

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
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
	1971, n° 4
	1972, n° 1
	1972, n° 2
	1972, n° 3
	1972, n° 4
	1973, n° 1
	1973, n° 2
	1973, n° 3
	1973, n° 4
	1974, n° 1
	1974, n° 2
	1974, n° 3
	1974, n° 4
	1975, n° 1
	1975, n° 2
	1975, n° 3
	1975, n° 4
	1976, n° 1
	1976, n° 2
	1976, n° 3
	1976, n° 4
	1977, n° 1
	1977, n° 2
	1977, n° 3
	1977, n° 4
	1978, n° 1
	1978, n° 2
	1978, n° 3
	1978, n° 4
	1979, n° 1
	1979, n° 2
	1979, n° 3
	1979, n° 4
	1980, n° 1
	1982, n° spécial

	1983, n° 1
	1983, n° 3-4
	1983, n° 3-4
	1984, n° 1 (1er semestre)
	1984, n° 2
	1985, n° 1
	1985, n° 2
	1986, n° 1
	1986, n° 2
	1987, n° 1
	1987, n° 2
	1988, n° 1
	1988, n° 2
	1989
	1990
	1991
	1992
	1993, n° 1 (1er semestre)
	1993, n° 2 (2eme semestre)
	1994, n° 1 (1er semestre)
	1994, n° 2 (2eme semestre)
	1995, n° 1 (1er semestre)
	1995, n° 2 (2eme semestre)
	1996, n° 1 (1er semestre)
	1997, n° 1 (1er semestre)
	1997, n°2 (2e semestre) + 1998, n°1 (1er semestre)
	1998, n° 4 (4e trimestre)
	1999, n° 2 (2e trimestre)
	1999, n° 3 (3e trimestre)
	1999, n° 4 (4e trimestre)
	2000, n° 1 (1er trimestre)
	2000, n° 2 (2e trimestre)
	2000, n° 3 (3e trimestre)
	2000, n° 4 (4e trimestre)
	2001, n° 1 (1er trimestre)
	2001, n° 2-3 (2e et 3e trimestres)
	2001, n°4 (4e trimestre) et 2002, n°1 (1er trimestre)
	2002, n° 2 (décembre)
	2003 (décembre)

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Titre	L'Industrie nationale : comptes rendus et conférences de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale
Volume	1968, n° 2
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1968

Collation	1 vol. (53 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	64
Cote	INDNAT (83)
Sujet(s)	Industrie
Thématique(s)	Généralités scientifiques et vulgarisation
Typologie	Revue
Langue	Français
Date de mise en ligne	03/09/2025
Date de génération du PDF	08/09/2025
Recherche plein texte	Non disponible
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?INDNAT.83

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
1968 - N° 2

• •

SOMMAIRE

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

« Industrialiser l'Agriculture »

La formule a-t-elle un sens ?

Présentation par M. Paul VAYSSIERE p. 1

- Techniques et méthodes de l'industrie
par M. Pierre PIGANOL p. 3

- Investissements comparés dans l'industrie et
dans l'agriculture
par M. Achille DAUPHIN-MEUNIER p. 12

Discussion p. 18

- Le point de vue des agronomes
par M. Jean REBISCHUNG p. 19
et par M. Jean COCHARD p. 26

Discussion p. 33

Méthodes classiques et méthodes nouvelles en photoélasticimétrie (*)

par M. André ROBERT p. 37

(*) Voir résumé en page 3 de couverture

Publication sous la direction de M. Jacques TREFOUEL

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.

Service et dépôt de la Revue : 15, rue Beauregard, Paris-2° (Tél. 236-74-37)

Abonnement annuel : 28 F le n° : 7,50 F C.C.P. Paris, n° 618-48

Rédacteur en chef
J.-J. Papillon

Secrétaire de rédaction
T. Le Lionnais

“Industrialiser l'Agriculture”

La formule a-t-elle un sens ? ()*

PRESENTATION

par M. Paul VAYSSIÈRE

Président du Comité d'Agriculture de la Société d'Encouragement

En ouvrant la première séance, M. P. Vayssière présente les excuses de M. le Professeur Tréjouel, Président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, qui n'a pu se libérer d'autres obligations.

Il expose ensuite l'origine du sujet, suggéré au conseil de la société par le comité d'agriculture :

Il me faut, semble-t-il, justifier le sujet proposé pour le colloque qui nous réunit aujourd'hui en sa première séance.

Notre comité d'agriculture, dont les membres ont tous une formation biologique, constate que, depuis quelques années, sont utilisées en agriculture — ou plus exactement dans les discours ou dans les publications — des expressions sybillines telles que « industrialiser l'agriculture ».

Qui l'a utilisée la première fois ? Est-ce un homme politique convaincu de sa connaissance de l'avenir agricole de notre pays ou du monde ? Est-ce un technocrate en mal d'amélioration des activités humaines ? Est-ce un journaliste révolutionnaire ? Qu'importe.

Tout ce que l'on peut dire sur cette formule, c'est qu'il est impossible de lui attribuer un sens précis. On ne voit pas, dans l'état actuel des sciences agronomiques, en quoi un agriculteur-exploitant dirige un établissement industriel dans le sens littéral du terme.

En effet, si le capital et le travail sont des facteurs de production en agriculture comme dans l'industrie, il y a en agriculture d'autres facteurs dominants qui lui sont propres :

La plante, tout d'abord, qui « est la matière vivante avec toutes ses propriétés et également avec sa chlorophylle à laquelle nous devons ce phénomène extraordinaire que l'on appelle la photosynthèse ».

A côté du végétal, élément fondamental, il y a l'animal qui transforme certains produits végétaux en matières azotées riches en acides aminés.

Puis il y a les nombreux facteurs météorologiques : température, pression, pluies, sécheresse, vent, etc.

Oh ! évidemment, des progrès techniques considérables ont libéré l'homme de certaines contingences qui étaient des impédiments pour le monde agricole. Mais il me semble que, jusqu'à ce jour, quoi que l'on fasse, quoi que l'on dise, l'agriculteur exploitant — le vrai — est resté un biologiste qui doit être prêt, chaque jour à chaque instant, à tenir compte d'un ensemble de conditions dont il n'est pas le maître absolu.

Des techniques ou activités lui sont imposées souvent par les facteurs extérieurs qu'il ne peut modifier. Donc la formule « industrialiser l'agriculture » ne paraît pas correspondre à une réalité, tout au moins pour les non initiés.

Aussi, nous est-il apparu comme particulièrement intéressant de provoquer des échanges de vues sur sa valeur et sur les diverses interprétations.

Dans ce but, nous avons fait appel à des rapporteurs dont il est sans doute inutile de rappeler le rôle que chacun joue actuellement, sur des plans très différents, dans l'orientation de l'agriculture.

(*) Colloques des 25 avril et 2 mai 1968.

Tous nos auditeurs savent que M. Pigniol fut le premier délégué général à la Recherche scientifique et qu'il est actuellement président du conseil d'administration de l'Institut national de la Recherche agronomique tout en conservant un rôle important dans l'industrie en qualité de conseiller scientifique des Etablissements Saint-Gobain.

M. Achille Dauphin-Meunier est un économiste dont les conseils sont particulièrement appréciés par les établissements bancaires qui s'intéressent au développement agricole tant de notre

pays que de nations américaines ou asiatiques.

Deux exploitants ont accepté de nous apporter leur point de vue de praticien.

L'un d'eux, M. Jean Rebischung, a déjà une longue carrière d'expérimentation agronomique effectuée au sein de l'I.N.R.A.

Quant à M. Jean Cochard, il a derrière lui quarante années d'exploitation agricole dans le sens le plus large du terme et il assure actuellement la Présidence de divers groupements spécialisés et en particulier de l'Association française pour la production fourragère.

Techniques et méthodes de l'industrie

par M. Pierre PIGANOL

*Ancien Délégué Général à la Recherche scientifique et technique
Président du Conseil d'Administration
de l'Institut national de la Recherche agronomique*

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,
MESDAMES, MESSIEURS,

Vous me voyez plein d'inquiétude devant un sujet difficile... Vous définir ce qu'est l'industrie afin que vous puissiez critiquer à bon escient cette expression très critiquable « industrialiser l'agriculture », impliquerait que je décrive ce qu'est vraiment l'industrie aujourd'hui, au-delà de ses apparences, et peut-être nous apercevriions-nous alors que l'inquiétude qu'évoque chez nous le concept d'industrialisation de l'agriculture dépend beaucoup du contenu du mot industrialisation.

S'il s'agit d'industrialiser au sens de la fin du XIX^e siècle, l'expression « industrialiser l'agriculture » doit être bannie. Par contre, on trouve dans l'industrie moderne de nombreux éléments qui méritent d'être pris en considération même par l'agriculture et je dois dire que non seulement elle le fait mais que quelquefois elle le fait sous une forme suffisamment originale pour que l'industrie ait à en profiter en retour.

Décrivons rapidement cette industrie moderne au risque de vous rappeler beaucoup d'évidences, au risque de vous faire dire, comme dans le chœur des déménageurs de Courteline : « Il pleut des vérités premières, tendons nos rouges tabliers. »

Le machinisme est apparu avant l'industrialisation au sens noble. Il y eut un moment, qui se situe au XVIII^e siècle, où des forces étaient libérées, force du vent, en Hollande surtout, force de l'eau, des moulins, force de la vapeur et natu-

rellement l'homme a pensé à mettre cette force à son service et à lui faire faire les opérations auxquelles il était jusqu'alors assujéti. L'introduction de cette énergie s'est donc faite difficilement puisqu'il s'agissait d'une énergie peu maniable, à poste fixe le plus souvent. L'agriculture parle de s'industrialiser au moment où elle a déjà pris possession de formes d'énergie beaucoup plus souples : moteur à quatre temps, diesel, électricité.

Mais à partir du moment où l'on avait des forces à mettre en place, des muscles humains, il a fallu associer à ces forces des machines qui remplacent les bras humains et le premier mouvement a été tout logiquement de copier le mouvement des hommes. Les premières machines imitent à s'y méprendre, dans leur principe, dans leur logique, le mouvement humain.

Même dans mon industrie verrière, jusqu'au début du XX^e siècle il n'y avait là aucune différence qualitative entre ce que fait la machine et ce que faisait autrefois l'artisan, 2.000 ans auparavant. La machine qui souffle une bouteille va cueiller son verre (on dit cueiller dans ce domaine), elle le souffle, elle le met dans un moule, ceci n'étant qu'une copie du mouvement de l'ouvrier. La fabrication des vitres était faite par l'artisan en soufflant des cylindres que l'on fendait puis que l'on réchauffait et déployait. La machine au XIX^e siècle étire de grands cylindres à partir d'un bain de verre en fusion ; ils ont été jusqu'à atteindre 10 mètres de haut, et 1,50 mètre de dia-

mètre, mais ce n'est quand même qu'une copie exacte du travail manuel.

La rupture industrielle se fait au début de notre siècle : elle consiste à s'intéresser à la structure même de la machine, à sa propre logique, et à substituer à une copie du mouvement humain quelque chose de beaucoup plus intelligent. Sous ce rapport, l'agriculture n'a rien à envier à l'industrie ; l'agriculture n'a pas copié le geste du faucheur, elle n'a pas copié le geste du semeur, et je parie que le jour où elle inventera la machine à cueillir les fraises, celle-ci ne se comportera absolument pas comme la main de l'homme. Elle a inventé les faucheuses à dents, les faucheuses circulaires, la charrue rotative...

L'agriculture a donc, sans le dire et sans même peut-être avoir bien mesuré toute la portée de ce qu'elle faisait, intelligemment utilisé ce qu'était capable de faire la machine et ne lui a pas imposé un modèle humain.

Si l'industrie s'était arrêtée à ce stade, je pense que nous serions tous d'accord pour dire : « industrialiser l'agriculture », cela revient, toutes les fois que c'est possible, à utiliser une machine et une source d'énergie. Cela ne serait pas très génial.

Mais l'industrialisation a fait de tels progrès qu'elle a très vite quitté le stade des petites unités ; elle est devenue une grosse industrie et à ce moment-là, probablement d'ailleurs précisément parce qu'on avait su suivre la logique des machines, elle est devenue un phénomène entièrement nouveau, reproduisant à une cadence prodigieuse des opérations répétitives, conduisant des opérations non répétitives mais en masse (je pense en particulier à l'industrie chimique dans les cas où les procédés ne sont pas continus). Elle travaille sur des procédés relativement constants et indépendants des saisons (sauf dans de rares cas : l'industrie du carbure de calcium était typiquement dans le passé une industrie saisonnière ; de telles industries disparaissent).

Voici donc des caractères : répétitivité, production de masse et constance de l'activité, qui ne s'inscrivent pas tout à

fait dans la ligne des opérations agricoles pour des raisons évidentes.

De plus, ces activités techniques se sont fortement centralisées. La notion d'industrie moderne est probablement inséparable de la notion de grands complexes industriels. Ramassées sur peu d'espace, des activités humaines extrêmement complexes et extrêmement denses se déroulent à un rythme très élevé... Nous sommes en apparence très loin de l'industrialisation de l'agriculture et, sur ces points, il est certain qu'il existe un fossé entre l'agriculture et l'industrie.

Mais l'industrie ne s'est pas arrêtée et elle a accompli dans le courant des cinquante dernières années un certain nombre de progrès dont l'agriculture probablement peut s'enrichir.

D'abord elle a mis au point des méthodes d'extrapolation. C'est peut-être ce qu'il y a de plus frappant dans l'industrie chimique de nos jours que de voir comment les hommes s'y prennent pour, partant d'un résultat de laboratoire, créer dans des délais prodigieusement courts de très grosses industries. Ces procédés industrialisés et extrapolés à très grande échelle ont-ils un correspondant dans l'agriculture ? Dans l'agriculture au sens étroit de la production agricole certainement pas : il n'y a pas d'unité de production de masse sous quelques mètres cubes, peut-être pas pour l'instant. Par contre, dans les industries alimentaires, nous retrouvons les mêmes phénomènes et il faut reconnaître que les grands progrès récents des industries alimentaires et l'immensité des progrès qu'elle a encore à faire, tiendront sûrement à l'application des méthodes de l'extrapolation industrielle.

Je vous rappelle que ces méthodes reposent sur deux modes de pensée assez différents qui ne pénètrent pas tous les deux à la même vitesse dans les industries alimentaires. L'une c'est la méthode de simulation, l'autre la méthode d'intégration différentielle. Je les résume rapidement, simplement, pour fixer les idées :

La méthode de simulation consiste à essayer de trouver une équation qui caractérise le procédé et dont toutes les grandeurs sont indépendantes des dimen-

sions ; ces « grandeurs sans dimensions » sont des coefficients assez complexes dans lesquels se mêlent des longueurs, des temps, des viscosités, des forces ; on agglutine ces grandeurs pour faire émerger des entités entièrement nouvelles que les physiciens appellent de noms très divers, et qui traduisent au fond beaucoup mieux que les concepts directs la réalité profonde des phénomènes, et qui permettent de les extrapoler. L'industrie alimentaire, qui repose presque toujours sur des phénomènes de transfert de chaleur dans des conditions particulièrement délicates, en milieu souvent visqueux, presque toujours isolant, très peu conducteur de la chaleur, l'industrie alimentaire a certainement le plus grand avantage à s'inspirer de ces méthodes.

L'autre voie est d'une nature tout à fait différente et elle séduit par sa simplicité, parce qu'elle est très logique : elle consiste à décomposer un processus global en petits éléments différentiels ; dans une colonne de réacteur chimique, on isole de petites tranches et l'on regarde ce qui se passe dans ces petites tranches : quelle est la petite différence de température, la petite différence de concentration, la petite différence de rendement et on a ainsi une photographie, une radiographie microscopique du processus. Disposant des équations valables pour chacune de ces tranches, éléments différentiels de notre calcul d'ensemble, il est relativement facile de calculer de grosses installations. Eh bien, ceci est assurément valable dans les industries agricoles, mais donnera peut-être moins de résultats que la méthode de similitude, celles-ci ayant été poussées par l'industrie à un très haut niveau de perfection et étant épaulées très largement par les calculs électroniques des calculatrices modernes.

Ceci est le premier effort que la grosse industrie a exigé des ingénieurs, mais il en est d'autres. Le deuxième, évidemment, c'est le contact avec la recherche. A partir du moment où l'industrie cesse d'être la copie des gestes humains, où elle s'attache à une réalité qui n'était pas perçue par l'homme utilisant ses

seuls sens, il est évident que la recherche apparaît comme le lien entre l'esprit et la matière et l'industrie est devenue scientifique ; elle s'est dotée d'une recherche au cours des cinquante dernières années ; ceci ne veut pas dire que l'industrie ne se soit pas appuyée parfois, dans le passé, sur la science ; tout le XIX^e siècle montre une symbiose étroite entre les résultats de la science et les applications industrielles ; même dans mon industrie, nous avons eu Thénard et Gay-Lussac. Mais en réalité cette symbiose étroite entre la pensée scientifique et la réalisation industrielle est un phénomène relativement récent.

Dans l'agriculture nous assistons indiscutablement à ce phénomène mais nous y assistons avec une ampleur encore plus grande et nous y reviendrons tout à l'heure. Notre président nous a rappelé l'importance des phénomènes biologiques et la maîtrise que nous en acquérons, cette maîtrise qui, peut-être, dans une certaine mesure, peut conférer à ces phénomènes biologiques le caractère plus reproductible, plus constant, sur lequel seule une industrie peut s'établir.

Mais dépassons ce stade. Il est certain que devant des grands ensembles de ce genre, dont l'homme a presque disparu en tant que moteur, dont l'homme devient le régulateur, il était logique d'aller plus loin et d'essayer de rendre ce grand ensemble autonome, de lui donner non pas une conscience, certes, mais les moyens de se réguler lui-même. C'est l'introduction de l'automatisation.

L'introduction de l'automatisation c'est un pas de plus en avant dans l'industrie classique : c'est apporter une logique interne qui se contrôle d'elle-même dans ses opérations, grâce à des capteurs qui prennent des données, en déduisent ce qu'il faut que la machine fasse, suivant un schéma préimposé, et avec des variantes extrêmement nombreuses et un degré de perfection de plus en plus grand. Ces systèmes de régulation automatique envahissent complètement notre industrie.

Est-ce que les industries agricoles, ou même les opérations de production agricole doivent exclure ces phénomènes

de régulation automatique ? Certainement pas. J'ai toujours été frappé par le retard que présentent certains matériels agricoles par rapport aux matériels industriels au point de vue de la sécurité. Ce qui veut dire que dans l'ensemble nos paysans sont infiniment plus sérieux et plus prudents que les ouvriers ; disons qu'ils ont l'esprit plus ouvert, plus directement lié à leur geste que l'ouvrier d'usine car sinon nous observerions des taux d'accidents dans l'agriculture certainement plus élevés.

Mais il faut reconnaître qu'une grande partie de la régulation industrielle s'est établie sur la base de l'électricité et de l'électronique. Nous n'allons pas transporter dans nos champs des systèmes électroniques ; ce serait absurde ; très vite ces systèmes ne seraient plus viables. L'industrie moderne offre-t-elle d'autres systèmes logiques non électriques ? Bien sûr ; il y a tous les systèmes logiques mécaniques et de nombreuses sécurités sur les machines sont des sécurités de caractère mécanique ; un geste ne peut être fait que si d'abord un levier a été écarté et maintenu dans sa nouvelle position par la main même dont on veut éviter les errements.

L'industrie moderne offre et utilise de plus en plus des systèmes de logique interne beaucoup plus subtils ; je pense à la fluïdique : toutes les fois que l'on a de l'air comprimé à sa disposition, des systèmes pneumatiques ou hydrauliques, on sait réaliser des micro-systèmes miniaturisés, tout petits, d'une fiabilité absolue et qui, ceux-là, n'ont besoin ni de contrôle, ni d'entretien, qui sont dans des boîtes entièrement fermées dans lesquelles avec des jets d'air microscopiques (on consomme 15 litres d'air à l'heure maximum) on peut obtenir tous les résultats de la réflexion humaine logique.

Vous savez que ce qui caractérise toutes les sécurités, tous les contrôles automatiques, toute la régulation industrielle, c'est l'introduction dans les systèmes industriels d'instruments qui traduisent les fonctions de base de l'esprit humain, c'est-à-dire les fonctions « et », les fonctions « ou » (le « ou » étant en général un conjonctif, c'est-à-dire « l'un ou l'autre » ou « les deux », mais nous savons

exprimer aussi naturellement « un et pas l'autre » ou « l'autre et pas l'un »...) et la fonction « ni ». Toutes les fonctions logiques, et, ou, ni et quelques autres, sont réalisées automatiquement dans la plupart des processus industriels. J'ai l'impression qu'à partir du moment où il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre une machinerie électronique, très coûteuse, et d'une grande finesse, et pas toujours aussi fiable qu'on pourrait le souhaiter surtout sur les engins en mouvement dans des conditions dures, à partir du moment où l'on dispose d'une *fluïdique* infiniment plus sûre, l'agriculture peut en tirer profit.

