ces *Chlorella* contenant 50 % de protéines, le coût du kg de protéines non purifiées revient donc à 2,20 F. Par rapport aux prix des protéines extraites de l'arachide qui est de 1,10 F, ou de celles extraites de la levure qui est de 1,50 F, le kg de protéines provenant de *Chlorella* n'est pas compétitif. Mais, avec les nouveaux perfectionnements qui pour-

ront être apportés au circuit ouvert et l'augmentation des prix qui affectent les autres sources de protéines, il pourrait bien en être autrement dans les cinq années à venir.

Au Japon, les *Chlorella* sont concentrées en une pâte qui est incluse dans des gâteaux, des glaces et des crèmes.

b) *Spirulina maxima* appartient à la classe de Myxophycées. Elle est donc caractérisée par la structure très rudimentaire de sa cellule sans chromatographe avec des pigments photosynthétiques dissous dans le cytoplasme. Ces pigments sont la chlorophylle, la phycocérythrine et la phycocyanine. La coloration bleue de cette dernière l'emporte, ce qui donne à l'algue une teinte bleue d'où l'ancienne dénomination de la classe : classe des algues bleues ou cyanophycées.

Le noyau est mal différencié en une zone nucléaire. On note dans la cellule des grains très réfringents appelés cyanophycines équivalents peut-être à des nucléosomes.

L'espèce se présente sous forme d'un filament à 7 spires de 230 à 300 μ de longueur.

La reproduction sexuée n'est pas connue. La propagation de l'espèce se fait grâce à une cellule différenciée : l'hétérocyste, au niveau de laquelle le filament se scinde en deux filaments fils.

La substance de réserve est le glycogène. La composition en poids sec s'établit comme suit :

- Protéines 62 % ;
- Lipides 2 à 3 % ;
- Glucides 16 à 28 % ;
- Sels minéraux 8 %.

On y trouve les acides aminés essentiels à l'exception des acides aminés souffrés.

Cette algue est exceptionnellement abondante dans les lacs au Nord de la

République du Tchad. Elle constitue une importante part du phytoplancton récolté par les autochtones depuis des temps immémoriaux. La récolte est mise à sécher au soleil sur le sable et vendue sous forme de gâteaux sur les marchés locaux.

On ne peut à proprement parler de *Spirulina maxima* comme d'une algue d'eau douce puisqu'elle se développe dans un milieu contenant jusqu'à 24 g de sels par litre, parmi lesquels des carbonates et bicarbonates de sodium.

Mais, ce n'est pas non plus une algue marine car, dans le milieu où elle vit, le rapport entre les sels n'est pas le même que celui existant dans le milieu marin.

Etant donné la richesse de l'algue en protéines, des cultures ont été tentées dans une unité pilote en bassin ouvert. L'ensemble se compose :

- d'un bassin de production de 20 m de longueur, 5 m de large et 7 cm de hauteur ;
- de deux puits de 110 cm de profondeur à chaque extrémité du bassin.

Ces puits permettent l'injection de CO_2 dans le milieu de cultures, ce qui assure la bonne circulation du liquide.

La production estimée du dispositif est de 40 à 50 T d'algues sèches par hectare et par an.

Les essais effectués sur des lots de rats nourris avec l'algue ont montré que la valeur biologique de cette espèce est acceptable et intéressante.

Mais, dans ce cas, comme dans le cas précédent, le prix de revient du kg de protéines reste élevé, par rapport aux autres sources de protéines. Les recherches se poursuivent dans ce domaine, surtout depuis la crise qui a affecté la principale source de protéines pour la nourriture animale : le soja.

2. — Cultures d'algues pour l'alimentation animale.

D'autres algues unicellulaires sont employées comme nourriture dans l'élevage des crustacés.

— Soit pour la nourriture des larves qui sont généralement planctonophages ; on utilise alors des diatomés telles que *Nitzzia* ou *Skeletonema* particulièrement pour l'élevage des crevettes ou des chrysophycées tels que *Isochrysis* ou *Monochrysis*.

— Soit pour la nourriture de très jeunes crustacés qu'il s'agisse de homards ou de langoustes au stade larvaire. En réalité, les algues ne servent pas directement de nourriture aux crustacés qui sont au stade carnivore, mais elles sont la nourriture des *Artemia* qui seront mangés par les crustacés. On utilise à cet effet l'algue verte *Tetraselmis*, algue coloniale voisine de *Chlorella*.

Ces algues sont cultivées dans des ballons à forte capacité ou dans des bacs éclairés par des tubes fluorescents. A intervalle régulier, une partie de la culture est prélevée pour la nourriture des larves : les cellules restant dans le bac continuent à se multiplier et reconstituent en quelques jours la concentra-

tion identique à celle d'avant le soutirage.

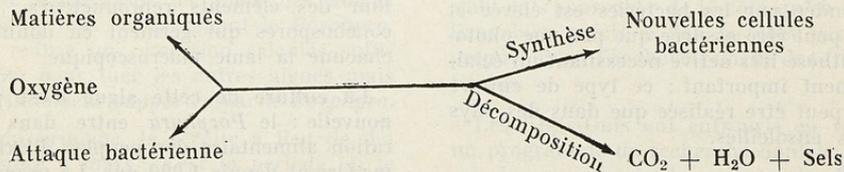
Mais, il est nécessaire de refaire périodiquement les cultures, de façon à en éviter le vieillissement.

C) UTILISATION DES CULTURES D'ALGUES UNICELLULAIRES POUR LA PURIFICATION DES EAUX.