Mais évidemment on ne s'est pas arrêté là. Puisque nous disposons d'une logique et puisque la machine voulait bien dans l'industrie faire un certain nombre d'opérations que l'on avait longtemps considéré comme l'apanage du seul cerveau humain, on s'est demandé jusqu'où on pouvait aller et l'industrie s'est trouvée confrontée très vite à des problèmes qu'on ne traite que par intuition, mettons par bon sens, mais vous savez que le bon sens est d'abord une qualité qui n'est pas particulièrement répandue et ensuite que le bon sens commence à être en défaut quand les choix à faire portent sur des phénomènes hétérogènes ; et dans l'industrie, la décision sur le choix d'un procédé, sur le choix d'un produit à fabriquer est quelque chose qui, de par nature, repose sur des critères hétérogènes. Les décisions gouvernementales encore plus, parce que construire un hôpital, construire une route, construire une industrie d'aviation, sont des objectifs non comparables. Mais au niveau même d'une seule industrie unique comme la mienne — « je m'occupe essentiellement du verre » — dois-je mettre l'accent sur l'étude d'un procédé nouveau se substituant partiellement à tel ou tel autre, dois-je imaginer un produit nouveau, et alors quel sera-t-il, une nouvelle fenêtre, un nouveau type de verre réfléchissant la lumière pour les serres par exemple, ou faut-il au contraire porter mon attention sur l'isolation, les fibres de verre, etc. Vous voyez que

même dans ce cas où mon champ de raisonnement est apparemment homogène, (une seule matière première, une seule technologie de base) je m'aperçois que ma décision porte sur des objets non comparables ; et en plus les critères de choix sont également particulièrement hétérogènes : est-ce que je dois m'attacher à la rentabilité à court terme ou au contraire à une courbe de rentabilité à long terme ? Dois-je m'attacher à une rentabilité faible mais à l'occupation d'un marché large en fonction de positions politiques ultérieures ? Dois-je viser dans certains cas à maintenir au prix d'une rentabilité très faible un potentiel industriel dans une région qui se trouverait déshéritée et pour laquelle il est indispensable de trouver du travail pour les hommes... ?

Et du même coup quand on se pose toutes ces questions on voit surgir des facteurs humains. L'industrie est caractérisée depuis une dizaine d'années, peut-être un peu moins en France, du moins en intensité, par l'introduction des facteurs humains et des modes de raisonnement dans un milieu aléatoire et complexe et c'est peut-être là que l'industrialisation a le plus de choses à nous apporter.

Je voudrais ici vous décrire très rapidement deux méthodes qui sont d'application toute récente dans l'industrie pour prévoir le futur et pour ordonner nos choix — et dans l'agriculture nous avons besoin peut-être encore plus que dans l'industrie de prévoir un futur à long terme d'abord parce que nos recherches plus biologiques, comme le soulignait tout à l'heure notre président, répondent plus lentement à nos questions qu'une recherche technologique, peut-être aussi parce que l'évolution humaine et les structures de l'environnement sont plus lentes que dans les phénomènes industriels.

Ces deux méthodes sont les analyses dites de pertinence et les analyses coût-bénéfice. Et vous allez voir que cela risque de nous entraîner à un type de réflexion qui n'est pas considéré habituellement comme relevant vraiment lui-même du domaine de l'industrie parce

qu'on dit : c'est de l'économie, c'est de la philosophie, c'est de l'humanisme, mais en réalité cela est devenu inséparable de l'industrie et s'il y a un point de convergence profonde par-delà les techniques entre l'agriculture et l'industrie, c'est probablement sur ce point, nous y reviendrons d'ailleurs dans un instant.

Décrivons d'abord pour eux-mêmes ces mécanismes que l'industrie essaie de se forger. Le premier : les arbres de pertinence. Je vous disais que les choix humains sont hétérogènes, portent sur des objets hétérogènes et mettent en jeu des critères extrêmement nombreux et hétérogènes.

Les Américains sont probablement parmi les premiers à avoir systématisé une méthode, une méthode qu'il est peut-être un peu difficile de décrire sans tableau noir mais je crois que pour vous cela ne fera aucune difficulté : vous hiérarchisez sous forme d'une espèce d'arbre généalogique vos objectifs lointains, les missions partielles qui sont nécessaires pour atteindre ces objectifs, les petites opérations qui concourent à ces missions, les moyens généraux que vous mettrez en œuvre, les constituants de ces moyens, les outils, les appareils, les composants de ces outils et les matières premières avec lesquelles vous les construirez.

Autrement dit, vous développez d'une manière logique un arbre, une structure en arbre que l'armée française préfère appeler un « graphe d'appui » parce que cela permet d'appuyer le raisonnement et « graphe » parce que ces arbres rappellent un peu la théorie des graphes ; c'est un petit peu excessif comme vocabulaire à mon avis ; j'aime mieux le bon vieux mot d'arbre généalogique que tout le monde comprend.

Cette structure d'arbre à première vue ne paraît pas tellement intéressante ; elle n'apporte pas grand-chose apparemment. Mais attention : elle nous a obligés à hiérarchiser, donc à analyser nos actions et à les décomposer en partant du général au particulier et puis sans le dire nous sommes passés du plan des missions et des objectifs au plan des moyens que nous avons désossés pour

passer de leur aspect général à leurs constituants particuliers.

Si on n'avait fait que cela on aurait déjà mis les idées en ordre et l'industrie utilise beaucoup ces diagrammes pour essayer de savoir comment tout se relie. En somme, l'esprit humain, devant des structures de marchés très complexes — et Dieu sait si les marchés agricoles sont complexes — renonce à essayer de tout saisir par intuition et s'appuie sur une décomposition logique que Descartes n'aurait certainement pas désavouée.

Mais on va plus loin, c'est-à-dire qu'à chaque ligne de cet arbre généalogique on cherche à attribuer des critères qui varient avec les lignes. Le premier exemple de ces arbres de pertinence a été établi par l'armée américaine pour savoir quel matériel fabriquer dans l'avenir, et aux niveaux les plus élevés s'est posée la question de savoir si les objectifs étaient la survie des U.S.A., la résistance à une agression locale, la volonté d'occupation d'un petit pays ; et au niveau des moyens les critères étaient tout à fait différents : coût du procédé, efficacité, existence d'hommes capables de le mettre au point, existence d'une industrie capable de passer rapidement en fabrication, impacts sur le secteur civil... Vous voyez toute une série de critères afférant à chaque ligne, certains critères se retrouvant d'ailleurs d'une ligne à l'autre.

Alors se pose une question : quels sont les poids de ces différents critères ? On les affecte donc de poids et ce tableau des critères et des poids donne ce que les industriels, les économistes et même les militaires appellent un « scénario du futur ».

Ce scénario du futur va nous permettre la cohérence de nos choix ; nous avons mis des poids à des critères, ce qui correspond à une certaine vision du monde, discutable peut-être mais c'est la nôtre, nous l'avons choisie. Comment allons-nous maintenant être cohérents avec nous-mêmes ? C'est très simple ; vous prenez les éléments de chaque ligne, vous leur donnez une note, un *indice de pertinence* indiquant dans quelle mesu-

re ils satisfont aux différents critères, puis une équation simple permet de relier ces indices de pertinence et d'arriver finalement en bas de notre arbre généalogique à des notes pondérées qui éclairent vos choix, non certes, d'une manière rigoureuse — nous sommes dans un domaine humain, souple, qui rappelle de beaucoup les phénomènes biologiques — mais qui constituent cependant un appui pour mesurer le degré de cohérence entre nos visions du futur et nos choix finaux.

Eh bien ! cette méthode a été je crois extrêmement efficace dans le domaine de l'industrie et à ma connaissance elle fait actuellement l'objet d'applications lorsqu'on est en présence de choix de caractère « développement agricole » en particulier en Afrique : faut-il produire du riz, faut-il produire de la canne à sucre, quelles sont les terres qu'il faut affecter à l'agriculture ; on se trouve devant un tel tableau de questions qu'il est sage d'essayer de s'appuyer sur un graphique qui fasse sortir correctement toutes nos questions et toutes nos incertitudes.

Le deuxième aspect des méthodes industrielles qui, évidemment, concourt à l'établissement de ce diagramme c'est l'analyse des coûts et des bénéfices. D'autres plus compétents que moi vous en parleront dans un instant car le problème des investissements se pose ; l'analyse coût-bénéfice a été l'une des premières méthodes utilisées par l'industrie mais au début elle l'a utilisée assez bêtement. Nous avons calculé le coût de remplacement d'un procédé par un autre, ce qui est un cas bien simple ; nous nous sommes aperçus que les problèmes d'actualisation de la dépense et de l'actualisation du bénéfice ne sont pas si aisés que cela à résoudre, mais là encore d'autres que moi sont plus compétents ici et je m'en voudrais d'empiéter sur leur conférence, mais ce que je voudrais noter c'est que l'industrie a été amenée à étendre ces problèmes de coût-bénéfice à des préoccupations beaucoup plus variées.

Autrement dit, si elle s'intéresse aux coûts-bénéfices relatifs à ses propres opérations, elle ne peut plus aujourd'hui

les isoler d'un ensemble de coût-bénéfice social intéressant l'ensemble de la société et ceci rapproche l'industriel de son contexte humain, de sa société ; même des partis qui se croient encore révolutionnaires sont bien obligés de le reconnaître ; l'industriel n'est plus un profiteuse qui s'incruste dans la société, il est au contraire un rouage d'une structure. Mais à partir du moment où il est un rouage d'une structure il ne peut plus raisonner en termes égoïstes ; il est obligé de poser les problèmes en termes de coût-bénéfice non seulement à son échelle mais aussi à l'échelle d'une société, et cela transforme énormément nos calculs économiques.

Or, l'agriculture est intégrée, ô combien, dans un milieu humain terriblement complexe. Elle aussi a des méthodes à mettre en œuvre pour calculer son bénéfice local, celui qui ira dans la poche du paysan, de la coopérative ou autre mais aussi pour calculer cette optimisation du coût-bénéfice à l'échelle de la société dans son ensemble.

Vous voyez que ces méthodes sont extrêmement complexes, pas faciles à mettre en œuvre, mais elles dérivent quelquefois de méthodes extrêmement simples qui les ont préfigurées. L'une d'elles que connaissent bien les industriels, tous ceux qui ont d'une manière générale à agir devant des tâches complexes, est la méthode « pert » ou méthode « du chemin critique ». C'est un mode de calcul relativement simple qui permet d'optimiser des actions humaines qui portent sur des opérations complexes qui s'engrènent les unes dans les autres, dont certaines même sont aléatoires : et ici encore on insistait tout à l'heure à juste titre sur l'aspect biologique des choses, c'est-à-dire sur un élément aléatoire ; or, l'industriel a aujourd'hui plus souvent qu'on ne pense à fonctionner en milieu aléatoire. La réparation d'un four de verrerie est une opération qui comporte des incertitudes et il faut que nous ayons des méthodes pour optimiser notre action complexe décomposée suivant un graphe très compliqué, malgré la présence d'éléments aléatoires. A plus forte raison lorsque

nous développons un projet, que ce projet comporte des recherches, l'aléatoire apparaît à chaque échelon de la recherche et, par conséquent, nous sommes obligés d'imaginer des méthodes d'optimisation de notre action en milieu aléatoire. Il y a des cas où nous ne sommes pas en milieu aléatoire. Quand Saint-Gobain a optimisé l'implantation d'une usine par rapport à ses matières premières, c'est-à-dire des carrières de sable et des usines de carbonate de chaux ou de soude, il est évident qu'on peut faire des calculs mais même ces calculs sont complexes et un de mes amis agronomes, récemment, étudiant très simplement le problème d'une implantation de batteuse ou de services communs sur une surface assez grande, s'apercevait que des bénéfices prodigieux peuvent être obtenus par une bonne stratégie de cette opération. Prenons un exemple trivial : coïncé l'autre soir sur une des entrées de Paris devant le quai de Javel, je suis tombé devant un feu rouge mal réglé ; un calcul rapide montrait non seulement la perte de temps pour les Parisiens et leur énervement — comptons tout cela pour zéro — mais je suis arrivé au résultat effarant que si ce signal était mal réglé tous les dimanches, c'était 12.000.000 d'anciens francs d'essence consommée en pure perte. C'est dire que même dans des opérations banales, l'optimisation s'impose. (Vous me direz que cela n'a pas d'importance, car la taxe sur l'essence entre dans les caisses de l'Etat, mais ce ne serait qu'une boutade).

Il existe donc de précieuses techniques d'optimisation que l'agriculteur doit s'approprier.

Je voudrais ajouter une remarque : considérons ma pipe. Elle est fabriquée à l'extérieur avec un produit qui est utilisé dans les satellites pour la rentrée dans l'atmosphère (tient à 4.000 degrés et ne s'abrase que sous des courants d'air extrêmement rapides) ; l'intérieur est en graphite nucléaire pur. Il a fallu 30 millions de dollars (15 milliards d'anciens francs) pour mettre au point ces deux matériaux ; et l'on peut en faire des pipes parce qu'ils ont été créés pour la défense. De même on peut faire des

casseroles en pyroflam parce que les recherches ont été amorties par les besoins militaires d'une collectivité. En fait, ces technologies de pointe qui s'appuient sur des résultats exigés par de très hautes performances nécessaires hors des ambiances traditionnelles de l'homme, déteignent sur nos techniques ; nous bénéficions d'une « retombée » de certains types de recherches. Nous ne voyons pas pour l'instant quelle retombée pourrait être procurée à l'agriculture par ces recherches de caractère exceptionnel. Cependant cela commence et le plus bel exemple que nous ayons est je crois celui des variétés de riz qui, sous leur forme usuelle, se laissent dévorer remarquablement aisément par les oiseaux. Au Sénégal, où la récolte de riz reste quelquefois six semaines au milieu du champ, on a noté des cas où 90 % de la récolte a servi à engraisser les oiseaux. Quant au mil n'en parlons pas : un oiseau porte le nom très évocateur de « mange-mil ». Eh bien, l'obtention de variétés nouvelles par les radiations a donné des produits dont les barbulles sont repliées et que les oiseaux ont beaucoup de peine à manger.

Donc peut-être l'agriculture va-t-elle bénéficier un jour de toutes ces retombées des grandes technologies. Il est, toutefois, à noter que par définition nous travaillons dans une ambiance biologique ; cette ambiance biologique est limitée en température, en pression, en vitesse, mais peut-être trouvera-t-elle quand même quelques bénéfices dans les résultats des grandes technologies modernes.

Alors, voyez-vous, industrialiser l'agriculture n'a sûrement aucun sens si nous considérons l'industrie de la fin du XIX^e siècle où l'homme a été soumis d'une manière brutale et sans nuances au rythme des machines qui ne faisaient que copier son activité, mais beaucoup plus rapidement, et qu'il fallait servir à leur rythme ; et tant pis si l'on était fatigué : il fallait suivre. Il s'est dégagé petit à petit une industrie homogène, une industrie plus intelligente, dans laquelle la logique s'est incrustée, qui se régule, quelquefois même qui s'optimise toute

seule. Puis il a fallu trouver des méthodes d'insertion de cette production dans la société, des méthodes qui sont nouvelles et qui, pour être mathématiques, n'en prennent pas moins en compte l'aléatoire, n'en sont pas moins très humaines.

L'agriculture présentera-t-elle des caractéristiques analogues pour tout ce qui est de la prise de la décision ? J'en suis convaincu et la Caisse Nationale de Crédit Agricole en est probablement tellement convaincue qu'elle n'a pas hésité à racheter une petite société de recherche opérationnelle pour en faire une nouvelle société d'étude, de logique, de raisonnement et de méthode au service de l'agriculture mais aussi de l'industrie car la Caisse de Crédit Agricole, en créant la S.I.N.C.R.O., n'a pas précisément voulu isoler ses modes de pensée des modes de pensée de l'industrie ; elle pense qu'il y aura fécondation mutuelle.

Bref, le problème est de savoir dans quelle mesure l'agriculture pourra être un jour le champ d'une production concentrée, constante, ramassée, traitée par des machines, une agriculture vraiment inhumaine. Cette agriculture inhumaine qui perd sa poésie à bien des égards nous la voyons se préfigurer : il existe des cultures sans sol ; et, déjà, l'on pressent, encore que jusqu'à présent cela ne soit pas très clair, l'utilisation des atmosphères saturées de gaz carbonique ; et nous sommes alors en présence de phénomènes dans lesquels le processus biologique obéit à des lois statistiques qui ne sont finalement pas différentes des lois de polymérisation en chimie industrielle. Nous notions récemment la parution de l'ouvrage de quelques chercheurs de l'I.N.R.A. rassemblés par M. Lavollay et nous y trouvions une étude cynétique de la croissance des milieux des industries de fermentation et la rigueur avec laquelle ces fermentations se produisent est exactement la même que celle d'une polymérisation ou d'une réaction de polycondensation dans l'industrie chimique ; il n'y a pas sur ce point la différence que l'on peut croire entre une réaction de crois-

sance biologique et une réaction de croissance qui obéit aussi à des lois aléatoires comme la polymérisation qui conduit aux matières plastiques.

Autrement dit, il n'est pas absolument sûr que certains aspects spécifiques de l'agriculture — sa dispersion sur de grandes surfaces, le caractère aléatoire des éléments atmosphériques, le caractère aléatoire de la réponse de la plante ou de l'animal, — subsistent aussi intégralement, aussi rigoureusement que nous le pensons.

Cependant, il est hors de doute que ces phénomènes biologiques ont besoin d'être traités avec une toute autre finesse ; la formation de l'esprit humain à ces phénomènes biologiques est indispensable. L'exemple que nous connaissons, qui est tragique, est dû à ceux qui ont voulu industrialiser l'agriculture, industrialiser au sens le plus simple du terme, motoriser la charrue, quelque part en Turquie ; mais on ne s'est pas occupé du tout de la réalité biologique, vraie, complexe, celle du sol avec toute sa texture très variée, sa flore de toute nature et on a amené là de magnifiques trac-

teurs américains et des socs pour retourner le sol, sur 35 centimètres de profondeur, un sol qui était travaillé usuellement sur 5 à 10 centimètres pas plus. Et l'on a détruit pour probablement des années la fertilité de milliers d'hectares.

Autrement dit, ce facteur biologique nous imposera, que nous le voulions ou non, quelles que soient les formes d'industrialisation, quel que soit l'effort que nous ferons pour faciliter le travail humain en le remplaçant par des machines, cette réalité biologique imposera ses lois et doit être pénétrée tout à fait en profondeur. Moyennant quoi il est probable que l'agriculture réalisera de plus en plus et d'une manière harmonieuse ce mariage entre les réalités biologiques et les possibilités techniques, et si vous le voulez, d'une manière plus rigoureuse, le mariage entre la poésie de la nature et les aléas de la vie et la logique des actions humaines optimisées.

J'ai été trop long et je m'en excuse, mais je crois qu'il fallait que nous connaissions ce langage industriel avant de débattre d'un problème qui est évidemment fondamental.

Investissements comparés dans l'industrie et dans l'agriculture

par M. Achille DAUPHIN-MEUNIER

*Vice-Président de la Société Française de Géographie Economique
Doyen de la Faculté autonome et co-gérée d'Economie et de Droit*

La Société contemporaine n'est pas dite industrielle seulement parce que son développement économique paraît étroitement lié à celui des grandes unités de production industrielles ; elle l'est encore parce qu'elle impose un style de vie particulier et qu'il n'est aucun secteur de l'activité économique et sociale qui ne soit pas contraint d'adopter les méthodes d'organisation de la production, les procédés commerciaux, la politique financière de l'industrie.

L'agriculture a longtemps paru résister au mouvement général. Attaché à ses traditions, exploitant des entreprises nombreuses, petites et dispersées dans l'espace, pratiquant largement l'auto-consommation, disposant d'un matériel simple et peu coûteux, le paysan français serait individualiste et fier de son indépendance. Mais il apparaissait aussi comme un citoyen de seconde zone dont l'élimination progressive était une des exigences de toute croissance économique globale, de toute augmentation du produit national brut, à une époque de consommation de masse.

Pour sauver l'agriculteur de cette déchéance, ne convenait-il pas d'industrialiser l'agriculture ? Depuis plusieurs années, cette question a retenu l'attention des économistes ruraux, notamment

de M. Chombart de Lauwe, professeur à l'Ecole de Grignon. La concentration des exploitations agricoles, l'apparition de nouvelles formes d'unités de production de type industriel leur paraissent des phénomènes irréversibles et heureux dont le terme serait, suivant M. Chombart de Lauwe, « une agriculture de macro-entreprises caractérisées par leurs gros chiffres d'affaires (et non plus par leurs surfaces), employant de faibles effectifs de main-d'œuvre spécialisée, nécessitant de gros capitaux, utilisant moins de terre et parfois point, moins dépendantes du milieu et par conséquent bien plus mobiles que les visqueuses exploitations paysannes » (1).

Cependant, même si son industrialisation lui permet de prétendre à une place plus importante dans l'activité économique, de ne plus souffrir du sous-emploi ni de l'insuffisance et de l'irrégularité des débouchés, il ne faudrait pas oublier que l'agriculture reste dépendante du milieu biologique. Il est impossible de ramener le problème agricole à un problème de mécanisation, de recherche opérationnelle et de prix. L'agriculture travaille de la matière vivante et quoi que l'on fasse, dans la mesure même où on entend l'assimiler à l'industrie, elle demeurera une *industrie biologique*.

(1) J. CHOMBART DE LAUWE : *l'agriculture à l'âge industriel*, « Revue politique et parlementaire » n° d'avril 1966 ; *l'agriculture industrialisée dans la croissance économique*, « L'agriculture pratique », n° de janvier-février 1961.

I. — EVOLUTION DES INVESTISSEMENTS PRODUCTIFS

INVESTISSEMENTS PRODUCTIFS ET INVESTISSEMENTS COLLECTIFS

Du déclin relatif de l'agriculture dans la croissance de l'économie française, il ne convient pas de conclure que la production agricole soit négligeable. La production agricole représente une valeur annuelle d'environ 50 milliards de francs sur lesquels la production animale est de 30 milliards et la production végétale de 20 milliards. La production du lait et de ses dérivés est en valeur supérieure à celle de la sidérurgie ; le chiffre d'affaires des exploitations de production

végétale est comparable à celui de l'industrie du pétrole.

Il est bon de ne pas négliger ces données de base si on veut comparer les besoins de financement de l'industrie et de l'agriculture et les investissements dont elles bénéficient. Trois observations peuvent alors être faites :

1° D'une manière générale, depuis 1961, la part de la production consacrée aux investissements productifs n'a cessé de marquer une tendance à la baisse, que ces investissements soient le fait d'entreprises privées ou d'exploitations publiques. Mais c'est dans le secteur privé que la réduction des investissements productifs a été la plus forte.

*Variation du volume des investissements productifs
en pourcentage*

	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967
Exploitations publiques	+ 5,4	+ 3,1	+ 7,5	+ 13	+ 10,1	+ 8,1	+ 7
Exploitations privées	+ 14,8	+ 9,8	+ 5,6	+ 4,3	— 1,2	+ 6,5	+ 6

2° L'agriculture a une participation aux investissements productifs très insuffisante par rapport à certains secteurs industriels. Elle n'a pas les ressources suffisantes pour agrandir ses exploitations, développer son infrastructure (équipement pour le stockage et la

transformation de ses produits), suivre l'innovation. L'inélasticité croissante de la demande de produits agricoles bruts contribue à faire d'elle un secteur de moins en moins attrayant pour les investissements en provenance des autres secteurs.

Variation en pourcentage des investissements des grands secteurs privés

	1962	1963	1964	1965	1966*	1967*
Agriculture	+ 1,8	+ 12,7	+ 18,9	+ 3,7	+ 4	+ 2
Industries agricoles	+ 12,5	+ 18,1	+ 1,8	—	+ 10	+ 8
Energie	+ 11	+ 11,08	+ 12,6	+ 13	+ 15	+ 17
Chimie	+ 15,5	+ 19,06	+ 11,5	+ 16,9	+ 14	+ 13
Bâtiment, travaux publics	+ 14,4	+ 24,9	+ 14,5	+ 1,8	+ 2	+ 2
Ind. mécaniques et électriques.	+ 14,5	+ 4,5	+ 11,2	—	+ 3,9	+ 2,1

* Chiffres provisoires.

3° Depuis 1961, les investissements collectifs effectués par l'Etat, les départements et les communes se sont accrus d'année en année avec une régularité que n'affectait pas la conjoncture. Leur rythme de progression a été à peu près double de la production (5,5 % de 1962 à 1965 et 5 % de 1966 à 1968). Cette différence de croissance n'est pas étrangère à l'alourdissement des impôts locaux et à l'endettement grandissant des communes.

RETARDS DES INVESTISSEMENTS AGRICOLES

Les investissements français n'évoluent donc pas d'une manière satisfaisante, d'autant que leur faiblesse est le plus marquée dans les secteurs exposés à la concurrence étrangère, tel le secteur agricole.

Alors que l'agriculture française souffre d'une insuffisance d'investissements, ses concurrents européens ne cessent d'accroître les leurs. En 1960-1962, déjà, les dépenses moyennes annuelles en capital dans l'Europe du Nord-Ouest étaient, en prix constants, supérieures de 60 % à celles de 1950-1952 ; elles atteignaient 3,8 milliards de dollars dont la moitié environ correspondait à une formation de capital nouveau. Actuellement, comme le nombre et la valeur des machines employées ont augmenté, le capital total investi dans les machines et l'équipement par unité de travail est sensiblement plus élevé : en Allemagne fédérale, en Suisse et en Suède, on estime à 1.400 dollars les machines et le matériel mis à la disposition de chaque personne exerçant une activité agricole (2).

Distancée en matière d'investissement par ses concurrents européens, l'agriculture est encore en retard sur l'ensemble de l'économie française. Pour l'ensemble des entreprises non financières l'investissement brut est de l'ordre de 12 % de la production ; il n'est que de 10 % dans l'agriculture.

Cet investissement brut exerce son action sur le plan de la production (capital technique) et sur celui de la gestion comptable de l'exploitation (capital financier).

Ce qui ressortit aux seuls exploitants agricoles pour la formation brute du capital technique (bâtiments et matériel) nous est donné par les *Comptes de la Nation* (en millions de francs aux prix courants) :

1962	1963	1964	1965	1966	1967
3.867	4.358	4.963	5.148	5.554	5.900

Le matériel neuf à lui seul représente plus de 80 % de l'investissement brut :

1962	1963	1964	1965	1966	1967
3.100	3.575	3.938	3.922	4.440	4.720

Ce matériel pouvait être estimé en 1962 à un peu moins d'un quart du capital d'exploitation. Compte tenu de son augmentation rapide depuis lors, il représenterait en 1968 environ 30 % du capital circulant, soit 17 milliards de francs. L'agriculture exige donc, par son seul capital d'exploitation, des capitaux par personne du même ordre que ce qu'on trouve couramment dans les entreprises industrielles, soit environ F 23.000 (3).

NÉCESSITÉ D'UN BILAN ANNUEL DE L'AGRICULTURE FRANÇAISE

Il n'y a pas de compte « Capital d'exploitation » officiellement élaboré pour l'agriculture. Cependant des estimations toutes récentes que nous pouvons retenir fixent de la manière suivante la valeur actuelle du capital fixe d'exploitation (en milliards de francs aux prix courants) (4) :

(2) Document du Centre d'information de l'O.N.U. à Paris.

(3) Cf. « Chambres d'agriculture », n° 359 du 1^{er} mars 1967.

(4) « Chambres d'agriculture », op. cité et *Vie Française*, n° du 18 août 1967.

Terres et prairies	Forêts	Bâti- ments	Parc de matér.	Chep- tel vif
200	20	80	17	40

On est surpris de constater que dans les documents qu'il publie chaque année le Ministère de l'Agriculture ne tient jamais compte de la valeur du patrimoine foncier ni des dépenses qu'exigent son entretien et son équipement. « Est-ce pour passer sous silence le rôle de la propriété ou pour éviter d'avoir à inscrire un chiffre en face de ce fabuleux cadeau qu'on n'en parle jamais, interroge M. Robin. Que certains acheteurs étrangers en aient pris conscience ne fait que souligner l'erreur de raisonnement commise en France et la maladresse des manœuvres qui en découlent (5). » De fait, en France, lors des transactions sur les exploitations, la présence des bâtiments diminue le prix des terres plus qu'elle ne l'augmente, alors que c'est l'inverse dans les autres pays du Marché commun, de sorte, relève encore M. Robin, « que le propriétaire qui vend en Allemagne une exploitation équipée, pour en acquérir une en France, touche d'un côté le prix de l'équipement à sa valeur d'usage actuelle, et en achète une autre pour rien ».

Si nous voulions dresser un bilan de l'agriculture française, comme les Etats-Unis en établissent régulièrement pour leur propre agriculture, en regard de l'actif (qui devrait comprendre en plus des indications précitées les chiffres des récoltes en stock, de l'équipement ménager et des avoirs financiers) un passif (dette foncière et dette non foncière) devrait être porté.

Les avoirs financiers sont constitués par le stock d'or détenu dans les campagnes (environ 2.000 tonnes), les dépôts bancaires (crédit agricole), les assurances-vie. Nous disposons de sérieuses informations à ce sujet qui nous autori-

sent à compléter la colonne de l'actif. On peut estimer l'ensemble des avoirs financiers agricoles en 1968 à 27 milliards de francs.

Le passif peut également être déterminé. L'insuffisance relative de leurs épargnes pour effectuer tous les investissements nécessaires conduit, en effet, les exploitants à s'endetter. L'endettement est la seconde source de l'investissement agricole. L'importance de l'endettement d'une exploitation est mesurée par un coefficient exprimé par le pourcentage des sommes dues par l'exploitant par rapport à la valeur totale de son patrimoine.

Depuis 1962, l'endettement, notamment auprès des caisses mutuelles, a plus que doublé : il a triplé depuis 1960. En 1968, il serait d'environ 40 milliards de francs. La charge des intérêts a été évaluée par les comptes de l'agriculture à 284 millions de francs en 1962, 480 millions de francs en 1965 et 575 millions en 1966, soit en quatre ans un accroissement de plus de 100 %.

Le bilan de l'agriculture française à fin 1967 pourrait donc être approximativement le suivant, en milliards de francs courants :

ACTIF

Valeurs immobilisées :

Terres et prairies	200
Forêts	20
Bâtiments	80
Parc de matériel	17
Cheptel vif	40

Stocks :

Cheptel mort	18
Produits végétaux	22

Comptes financiers :

Crédit agricole et caisses d'épargne	16
Assurances-vie et logement	1
Thésaurisation	10

424

PASSIF

Biens des propriétaires non exploitants :

Terres et bâtiments	110
---------------------------	-----

Tiers :

Crédits fournisseurs	3
----------------------------	---

(5) FRANÇOIS ROBIN : *La propriété et l'équipement*. XVII^e Congrès de la propriété agricole. Paris, 19 mai 1967.

Comptes financiers :

Prêts individuels à court terme ..	8
Prêts individuels à moyen et long terme	20
Prêts collectifs à court terme	6
Prêts collectifs à moyen et long terme	6
Actif net des exploitants	271
	424

II. — LE FINANCEMENT DES INVESTISSEMENTS PRODUCTIFS

FINANCEMENT PAR FONDS PROPRES

Dans l'agriculture comme dans l'industrie, le financement est d'abord assuré par les fonds propres, c'est-à-dire par les apports en capital, l'autofinancement, les réalisations d'actif et les subventions.

a) Renforcement des ressources des entreprises.

La majorité des entreprises industrielles et la quasi totalité des exploitations agricoles sont écartées du marché financier du fait des mesures techniques ou réglementaires prises par l'Etat pour réserver ce marché aux emprunts publics ou aux emprunts de puissantes sociétés considérées d'intérêt national. L'appel aux actionnaires pour augmenter le capital par des apports en numéraire ou des avances en comptes courants est lui-même le plus souvent malaisé.

Le renforcement des ressources pose donc un problème redoutable à l'industrie, plus encore à l'agriculture. « Le progrès technique — motorisation et mécanisation — fait observer M. Louis Estrangin (6), oblige à disposer de surfaces plus étendues. En outre, le prix de la terre s'élève plus vite que les autres prix et les facteurs de hausse continuent leur pression : expansion démographique de certains départements, demande d'achats venant des ressortissants étrangers du Marché commun, grignotement des surfaces disponibles par le développement urbain et les grands travaux... Enfin, le capital d'exploitation par unité

de surface (machines, engrais, bétail sélectionné) s'élève sans cesse. »

Pour remédier à cette situation on a imaginé des organismes spécialisés : d'une part, des sociétés où les établissements de crédit spécialisés sont associés aux grandes banques d'affaires, vont prendre des participations dans le capital des entreprises : ainsi la Société française de participation dans les industries mécaniques (SOFIMECA) et la Société pour le financement et le développement de l'économie agricole (SOFIDECA) dont 60 % du capital ont été apportés par des organismes agricoles et 40 % par des établissements de crédit spécialisés ; d'autre part, des Sociétés de développement régional (S.D.R.) ont pour objet de concourir, sous forme de participation au capital, au financement d'entreprises industrielles et des Sociétés d'investissement foncier apportent à l'agriculture une partie des capitaux dont elle a besoin et fortifient ses possibilités de développement.

M. Estrangin a proposé le recours à la formule des sociétés civiles foncières. Selon lui, elle aurait le triple mérite de faire appel à l'épargne citadine pour prendre le relais du fardeau du capital foncier, de permettre des relations directes entre propriétaires du sol et exploitants, de maintenir à la terre comme fermiers des personnalités qui demeureront des chefs d'entreprises. La formule n'est pas neuve : c'est elle qui assure déjà la répartition des charges dans certaines des exploitations les plus modernes du Bassin parisien. « Si la formule devenait connue et commune, estime M. Estrangin, ne peut-on vraiment espérer que tout un mouvement se développe : attirées par l'aspect social de cette destination des capitaux, certaines épargnes privées songeront à apporter ce soutien très réel aux jeunes ; des organismes obligés d'investir en immeubles, telles les compagnies d'assurances et en particulier la Mutualité agricole, se tourneront de ce côté si des réglemen-

(6) LOUIS ESTRANGIN : *Nouvelles formes de la propriété agricole*, Revue de l'Action Populaire, n° de juin 1962.

tations étroites ne les empêchent pas ; des banques, ou même les notaires, orienteront l'épargne en ce sens, profitant au retour de tous les prêts ou opérations qui pourraient être faits sur cette exploitation (7). »

b) *L'autofinancement.*

Constitué par les reports de bénéfices non distribués et les provisions pour réserves et amortissements, l'autofinancement a couvert environ 60 % des investissements productifs en France, en 1966-1968. Le V^e Plan retient comme l'une des conditions essentielles de l'expansion de faire couvrir en 1970 par l'épargne des entreprises 70 % de leurs besoins de financement.

c) *Subventions de l'Etat.*

Ces subventions sont assimilées aux apports de fonds propres et n'ont pas à être remboursées. Cependant elles doivent être rapportées aux bénéfices imposables, proportionnellement à l'amortissement des biens dont l'achat a entraîné l'octroi de la subvention.

L'industrie bénéficie de la prime de développement industriel et de la prime d'adaptation industrielle visant à encourager la création d'emplois dans les régions ayant de graves problèmes de conversion (zones minières et textiles) ou dont le développement économique est le plus en retard (Ouest, Centre, Corse). Le montant des diverses subventions était de 90 millions de francs en 1965.

A l'agriculture, la prime d'orientation agricole et la subvention à la coopération sont versées au bénéfice des opérations de création, d'extension, de regroupement ou de modernisation des entreprises de stockage, de transformation et des commercialisations des produits. Leur montant était de 88,4 millions de francs en 1965.

On estime que ces aides ont contribué à la réalisation d'investissements importants correspondant à des taux moyens de 10 %, soit en 1965 de 900 millions de

francs dans l'industrie et de 431,4 millions dans l'agriculture.

A ce propos, on ne saurait passer sous silence l'action du Fonds d'orientation et de régularisation des marchés agricoles (F.O.R.M.A.) qui, en dehors de ses interventions sur les marchés, facilite les investissements des groupements agricoles et ceux des industriels ayant conclu avec ces derniers des contrats d'approvisionnement de longue durée.

FINANCEMENT PAR CRÉDITS

a) *Crédits bancaires à long terme.*

Les trois principaux établissements de crédit à long terme intervenant en matière d'investissements productifs sont le Crédit National, le Crédit Agricole et la Caisse Centrale de Crédit Hôtelier (moyennes et petites entreprises et artisanat).

Ils se procurent une partie de leurs ressources sur le marché financier (emprunts obligataires) et bénéficient d'une bonification d'intérêt de l'Etat ; ils reçoivent également des fonds de la Caisse des Dépôts. Leurs prêts ont des taux d'intérêt inférieurs ou égaux à 7 %.

b) *Crédits de l'Etat.*

L'Etat participe directement au financement des investissements productifs par l'octroi des différentes catégories de prêts du Fonds de développement économique et social (F.D.E.S.). Il consent des prêts :

— à l'industrie pour la conversion, la décentralisation, la spécialisation et la concentration des entreprises ; pour la recherche et pour l'accroissement de la productivité. En 1965, ils ont atteint près de 95 millions de francs ;

— à l'agriculture, pour les regroupements fonciers, la réforme des structures, les aménagements régionaux. En 1965, ces prêts ont été de 240 millions de francs.

L'action de l'Etat est donc plus importante dans le domaine agricole que dans le domaine industriel.

(7) LOUIS ESTRANGIN : op. cité.

Discussion

M. Soulet fait remarquer que si M. Piganiol dit qu'il y a de moins en moins de différence entre l'agriculture de pointe et l'industrie, puisque dans l'industrie interviennent aussi des facteurs aléatoires, M. Dauphin-Meunier quant à lui oppose nettement l'investissement agricole à l'investissement industriel, où le problème est beaucoup plus grave. Où est le joint ? Quelles que soient les difficultés de la comparaison, il doit y avoir un moyen d'en sortir. Il y a évidemment un problème qui, sur le plan comptable, perturbe toutes les questions : le problème foncier. A son avis, il a été trop négligé. Certaines solutions pleines d'intérêt proposées pour les questions d'investissement ne sont pas applicables dans tous les cas et, si on ne confondait pas trop souvent les problèmes de crédit à la propriété et de crédit à l'exploitation, il y aurait peut-être plus de facilités dans les finances des agriculteurs.

Pour M. Audidier le problème foncier est dominé avant tout par un problème de structures. Trop d'agriculteurs n'ont pas la possibilité d'accroître leur potentiel de production et d'industrialiser la production, les surfaces dont ils disposent étant insuffisantes. La loi de l'offre et de la demande joue et la propriété foncière n'a pas perdu de valeur bien au contraire et on est arrivé à cette conclusion que ceux qui ont investi des capitaux dans l'agriculture n'en ont tiré aucun revenu mais ont peut-être beaucoup mieux conservé leurs capitaux que lorsqu'ils les ont immobilisés dans des opérations foncières.

M. Soulet pense que la valeur absolue de l'hectare a assurément augmenté mais que la valeur d'utilité sociale de l'hectare n'a pas du tout été « pensée ». Il insiste sur le rôle social, la fonction sociale de la propriété foncière qui ne doit pas être une entrave, mais une aide ; jusque dans la première partie du ^{xx}e siècle, fréquemment les propriétaires ont

aidé ceux de leurs fermiers ne disposant que de peu de moyens et certains exploitants agricoles ne subsistaient que grâce à cette aide ; cela n'a pas été suffisamment dit.

M. Audidier ajoute qu'on a même détruit toute possibilité de collaboration ; on a déclaré que le métayage était un système désuet alors que c'était un moyen de promotion sociale qui a donné d'excellents résultats dans de nombreuses régions. On a dit que c'était un procédé archaïque d'exploitation qu'il fallait à tout prix faire disparaître.

M. Petit-Laurent revenant sur la question des investissements pense que la politique de recherche du retour de l'épargne vers la terre est absolument contrecarrée non seulement par les pouvoirs publics, mais par la profession agricole qui, volontairement, se referme sur elle-même et refuse les apports extérieurs.

M. Baratte tient à faire une observation en ce qui concerne les investissements : il est très important de bien diriger l'investissement ; le coefficient du risque par erreur dans un investissement est beaucoup plus considérable dans les entreprises actuelles, industrielles ou agricoles, qu'autrefois. Il prend pour exemple d'une part le gouvernement allemand qui a fait des prêts considérables aux agriculteurs pour construire des exploitations en dur dans une formule qui s'avère aujourd'hui inutilisable : aucune conversion des exploitations n'étant possible sans avoir recours aux marteaux piqueurs. D'autre part, en ce qui concerne la récolte des fourrages on développe continuellement des procédés nouveaux, aucun ne donnant pleinement satisfaction ; or, quand un agriculteur investit suivant une formule nouvelle de récolte et qu'il s'aperçoit au bout de quelques années, voire de quelques mois, que le procédé n'est pas viable, ses investissements sont perdus.

Le point de vue des agronomes

1^{er} exposé

par M. Jean REBISCHUNG

*Directeur du Service d'Expérimentation et d'Information
de l'Institut National de la Recherche Agronomique*

INTRODUCTION

« Industrialiser l'agriculture » est un sujet d'actualité puisque dans la dernière édition du Petit Larousse on trouve à titre d'exemple d'emploi du verbe « industrialiser », l'expression qui fait l'objet de nos débats.

L'idée fait son chemin, ou tout au moins elle est portée sur la place publique, sous forme de slogan. Quel est son contenu ? C'est cela que nous allons tenter d'examiner, M. Cochard et moi-même. Nous nous sommes très brièvement consultés avant cette réunion pour essayer de nous partager un peu la tâche, car il est extrêmement lourd d'aborder une discussion sur un tel thème.

Le terme d'industrie qui a donné naissance à l'expression « industrialiser l'agriculture », est pris dans son sens moderne, c'est-à-dire dans un sens restreint. En effet, une « industrie » est, dans l'acception générale du terme, l'art c'est-à-dire la manière de faire selon les règles, l'extraction, la production ou le travail de matières premières pour les façonner et leur donner une utilisation pratique. Ceci est naturellement applicable à toute une série d'activités de type agricole ; « industrialiser l'agriculture » ne peut avoir de signification, au sens où vous estimez que l'on doit ouvrir la discussion, que si l'on utilise cette expression dans son acception un peu restreinte et moderne. Restreinte et étendue à la fois : restreinte dans le sens où

« industrialisation » correspond à « organisation », ce qui s'oppose un peu à ce que l'on a cru être de l'empirisme dans le choix des options retenues par des agriculteurs ou par des producteurs agricoles, étendue parce que dans cette expression on retrouve le souci d'associer l'agriculture, fonction économique, à l'évolution de la société.