Dans ce cas, on fait surtout appel aux genres *Chlorella*, *Chlamydomonas* et *Scenedesmus*. Ce type de cultures est réalisé aux Etats-Unis, dans les états ayant un très fort éclairage solaire.

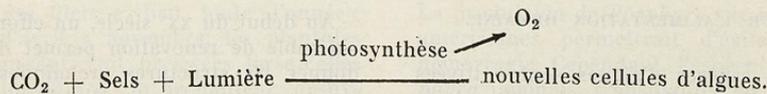
Les algues sont mises en cultures dans de grands réservoirs où vont être progressivement déversées des eaux polluées. Ces eaux pauvres en oxygène en raison de leur forte teneur en matières organiques vont s'enrichir en oxygène au contact du milieu de cultures qui est riche en oxygène produit par les algues.

La présence de cet oxygène va permettre l'action des bactéries aérobies qui vont décomposer les matières organiques en donnant du gaz carbonique et des sels. Elles trouveront en même temps l'énergie pour la multiplication bactérienne.

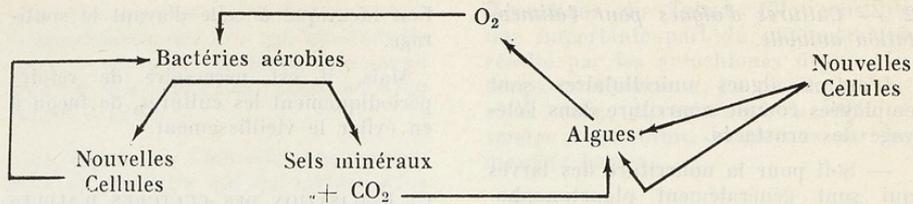


Le gaz carbonique et les sels produits vont favoriser le développement des

algues qui se multiplient et augmentent la production d'oxygène.



Ainsi s'établit le cycle suivant.



Le rapport entre la synthèse et la décomposition est de 1 ; il n'y a donc pas de perte.

Le cycle s'accélère avec le temps.

S'il n'y avait pas d'algues dans les réservoirs, il n'y aurait pas assez d'oxygène pour une décomposition aérobie. Seules, les bactéries anaérobies entre-raidraient en action : la décomposition serait incomplète, il y aurait production de gaz malodorants. La décomposition serait lente, le rapport entre la synthèse et la destruction serait de 1/3, c'est-à-dire une forte perte en énergie.

La présence des algues accélère l'épuration ; permet une épuration complète ; évite les pertes.

Quoique les algues ne produisent de l'oxygène que pendant le jour, la quantité produite est nettement supérieure à leur propre besoin et à celui des bactéries.

Cependant, la quantité d'oxygène demandée par les bactéries est élevée et ne peut être assurée que par une photosynthèse très active nécessitant un éclairage important : ce type de culture ne peut être réalisée que dans des pays très ensoleillés.

II. — LA CULTURE DES ALGUES PLURICELLULAIRES

A) POUR L'ALIMENTATION HUMAINE.

Trois espèces d'algues sont cultivées pour l'alimentation humaine, *Porphyra tenera*, *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*, *Monostroma*.

1. — *Porphyra tenera*.

Le *Porphyra tenera* est une algue rouge qui se présente sous la forme d'une lame très fine. Elle appartient à la classe des Rhodophycées et à l'ordre des Bangioidés.

Le cycle de reproduction a été découvert par Miss Drew : vers la fin de l'été, des cellules composant la bordure de la lame divisent leur contenu en 32 ou 64 éléments qui sont émis dans le milieu extérieur par une ouverture se formant dans la paroi de la cellule mère. Ces cellules constituent les spores : elles sont arrondies et mesurent de 4 à 5 μ de diamètre.

Chaque spore germe à condition qu'elle soit dans une coquille de mollusque en donnant un filament microscopique de 25 à 30 μ : ce stade filamenteux constitue le stade *Conchococlis*.

A maturité, ce filament émet à son tour des éléments reproducteurs : les conchospores qui germent en donnant chacune la lame macroscopique.

La culture de cette algue n'est pas nouvelle : le *Porphyra* entre dans la ration alimentaire des peuples d'Extrême-Orient depuis 1 000 ans. Le premier essai de culture date de 1736 dans la baie de Tokyo ; au début du XIX^e siècle, cette activité s'étend rapidement au reste des îles japonaises et vers la Corée.

Au début du XX^e siècle, un effort considérable de rénovation permet d'abandonner les structures archaïques pour une nouvelle méthode : l'utilisation des filets qui remplacent les branchages et les bambous.

Il a été remarqué que cette algue peut supporter un degré de pollution relativement élevé et qu'il y avait dans ce milieu pollué une très forte production de Conchospores, nettement plus intense que dans les zones salubres. Par contre, les algues se développant dans ce milieu pollué sont impropres à la consommation.

La technique qui a prévalu de 1920 à 1953 consistait à placer les filets en zone polluée pour récolter le maximum de Conchospores, puis à les transférer, une fois ensemencés, dans des aires salubres de façon à obtenir des algues consommables.

Depuis 1953, la technique a considérablement évolué : on récolte d'abord des thalles *Porphyra* présentant une frange blanchâtre, ce qui indique qu'il y a production de spores ; ces lames sont placées dans des bassins contenant des coquilles d'huitres ; les spores émises viennent se fixer dans ces coquilles et donnent le stade *Conchocoelis*. Les coquilles d'huitres contenant ce stade sont suspendues ensuite sous les filets et les conchospores émises viennent se fixer sur le filet.