Gervais et *Servolin* ont souligné que le problème actuellement préoccupant était « l'insertion de l'agriculture dans la société industrielle » ; c'est sans doute beaucoup plus ce sens qui est sous-jacent à l'expression réduite « industrialiser l'agriculture ».

Lorsque l'on fait rapidement l'analyse de l'évolution de cette activité humaine fort ancienne, on s'aperçoit que si l'on prend une très large échelle de temps, elle est pendant très longtemps demeurée à l'âge de la subsistance ; puis elle a atteint l'âge de la technique, enfin l'âge économique. A l'heure actuelle on est en train de passer allégrement ces deux dernières étapes et même d'essayer de les dépasser pour arriver à un âge de l'organisation, où l'on tiendrait compte d'une insertion parmi les autres activités économiques.

L'âge « technique » de l'agriculture a débuté il y a près de deux siècles, à l'époque des physiocrates ; nous y sommes toujours, puisque de nouveaux aspects sont à considérer, à l'occasion de l'apparition d'innovations.

L'âge « économique » de l'agriculture est relativement plus récent bien que déjà *de Gasparin* faisait de la comptabilité agricole au niveau des entreprises ; pour autant que la comptabilité soit une partie de l'économie, ou laisse sous-entendre une prise de conscience d'un souci économique, l'agriculture avait atteint cet âge depuis près d'un siècle.

Le contenu de la formule « industrialiser l'agriculture » est plutôt « transposer les caractéristiques propres ou vraiment majeures de l'industrie à la production agricole ». Quelles sont donc ces caractéristiques principales et discriminantes de l'industrie ? Je crois qu'elles sont, d'abord sur le plan des structures, relatives à la concentration : les moyens utilisés, les ateliers industriels eux-mêmes sont concentrés sur le plan géographique. Leurs demandes en personnel, en énergie le sont elles-mêmes. Elles provoquent une concentration d'habitat et ceci a une répercussion sociale. En second lieu, les industries sont en général spécialisées. Enfin, elles sont « gérées » peut-être un peu plus que ne l'est l'agriculture : la recherche d'une efficacité maximale y est peut-être plus poussée que dans le cadre de l'agriculture, bien qu'au niveau des entreprises les plus modernes et grâce aux efforts des économistes ruraux, les soucis de gestion sont devenus courants et font partie réellement des préoccupations du chef d'exploitation agricole.

Sur le plan des relations avec l'aval, en particulier avec le marché, les situations diffèrent : l'agriculture produit des éléments qui arrivent sur un marché dont l'élasticité est relativement réduite. C'est un lieu commun de le rappeler, car déjà *Adam Smith* l'exprimait en termes fort concrets : « tandis que le désir d'autres biens de service peut être développé presque à l'infini, le désir de nourriture est limité par l'étroite capacité de l'estomac humain ». Je pense qu'il n'avait pas tout à fait raison, car les produits de l'agriculture ne sont pas uniquement destinés à l'estomac ; ils peuvent intéresser aussi les yeux, le palais, le nez par exemple. Nous pouvons donc repousser un peu la limite des activités qu'attribue

Adam Smith à la production agricole ; ceci est ou sera peut-être important à considérer dans l'optique de la « Civilisation des loisirs ».

Je m'intéresserai surtout, en tant que technicien et chercheur, aux deux premiers points qui me semblent caractériser l'industrie, c'est-à-dire la concentration des moyens et la spécialisation, pour essayer de les discuter d'un point de vue agronomique et de voir s'il est possible d'imaginer que l'agriculture puisse atteindre un niveau de concentration aussi fort que celui que l'on estime souhaitable pour l'industrie, et un niveau de spécialisation aussi poussé que celui des ateliers industriels. M. Cochard, qui est plus directement intéressé par les problèmes relatifs à l'entreprise et d'ordre humain, abordera les choses sous un angle complémentaire.

AGRICULTURE ET CONCENTRATION

La concentration relative des moyens sur un plan géographique, qui caractérise effectivement les installations industrielles, est possible en agriculture, c'est-à-dire applicable à certaines productions agricoles. Je prendrai un exemple très simple pour vous le démontrer : dans le cadre de la production végétale, on peut obtenir, par unité de surface cultivée et dans des conditions très comparables à celles de la marche d'une entreprise industrielle, des productions à l'unité de surface extrêmement élevées : dix, vingt fois plus que celles que l'on peut espérer atteindre dans les conditions naturelles. Il suffit pour cela de disposer de serres suffisamment bien aménagées, de travailler en ayant la maîtrise de l'ensemble des facteurs essentiels, c'est-à-dire : le sol lui-même que l'on remplace éventuellement par un produit de substitution tel que du sable ou de la vermiculite approvisionnés par une solution nutritive, les sources d'énergie lumineuse et calorifique, les autres facteurs physico-chimiques du milieu : humidité de l'atmosphère, concentration en CO₂, etc. Disposant de possibilités de régulation de ces divers facteurs, il devient aisé d'établir des programmes de production aboutis-

sant, dans un laps de temps déterminé, à un terme défini qui peut être, par exemple, des laitues de calibre et de type donnés satisfaisant au mieux la demande du marché, des plantes ornementales diverses, etc.

On peut donc réellement industrialiser certains types de productions. L'application de tels procédés a même remis en cause un certain nombre de connaissances biologiques fondamentales. Par exemple, tout le monde des biologistes a admiré la thèse de Noël Bernard portant sur la symbiose des Orchidées. Il est tout à fait possible actuellement de produire des Orchidées selon un système qui ne fasse pas appel à l'action des éléments symbiotiques : on sait très bien cultiver des protocormes dans des milieux parfaitement artificiels, en atmosphère contrôlée. Leur rythme de division, leur rythme de production de jeunes plants est programmable, défini. On peut ensuite reprendre ces jeunes plants, les placer en serre, dans des bacs ne contenant aucun substrat, les alimenter correctement par une solution nutritive pulvérisée régulièrement sur les racines et, en faisant totalement abstraction de l'organisme symbiotique normalement nécessaire, arriver à produire des fleurs. Ajoutons que le délai séparant le bouturage des éléments de multiplication et la floraison se trouve considérablement réduit, si l'on applique ce procédé.

De tels exemples peuvent permettre une certaine assimilation de quelques productions agricoles à une production industrielle. Mais poussons un peu plus loin ce type d'investigation ou d'analyse de ces processus très industrialisés. Les industries, concentrées, consentent des investissements extrêmement élevés par unité de travailleur employé. Si j'essaie de calculer, d'après les données dont nous pouvons disposer actuellement, quel est le volume d'investissements nécessaires pour arriver à appliquer une technique tout à fait industrielle à la production de l'Orchidée, de la laitue, de haricots, de tomates, de melons ou de concombres, je suis amené à me poser quelques questions.

En effet, une unité de serres, suffisamment bien régulée pour que l'on puisse réellement y appliquer un programme tel que celui que j'évoquais tout à l'heure, coûte à l'installation environ 750 F au m². Un homme seul, travaillant dans de telles serres peut s'intéresser ou assurer la surveillance d'environ 1.000 m² d'installations. L'investissement par unité de travailleur nouveau atteint donc, dans le cas d'une production industrielle de produits de ce type, 750.000 F. Or, si mes données sont exactes, dans les différentes catégories d'industrie, on cite couramment les chiffres de 20 à 30 000 F d'investissement par création d'emploi pour ce qui est des installations légères de transformation : textiles ou métallurgie fine, 500.000 F pour la cimenterie, la pétrochimie et 1.000.000 de F au niveau des centrales thermiques et hydrauliques. La production de denrées agricoles tout à fait programmable à travers un système assimilable à un système industriel demande des investissements dont le montant se situe à mi-chemin entre ceux des industries lourdes que représente la pétrochimie et des industries encore plus lourdes qui ont pour objet l'acquisition ou la production d'énergie électrique. Donc, est-il logique d'imaginer que l'on pousse la recherche d'industrialisation de l'agriculture, pour arriver généralement à un tel niveau ? Je ne le pense pas, du moins pour ce qui concerne la majeure partie des produits de consommation courante. D'autre part, la mise en place de l'instrument de production que représente une serre disposant de tout un système de régulation automatique, impose une concentration des aménagements d'énergie et d'eau. Or, comme le disait le Professeur *Blaringhem* en guise d'introduction à son cours de biologie végétale : « Qu'est-ce que la vie ? tout simplement de l'eau, avec un peu de quelque chose autour... ». Ce « quelque chose » est, dans le cas des végétaux, essentiellement le produit de la photosynthèse et de l'absorption d'éléments minéraux. Il convient, à ce point du débat, de faire une petite distinction entre les différentes denrées agricoles : les végétaux sont, si j'ose dire, des productions

primaires de ce secteur primaire de l'économie, alors que les productions animales sont issues de la transformation de ces produits primaires. Elles diffèrent donc, sous cet aspect, des végétaux. Il convient de conserver à l'esprit cette petite distinction qui peut avoir, vous le verrez tout à l'heure, quelque importance.

Un des facteurs essentiels de la production végétale est l'eau. Qui n'a entendu parler des risques de déficit général d'approvisionnement en cet élément, souci exprimé depuis quelques années, ayant presque pris l'aspect d'une hantise. Personnellement, je ne partage pas entièrement cette opinion, tout au moins en ce qui concerne l'aspect de « généralité » que l'on se plaît à lui conférer. Par contre, si l'on examine d'une part la répartition des ressources totales et leur coefficient d'exploitation, d'autre part la dispersion ou plutôt la concentration croissante des demandes et de la pollution, il est aisé d'imaginer que le problème se présente sous un tout autre aspect. De toute façon, lorsqu'on fait un bilan de cette question particulière, en agronome surtout préoccupé de production classique ou traditionnelle, on s'aperçoit que presque partout, les mesures adoptées par les agriculteurs ont eu pour objet, très souvent, d'ajuster la nature des cultures ou de la manière de les conduire aux disponibilités en eau. Je ne pense pas, par exemple comme *Marc Bloch*, que l'adoption préférentielle d'assolements biennaux dans le sud de la France et triennaux dans le nord, ait pour cause un « effet de civilisation ». Cette différence de comportement a certainement comme justification, tout aussi bien la prise de conscience d'une « expérience » qui s'est transmise de génération en génération.

Depuis quelques années, les bioclimatologistes ont beaucoup étudié ces problèmes de besoins et de déficit éventuel en eau ; on s'aperçoit que, si dans une situation géographique déterminée, on ajuste bien son système de production végétale aux ressources totales disponibles, à leur mode de fourniture dans le temps, on peut très bien obtenir un

niveau de productivité fort satisfaisant. Par ailleurs, le modelage d'un « paysage », grâce à l'implantation correcte de brise-vents peut permettre d'économiser ou de mieux valoriser les quantités d'eau normalement reçues. De telles mesures contribuent à supprimer ou amenuiser les préoccupations que provoquent les concentrations excessives, caractéristiques d'une société qui se veut « organisée ».

Je sais bien que l'on envisage de trouver d'autres solutions à ce type de problèmes. A la dernière réunion de l'Agence Atomique Internationale de Vienne, un programme d'utilisation de l'énergie atomique pour dessaler une quantité d'eau de mer suffisante pour pouvoir satisfaire les besoins de zones qui naturellement ne reçoivent pas suffisamment de précipitations a été présenté. On a même calculé que l'énergie électrique nécessaire pour la dessalinisation coûterait beaucoup moins cher si elle était produite grâce aux ressources de l'énergie atomique plutôt qu'avec les moyens conventionnels. On arriverait probablement à diviser par 10 environ le prix de revient de l'unité d'énergie utilisable. Ceci est peut-être une solution d'avenir fort efficace pour favoriser le développement agricole de secteurs géographiques qui, pour l'instant, n'ont pas encore essayé d'ajuster leurs systèmes de production aux disponibilités en eau, ou qui réellement sont défavorisés sur le plan climatique. Tel est le cas, par exemple, de la partie sud de l'Etat d'Israël où des mesures de ce type sont appliquées.

Une deuxième caractéristique de la production végétale est qu'elle résulte essentiellement de l'activité de la photosynthèse. Le rendement maximum, qui est une des préoccupations fort louable de l'industrie, peut être obtenu en photosynthèse, dans des conditions assez bien connues. On peut, à l'égard d'un tel problème, progresser dans le choix du matériel végétal utilisé pour bénéficier de cet apport d'énergie gratuite : ceci fait l'objet de l'ensemble des travaux de recherche ayant pour objet la création d'un matériel généti-

que qui soit un meilleur transformateur d'énergie lumineuse en produits de photosynthèse.

Mais un deuxième point sur lequel on peut encore agir est la recherche de la meilleure disposition possible des organes végétaux actifs à l'égard de la source naturelle d'énergie dont nous disposons.

Les végétaux en place ont une surface d'assimilation optimale qui représente en moyenne cinq à six fois celle du sol sur lequel ils sont alimentés. On peut artificiellement accroître cette surface en utilisant plus largement que les plantes ne le font naturellement, la troisième dimension : ceci a fait l'objet de projets et même de réalisations qui sont des serres-tours dans lesquelles, avec un système de transport vertical, on arrive à exposer à une même quantité suffisante de radiations, un nombre de plantes tel que la couverture de la surface utilisée est largement supérieure à cinq à six fois l'emprise au sol. Mais là encore, le problème des investissements se pose et je mets un peu en doute, tout au moins dans un avenir proche, les chances économiques d'implantation d'un système de production qui serait basé sur l'utilisation de telles installations.

Les modalités d'utilisation et d'occupation de surface sont l'un des facteurs essentiels de transformation des ressources d'énergie gratuite en produits primaires. La concentration n'offre pas de solution logique et peu onéreuse à ce problème et, si l'on raisonne en économiste, l'utilisation optimale des ressources implique, au contraire, le maintien d'une certaine dispersion des cultures.

Peut-être que les paysans et les agriculteurs ont empiriquement réalisé l'importance de ce facteur « occupation de la surface ». Peut-être aussi leur fameux attachement à la terre trouve-t-il un mobile dans cette prise de conscience, qui s'exprime par l'adoption de la formule « avoir des biens au soleil » ?

Le substrat sol fournit, pondère, filtre les éléments complémentaires à l'énergie lumineuse dont le végétal a besoin pour sa croissance ; son entretien est fort utile. Là encore, il est possible de mettre

en évidence une différence assez fondamentale existant entre les conceptions industrielle et agricole des investissements, le sol, la terre représentant les postes d'investissement les plus importants de la production agricole normale. Lorsqu'un industriel construit un nouveau bâtiment destiné à recevoir des ateliers et à loger du matériel, il sait *a priori* que ce bâtiment doit être amorti sur un laps de temps déterminé, qui va se réduisant au fur et à mesure que l'évolution des techniques s'accélère. Disons qu'à l'heure actuelle, une infrastructure de ce type risque de perdre son caractère fonctionnel, donc doit s'amortir, sur vingt-cinq ou trente ans.

Pour l'agriculteur, la surface d'accueil de ses unités de production que représente le sol, ne peut être considérée sous le même angle ; en effet, s'il admet cette hypothèse d'amortissement pour le sol dont il dispose, non seulement les rendements qu'il obtiendra iront en décroissant pendant toute la durée du cycle prévu, mais lorsqu'il voudra se réinstaller, c'est-à-dire acquérir une nouvelle surface, il va se heurter à un problème que les industriels ne rencontrent pratiquement pas : celui de la limitation de l'espace disponible.

Aucun agriculteur exerçant son activité dans les pays développés n'envisagerait d'adopter la politique des planteurs de café d'Amérique du Sud, qui, après avoir bénéficié des sols constitués sous la forêt, les abandonnent lorsque la production des espèces cultivées n'est plus satisfaisante et migrent vers d'autres horizons, dont ils exploitent la richesse accumulée.

Les actuels défricheurs de Champagne sont soucieux, après avoir conquis quelques dizaines ou centaines d'hectares, d'en maintenir, voire d'en améliorer la fertilité. Cette prise de position n'est pas seulement « sentimentale », mais au contraire inspirée par des préoccupations techniques. Je vous ai dit tout à l'heure qu'il était possible pratiquement d'obtenir une production végétale industrielle en travaillant notamment en « hydronique » ; mais même à l'heure actuelle, les spécialistes de cette technique de

nutrition sont gênés par l'aspect dynamique de l'expression des besoins des végétaux que l'on cultive dans de telles conditions. Dans un récent article qui fait le point de nos connaissances en ce domaine, M. Drouineau et M^{me} Blanc ont bien indiqué et souligné ce type de préoccupation : pour obtenir le meilleur rendement possible il faut arriver à fournir à la plante, en dehors de l'énergie lumineuse dont elle a besoin, les différents éléments indispensables lui permettant, à tout instant de sa croissance et de son développement, de faire face à ses besoins. Ceux-ci varient dans le temps, et nous connaissons encore trop peu de choses pour arriver à programmer tout à fait parfaitement leur nutrition.

Le sol, lui, joue un rôle de pondération en une telle matière ; on pourrait le comparer, à ce titre, à une batterie d'accumulateurs. Il n'est pas seulement une « structure d'accueil » physique et chimique des végétaux, mais grâce à l'activité globale des êtres vivants qu'il recèle, il est autre chose qu'un simple substrat. De son état général dépend en grande partie la réussite des cultures qu'on lui confie.

Revenons à une distinction présentée il y a quelques instants, relative à la plus ou moins grande facilité d'adopter une formule de type industriel pour l'obtention de divers produits agricoles : végétaux et animaux.

La production animale résulte essentiellement de la transformation d'herbe, de grains ou d'autres éléments fournis par les végétaux. Elle représente donc une activité de type « secondaire », si l'on se réfère à une terminologie économique. Il est dès lors aisé d'imaginer que les ateliers de production animale puissent avoir des caractéristiques « industrielles ». Des réalisations fonctionnelles existent. Peut-être serait-il opportun, malgré tout, d'introduire quelques nuances dans cette qualification.

Dans l'industrie, on imagine très bien que l'on puisse répéter un nombre considérable de fois et accroître de manière assez indéfinie (indépendamment des contraintes économiques qui règnent sur

le marché) un processus déterminé de production. Celui-ci se réalise dans un atelier dont les limites de dimensions ne sont pas imposées. Dans le cas de quelques productions animales, il semble qu'on soit obligé, dès le départ, d'imaginer que certains ateliers conserveront une échelle limitée. Il faut distinguer, en effet, ceux qui ont une activité d'élevage et de « naissance » de ceux qui sont uniquement consacrés à la préparation directe de produits de consommation : ateliers d'engraissement ou de finition de poulets, de porcs et même de bœuf.

Dans une récente conférence, notre collègue *Thibault*, chef du département de Physiologie animale, nous signalait qu'à son avis, si l'on voulait obtenir le meilleur rendement dans une étable de vaches laitières, il ne fallait pas que cette unité soit trop grande. Ces animaux producteurs de lait et de jeunes sont sensibles à leur environnement, aux personnes qui s'occupent d'eux ; il faut, pour que l'élevage soit conduit de la façon la plus économique possible, que les vaches reçoivent des soins particuliers prodigués par des hommes qu'elles connaissent et qui, réciproquement, savent estimer leurs besoins particuliers. Il est vraisemblablement difficile d'imaginer qu'une unité de travail réellement fonctionnelle et procurant un profit maximum, contienne plus de 50 vaches laitières par exemple.

Par des voies plus ou moins détournées, nous abordons le problème de la « spécialisation », puisque nous venons d'être amenés à distinguer ce qui se rapportait au cas de l'animal que l'on veut bien soigner, car il a une carrière d'une certaine durée à effectuer et à celui de la préparation plus directe à l'utilisation.

AGRICULTURE ET SPECIALISATION

Une des caractéristiques de l'industrie réside en ce qu'elle a toujours la possibilité d'éclater une activité pour en faire réaliser les diverses étapes dans des ateliers spécialisés. Poser une telle question relativement à l'agriculture revient à ouvrir le débat : polyculture ou spécialisation. La polyculture a été inspirée par

un souci d'autarcisme bien entendu. Disons qu'il est vraisemblable qu'il n'est pas très intéressant, dans le monde économique moderne, de continuer à se livrer à trop d'opérations très diverses sur une même entreprise. La « spécialisation » est donc plus ou moins nécessaire, voire imposée. Pour un agronome, le problème à résoudre est celui de l'appréciation des limites tolérables d'un tel système. Je sais bien qu'elles sont repoussées petit à petit, au fur et à mesure que les connaissances s'accroissent et que l'on dispose soit de matériel original soit de méthodes originales de traitement et d'utilisation du matériel classique. En effet, le métier d'agriculteur est un perpétuel face à face avec un monde vivant. Ce monde vivant n'est pas uniquement constitué d'éléments intéressants ; il contient également un ensemble d'éléments antagonistes ou parasites de ce monde vivant intéressant. Le parasite est adaptable tout aussi bien que la plante ou les animaux hôtes. Une spécialisation trop poussée favorise ou provoque une sélection naturelle à l'intérieur de deux populations qui se font face (je dis deux pour simplifier le problème, parce qu'il y en a beaucoup plus que cela en réalité) si bien que depuis une vingtaine d'années on peut considérer que les généticiens, les pathologistes, les zoologistes, les phytopharmaciens passent leur temps à essayer de trouver des solutions dont la valeur demeure temporaire, en général.

Il n'existe que très peu de modèles limités de développement d'un parasite dont on connaisse globalement la variabilité ; à ma connaissance dans un ou deux cas seulement, l'inventaire du potentiel pathogène d'un agent à l'égard de son hôte habituel a pu être fait ; des limites biologiques se manifesteront cer-

tainement si l'on pousse trop loin le niveau de spécialisation et de concentration des activités agricoles. Une des raisons d'être des assolements et des rotations où différents types de cultures sont alternées, est d'éviter qu'un niveau d'inoculum spécifique trop élevé soit atteint, dans un sol ou dans un milieu utilisé pour la production.

Une autre conséquence importante de la spécialisation est l'obtention de produits standardisés. Que penserait le consommateur d'une simplification peut-être excessive de la variété des denrées qui lui sont offertes ? Est-il prêt à abandonner la préférence qu'il peut avoir pour tel type de fromage, par exemple, pour absorber une pâte cuite pasteurisée ou une soi-disant crème de gruyère, dont le comportement en stockage créera moins d'ennui au niveau des circuits de distribution ?

Je me livrerai pour terminer à une réflexion inspirée d'une expérience malheureuse : je me dis que fort heureusement le cépage « Cabernet » qui donne de si bons vins en France, peut-être en faible quantité parfois, a bien avantage à être cultivé dans des situations qui ne lui permettent pas d'atteindre une capacité de production aussi élevée que celle qu'il manifeste en Californie, car les vins auxquels il donne naissance, outre-Atlantique, ne sont vraiment pas très agréables, au moins à un palais de Français.

CONCLUSION

« Recherche des modalités optimales d'exploitation de facteurs imposés et peu maîtrisables » est sans doute une formulation meilleure des problèmes agricoles actuels que « l'industrialisation de l'agriculture ».

Le point de vue des agronomes

2^e exposé

par M. Jean COCHARD
Agriculteur-Eleveur

Tout d'abord j'aurai un mot pour regretter que ce soit moi qui, agriculteur de service, ait à traiter le sujet proposé au cours de ce colloque. Bernard Poulain était pressenti, il n'a malheureusement pu accepter. C'est dommage pour nous tous car c'était précisément son analyse sur un sujet auquel il a beaucoup réfléchi et sur lequel il a une expérience, qui eût été intéressante.

Je vais cependant essayer de me jeter à l'eau et de ne pas trop vous décevoir.

« Industrialiser l'agriculture »... Demander son sentiment sur ce sujet à un agriculteur est dangereux. C'est dangereux parce que, si pour des scientifiques ou des économistes comme Piganiol, Dauphin-Meunier, Rebischung c'est un thème qu'ils peuvent traiter objectivement, pour un agriculteur la formule a un contenu presque explosif.

Industrialiser l'agriculture cela signifie pour une majorité d'entre nous contester un « Etat » au sens où l'on a longtemps dit et écrit que l'agriculture était un Etat plutôt qu'une profession.

C'est vous dire que l'agriculteur présent dans une telle formule la remise en cause de tous ses comportements et, à la limite, de l'existence économique même d'un grand nombre.

Poser ainsi le problème c'est s'exposer à recevoir des réponses souvent passionnées et toujours très variées selon que l'interpellé vit en autarcie sur quelques arpents de montagne, exploite 1.000 hectares de céréales en Champagne ou gère une entreprise complexe à plusieurs ateliers et quelques dizaines de salariés.

A plus forte raison si — hors hexagone — on s'adresse aux sociétés propriétaires du « feed-lot » américain de 80.000 bœufs décrit par Chombart de

Lauwe, ou de l'étable californienne de 5.000 laitières présentée ce mois-ci par la *Revue de l'Elevage*, ou aux membres d'une « zadrouga » yougoslave de 6.000 hectares intégrée dans un « kombinat » de 70.000 hectares qu'étudient et conseillent actuellement Cordonnier, Attonaty et Gérard Laureau.

Dans tous les cas les réponses seront entachées de subjectivité, et, je n'échapperai certainement pas à ce péché.

C'est pourquoi je crois devoir énoncer quelques-unes de mes caractéristiques personnelles pour que chacun puisse appliquer le correctif qu'il jugera bon à mes propos.

- Parisien d'origine, ma vocation fut typiquement celle du jeune citadin de 15 à 16 ans : fuite de l'asphalte et du métro ... le coin de terre en autarcie ... Robinson et Virgile à la fois. Bien entendu j'ai dû accepter depuis, les règles d'un jeu tout différent, celui de l'entreprise dite de grande culture en région parisienne.

- A la charnière de deux époques, j'ai connu l'agriculture et l'enseignement agricole des années 20 qui, frappés d'immobilisme, paraissaient définitivement arrêtés aux années 90, et j'essaie aujourd'hui de ne pas me laisser prendre de vitesse par ces techniques des années 60 qui se périment en une saison et qui font appel à la programmation linéaire pour la gestion des entreprises.

- Plutôt optimiste, j'aime mon époque et je crois à ce progrès technique et même social qui la caractérise, mais avec un soupçon de méfiance paysanne, et, je suis par-dessus tout attaché à l'ascèse que nous imposent *les réalités* de tous ordres qui sont en définitive les véritables guides de nos actions et de nos pensées.

• Il m'arrive cependant de me souvenir de mes origines et d'éprouver un peu de nostalgie, sans amertume, pour la liberté, la fantaisie et, avouons-le, l'« à peu près » qui était permis à l'agriculteur il y a trente-cinq ans.

Ceci dit, mon exposé comportera deux parties.

— Dans une première je vous dirai comment un agriculteur ordinaire perce le phénomène industriel.

Après quoi je vous dirai, en n'engageant que moi-même, si je crois l'agriculture engagée ou non dans le processus d'industrialisation et jusqu'où.

Pour débiter il me faudrait une bonne définition de l'industrie.

Comme il doit y en avoir plusieurs je vous proposerai une approche différente : *Qu'est-ce qui pour un agriculteur distingue l'industrie de l'agriculture ?*

Essentiellement, il nous apparaît que l'industrie ne subit pas au moins quatre des plus importantes contraintes : durée, aléas climatiques, hétérogénéité, horizontalité, supportées par l'agriculture.

• Indépendance du TEMPS, au sens, tout à la fois de DUREE (des cycles biologiques), de CLIMATS, de SAISONS, et enfin d'ALEAS météorologiques, l'industrie peut se permettre la constance et la répétitivité indéfinie de ses activités avec des cycles de production courts et même continus. Elle nous paraît, à tort sans doute, à l'abri de tous les aléas.

• L'industrie travaille sur des matières premières HOMOGÈNES répondant à des définitions strictes exigées de ses fournisseurs, permettant l'emploi d'une technologie et d'outils hautement précis. Elle a homogénéisé jusqu'à ses hommes en les spécialisant, et en leur retirant ce facteur d'hétérogénéité qu'est l'initiative personnelle.

• L'industrie n'a pas à supporter cette principale contrainte de l'agriculture qu'est l'espace horizontal. Elle travaille dans la verticalité permettant la concentration et évitant la dispersion.

• Constance et continuité d'activité, homogénéité, technologie reine, vertica-

lité, lui ont permis de s'engager dans la voie des équipements de plus en plus puissants, productifs et coûteux, donc de la CONCENTRATION en moyens et en hommes qui lui a imposé en retour une ORGANISATION, une GESTION, une recherche de PRODUCTIVITE qui pour nous sont l'image même du monde industriel.

• Réaction en chaîne : un tel dispositif ne peut déboucher que sur la multiplication indéfinie d'une *production de masse* qui, à son tour, nourrit équipement, recherche technologique, organisation, concentration... Seule limite apparente à cette spirale : le « MARCHE ». Or, l'agriculteur étonné découvre que l'industriel n'accepte pas cette limite. Le marché s'étudie, se manipule, se conquiert. Mieux, de dernier maillon de la chaîne de production, l'astuce est d'en faire l'élément premier et pilote. De plus en plus le commercial commande la production.

Ainsi apparaît un peu fantastique et apparemment inaccessible le monde industriel aux agriculteurs.

Inaccessible ? Là est, en effet, la question.

Il semble bien qu'au chapitre des ALEAS et de l'HÉTÉROGÉNÉITÉ tout soit réuni pour accabler l'agriculture et lui interdire toute possibilité d'organisation de type industriel.

C'est même le chapitre classique où viennent s'accumuler les vérités premières et les plaintes des pauvres agriculteurs en face des avantages triomphaux de l'industrie.

• *Dépendance des saisons et du climat* (auxquels il faut ajouter les micro-climats), *aléas météorologiques*, le tout formant la sévère contrepartie de l'énergie solaire gratuite, base de l'activité agricole — au moins jusqu'à présent — comme vient de le démontrer Rebischung.

• *Aléas d'origine biologique* provenant de cet environnement essentielle-

ment vivant où croissent nos végétaux et nos animaux et où ils sont aux prises avec des concurrents et des parasites doués de redoutables facultés de prolifération proportionnelle à la masse même de la culture ou de l'élevage, mais aussi d'adaptation aux modifications du milieu.

• Quant à l'hétérogénéité elle est partout en agriculture, au niveau du relief et de la configuration de nos champs, au niveau des *sols*, milieu à la fois physique, chimique et vivant, encore si peu connu (la pédologie commençait tout juste à être enseignée avant la dernière guerre), au niveau du matériel biologique utilisé par l'agriculteur : au début du siècle toutes nos plantes cultivées étaient des « populations » et nos « races » animales d'aujourd'hui le sont encore pour les grands animaux.

• Rappelons enfin la *lenteur des cycles biologiques* :

l'année pour la plupart des végétaux, plusieurs années pour l'arboriculture, la vigne, les bovins et, par conséquent, lenteur des recherches biologiques et technologiques.

Et pourtant..., depuis qu'elle existe, l'agriculture est engagée dans cette bataille typiquement industrielle de *contrôle des aléas et de réduction de l'hétérogénéité*. Mais c'est évidemment de l'accélération du progrès scientifique et technique, que date un bond en avant considérable, et la liste des réussites est, d'ores et déjà, tellement connue qu'elle rentre aussi dans la catégorie des vérités premières.

Réussites d'ordre *génétique* : beaucoup de variétés, de races et d'hybrides végétaux et animaux répondent, d'ores et déjà, à des définitions absolument précises et sont même diffusés avec un mode d'emploi adapté à leurs caractéristiques.

Réussite dans le domaine de la *physiologie* (fertilisation et alimentation appropriées des plantes et des animaux), et dans le domaine de la *pathologie*, de la *prophylaxie* et de la *défense* contre les ennemis des cultures et des

élevages faisant appel à des technologies aussi strictes que celles de l'industrie (marge d'erreur tolérable très faible dans l'emploi des désherbants par exemple).

• Réussites déjà acquises ou en cours d'acquisition dans le domaine du *contrôle d'ambiance* des locaux de conservation des récoltes ou de logement des animaux.

• Réussites dans le domaine de la *mécanisation*, de la rapidité et de la puissance d'intervention dans les travaux agricoles permettant d'échapper en partie aux aléas classiques de la météorologie (façons culturales et récoltes accélérées, séchage des grains, déshydratation des fourrages, ensilage sous vide...).

Bien entendu il subsiste des ombres à ce tableau et l'homme ne maîtrise actuellement ni la météorologie elle-même, ni sa prévision au-delà de 48 heures environ, ni la science du travail du sol qui, à cause de son hétérogénéité même, reste dans la plupart des cas du domaine de l'art ou plus modestement du tour de main, ni certaines contraintes biologiques gênant encore la spécialisation intégrale et spécialement les monocultures, ni certaines épidémies ou proliférations imprévisibles (la cécylodromie sur les blés en 1966 par exemple) ni l'hétérogénéité liée à l'individualité des animaux supérieurs (la vache laitière tout particulièrement).

Si nous sommes bien d'accord que contrôle des aléas et réductions des hétérogénéités sont des phénomènes typiquement industriels, on est bien obligé d'admettre que l'agriculture, tout en n'ayant pas résolu à loin près ce type de difficultés, est totalement engagée dans ce processus.

Qu'en est-il en agriculture de cette autre caractéristique du monde industriel : « *la recherche de productivité du travail humain par l'équipement et l'organisation* » ?

Immédiatement, autre série d'évidences, apparaissent les contraintes qui nous font douter de toute possibilité d'industrialisation de l'agriculture.

• Et d'abord, les saisons et les cycles biologiques — toujours eux ! Quel handicap pour l'équipement que de se dire que la plupart de nos appareils de récolte, tenus par des impératifs de maturité et de dégradation du produit, ne disposent que de quelques jours par an, amputés encore des séquences de temps défavorables. Et la récolte n'est pas la seule opération étroitement liée à la saison. Combien d'autres appareils ne servent que quelques jours, voire quelques heures dans l'année, et doivent trouver leur utilisation dans des créneaux de temps extrêmement étroits.

• *L'espace horizontal*, ou plus exactement la surface de chlorophylle, qui est notre instrument et notre atelier de travail normal en production végétale, impose à nos machines d'être *mobiles*. De ce fait, leur conception, leurs dimensions, leur poids sont nettement différents des machines industrielles surtout si l'on ajoute que le relief et les natures très variées des sols sur lesquels elles évoluent apportent des difficultés supplémentaires.

• Sur l'organisation du travail toutes les contraintes énumérées pour l'équipement jouent semblablement. Elle n'est pas impossible bien sûr, car tout peut s'organiser en y mettant le prix, mais, aléas et hétérogénéité qui demeurent notre spécificité, font que les décisions imprévisibles sont un peu la trame du travail agricole et supposent soit un personnel hautement compétent, et capable de cette décision là où il est, soit des *échelons de décision nombreux et extrêmement proches de l'exécution*, ce qui représente d'ailleurs la structure actuelle de l'agriculture familiale européenne.

• Enfin, il existe des *freins conjoncturels* à l'équipement de l'agriculture. Le rapport entre les prix des équipements et celui de la main-d'œuvre, très différent entre France et U.S.A. par exemple, fait souvent réfléchir le chef d'entreprise français avant de remplacer du travail par du capital.

Cependant, après la série des freins, voici les stimulants. Ce même rapport

$\frac{\text{prix des équipements}}{\text{prix de la main-d'œuvre}}$ tend à se modifier rapidement. Les salaires agricoles sont engagés dans un processus de rattrapage des salaires industriels qui, eux-mêmes, s'alignent de plus en plus sur le modèle américain.

De ce fait, équipement et organisation ne seront bientôt plus des options pour l'agriculteur mais des impératifs, car la recherche de productivité du travail humain en agriculture va désormais prendre un rythme proprement industriel.

Déjà les réussites dans cette voie sont nombreuses malgré les handicaps.

Les céréaliers atteignent dans les cas favorables la centaine d'hectares par travailleur soit plus de 150.000 F de produit brut.

L'aviculture a poussé très loin sa productivité et son équipement, elle atteint entre 5 et 10.000 poules pondeuses par travailleur !

La production porcine est en route sur la même voie.

Avec des coûts très élevés qui rendent parfois les résultats problématiques, il faut citer également des équipements qui atteignent véritablement la forme industrielle : les serres, la déshydratation des fourrages, etc.

Bien entendu l'extrême variété des structures actuelles de l'agriculture — en pleine évolution d'ailleurs — y rend lent et sporadique le processus d'équipement, d'organisation et de recherche de productivité du travail humain. Mais, là aussi, nous pouvons dire que l'agriculture est engagée, avec ses contraintes spécifiques, dans une voie typiquement industrielle.

*
* c

Un autre aspect de l'évolution industrielle que nous avons noté comme engendré par le couple équipement-productivité est la *concentration* (laquelle réagit d'ailleurs, pour l'amplifier encore, sur l'équipement).

**

L'agriculture subit-elle la loi de la concentration ?

Signalons d'abord qu'en agriculture ce terme de concentration est ambigu, car s'il signifie bien augmentation de l'importance de l'entreprise, il se manifeste par l'extension de la surface ce qui est assez contradictoire avec la notion même de concentration.

Ceci dit on peut répondre sans hésitation : depuis des années *l'agriculture se concentre*, le nombre des exploitations diminue et leur surface augmente, les statistiques sont connues de tous.

- Ce sont les *équipements* mis à la disposition des agriculteurs qui sont les principaux responsables de ce mouvement. Non seulement les agriculteurs dans leur ensemble utilisent ces équipements mais ceux-là même qui contestent le phénomène et veulent maintenir l'agriculture dans ses structures petites et moyennes se comportent en agents actifs de cette concentration. Les départements bretons sont depuis plusieurs années les plus gros acheteurs de tracteurs qui, fatalement, éliminent des emplois et des hommes et exigent toujours plus de surface.

- Parallèlement les équipements offerts sont de *plus en plus puissants* et provocants devant un marché qui d'ailleurs répond favorablement. La puissance des tracteurs est passée en vingt ans de 30 à 60 chevaux, et voici que les 100 CV apparaissent, se vendent facilement et commencent à transformer les fermes où ils entrent. Les moissonneuses-batteuses dévorent maintenant deux hectares à l'heure. A Boulieu, dans l'Isère, la salle de traite tournante permet à trois hommes de traire 180 vaches à l'heure. Et je passe sous silence les poulaillers et les porcheries qui sont en pleine évolution.

Nous ne connaissons pas la limite de la puissance de ses équipements, mais ce que nous pouvons prédire c'est que la voie est ouverte à l'*éclatement des structures* actuelles (17 hectares, rappelons-le, moyenne de l'exploitation française), à la *production de masse*, caractéristique nettement industrielle, et enfin à la *concurrence* de plus en plus

dure entre entreprises, phénomène nouveau, la concentration ne pouvant évidemment se faire que par l'absorption du plus faible par le plus dynamique.

Quelle sera la rapidité et l'ampleur du mouvement, c'est ce que nous ne pouvons prédire non plus, car lui sont opposés des *obstacles spécifiques* à l'agriculture en général et française en particulier : dans la concentration les hectares s'accumulent, mais *sur de l'horizontal* et non sur du « vertical », et dans le même temps, distances, transports, contrôles et surveillance augmentent proportionnellement et freinent cette évolution. Il faut dire d'ailleurs que simultanément la technique de ces transports s'améliore, le moteur et le pneu agricoles « boivent l'obstacle » et les distances, la 2 CV est l'agent de liaison tous-terrains. L'exemple de nos industries agricoles, laiteries, sucreries, dont la concentration a imposé l'augmentation considérable du rayon d'approvisionnement, montre que tout est mouvant dans ce domaine.

Pour un temps encore, la *compétence* des hommes et les difficultés de la *participation*, le tout aussi bien au niveau des chefs d'entreprise que des exécutants, constituent des freins à la concentration des exploitations agricoles qui, trop lourdes ou trop complexes, dépasseraient les possibilités de la plupart des candidats à leur direction et imposent encore un type de structure artisanal.

Une autre contrainte, objectivement très importante, est ce que j'appellerai la *viscosité sociologique* d'un vieux pays comme la France : régime de la propriété, morcellement, parcellement, absence de mobilité... mais surtout problème de l'*emploi hors de l'agriculture* qui conditionne *absolument* l'évolution de cette agriculture, et sans doute la freinera pendant assez longtemps. Mais on touche là au domaine de l'économique, du social et du politique qui, de plus en plus, exigera un large consensus national.

Autre frein à la concentration de type industriel en agriculture : le *finance-*

ment. Dans la conjoncture présente, sur un marché *inélastique* et *saturé*, pourvu d'une main-d'œuvre abondante, difficile à reclasser, quels capitaux iront s'investir dans un secteur où visiblement les marges et la rentabilité sont extrêmement étroites et où les hommes, dans leur ensemble se contentent d'un revenu ou de salaires plus faibles, concurrençant ainsi les entreprises plus industrialisées.

Dans une telle conjoncture il semble même que ce soit la grande entreprise spécialisée, lourdement équipée et éventuellement endettée, chargée de salariés, qui soit la plus vulnérable par rapport à l'entreprise sinon très petite, du moins modeste, dont le patron qui est souvent son premier ouvrier, est en prise directe sur son personnel et montre une efficacité inconnue dans les affaires plus importantes. La capacité de survie de ce type d'exploitation en période difficile est grande, l'entreprise se replie sur elle-même, il y a chute de revenu mais pas mort de l'affaire. A la limite on peut même admettre que ces hommes acceptent ce revenu plus faible pour se maintenir dans leurs structures actuelles jugées, plus ou moins consciemment, plus humaines. Il y a là un point qui mérite réflexion et attention avant de juger ou de condamner.

Cependant il est une particularité de l'entreprise agricole à souligner : elle a devant elle, *tout en gardant la même structure humaine*, une énorme marge de concentration possible au sens d'augmentation des surfaces par exploitation. Expliquons-nous, si l'on admet qu'une exploitation doit pour réaliser efficacité, sécurité, statut social correct, disposer d'au moins trois travailleurs (patron compris), la ferme céréalière doit atteindre 200 à 250 hectares, la ferme laitière 100 vaches au moins et leurs élèves... c'est dire à quel point, en gardant les mêmes effectifs, les exploitations agricoles sont en passe d'éclater sur le plan des surfaces.