Certes, d'autres algues se développent aussi sur ces filets. Cependant, le *Porphyra* a une résistance à l'émersion supérieure à celle des autres algues. Aussi, pour débarrasser les filets des autres espèces tout en épargnant le *Porphyra*, on réalise une émersion calculée suffisante pour tuer les autres algues mais parfaitement supportée par le *Porphyra*.

En principe, la récolte a lieu de décembre à mars : c'est la période où le *Porphyra* a un goût convenable. Elle s'effectue à l'aide d'une sorte d'aspirateur à piles, muni à son extrémité d'une hélice coupante.

En réalité, depuis 1967, l'ensemencement des filets a lieu toute l'année ; mais d'avril à novembre, les plantules apparaissant sont prélevées lorsqu'elles n'ont que 2 à 3 cm de hauteur, déshydratées partiellement jusqu'à ce que leur teneur en eau passe de 90 à 20 %,

puis réfrigérées jusqu'à — 20 °C. Elles sont maintenues en vie ralentie jusqu'en décembre : à ce moment-là, elles sont remises à l'eau. Elles se développeront en quelques semaines pendant la période où elle parviendront à la meilleure qualité.

En 1970, la moitié de la production était constituée d'algues réfrigérées dans le stade jeune.

La culture est très rentable en raison du prix élevé de l'algue qui atteint les 9 F par 100 g d'algues sèches.

Le *Porphyra* est vendu sur le marché japonais sous le nom de Nori. On l'utilise :

- broyé en une bouillie qui est incorporée dans les gâteaux, les flans, les crèmes ;
- compressé en une lame qui servira à saisir les aliments et les sauces, tel le pain chez nous ;
- séché en une lame qui pourra être grillée après avoir été épicée et huilée par de l'huile de soja.

Depuis 1969, la pollution marine des eaux japonaises est devenue telle qu'elle a même atteint un seuil critique pour le *Porphyra* et les centres de cultures s'installent le long des côtes coréennes. Ils sont devenus si étendus qu'il n'est possible de s'approcher de la côte qu'en des lieux bien précis si l'on ne veut pas se prendre dans l'enchevêtrement des filets tendus.

Les Etats-Unis ont entrepris en 1972 un programme de recherche dont le but est de promouvoir la culture du *Porphyra* le long des côtes du Pacifique. La population asiatique qu'abrite ce pays consomme en effet une quantité importante de *Porphyra* provenant du Japon, ce qui est une perte de devises. La production de *Porphyra* sur les côtes américaines permettrait d'éviter cette hémorragie. Cependant, l'espèce de *Porphyra* japonais, transplantée en Californie, perd une partie de ses qualités ; aussi est-il indispensable de sélection-

ner d'autres espèces de *Porphyra* et d'étudier de nouvelles techniques de culture.

2. — *Laminaria japonica*.

Laminaria japonica est une algue brune, de la classe des Phéophycées, de l'ordre des Laminariales et de la famille des Laminariacées.

Le cycle de reproduction commence par l'apparition sur le thalle de l'algue de tâches brunes, d'abord isolées, ensuite confluentes : ces thalles sont les sores. Ces sores apparaissent au microscope constitués de nombreux petits sacs : les sporocystes contenant de minuscules grains : les spores. Le nombre de spores est théoriquement de 64 mois, en réalité, à la suite de mortalité, il se situe généralement en-deçà de ce nombre.

Lorsque le sporocyste arrive à maturité, sa paroi éclate, ce qui libère les spores. Ces spores sont biflagellées, nagent 24 à 48 h, puis germent, chacune en un filament : le gamétophyte. La spore mâle donnera un gamétophyte mâle très ramifié et grêle, la spore femelle développera un gamétophyte plus court et plus gros.

Les gamétophytes mâles produisent, au terme de leur évolution, des gamètes mâles nombreux et mobiles ; les gamétophytes femelles produisent des gamètes femelles presque immobiles, puisque leur seul déplacement consiste à sortir des oocystes qui les contiennent.

La rencontre des gamètes mâles et des gamètes femelles est suivie d'une copulation et de la formation d'un zygote. Celui-ci, en germant, donnera la plantule qui se développera en une algue macroscopique.

La saison de cueillette se situe de mai à novembre ; mais la période la plus favorable est de juin à août, car les plantes ne sont plus trop jeunes et ne

sont pas encore fertiles. L'algue vit à trois mètres au-dessous du niveau des plus basses mers.

La culture est pratiquée depuis près de 300 ans ; elle a consisté simplement au début à placer des blocs rocheux dans des zones sableuses de façon à créer des substrats solides sur lesquels l'espèce pouvait se fixer.

Depuis, on a fait appel à l'utilisation des filets ou de cordages : une certaine quantité de frondes fertiles sont disposées dans des bassins tapissés de cordages ou de filets. La température est alors amenée de 6° à 15 °C, ce qui provoque l'émission des spores. 48 heures après, les spores sont fixées sur les cordes et commencent à germer, produisant des gamétophytes, qui donnent naissance aux gamètes ; il s'ensuit une copulation, formation de zygote et apparition des plantules. A ce moment-là, les cordes ou les filets sont transportés dans le milieu naturel où les plantules, toujours fixées aux cordes, se transformeront en plante adulte dont la longueur peut atteindre jusqu'à 10 mètres.

Cette algue contient une forte proportion de sucre, ce qui lui donne un goût agréable et permet de l'utiliser directement pour la nourriture humaine sous forme de farine, ou de la mélanger à d'autres produits après un traitement à l'acide acétique.

Le tonnage consommé par les Japonais dépasse 16 000 t alors que la cueillette et la culture ne produisent que 12 000 t ; 4 000 t doivent donc être importées.

Parmi les autres laminaires consommées, on notera *Laminaria religiosa*, *L. saccharina*, *L. angustata*, qui est exportée vers la Chine en grande quantité, *L. cichoriodes*, *L. ochotensis* qui peut atteindre 12 m de longueur et dont la qualité égale celle de *L. japonica*, *L. fragilis* caractérisée par une forte teneur en sels et en iode ; la meilleure qualité est fournie par *L. religiosa*.

3. — *Undaria pinnatifida*.

La troisième algue intervenant dans la ration alimentaire des peuples d'Extrême-Orient est l'*Undaria pinnatifida*. C'est aussi une algue brune de l'ordre des Laminariales et de la famille des Alariacées.

Il s'agit d'une espèce endémique présente sur toutes les côtes japonaises, à l'exception du Nord-Est et du Sud-Est de l'île d'Okkaido ; elle s'étend aussi sur les côtes chinoises et coréennes.

Elle se développe sur des substrats rocheux, généralement entre le niveau des plus basses mers et 15 mètres de fond, quoique certains échantillons se fixent dans la zone intertidale.

Cette algue est utilisée au Japon pour la création d'un produit appelé « Wakamé ». La récolte a lieu de février à juin, le matériel est lavé à l'eau fraîche, la nervure centrale éliminée et le reste du thalle mis à sécher sur fil. Une fois celui-ci partiellement sec, on le pétrit et on le sèche complètement : il constitue le « Wakamé » qui est vendu en gerbes ou fragmenté ou encore grillé ou cuit avec du sucre. Il peut être aussi utilisé en conserve sous le nom d'« Ito wakame ».

La quantité consommée est très élevée puisque le tonnage total dépasse 10 000 t de produit fini, ce qui correspond à une récolte brute de 45 000 t. La cueillette est associée à une culture intensive.

Le cycle de reproduction est le même que celui défini précédemment et, de ce fait, le système de culture est identique : dans des bassins contenant une eau de mer enrichie en nitrates et en phosphates, on immerge des thalles fertiles et cordages. Puis, on élève la température de 5 à 18 °C, ce qui provoque l'émission des spores. Ceux-ci se fixent sur les cordages et le cycle onthogénique va se poursuivre jusqu'à l'apparition des plantules ; à ce moment-là, les cordages sont prélevés des bassins et tendus

dans le milieu naturel entre des pieux ou des bouées.

L'algue contient 15 % de protéines, 57 % de glucides, de la pro-vitamine A, des vitamines B₁, B₇, B₈ et de la Niacine.

Undaria pinnatifida f. *distans* qui diffère du *Undaria pinnatifida* typique par ses dimensions, *Undaria undarioides* et *Undaria peterseniana* sont aussi employés pour la production du « Wakame ».

4. — *Les Monostroma*.

Les *Monostroma*, particulièrement *M. latissimum* et *nitidum*, sont aussi cultivés en différents lieux au Japon, généralement là où le *Porphyra* ne peut se développer ou en dehors de la saison où le *Porphyra* se développe. Ce sont des algues vertes en lames formées d'une seule couche de cellules. Comme pour le *Porphyra*, la culture était traditionnellement réalisée sur des branchages ; mais, cette technique a cédé la place aux filets qui, en septembre, sont tendus dans des eaux peu profondes en bordure d'estuaires.

La production dépasse 2 000 t de *Monostroma* séché. L'algue contient 16 % de protéines, 0,2 % de lipides, 66,6 % de glucides, 12,2 % de sels.

B) CULTURES POUR LA PRODUCTION DE MATIÈRE PREMIÈRE INDUSTRIELLE.

Certaines algues sont utilisées par l'industrie comme matière première servant à l'extraction de certains composés. La demande de ces industries augmentant sans cesse et les sources d'approvisionnement étant limitées, la culture de ces algues est devenue la seule solution possible.

1) *Cultures des algues brunes pour la production d'acide alginique : culture de Macrocystis*.

La culture de l'algue *Macrocystis* est réalisée le long des côtes californien-

nes ; on en extrait une substance appelée acide alginique dont les applications sont nombreuses.

Le genre *Macrocystis* appartient au groupe des Pheophycées, c'est-à-dire des algues brunes, à l'ordre des Laminariales et à la famille des Lessoniacés. Il comprend trois espèces : *Macrocystis angustifolia*, *M. integrifolia* et *M. pyrifera* ; seule l'espèce *Macrocystis pyrifera* est l'objet de culture.

C'est une algue pouvant atteindre 30 à 50 m de longueur à l'état adulte et les parties supérieures viennent flotter à la surface. Chaque plant se compose de 4 parties :

- le crampon qui se fixe entre 7 et 23 m de fond sur des substrats rocheux ;
- partant d'un crampon, une « tige », le stipe qui se divise en quatre ramifications ou plus ;
- des folioles partant du stipe et des ramifications : chaque foliole est pourvue sur son pédicelle d'un flotteur, ou pneumatocyste ;
- une lame qui termine chaque ramification : cette petite lame est la zone de croissance.