Mais l'industrialisation de l'agriculture ne doit pas être envisagée qu'au niveau de l'entreprise même.

Celle-ci a, volontairement ou non, laissé *transférer* un certain nombre de ses fonctions de transformation, de commercialisation, et même de production à des *organismes extérieurs à elle-même*.

Que ces organismes aient un caractère capitaliste ou coopératif, ils encadrent l'agriculture de plus en plus dans un système qui, lui, est typiquement industriel. On peut même dire que les coopératives qui ne seraient pas gérées selon des normes industrielles seraient condamnables et sans doute condamnées.

Les répercussions sur l'entreprise elle-même de ces transferts sont nombreuses et considérables.

Beaucoup de décisions appartiennent désormais à l'organisme intégrateur. Décisions concernant la *production* sur les plans quantitatif, qualitatif, échelonnement dans le temps. Décisions sur les *investissements* qui engagent financièrement à long terme les coopérateurs, qui peuvent aussi orienter irrévocablement *l'avenir d'une région* avec des conséquences imprévisibles. Une coopérative laitière qui transforme à 95 % la production régionale de lait en beurre, place ses 12.000 coopérateurs dans une situation grave lorsque s'amorce la crise durable que nous connaissons sur la matière grasse.

Certains organismes coopératifs se proposent parfois d'améliorer le sort d'une région entière par la création de services nouveaux qui ne peuvent avoir qu'une structure collective. Un exemple fréquent actuellement est la déshydratation des fourrages offerte aux éleveurs de bovins dont on sait qu'ils sont au bas de l'échelle des revenus agricoles.

Il est probable qu'un tel service augmentera le revenu brut global de ces éleveurs tout en allégeant leur travail.

Mais il ne faut pas oublier que ces exploitants auront remplacé précisément du *travail* qui est leur seule ressource personnelle et *non onéreuse*, d'une part par du *capital* investi collectivement (à

rembourser, à amortir et à rémunérer), d'autre part par du *service* (ayant engagé des frais de fonctionnement et d'entretien éventuellement lourds), et enfin, que ces deux postes sont à rémunérer *par priorité avant leur propre travail de chefs d'entreprise*. L'opération peut à la limite se révéler un marché de dupe si l'exploitant considéré n'a pas pu ou su rentabiliser sa fraction de travail libérée par le service ainsi fourni, dans une activité annexe nouvelle.

Ce type d'industrialisation de l'agriculture par son environnement peut à la limite, tout en protégeant de la disparition nombre de petites entreprises, les transformer en façonnières et dépouiller leurs chefs de toutes ses fonctions de décision et de gestion, c'est-à-dire les vider de leur substance même d'hommes libres et responsables, responsabilité et liberté que l'on avait à l'origine, pour objet de sauver.

Il y a là les éléments d'une révolution profonde et troublante qui est considérée par beaucoup comme la solution aux problèmes de l'agriculture.

Pour peser les avantages et les inconvénients de cette « révolution silencieuse » qui se fait sous nos yeux, nous n'avons en réalité pas de balance. Il faudrait que de telles répercussions soient quantifiables, il faudrait aussi que la balance soit prospective.

Y a-t-il une conclusion ? Oui et non.

Et d'abord faut-il encore se poser la question de savoir si l'industrialisation de l'agriculture est possible ?

Non, bien sûr, cette industrialisation est en cours, elle se fait sous nos yeux à un rythme désormais rapide mais *à sa manière qui lui est spécifique* et qui n'est pas rigoureusement copiée sur le modèle industriel.

Doit-on porter un jugement de valeur sur cette évolution ?

Cela aussi serait oiseux.

Cette industrialisation, on pourrait discuter longuement pour savoir si elle est imposée de l'extérieur, par « la force des choses », mais il faut convenir que les agriculteurs posent tous les jours des actes rationnels ou maladroits, qui les placent dans un univers nouveau qui est précisément celui d'une agriculture industrielle contre laquelle parfois ils réagissent mais qu'il serait assez vain de regretter ou de combattre.

Le seul et vrai problème est *de ne pas être dominé par le processus en marche*.

C'est la formation des hommes qui permettra de le dominer, que ce soit au niveau des entreprises agricoles ou à celui de leur environnement.

L'engagement en profondeur et en étendue que suppose une telle formation n'est généralement pas estimé à sa véritable dimension. Tous les domaines sont concernés, le biologique, le technique de discipline physique ou mécanique, l'économique, le sociologique, l'humain en un mot doivent être mobilisés pour protéger les hommes contre eux-mêmes, c'est-à-dire contre les effets destructeurs d'une « industrialisation » livrée à sa propre inertie et telle que le XIX^e siècle nous en a donné le modèle. Pour protéger les hommes faudra-t-il protéger les structures, c'est-à-dire accepter leur évolution tout en les maintenant à l'échelle humaine ? Cela me paraît souhaitable et possible car tout montre que nous savons encore mal vivre dans l'univers de la « concentration » et que l'agriculture peut devenir efficace dans des structures intermédiaires. Pour protéger les hommes, enfin, il nous faudra aussi apprendre à protéger la nature, ce que le monde industriel qui nous entoure sait si mal faire, et ce qui nous impose à nous, premiers gardiens de cette nature, des devoirs particuliers.

Discussion

M. Bergmann cite certains agriculteurs qui se libèrent de la contrainte des rotations en travaillant sur la terre des autres. Certaines fermes également produisant des légumes destinés à la conserve ou à la congélation font de la monoculture pendant une dizaine d'années, puis s'en vont définitivement, pour des raisons biologiques. Il pense que cela peut s'appeler de l'industrialisation puisque on a réussi à vaincre une des contraintes biologiques qui freinait les tendances auparavant.

M. Rebischung précise qu'on ne les a pas exactement vaincues mais supportées jusqu'à la limite et que ceci mène à une espèce de politique agricole qui ressemble curieusement à ce qui s'est passé lorsque les Européens ont débarqué dans des nouveaux continents et qui est fort regrettable puisque correspondant à une destruction d'un potentiel de production.

M. Lapeyronie cite la forme des G.A.E.C. : l'organisation en G.A.E.C. qui répond à une concentration mais aussi à une spécialisation, plusieurs exploitants groupant leurs efforts, leur matériel et pouvant chacun mieux se spécialiser.

M. Bergmann ne voit pas nettement en quoi un G.A.E.C. exige une industrialisation. C'est un regroupement, un processus de décision et éventuellement de financement différent des processus traditionnels, mais en ce qui concerne la lutte contre les aléas, les problèmes économiques, les liaisons avec le marché, etc., c'est à peu près la même chose que lorsqu'il y a un patron unique. Il croit que la formule des G.A.E.C. n'est réservée qu'à une toute petite minorité d'hommes réfléchis, méthodiques et calmes.

M. Soulet. — Avant que M. Bergmann n'aborde les problèmes humains et sociologiques des milieux agricoles, M. Soulet tient à préciser que dans la présente discussion on ne peut considérer comme un postulat que l'agriculture aille vers l'industrialisation. L'objet du colloque est justement de savoir si on relève ou non une telle tendance. L'évolution agricole se rapproche de certaines caractéristiques industrielles mais s'en éloigne sur bien d'autres points. Certaines exploitations que l'on peut croire capitalistes parce qu'elles sont grandes en surface sont, en réalité, des exploitations familiales parce qu'elles utilisent très peu de main-d'œuvre. Par conséquent, ce ne sont pas des exploitations de l'industrie sur le plan humain et sociologique.

M. Bergmann reconnaît qu'il y a là des phénomènes de désolarisation de l'agriculture mais ces ouvriers peu nombreux jouent-ils un rôle important dans les décisions ? Si oui, on peut dire qu'il y a une tendance anti-industrialisatrice. Mais il retient quand même ce que M. Cochard a dit : au fond le débat est tranché, l'industrialisation est en cours, le problème est de savoir jusqu'où elle ira et quelles seront ses modalités originales.

M. Rebischung pense qu'il est vraisemblable que les ouvriers agricoles, même dans des entreprises de grandes dimensions, gardent un certain degré d'initiative, une certaine responsabilité dans une prise de décision et il en est de même d'ailleurs dans l'industrie où de nombreux perfectionnements ont été dus aux observations des ouvriers.

M. Bergmann remarque que sur le plan du nombre des travailleurs l'ordre de grandeur reste très différent entre l'industrie et l'agriculture ; mais, par

contre, sur le plan de la structure financière, les exploitations agricoles modernes seront de moins en moins artisanales et les formes de financement se rapprochent de plus en plus de celles de l'industrie.

Il souligne, d'autre part, l'importance de l'unification sociologique entre le monde urbain et le monde rural, la tendance à l'uniformisation des modes de vie, des modes de consommation, avec toutefois création d'une contresociété où se réfugieront les agriculteurs se rendant compte qu'ils ne peuvent pas accéder au mode de consommation des urbains riches, une contresociété avec d'autres échelles de valeurs.

M. *Désiré Leroux* a, néanmoins, l'impression que les agriculteurs vivent un peu en marge ; sinon comment expliquer les violentes réactions qui se sont produites à propos de l'exploitation du sol par un acteur célèbre.

M. *Bergmann* a une explication : la pression qui existe dans beaucoup de régions françaises sur les terres ; il est de plus en plus difficile de s'agrandir, sans que ce soit aux dépens de quelqu'un. L'équipement existe, le suréquipement même, mais les hectares manquent. Et là, M. *Bergmann* rend hommage aux agriculteurs qui sont souvent plus en avance que les industriels en ce qui concerne la pénétration des idées nouvelles et en particulier l'adoption de modes de gestion et de conduite de leurs exploitations assez d'avant-garde. Donc dynamisme des agriculteurs.

M. *Lescao* estime que les progrès agricoles sont une condition essentielle de l'industrialisation en libérant une main-d'œuvre qui devient disponible pour d'autres productions.

M. *Lescao* pense, d'autre part, que l'emploi de méthodes industrielles en agriculture crée de nouvelles contraintes comme par exemple la garantie d'une certaine constance des prix.

M. *Bergmann* est d'accord sur ce point : l'ambiance économique générale instable est un frein à la pénétration dans l'agriculture des formes les plus

industrielles parce que la fragilité financière des grandes unités avec salariés, à comportement industriel, est beaucoup plus grande que la fragilité financière des exploitations artisanales qui ont une extraordinaire aptitude à résister aux aléas économiques en comprimant les dépenses.

M. *Lescao* ajoute qu'il y a aussi un autre aspect du phénomène : quand on a un peu résolu cette contrainte, qu'on a une certaine assurance, une certaine technique, une forme de production industrielle, cela tend à créer la surproduction.

M. *Bergmann* croit que c'est le souci des gouvernements actuels ; en effet, la garantie de prix est une incitation aux progrès, aux innovations, aux investissements très considérables et on pourrait en tirer la conclusion que si les pouvoirs publics veulent garantir les prix, ils doivent le faire avec beaucoup de modération et de prudence, mais en cette matière la décision n'est pas uniquement nationale : il y a en outre des surenchères entre pays.

M. le *Professeur Vayssière*, revenant sur l'exposé de M. *Cochard* qui a précisé que beaucoup de perfectionnements en agriculture étaient dus à une spécialisation et a cité l'organisation, la productivité, l'équipement, la concentration, se demande si tout ceci peut s'appeler « industrialisation » ? Ce sont des concours apportés par l'industrie à l'agriculture, mais la partie biologique domine toujours l'agriculture et cela est totalement indépendant de l'industrie. L'industrie a un régime mathématique continu, alors que l'agriculture est soumise à quantité de contingences sur lesquelles elle ne peut rien.

M. *Bergmann* rappelle la conclusion de M. *Cochard* : « l'industrialisation est en cours » et insiste pour sa part sur le fait que les différences agriculture-industrie s'amenuisent de plus en plus : décisions prises avec plus d'objectivité et de sérieux dans les deux secteurs, lutte contre l'empirisme, pression du marché, des phénomènes économiques, des lois du financement, substitution du capital

au travail. Il y a interaction entre les diverses branches de l'industrie et l'agriculture ; il y a pression sur l'agriculture.

M. *Hénin* croit que le mot industrie est venu pour désigner des activités humaines où il s'agissait de transformer des matières premières alors que l'agriculture était considérée comme synthèse de matière. Mais les processus sont convergents et l'agriculture se rapproche de l'industrie. Ces convergences n'aboutissent pas à des identités ; l'agriculture conserve des caractères spécifiques qui ont déjà été évoqués et qui lui conservent une originalité.

M. *Guilhon* pense que le premier problème de l'agriculture est de promouvoir une meilleure organisation de la production agricole mais ce n'est pas absolument de l'industrialisation ; on essaie évidemment de trouver des moyens qui ont réussi dans l'industrie pour les adapter à la gestion et à la production agricole ; ce qui aboutit parfois à des échecs extrêmement importants.

Mais le problème fondamental c'est le problème biologique : en agriculture tout est donné : le sol, les animaux, les plantes, la terre entière dont les hommes sont responsables. Quant à l'industrie c'est une manifestation de l'intelligence de l'homme, aidée du capital, puissance dangereuse qui a étouffé l'agriculture ; celle-ci maintenant réagit violemment en employant des procédés corrigés d'industrie. Mais cela risque d'être catastrophique ; le gigantisme ne réussit guère en agriculture. Il n'y aura plus d'hommes qui seront adaptés à leur milieu ; or, l'être vivant est incarné, l'être vivant représente son milieu. L'uniformisation c'est la fin de notre civilisation.

M. *Désiré Leroux*, de son côté, estime qu'il y a une pénétration citadine de plus

en plus importante en milieu rural, par suite du développement des résidences secondaires en particulier, et que les incompréhensions, les hostilités entre gens des villes et des campagnes ont tendance à diminuer. C'est là un facteur dont il faut tenir compte.

M. *Bergmann* pense qu'il est temps de conclure.

Est-ce que l'industrialisation est en cours ? Certainement. Est-ce que l'agriculture n'en garde pas moins certaines caractéristiques biologiques ? Sans aucun doute.

Il reste à savoir quelle est la part de ce qui est original et si cette part diminue : réponse affirmative là aussi.

Alors il semble utile de proposer un autre sujet de réflexion : le « grignotage » de l'agriculture : elle est grignotée par l'industrie chimique, par les industries de transformation, par les prestataires de services (qui exercent certaines fonctions à la place de l'agriculteur) et par des nouveautés en matière d'alimentation quand on remplace des gens qui mangeaient bien par des gens qui... se nourrissent.

M. *Vayssièrre*. — Avant de lever la séance, permettez-moi de remercier M. *Bergmann* d'avoir bien voulu diriger les débats de cette dernière réunion. Notre collègue estime que « l'industrialisation » de l'agriculture est un fait. Je pense que son idée de grignotage est plus exacte et correspond mieux à l'évolution à laquelle nous assistons. L'agriculture reste pour moi une science biologique avec tous les inconvénients et également tous les avantages qui caractérisent les phénomènes de la vie. M. *Guilhon* vient justement d'en souligner l'importance et les conséquences désastreuses que pourrait entraîner l'oubli de cette réalité.

Méthodes classiques et méthodes nouvelles

en

photoélasticimétrie

par M. ANDRÉ ROBERT

Ingénieur Principal du Génie Maritime

Conférence prononcée le 1^{er} février 1968
devant la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale

TABLEAU DES CHAPITRES

	<i>Pages</i>
I. INTRODUCTION	39
II. RAPPEL DES METHODES CLASSIQUES DE LA PHOTOÉLASTICIMÉTRIE	
<i>La biréfringence accidentelle</i>	39
<i>Dispositif expérimental utilisé</i>	40
— OBTENTION DES ISOCHROMES	41
— OBTENTION DES ISOCLINES	41
<i>Généralités sur les méthodes tridimensionnelles</i>	43
III. NOUVELLES METHODES EN PHOTOÉLASTICIMÉTRIE	
<i>Bases théoriques. Rappel des propriétés de la sphère de Poincaré</i>	44
— PRÉLIMINAIRES	44
— SPHÈRE DE POINCARÉ	44
• <i>Représentation d'un biréfringent</i>	45
• <i>Représentation d'un pouvoir rotatoire</i>	45
• <i>Action d'une suite de biréfringents sur une vibration</i>	45
• <i>Représentation d'un polariseur ou filtre linéaire</i>	45
<i>Mesure des formes de lumière</i>	46
— PRINCIPE	46
— RÉALISATION PRATIQUE	47
<i>Principe et description d'un photoélasticimètre automatique à deux dimensions</i>	48
<i>Principe et description d'un photoélasticimètre tridimensionnel par lumière diffusée</i>	50
IV. CONCLUSION	53
BIBLIOGRAPHIE sur les méthodes nouvelles en photoélasticimétrie	53

I

INTRODUCTION

Une théorie globale des milieux homogènes continus déformables est aujourd'hui en pleine élaboration.

Toutefois, la complexité des phénomènes considérés rend cependant difficile une formulation mathématique générale et exploitable. Aussi, à l'exception des cas simples, est-il nécessaire de faire appel aux méthodes expérimentales. Parmi ces dernières, la photoélasticimétrie a toujours occupé une place de choix, comme l'avait montré ici-même, il y a plus de dix ans, M. André Martin.

Cependant, ces dernières années, sont apparues de nouvelles méthodes de mesure, qui, tout en élargissant le cadre des applications de la photoélasticimétrie, apportent pour les mesures ponctuelles rapidité et précision.

La présente conférence, après un rappel des procédés classiques, a pour objet l'exposé tant des principes que des réalisations pratiques relatifs aux nouvelles méthodes.

II

RAPPEL DES METHODES CLASSIQUES DE LA PHOTOELASTICIMETRIE

La biréfringence accidentelle.

La photoélasticimétrie est fondée sur le phénomène de biréfringence accidentelle.

Seebeck a en effet montré, en 1813, que certaines substances naturellement monoréfringentes devenaient biréfringentes sous l'action d'efforts extérieurs. Cette biréfringence est due à l'anisotropie créée dans la substance par les déformations et les contraintes internes qu'entraîne l'application d'efforts extérieurs.

Cette biréfringence disparaissant quand on supprime l'effort extérieur a reçu le nom de « biréfringence accidentelle ».

Toutes les substances transparentes et isotropes présentent cette particularité.

Ces substances, une fois soumises à des efforts extérieurs, se comportent comme un cristal uniaxe et possèdent donc deux indices de réfraction différents : un indice ordinaire n_o et un indice extraordinaire n_e . Si, par exemple, on applique sur un barreau un effort, dans un plan perpendiculaire au faisceau de lumière polarisée incidente, ce faisceau est séparé en un rayon ordinaire et

un rayon extraordinaire, polarisés à angle droit et présentant entre eux, après traversée du modèle, une différence de marche δ :

$$\delta = (n_e - n_o)e$$

e étant l'épaisseur de matière traversée.

Observons le modèle à travers un analyseur croisé avec le polariseur :

— quand le modèle est isotrope, la lumière est éteinte ;

— quand le modèle est biréfringent, la vibration émise est elliptique et la lumière est rétablie, sauf aux points où la différence de marche est un multiple de la longueur d'onde. On observe alors des bandes noires, lieux des points de différence de marche :

$$\lambda \quad 2\lambda \quad 3\lambda \quad \text{etc...}$$

Ces bandes noires sont appelées « lignes isochromes », par extension du phénomène observé en lumière blanche. En effet, en lumière blanche on obtient des franges colorées présentant les teintes de l'échelle de Newton, et les points d'égale différence de marche se répartissent sur une courbe de couleur uniforme.

La biréfringence apparaissant sous l'effet d'efforts extérieurs, Neumann et Maxwell ont cherché, chacun de leur côté, à relier cette biréfringence aux déformations et aux contraintes. Ils sont arrivés aux mêmes lois qui servent de base à la photoélasticimétrie et qui sont les suivantes :

a) L'ellipsoïde des contraintes et celui des indices en un point ont mêmes axes principaux. Donc, si l'on considère la section de ces ellipsoïdes par un plan d'onde contenant un plan principal, les directions des contraintes principales coïncident avec celles des indices principaux.

b) Si n_1 est l'indice dans la direction de la contrainte p et n_2 celui dans la direction de la contrainte q , n_0 étant l'indice de la substance isotrope, on a :

$$n_1 - n_0 = C_1 p + C_2 q$$

$$n_2 - n_0 = C_2 p + C_1 q$$

ce qui fournit la relation linéaire suivante :

$$n_1 - n_2 = (C_1 - C_2) (p - q) = C (p - q)$$

ceci moyennant que $n_1 - n_2$ soit petit,

$C = C_1 - C_2$ étant une constante relative à la substance que l'on appellera « constante photoélastique ».

Donc, si δ est la différence de marche,

$$\delta = C e (p - q)$$

C'est la relation fondamentale utilisée en photoélasticimétrie.

On peut donc, en mesurant la différence de marche δ et moyennant la connaissance de la constante C , déterminer la différence des contraintes principales en un point d'un modèle soumis à des efforts extérieurs.

De plus, la direction des contraintes principales coïncidant avec les lignes neutres de la substance, il y aura extinction de la lumière aux points où les contraintes principales ont la même direction que les polaroïds. Ces points se situent sur une ligne noire qui est une ligne isocline.