L'ensemble constitue la fronde. La longévité de la fronde est de 6 à 9 mois ; mais au cours de sa vie, elle va donner naissance à partir de son crampon à d'autres frondes si bien que l'aspect général de l'algue ne varie pas alors que les frondes sont constamment renouvelées.

Chaque fronde bénéficie d'une croissance très rapide qui peut atteindre, dans les meilleures conditions, 60 cm par jour. Aussi, est-il possible de sectionner la partie supérieure de l'algue tous les 4 mois ; la partie sectionnée se reconstitue en effet très rapidement : un pied donne jusqu'à 63 kg de matière fraîche par an.

La récolte est réalisée au moyen de gros bateaux de 100 m de long, munis

sur leur arrière d'un tapis-roulant métallique : le bateau recule, obligeant les parties flottantes de l'algue à entrer en contact avec le tapis-roulant qui les entraîne par son mouvement ascendant. Un système de scies en ciseaux séparera la partie flottante du reste du pied. Chaque bateau peut transporter jusqu'à 300 tonnes par jour.

La culture de cette algue permet le maintien et l'extension des champs existants ainsi que la création d'autres champs.

La méthode est conditionnée par le cycle de reproduction de l'espèce.

- a) Certaines folioles situées près du crampon se différencient en sporophylles, c'est-à-dire en feuilles reproductrices : elles n'ont pas de flotteurs et présentent sur leur pédicelle une teinte bleue. Elles se recouvrent de tâches marrons qui convergent en une large tâche visible par transparence : le sore.
- b) Vu au microscope, le sore est constitué par de nombreux sacs, les sporocystes, contenant de nombreux grains, au plus 64 : les spores.
- c) Ces spores sont émises dans le milieu ; ce sont alors des cellules ovoïdes de 2 à 4 μ , pourvues de 2 flagelles. Elles nagent de 24 à 48 heures, puis se fixent et germent.
- d) Elles germent chacune en un système filamenteux, microscopique ramifié : le gamétophyte, qui est mâle ou femelle selon la sexualité de la spore dont il est issu.
- e) A maturité, ces gamétophytes libèrent les gamètes ; les gamètes mâles sont petits, mobiles ; les gamètes femelles sont plus gros et ne font que sortir de la cellule-mère sans autre déplacement.
- f) Le gamète mâle vient féconder le gamète femelle qui germe en donnant une plantule ; celle-ci en

se développant deviendra le thal-
le géant.

Dans un premier temps, la culture a été réalisée de la manière suivante : une algue adulte et fertile, fixée en un point A, était délicatement détachée du substrat et transférée en un point B dépourvu d'algue. L'algue introduite libérait des spores autour de B et celles-ci donnaient naissance à d'autres pieds. Les chances de réussite sont relativement faibles car de nombreuses spores, de nombreux gamétophytes et de nombreuses plantules périssent sous l'action de la houle, du ressac, de la concurrence des autres espèces, des brouteurs d'algues tels que les oursins, certains mollusques et certains poissons.

Dans un deuxième temps, on a cherché à réaliser une partie du cycle au laboratoire :

- des folioles fertiles sont disposés dans de l'eau de mer à 15 °C : elles libèrent les spores qui nagent ;
- la solution renfermant les spores est versée dans un récipient contenant un ruban en laine de verre plissé en accordéon ; au bout de quelques heures, les spores se fixent sur le ruban ;
- le ruban est alors déplié et étendu dans un canal parcouru par de l'eau de mer à 5 °C ;
- le cycle se déroule normalement et lorsque les plantules atteignent 2 à 3 mm de longueur, le ruban est amené en mer, descendu sur le fond par un plongeur et fortement secoué ; les plantules se détachent, tombent sur le fond par gravité, s'y fixent et se développent. Mais, en réalité, à cause des courants et du mouvement des eaux, de nombreuses plantules sont perdues ; le pourcentage de survie est de 1 pour 100 000 plantules.

La technique mise au point en 1971 par le Professeur North permet un pourcentage de survie beaucoup plus élevé : le ruban est remplacé par un manchon sur lequel sont enfilés de nombreux anneaux en polypropylène. Lorsque les plantules deviennent visibles à l'œil nu, les anneaux qui les portent sont séparés les uns des autres et fixés en profondeur au point désiré ; les plantules se développent d'abord sur l'anneau, puis s'accrochent aux rocs à mesure que le crampon s'étend.

L'algue ne se fixe que sur des substrats rocheux : lorsque le fond est sableux, on dispose des blocs tous les 3 à 4 m et on dépose sur chaque bloc un anneau portant les plantules. On parvient à créer ainsi des champs dans les zones sableuses qui, jusqu'à présent, étaient dénudées, ce qui permet un enrichissement du biotope ; la présence d'un thalle de *Macrocystis* multiplie par 5 le taux de protéines du milieu.

Ce type de culture est tout à fait rentable du fait de la croissance très rapide de l'algue et de la longévité de chaque thalle qui approche les 10 ans.

Cette culture est réalisée par 3 organismes :

- par des équipes dépendant des usines de traitement,
- par les services de l'Environnement dont un bateau est équipé spécialement pour ce travail,
- par les Clubs de Pêches car les champs constitués s'avèrent très riches en poissons, en crustacés, en mollusques et en échinodermes.

Ces champs s'étendent sur plus de 300 km de longueur.

La récolte totale dépasse 250 000 t par an.

Les champs des côtes californiennes présentent cependant un inconvénient : ils sont très fortement altérés lorsque la température dépasse 22°

pendant une période de 2 à 3 mois. C'est la raison pour laquelle la recherche scientifique s'est efforcée de sélectionner des thalles résistant à cette température. Parmi les nombreux thalles testés, un seul s'est avéré résister à 25 °C, et ces descendants, obtenus à partir de ses spores présentent la même résistance. Ce thalle en question a été placé dans un bassin spécialement aménagé devant le laboratoire de Corona-del-mar spécialisé dans la culture du *Macrocystis*. Tous les champs de Californie vont être réensemencés à partir des spores de ce thalle étalon.

On étudie même actuellement la possibilité d'implanter cette algue résistant à 24° dans les zones marines où toute végétation a été détruite par l'élévation de la température due au déversement d'eau ayant servi à refroidir les réacteurs nucléaires.

2) Cultures d'algues rouges productrices de carrageenanes.

Les carrageenanes sont des produits extraits des algues rouges de l'ordre des Gigartinales. Ils se présentent sous forme d'une poudre blanchâtre, inodore, sans saveur. On en distingue plusieurs types, ceux qui permettent d'épaissir les solutions et qui concurrencent parfois de ce fait l'acide alginique, ceux qui permettent l'obtention de gels qui sont les concurrents de l'agar.

Ils ont, en outre, des propriétés particulières telles que celle de précipiter les protéines, en particulier les protéines du lait, d'où l'utilisation en laiteries pour la fabrication de la plupart des produits laitiers.

Ils inhibent l'action de l'enzyme gastrique, la pepsine, et par un processus complexe permettent la guérison des ulcères gastriques.

Parmi les algues fournissant ce produit, les plus connues sont l'*Eucheuma* et le *Chondrus*. La récolte ayant atteint le maximum alors que la demande ne cesse de croître, la culture a paru être

la solution à ce problème. La culture de l'*Eucheuma cottonii* est effective, celles du *Chondrus crispus*, de l'*Eucheuma spinosum*, de l'*Eucheuma isiforme* sont au stade de la recherche.

A. — LA CULTURE DE L'EUICHEUMA COTTONII.

L'*Eucheuma Cottonii* est une algue dont la couleur peut varier du rouge sombre au vert olive. Elle appartient à la classe des Rhodophycées à l'ordre des Gigartinales et à la famille des Solériacées.

C'est une algue très polymorphe se présentant sous la forme d'un axe ramifié plus ou moins hérissé d'épines.

Cet axe croît par l'action de cellules génératrices apicales qui, en se divisant par leur base, donnent des files de cellules axillaires.

De chaque cellule axillaire naît une cellule latérale qui donne naissance par segmentation dichotomique à une ramification latérale.

De la cellule latérale, se forment aussi des filaments descendants qui vont consolider la fixation de l'algue sur le substrat.

La ramification latérale se termine par des cellules plus petites qui, fortement colorées car très riches en pigments, assureront la photosynthèse.

L'aire de répartition de cette algue se situe sur les rives des Philippines, de l'Indonésie, de l'Australie, c'est-à-dire entre le 10° de latitude nord et le 15° de latitude sud. On la trouve aussi en Tanzanie. Certains auteurs la signalent sur les côtes de l'île Maurice, c'est-à-dire par 20° de latitude sud.

Outre la reproduction sexuée, il existe chez cette algue une reproduction végétative, c'est-à-dire en quelque sorte une propriété de régénération. Les cellules axillaires ont le pouvoir de devenir cellules génératrices si bien

qu'en cas de cassure de l'algue, les cellules axillaires devenues extrémités jouent le rôle de cellules génératrices et assurent la poursuite de la croissance. Ainsi, un fragment d'algue peut se développer indépendamment du pied d'où il est issu. Réciproquement, un plant dont on a prélevé une partie des tissus peut retrouver un développement normal.

Le système de culture actuel se fonde sur cette propriété.

Il a été étudié aux Philippines par les équipes de recherches de la firme américaine « Marine Colloids » et est actuellement réalisé par plus de 150 familles dans l'archipel de Sulu.

Un fermier « maritime » achète une concession marine sur laquelle il installe le système de culture. L'unité de ce système est un filet de $5 \times 2,5$ m en monofilament de 8 mm ; seul, le cadre est constitué d'un cordage plus solide généralement du 11 mm. La maille du filet est de 30 cm, chaque point d'intersection est un point de fixation des plants, soit, en tout, 127 intersections.

Le fermier installe le filet horizontalement à 150 cm du sol et sous le niveau des plus basses mers en l'attachant à un tripode formé de 3 pieux de palétuviers.

200 filets de ce type sont groupés sur 2 500 m² : l'ensemble de 200 filets constitue un « module » : il portera 25 400 plants.

L'ensemencement s'effectue avec des morceaux d'algues de 150 à 200 g attachées au monofilament en nylon par un lien en plastique. Une famille de 4 personnes travaillant 3 à 4 h par jour au moment des basses mers peut ensemer un module en moins de 3 semaines.

Une fois l'ensemencement réalisé, elle devra nettoyer régulièrement les filets et les *Eucheuma* pour le débarrasser des algues indésirables qui viennent se fixer sur les filaments ou en

épiphytes sur les *Eucheuma*. Ces algues en limitant l'ensoleillement gêneraient le développement de l'*Eucheuma*.