En résumé, la méthode permet de connaître :

- la différence des contraintes principales ;
- leur direction.

A. Mesnager (*), en France, est le premier à avoir appliqué ces méthodes avec succès à la détermination expérimentale des contraintes.

Dispositif expérimental utilisé.

Le dispositif classique utilisé en photoélasticimétrie est le suivant :

Une lentille L_1 forme l'image d'une source monochromatique sur un diaphragme d'entrée D_1 placé au foyer d'une lentille L_2 .

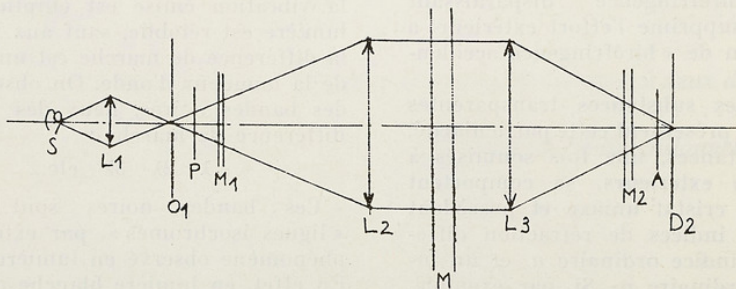


FIGURE 1

(*) Ancien Président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale.

La lumière traverse un polariseur p et une lame quart d'onde M_1 . Le modèle M est éclairé en lumière parallèle et placé rigoureusement perpendiculaire au faisceau. Une lentille L_3 forme l'image sur la pupille de sortie D_2 , la lumière traversant une lame quart d'onde M_2 identique à M_1 et un analyseur A .

Le modèle étant entre polariseur et analyseur croisés, un observateur placé en D observe le réseau d'isochromes et, se superposant à ce réseau, une ligne isocline.

OBTENTION DES ISOCHROMES

DÉTERMINATION DES DIFFÉRENCES « $p - q$ »

La superposition des isoclines et isochromes étant gênante pour l'observation des unes ou des autres, on emploie pour l'observation des isochromes un artifice fondé sur la remarque suivante. Si une isocline dépend de la direction de polarisation, les isochromes sont, elles, indépendantes de cette direction. Par conséquent, si l'on éclaire le modèle en lumière polarisée circulairement, on obtiendra malgré tout les isochromes, tandis que les isoclines seront supprimées.

Dans ce dessein, le mica quart d'onde M_1 est placé à 45° de la direction de polarisation. Le mica M_2 est croisé avec le mica M_1 , de façon à rétablir la lumière rectiligne.

— Si l'analyseur est perpendiculaire au polariseur, on obtient les isochromes d'ordre entier, c'est-à-dire les lieux des points où la différence des contraintes principales est :

$$p - q = \frac{k\lambda}{Ce}$$

— Si l'analyseur est parallèle au polariseur, on obtient les isochromes d'ordre fractionnaire, c'est-à-dire les lieux des points où :

$$p - q = \frac{2k + 1}{2} \frac{k\lambda}{Ce}$$

Si l'on a des réseaux de franges assez serrés, l'examen successif des isochromes d'ordre entier et d'ordre fractionnaire permet de connaître $p - q$ avec une

grande précision, la constante C étant au préalable déterminée sur un modèle dont on connaît *a priori* l'état de contrainte.

Si, pour une raison quelconque, le réseau de franges n'est pas assez serré, ou si l'on veut connaître $p - q$ en un point où ne passe aucune frange d'ordre entier ou fractionnaire, par exemple pour éviter d'avoir à extrapoler sur les bords, on fait en général appel à la méthode goniométrique de Tardy, qui, par une rotation de l'analyseur seul, déplace le réseau de franges et permet de connaître l'ordre en un point quelconque.

On peut aussi utiliser le compensateur de Babinet Soleil. Ces deux méthodes nécessitent, au préalable, la détermination des isoclines.

OBTENTION DES ISOCLINES

Les micas quart d'onde sont supprimés ou placés parallèlement à la direction de polarisation, de façon à éclairer le modèle en lumière polarisée rectilignement. Le modèle présente alors la ligne isocline correspondant à la direction de polarisation. Une rotation simultanée du polariseur et de l'analyseur permettra d'obtenir tout le réseau des isoclines, donnant ainsi la direction des contraintes principales en tous points du modèle.

Il n'est pas possible, comme précédemment, d'éliminer complètement les isochromes, mais on peut toutefois prendre un certain nombre de précautions de façon à les rendre moins gênantes :

— On diminue la charge de façon à diminuer le nombre d'isochromes, l'orientation des contraintes principales étant indépendante de la valeur de la charge.

— On éclaire en lumière blanche de façon à les étaler, les isoclines étant indépendantes de la longueur d'onde.

Il est loisible d'utiliser une substance de faible constante photoélastique de manière à ne pas être gêné par les isochromes.

Les résultats qui viennent d'être énoncés sont illustrés par les exemples d'un anneau en compression d'une part, et d'une chape d'autre part (fig. 2, 3, 4, 5).

Anneau en traction

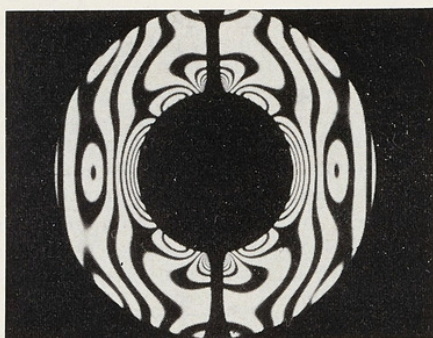
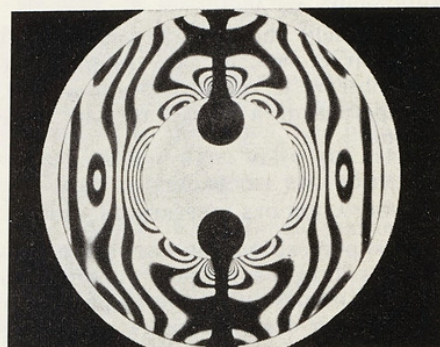
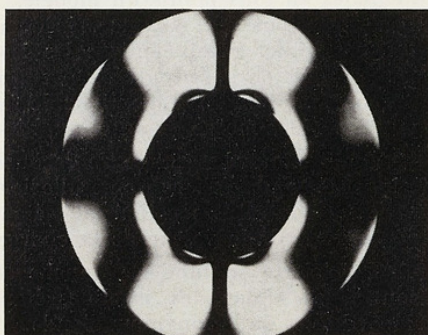
FIG. 2. — Isochromes d'ordre $k\lambda$, fond noirFIG. 3. — Isochromes d'ordre $\frac{(2k+1)}{2}\lambda$, fond blanc

FIG. 4. — Isoclines

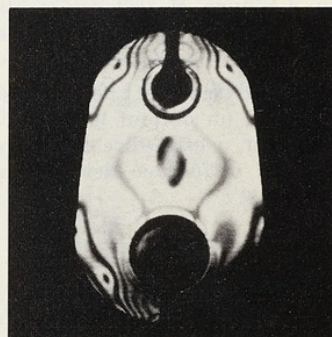


FIG. 5. — Isochromes pour une chape

Ces photographies font apparaître deux difficultés :

La détermination de l'ordre d'une frange d'une part, l'étalement des isoclines d'autre part.

Il sera montré plus loin comment les nouvelles méthodes éliminent ces problèmes.

Généralités sur les méthodes tridimensionnelles.

La méthode photoélasticimétrique, telle que nous venons de la voir, est, de par sa nature même, soumise à des limites bien déterminées en dehors desquelles elle ne saurait être appliquée. Elle ne peut résoudre que des problèmes d'élasticité plane, c'est-à-dire que les contraintes dans un plan normal au rayon doivent être les mêmes dans toute l'épaisseur du modèle. Cette limitation apporte des restrictions importantes dans l'emploi de la méthode. Un certain nombre de méthodes permettent toutefois de tourner la difficulté et fournissent des résultats intéressants dans le cas où le problème à étudier ne peut être ramené à un problème plan.

L'étude en lumière polarisée, c'est-à-dire l'examen des lignes isochromes et des lignes isoclines, ne pouvant permettre d'accéder aux contraintes que si la lumière traverse un feuillet, les méthodes de photoélasticimétrie à trois dimensions vont avoir pour but de se ramener à ce cas, c'est-à-dire d'isoler un « feuillet » à l'intérieur d'un modèle à trois dimensions.

Si le feuillet a une orientation quelconque dans le modèle, les contraintes qui y règnent ne sont en général pas des contraintes principales ; mais, dans beaucoup de cas, on connaît les plans de contraintes principales, en particulier, dans le cas de plans de symétrie. Les différentes méthodes vont donc s'efforcer d'isoler ces plans principaux, de façon à pouvoir les examiner en lumière polarisée.

Les principales méthodes théoriquement utilisables sont au nombre de trois :

- 1° la méthode de figeage,
- 2° la méthode de Favre,
- 3° La méthode de la lumière diffusée.

Dans la méthode du figeage, après avoir « gelé » les contraintes par un traitement thermique approprié, le modèle étant sous charge, on le découpe, après refroidissement, en tranches et on examine chaque feuillet à l'aide d'un polariscope classique. La difficulté de cette méthode réside dans l'application correcte des lois de similitude (grandes déformations du modèle et différence sur le coefficient de Poisson) ; malgré tout, elle est universellement employée.

Dans la méthode de Favre, on insère dans un modèle « très peu photoélastique » un feuillet plan très photoélastique, l'examen étant fait à l'aide d'un polariscope classique. Outre les difficultés technologiques que présente cette méthode, elle ne permet d'étudier qu'un seul plan à la fois.

Dans la méthode de lumière diffusée, développée par Weller et Bussey en Angleterre, et par Kammerer en France, on utilise le phénomène de diffusion comme analyseur, et, lorsque le modèle présente des plans de symétrie, il est alors possible de déterminer les contraintes à froid à l'intérieur d'un modèle.

Malgré le très grand intérêt de cette méthode, les difficultés rencontrées, d'une part théoriques en l'absence de plan de symétrie, d'autre part pratiques pour les questions de diffusion, ont fait qu'elle ne s'est pratiquement pas développée. Il va être montré, ci-après, qu'un retour sur les bases théoriques d'une part, et qu'une utilisation originale de la lumière diffusée comme polariseur, associée à une nouvelle méthode de mesure des formes de lumière d'autre part, ont permis de réaliser un banc de photoélasticimétrie à trois dimensions. Les principes originaux de mesure sont de plus à la source d'un banc automatique à deux dimensions, éliminant les difficultés inhérentes au polariscope classique.

III

NOUVELLES METHODES EN PHOTOELASTICIMETRIE

*Bases théoriques.**Rappel des propriétés
de la Sphère de Poincaré.*

PRÉLIMINAIRES

Les problèmes relatifs à la polarimétrie peuvent se traiter de manière simple et générale, grâce à la représentation de Poincaré. Cette dernière étant toutefois méconnue, il est tout d'abord nécessaire d'en rappeler les propriétés, pour faciliter la compréhension des principes des nouvelles méthodes.

SPHÈRE DE POINCARÉ

Pour éviter toute ambiguïté, l'espace sera repéré par rapport à un trièdre trirectangle direct, l'axe OZ étant parallèle et de même sens que la direction de propagation de la lumière.

Une rotation positive autour d'un axe orienté fait tourner l'espace dans un sens direct.

Soit une lumière elliptique de demi-axe a et b (fig. 6), dont le grand axe fait

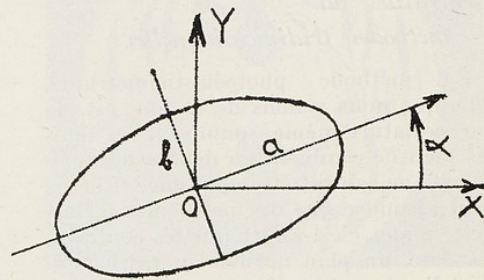


FIGURE 6

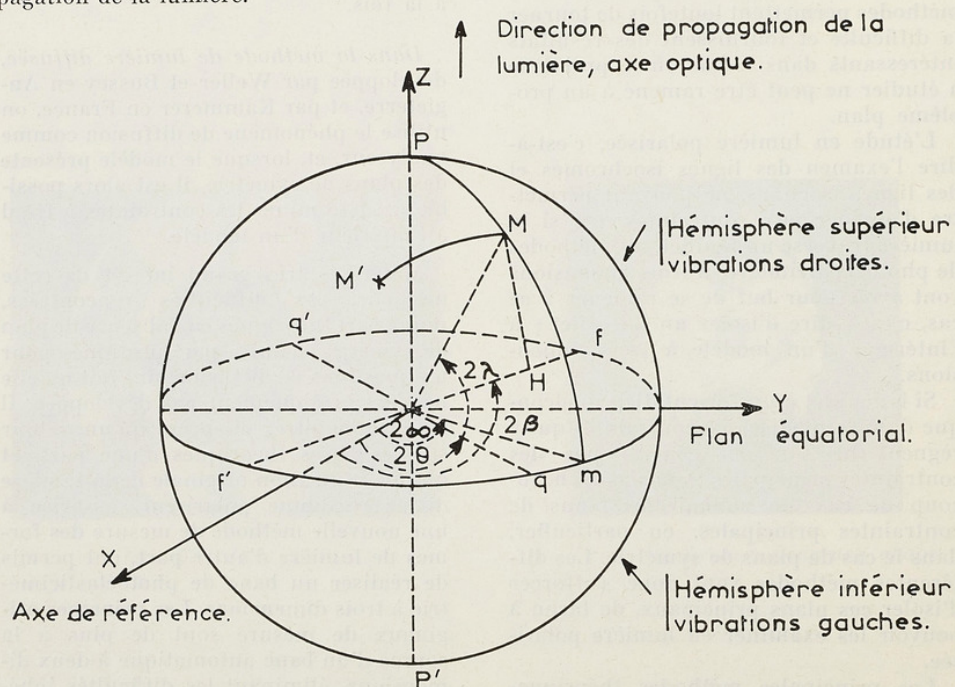


FIG. 7. — Sphère de Poincaré

un angle α défini à π près par rapport à l'axe OX de référence.

Le sens de parcours du vecteur électrique sur l'ellipse est direct ou inverse suivant que la lumière est droite ou gauche.

Considérons la sphère de Poincaré ainsi définie ; elle a pour rayon l'unité ; elle est de centre O, l'axe OZ la rencontrant respectivement en P' et P de cote -1 et $+1$; le plan équatorial est défini par le plan XOY (fig. 7).

Le mode de représentation d'une vibration elliptique sur la sphère de Poincaré est le suivant :

A partir du point m tel que :

$$(OX, Om) = 2\alpha$$

double de l'angle entre OX et le grand axe de l'ellipse, on porte sur le méridien P'mP, et à partir de m , un angle 2λ tel que :

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{b}{a} \leq 1$$

2λ est compté positivement dans l'hémisphère supérieur et le point final représente une vibration droite,

2λ est compté négativement dans l'hémisphère inférieur et le point final représente une vibration gauche.

Vu que $2\lambda \leq \frac{\pi}{2}$, il y a correspondance biunivoque entre un point de la sphère et une vibration elliptique.

Les parallèles représentent des vibrations de même aplatissement et de même sens, les méridiens des vibrations ayant leurs directions d'axes confondues. L'équateur correspond aux vibrations rectilignes, les pôles P et P' aux vibrations circulaires droite et gauche.

Représentation d'un biréfringent

Un biréfringent possède deux axes de propagation orthogonaux, la différence des vitesses de propagation suivant les axes rapide et lent correspond à un déphasage φ .

Sur la sphère de Poincaré, le biréfringent est représenté par une rotation d'angle φ dans le sens direct autour d'un axe $q'q$ situé dans le plan équatorial, les

points q et q' représentent respectivement les doubles des angles entre OX et les axes rapide et lent (fig. 7).

Ainsi une vibration représentée par M à l'entrée du biréfringent est représentée à la sortie par le point M' déduit de M par une rotation d'angle φ dans le sens direct autour de l'axe $q'q$.

Représentation d'un pouvoir rotatoire

Un pouvoir rotatoire de valeur R est représenté sur la sphère de Poincaré par une rotation d'angle $2R$ autour de l'axe OZ dans le sens direct ou inverse suivant que le pouvoir rotatoire est dextrogyre ou levogyre. Il ne modifie pas l'aplatissement et le sens de l'ellipse.

Action d'une suite de biréfringents sur une vibration

Une suite de biréfringents dont les axes sont décalés est représentée par des rotations successives sur la sphère de Poincaré ; l'ordre étant celui de la rencontre de la lumière avec les différents biréfringents n'est pas commutatif.

On démontre que les rotations successives autour d'axes situés dans le plan équatorial sont équivalentes à une rotation unique autour d'un axe situé dans ce même plan suivie d'une rotation autour de OZ, d'où le théorème énoncé la première fois par Poincaré :

Une suite de biréfringents est équivalente à un biréfringent unique suivi d'un pouvoir rotatoire.

Représentation d'un polariseur ou filtre linéaire

Soit un filtre linéaire dont l'axe de polarisation fait un angle β avec la direction de référence.

Dans le plan équatorial de la sphère de Poincaré (fig. 7), on porte deux points f et f' tels que : $(OX, Of) = 2\beta$; $(OX, Of') = 2\beta + \pi$. Une vibration représentée par M, avec pour énergie E_0 , est représentée par f après traversée du filtre, son énergie E étant définie par la relation :

$$E = TE_0 \frac{f'H}{f'f}$$

où H est le pied de la projection orthogonale de M sur $f'f$, T le facteur de transmission du filtre.

Compte tenu de ces propriétés, tous les principes de mesure des appareils de photoélasticimétrie classique sont évidents. Toutefois, dans ces derniers procédés, les problèmes de mesure sont toujours ramenés à la détermination d'une extinction, ce qui, pour des raisons de simplicité, conduit en fait à ne travailler que sur des nombres entiers de franges, c'est-à-dire de manière discontinue. Nous allons montrer maintenant que grâce à une nouvelle méthode de mesure des formes de lumière, il est possible de travailler de manière continue.

Mesure des formes de lumière.

Une ellipse de lumière, représentée par un point sur la sphère de Poincaré, est caractérisée par son aplatissement $\tau = \frac{b}{a}$ l'orientation du demi grand axe a , et son sens.

Il va être montré ci-après que les mesures, d'une part de l'aplatissement, d'autre part de l'orientation du demi grand axe, peuvent être effectuées par une mesure énergétique simple, avec affichage automatique de ces deux paramètres.

PRINCIPE

Soit une ellipse de lumière, dont le grand axe $O\xi$ fait un angle α avec l'axe OX horizontal (fig. 8).

Les demi-axes de cette ellipse ont pour valeurs respectives a et b . L'énergie lumineuse E , transmise par un analyseur d'axe de polarisation OA, faisant un angle β avec OX, a pour expression, au facteur de transmission près et en posant

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{b}{a} = \operatorname{tg} \lambda : \\ E &= \frac{a^2 + b^2}{2} \left[1 + \frac{1 - \tau^2}{1 + \tau^2} \cos 2(\beta - \alpha) \right] \\ &= \frac{a^2 + b^2}{2} \left[1 + \cos 2\lambda \cos 2(\beta - \alpha) \right]\end{aligned}$$

Il est loisible de faire tourner l'analyseur à vitesse constante de pulsation ω .

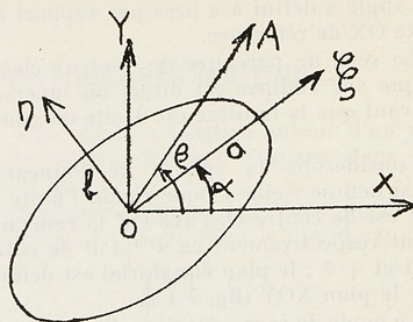


FIGURE 8

Le flux lumineux se décompose alors en deux flux lumineux E_1 et E_2 , l'un constant, l'autre alternatif :

$$\begin{aligned}E_1 &= \frac{a^2 + b^2}{2} \\ E_2 &= \frac{a^2 + b^2}{2} \frac{1 - \tau^2}{1 + \tau^2} \cos 2(\omega t - \alpha)\end{aligned}$$

Le flux lumineux tombe sur un photomultiplicateur. A la sortie de ce dernier, on recueille un courant modulé. Les informations intéressantes se trouvent, d'une part sur la fréquence zéro de ce courant, d'autre part, sur la fréquence double de la rotation de l'analyseur.

A la sortie du photomultiplicateur, le courant modulé est transformé en tension grâce à une impédance de charge. On recueille ainsi deux tensions, V_1 et V_2 , respectivement proportionnelles à E_1 et E_2 .

Le rapport $\frac{1 - \tau^2}{1 + \tau^2} = \cos 2\lambda$, de l'amplitude de la tension alternative à la tension continue, caractérise l'aplatissement. La phase 2α du signal alternatif par rapport à un signal de référence $\cos 2\omega t$, lié au double de la rotation de l'analyseur, caractérise la position du demi grand axe.

Ainsi, sur la sphère de Poincaré (fig. 9), la vibration est représentée par le point M ou M' suivant qu'elle est droite ou gauche, d'après les conventions adoptées.