Il n'y a pratiquement pas de prédateurs. Seuls, seraient à craindre les oursins. En fait, les filets étant situés au dessus du fond, les oursins ne peuvent y grimper et atteindre les algues. Il est à noter cependant que grand nombre d'oursins sont attirés par les plantations d'*Eucheuma*, ce qui permet une pêche active effectuée par le fermier lui-même qui vend ces échinodermes sur le marché philippin où ces animaux constituent un mets recherché.

La croissance de l'algue sur les filets est supérieure à la croissance de l'algue sauvage. Elle est de 2 à 4 % par jour, ce qui revient à doubler le poids en 30 jours.

La récolte a lieu tous les deux mois : l'algue pèse alors près de 800 g. Le fermier récolte en fait 600 g, laissant 200 g fixé au nylon, ce qui évite de retransplanter. Les 200 g restant régèneront en 2 mois les 600 g prélevés.

4 personnes peuvent récolter un module en 2 semaines. L'*Eucheuma* récolté est déshydraté pendant 2 à 3 jours au soleil jusqu'à ce que son taux d'humidité soit suffisamment bas pour éviter les fermentations lors de la mise en balle.

La récolte à partir de l'*Eucheuma* sauvage était de 800 t en poids sec en 1966. A la suite d'une surexploitation, elle est tombée à 300 t en 1970. Elle plafonne actuellement à 8 000 t grâce à la culture. La majeure partie de ce tonnage est représenté par les *Eucheuma* cultivés.

La production à l'hectare est de 30 t par an (poids sec), soit un gain brut de 36 000 F à l'hectare et par an.

Pour une famille cultivant 2 modules, ce qui est le cas le plus courant, le gain net annuel est de 7 000 F, ce qui représente dans ces régions 3 fois le salaire annuel moyen d'un agriculteur.

La recherche s'oriente actuellement dans trois directions :

- la première consiste à essayer de cultiver l'algue à partir de spores ou de carpospores avec sélection de plants pour une meilleure croissance ;
- la seconde est de réaliser des cultures d'*Eucheuma* en bassin en eau de mer courante enrichie en nitrates et phosphates pour une meilleure productivité.

Les premières expériences permettent de penser que la production serait 4 fois supérieure à celle obtenue en milieu naturel pour une même surface, soit 120 t par hectare et par an. *L'Eucheuma* qui a été choisi pour cette culture en bassin est *l'Eucheuma isiforme* que l'on rencontre sur les côtes de Floride. Il contient, en effet, un carrageenane très recherché qui est le iota carrageenane.

La troisième consiste à essayer de faire des cultures d'*Eucheuma spinosum* par multiplication végétative ailleurs qu'en Indonésie ; des essais ont été réalisés avec succès par l'I.S.T.P.M. dans le Tfaï à proximité de Djibouti. Ils devraient se poursuivre par la réalisation d'une culture intensive sur modules.

B. — CULTURE DE CHONDRUS CRISPUS.

Chondrus crispus est une algue rouge de la classe des Rhodophycées de l'ordre des Gigartinales, de la famille des Gigartinacées. Il se présente sous forme d'une algue ramifiée à symétrie bilatérale.

Son aire de répartition se situe sur les rivages de l'Atlantique du Nord.

L'algue contient deux types de carrageenanes de grande valeur, le L carrageenane qui permet la formation de solutions visqueuses et le K carrageenane qui permet la formation de gel dur.

Ces deux carrageenanes sont séparés par traitement au chlorure de potassium : le L carrageenane étant soluble dans une solution de KCl, le K restant insoluble. *Chondrus* présente une structure semblable à *l'Eucheuma* et un cycle de reproduction très comparable.

L'algue présente, comme *l'Eucheuma*, une extraordinaire propriété de régénération. Le brin de *chondrus* sectionné à partir d'un thalle est capable de régénérer le thalle entier.

La culture de cette algue en bassin à ciel ouvert est étudiée depuis 1973 ; elle consiste à déposer des brins de *chondrus* dans des bassins disposés en cascade et parcourus par de l'eau de mer courante enrichie en nitrates et en phosphates.

On maintient dans ces bassins une agitation suffisante pour que l'algue suive un courant qui l'amène périodiquement vers la surface où elle peut capter l'énergie lumineuse.

Cette agitation a été réalisée d'abord par une arrivée de l'eau de mer en jet ; mais, si cela est applicable dans le cas de petits bassins, on ne peut l'appliquer pour des bassins de grandes dimensions. On a essayé de maintenir l'agitation au moyen de pales se déplaçant dans un mouvement ondulatoire. Plus récemment, on s'est reporté à une agitation par injection d'air comprimé enrichi en gaz carbonique.

La croissance est très rapide ; elle varie cependant avec la densité d'algues placés dans les bassins. Pour des densités faibles (1 000 g au m²), la croissance peut être 6 fois supérieure à celle notée dans le milieu naturel à la même période. La production maximale est cependant obtenue pour des densités de 4 500 g au m², elle se traduit par un doublement de ce poids en 30 jours.

Le nitrate de sodium qui a été d'abord utilisé en raison de son prix relativement bas est de plus en plus remplacé par le nitrate d'ammonium qui semble plus efficace.

L'agitation est telle que l'algue se casse lorsqu'elle atteint une taille limite. Les 2 brins qui en résultent se développent indépendamment jusqu'à la taille limite et se cassent à leur tour en deux autres brins. Il n'y a donc pas d'augmentation considérable en taille de l'algue, mais une augmentation en nombre. On a ainsi pu obtenir expérimentalement un poids de 5 tonnes en deux ans en partant de 7 g d'algues.

La taille limite de l'algue peut être réglée en faisant varier le taux de phosphate. Pour une teneur faible, la cassure de l'algue intervient rapidement ; pour un taux fort, la taille limite peut atteindre 15 cm.

On a pu récemment constater que le pouvoir de régénération du *chondrus* est tel qu'il est possible d'ensemencer les bassins, non avec des algues entières, mais avec des débris résultant du passage de l'algue à la moulinette, chaque particule pouvant régénérer un thalle normal.

Dans ce type de culture, comme dans celle de l'*Eucheuma*, on tente d'obtenir une culture à partir de spores, ce qui permettrait une sélection des meilleures variétés, ainsi que l'obtention et la conservation d'un stock de spores utilisables à la demande à n'importe quel moment. Sur ce point, des résultats importants ont été obtenus par le D^r Moeller aux U.S.A.

Si dans les deux ou trois années à venir, les U.S.A. réussissent, et rien ne permet de penser qu'ils ne réussiront pas, à obtenir du « *chondrus* à la carte », c'est-à-dire en quantité et qualité choi-

sies, l'Industrie Européenne des carrageenanes n'aura plus qu'à fermer ses portes, à moins qu'elle n'ait atteint à cette même période les mêmes résultats que les chercheurs américains.

CONCLUSION

On peut prévoir sans le moindre risque d'erreur un doublement de la demande en algues pour la décennie à venir, tant pour l'alimentation que pour l'industrie. Déjà, la consommation japonaise dépasse la production ; déjà, la plupart des champs sont largement sollicités.

On peut donc prévoir pour un avenir proche un important déficit en cette matière première que sont les algues. Seule, la culture sur une large échelle peut pallier ce déficit. Elle se fera par l'amélioration des espèces autochtones ou par l'acclimatation d'espèces non indigènes.

Elle est certes encore à son aurore mais de nombreux efforts sont faits dans ce sens et les quelques succès obtenus permettent d'augurer un développement important.

Elle se heurte actuellement à l'application exagérée de principes tels que la conservation de la nature. Or, la culture végétale en mer, comme l'agriculture, ne peut être basée que sur la sélection d'espèces imposées par l'homme aux dépens d'autres espèces. C'est le seul moyen de préparer aujourd'hui la réalisation de ce qui sera dès demain indispensable pour la survie de l'humanité.

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

I.T.Q.A.-CAHORS. — 50216. — Dépôt légal : III-1975

Les tribunaux de commerce ont été créés en vertu de la loi du 10 mai 1862, et leur compétence est définie par l'article 633 du Code de Commerce.

COMPÉTENCE

La compétence des tribunaux de commerce est déterminée par l'article 633 du Code de Commerce, qui énumère les matières qui leur sont attribuées.

Il est à noter que la compétence des tribunaux de commerce est d'ordre public, et qu'elle ne peut être écartée par une convention entre les parties.

Enfin, il est important de souligner que la compétence des tribunaux de commerce est territoriale, et qu'elle est déterminée par le lieu de la résidence de l'incriminé.

Les tribunaux de commerce ont également une compétence d'ordre public, et leur compétence est définie par l'article 633 du Code de Commerce.

Il est à noter que la compétence des tribunaux de commerce est d'ordre public, et qu'elle ne peut être écartée par une convention entre les parties.

Enfin, il est important de souligner que la compétence des tribunaux de commerce est territoriale, et qu'elle est déterminée par le lieu de la résidence de l'incriminé.

Les tribunaux de commerce ont été créés en vertu de la loi du 10 mai 1862, et leur compétence est définie par l'article 633 du Code de Commerce.

Il est à noter que la compétence des tribunaux de commerce est d'ordre public, et qu'elle ne peut être écartée par une convention entre les parties.

Enfin, il est important de souligner que la compétence des tribunaux de commerce est territoriale, et qu'elle est déterminée par le lieu de la résidence de l'incriminé.

Les tribunaux de commerce ont également une compétence d'ordre public, et leur compétence est définie par l'article 633 du Code de Commerce.

Il est à noter que la compétence des tribunaux de commerce est d'ordre public, et qu'elle ne peut être écartée par une convention entre les parties.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Fondée en 1801

Reconnue d'Utilité Publique en 1824

44, rue de Rennes, 75006 PARIS

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



HISTORIQUE

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

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE EN 1824,

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

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

BUT

LA SOCIÉTÉ S'EST PRÉOCCUPÉE PARTICULIÈREMENT, CES DERNIÈRES ANNÉES, DE DONNER AUX MILIEUX INDUSTRIELS DES INFORMATIONS EXACTES LEUR PERMETTANT DE SUIVRE LES DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DE L'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE.

ACTIVITÉS

ELLE DÉCERNE DES PRIX ET MÉDAILLES aux auteurs des inventions les plus remarquables et des progrès les plus utiles ainsi qu'aux ouvriers et contre-maîtres qui se sont distingués par leur conduite et leur travail. Elle organise des CONFÉRENCES d'actualité scientifique, technique et économique.

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

RECRUTEMENT

La Société recrute, en fait, ses Membres (Sociétés ou Individus) parmi ses anciens Conférenciers ou Lauréats. Ils ne sont soumis à aucune obligation particulière en dehors du paiement d'une cotisation annuelle de QUARANTE FRANCS pour les Personnes ou de CENT CINQUANTE FRANCS pour les Sociétés. Cette cotisation donne droit au service gratuit de la Revue reproduisant le texte des exposés faits à la Société ainsi qu'à une convocation à toutes les Conférences.