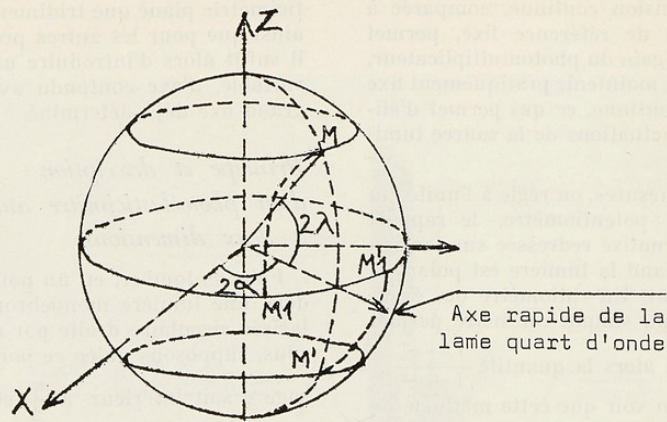


FIGURE 9

Pour lever l'ambiguïté quand on le désire, il suffit de placer, entre la forme de lumière à étudier et l'analyseur tournant, une lame quart d'onde dont l'axe rapide est confondu avec le grand axe de l'ellipse qui est déjà déterminé. La phase du signal alternatif permet alors de savoir si la vibration était en M ou en M' (fig. 9).

RÉALISATION PRATIQUE

Le schéma du dispositif électronique est donné sur la figure 10.

Du fait de la localisation des informations, d'une part sur la fréquence zéro, d'autre part sur la fréquence double de la rotation de l'analyseur, il est loisible d'utiliser des filtres de manière à éliminer les bruits du photomultiplicateur.

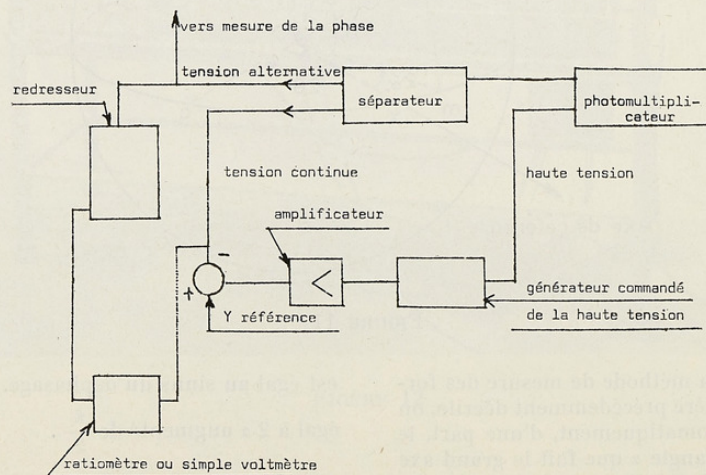


FIGURE 10

Enfin, la tension continue, comparée à une tension de référence fixe, permet d'asservir le gain du photomultiplicateur, de manière à maintenir pratiquement fixe la tension continue, ce qui permet d'éliminer les fluctuations de la source lumineuse.

Pour les mesures, on règle à l'unité, au moyen d'un potentiomètre, le rapport tension alternative redressée sur tension continue, quand la lumière est polarisée rectilignement. Un ratiomètre ou, éventuellement, un simple voltmètre permet de connaître alors la quantité $\frac{1 - \tau^2}{1 + \tau^2}$.

Il faut bien voir que cette méthode de mesure reste valable s'il y a un fond lumineux incohérent, à condition toutefois que ce dernier soit constant et que l'on puisse faire varier la forme de lumière à étudier jusqu'à la forme polarisée linéairement, ce qui est le cas tant en photoélas-

ticimétrie plane que tridimensionnelle — ainsi que pour les autres problèmes, car il suffit alors d'introduire un déphaseur variable, d'axe confondu avec le demi grand axe déjà déterminé.

Principe et description d'un photoélasticimètre automatique à deux dimensions.

Faisons tomber, en un point d'un modèle, une lumière monochromatique polarisée circulaire droite par exemple. De plus, supposons qu'en ce point le déphasage φ soit inférieur à $\frac{\pi}{2}$ et que l'axe rapide fasse un angle θ avec la direction de référence. A la sortie du modèle, selon la représentation de Poincaré, le point représentatif de la vibration est venu en M, déduit de P par une rotation d'angle φ autour de l'axe $q'q$ (fig. 11).

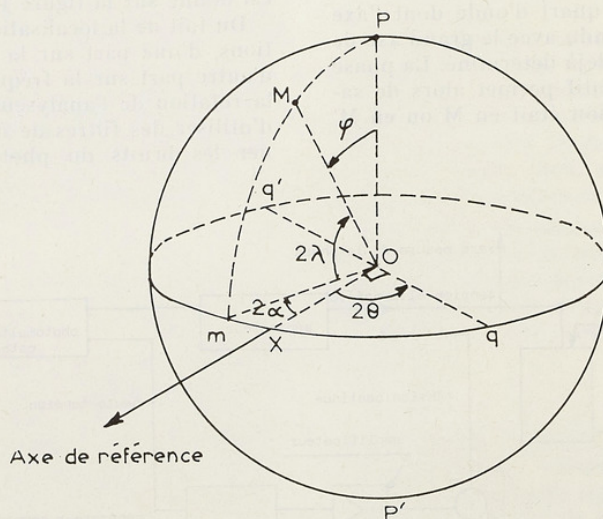


FIGURE 11

D'après la méthode de mesure des formes de lumière précédemment décrite, on connaît automatiquement, d'une part, le double de l'angle α que fait le grand axe de l'ellipse de lumière avec la direction de référence, d'autre part $\cos 2\lambda$; or $\cos 2\lambda$

est égal au sinus du déphasage, et 2θ est égal à 2α augmenté de $\frac{\pi}{2}$.

Le prototype de l'appareil est donné sur la figure 12.

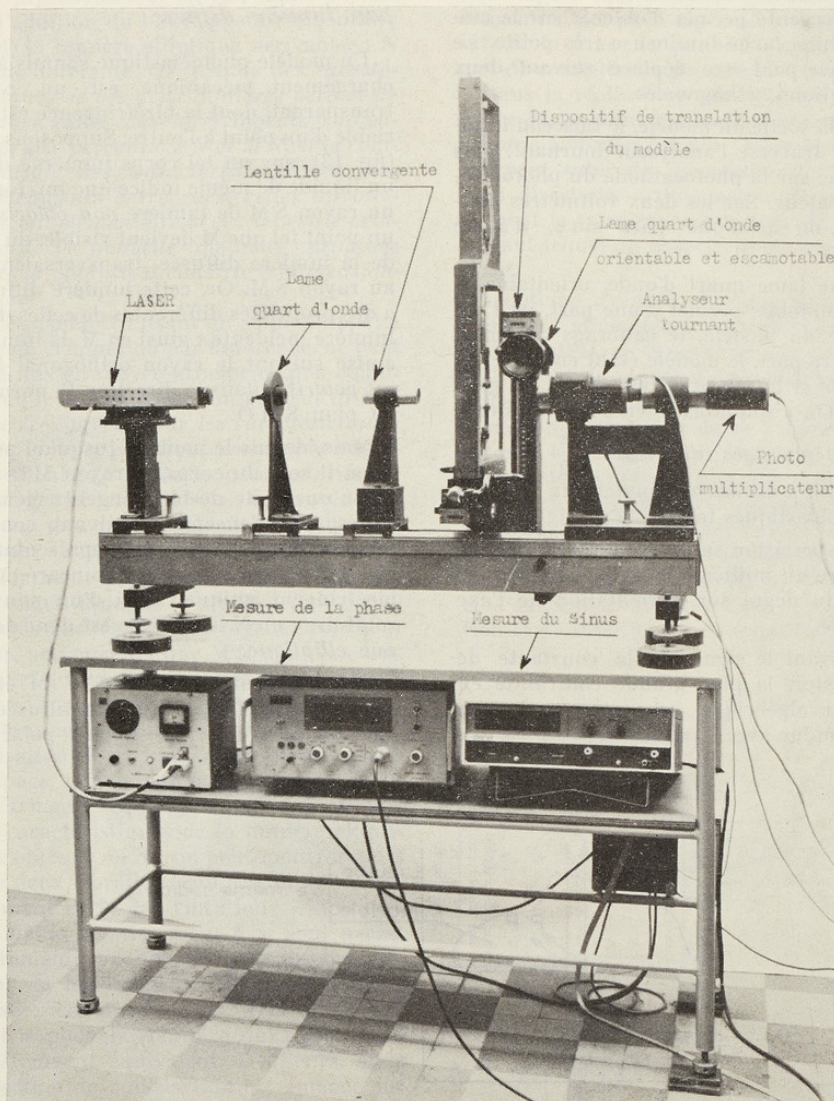


FIGURE 12

La source de lumière est un laser ; une lame quart d'onde permet d'obtenir une lumière circulaire, et une lentille convergente permet d'obtenir sur le modèle une tache lumineuse très petite. Le modèle peut être déplacé suivant deux directions orthogonales.

A la sortie du modèle, le faisceau lumineux traverse l'analyseur tournant, puis tombe sur la photocathode du photomultiplicateur. Sur les deux voltmètres digitaux, on lit d'une part $\sin \varphi$, d'autre part θ .

Une lame quart d'onde, orientable et escamotable, permet d'une part, en l'absence du modèle, le calibrage de $\sin \varphi$, d'autre part, le modèle étant en place, de savoir si la vibration est droite ou gauche. On a toutefois intérêt à se limiter à des déphasages inférieurs à $\frac{\pi}{2}$, ce qui conduit à utiliser des matériaux très peu photoélastiques tel que le plexiglas.

La précision sur la mesure de φ est de l'ordre du millième de radian, et de l'ordre du degré sur l'orientation de l'axe rapide.

Suivant le signe de la constante de Brewster, la plus grande contrainte en valeur algébrique est orthogonale, ou confondue avec l'axe rapide.

Principe et description d'un photoélasticimètre tridimensionnel par lumière diffusée.

Un modèle photoélastique soumis à un chargement mécanique est un corps transparent, dont la biréfringence est variable d'un point à l'autre. Supposons que (fig. 13), sur un tel corps immergé dans un liquide de même indice que lui, tombe un rayon SM de lumière *non polarisée* : un point tel que M devient visible, du fait de la lumière diffusée transversalement au rayon SM. Or, cette lumière diffusée a des propriétés différentes de celles de la lumière incidente : ainsi en M, la lumière émise suivant le rayon orthogonal MO est *polarisée* dans la direction P, normale au plan SMO.

Mais, depuis le point M jusqu'au point N où il sort du corps, le rayon MO traverse une suite de biréfringents élémentaires, dont l'ensemble équivaut, comme le montre aisément la représentation classique de la sphère de Poincaré, à un biréfringent unique, suivi d'un pouvoir rotatoire : en N la lumière est donc devenue *elliptique*.

Si le rayon incident était S'M' (M' étant sur la droite MO), la lumière diffusée en M' suivant M'O serait encore polarisée

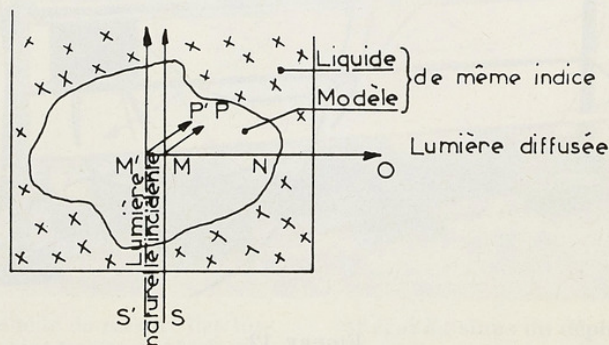


FIG. 13

Principe de la photoélasticimétrie tridimensionnelle par lumière diffusée

suivant la direction normale à $S'M'O$, c'est-à-dire de mêmes caractéristiques que précédemment en M ; mais, du fait de l'addition du biréfringent élémentaire $M'M$, la lumière elliptique arrivant en N serait différente. Or, l'étude des caractéristiques de ces deux lumières permet de trouver celles des biréfringents équivalents aux parcours MN et $M'N$, et la comparaison des caractéristiques de ces biréfringents entre elles, celles du biréfringent élémentaire $M'N$: tel est le principe de la nouvelle méthode proposée pour la photoélasticimétrie tridimensionnelle.

Ce principe, faisant en somme appel à une détermination par différence, ne peut être mis en œuvre utilement qu'à condition que l'on dispose d'un procédé de mesure très précis pour les caractéristiques de la lumière elliptique émergente : aplatissement b/a de l'ellipse, orientation de demi-grand axe a et sens. Ce procédé est obtenu grâce à la méthode de mesure des formes de lumière précédemment décrite.

Comment passe-t-on, maintenant, des caractéristiques de la lumière ainsi déterminées à celles du biréfringent équivalent à un parcours tel que MN dans le corps (fig. 13). Il suffit pour cela de faire tourner ce corps autour de l'axe MN .

Dans ces conditions, la direction de polarisation de la lumière en M , fixe dans l'espace, tourne par rapport aux axes du biréfringent équivalent, ce qui modifie les caractéristiques de la lumière elliptique obtenue en N : on peut montrer alors que deux vibrations qui, rectilignes en M , donnent en N des vibrations elliptiques de même aplatissement b/a , sont nécessairement symétriques par rapport aux axes du biréfringent équivalent ou aux bissectrices de ces axes, ceci quel que soit le pouvoir rotatoire qui s'ajoute au biréfringent équivalent. D'ailleurs, si la direction de polarisation est amenée sur un axe du biréfringent, le rapport de l'amplitude de la tension alternative à la tension continue est maximal, tandis qu'il est minimal si la direction de polarisation est amenée sur une bissectrice des axes : toute ambiguïté d'orientation est ainsi éliminée. Enfin, en divisant le

minimum de rapport par le maximum, on obtient le cosinus du déphasage du biréfringent équivalent, ce qui permet la détermination de ce déphasage, et la mesure de la phase du signal alternatif permet de connaître le pouvoir rotatoire.

Dans la réalisation que schématise la figure 14, le point lumineux éclairé dans le corps à étudier est fixe : c'est ce corps qui peut subir des translations suivant trois directions orthogonales. En outre, on peut le faire tourner autour de l'axe suivant lequel on observe la lumière diffusée.

L'optique d'entrée se compose d'une lampe (1) alimentée en courant continu, d'un condenseur (2) et d'un diaphragme (3) servant de source. Le pinceau issu de cette source pénètre dans le corps et l'image de la portion de ce pinceau qui entoure le point (4) est formée, à l'aide d'un système optique fixe, sur une fente de largeur réglable (5), orthogonale à l'axe du pinceau lumineux dans le modèle : on isole ainsi un faisceau lumineux de lumière diffusée émis du point étudié et d'axe confondu avec l'axe d'observation et de rotation. Ce faisceau lumineux

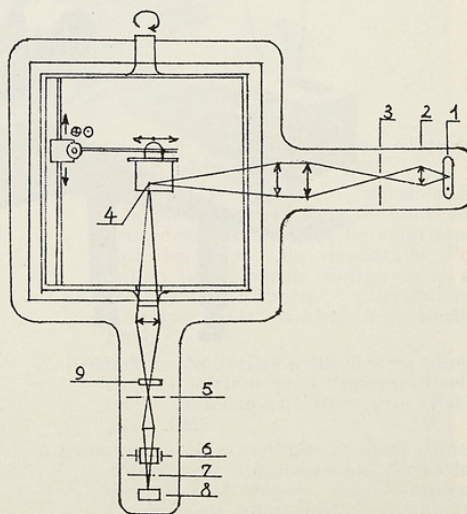


FIG. 14. — Schéma du banc de photoélasticimétrie tridimensionnelle par lumière diffusée

traverse ensuite l'analyseur tournant (6), puis un filtre (7), et tombe sur le photomultiplicateur (8). Une lame quart d'onde orientable peut être introduite juste devant la fente (9).

Les expériences effectuées avec le banc industriel, donné sur la figure 15, ont montré que les précisions obtenues étaient de l'ordre du millième de frange par le déphasage des biréfringents équivalents, du dixième de degré pour la position des axes de ces derniers, et du degré pour le pouvoir rotatoire. On obtient

ainsi une détermination précise des biréfringences à l'intérieur du corps.

L'expérience pratique des mois qui viennent montrera dans quelle mesure les avantages de principe de cette méthode — notamment son universalité, l'intégrité qu'elle assure aux modèles, la souplesse qu'elle permet dans le choix des matériaux employés pour constituer ces modèles — rencontreront la faveur des utilisateurs et contribueront à répandre l'usage de la photoélasticimétrie tridimensionnelle par lumière diffusée.

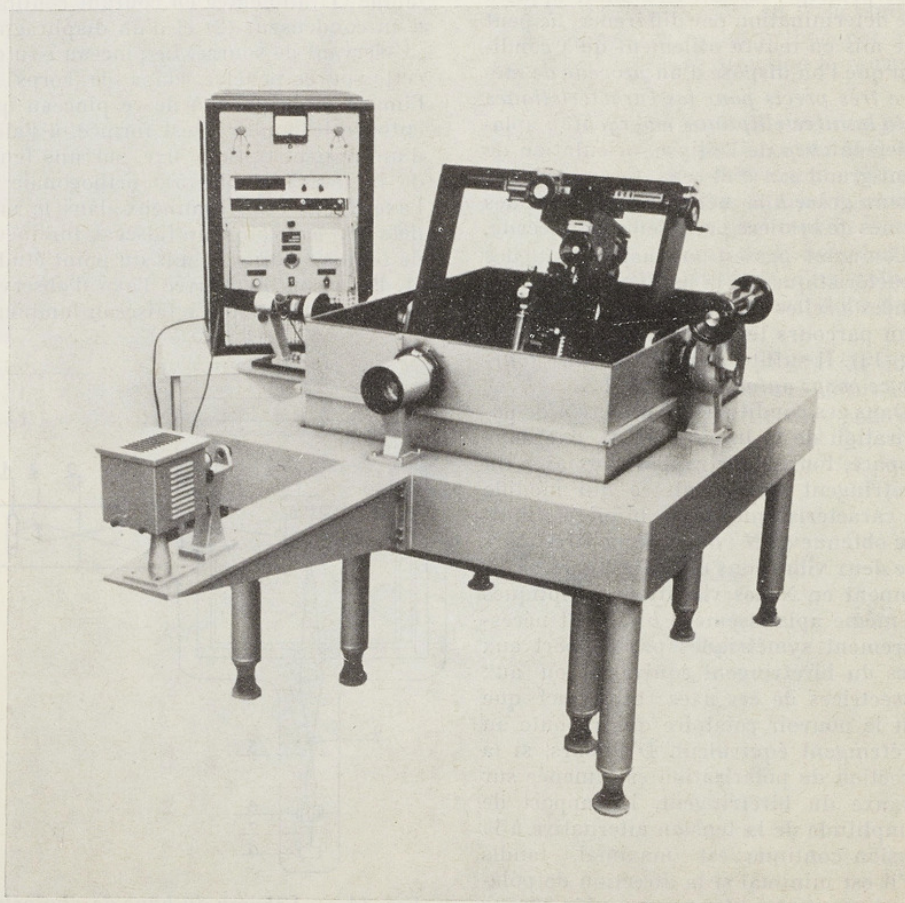


FIG. 15. — Vue d'ensemble du banc prototype

IV CONCLUSION

Ainsi, les nouvelles méthodes en photoélasticimétrie, par rapport aux méthodes classiques qu'elles viennent compléter en augmentant leur intérêt, apportent d'une part, pour les mesures ponctuelles dans le domaine plan, rapidité et précision, d'autre part et surtout, le moyen d'étudier les états de contraintes dans des modèles tridimensionnels dans d'excellentes conditions de similitude. Il faut espérer maintenant que ces méthodes, réussies sur le plan scientifique, pourront dans un très proche avenir être mises à la disposition de nos industries.

Je ne saurais toutefois terminer sans évoquer l'avenir et parler de la photoélasticimétrie dynamique. Dans ce domaine, et grâce à la stroboscopie, les méthodes

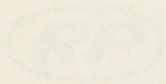
classiques ont déjà fait leurs preuves ; mais là, je pense qu'il y a encore un champ de recherche fructueux, dans la mesure où l'on sera capable de mesurer les évolutions rapides d'une forme de lumière.

Maintenant, avant de nous séparer, qu'il me soit permis de remercier tout d'abord mon maître, M. l'Ingénieur Général du Génie Maritime de Leiris, M. l'Ingénieur en Chef du Génie Maritime Ballet, sous les ordres de qui je sers actuellement, mes collaborateurs passés et présents, ainsi que la Société Jobin et Yvon qui, après avoir construit le prototype industriel du photoélasticimètre tridimensionnel, réalise à présent le banc automatique à deux dimensions.

BIBLIOGRAPHIE

sur les nouvelles méthodes en photoélasticimétrie

- H. POINCARÉ. — *Théorie mathématique de la lumière*, Gauthiers-Villars, édit., Paris, 1889.
- W. A. SHURCLIFF. — *Polarized light, production and use*, Harvard University Press.
- A. ROBERT et E. GUILLEMET. — Nouvelle méthode d'utilisation de la lumière diffusée en photoélasticimétrie à trois dimensions. *Revue Française de Mécanique*, n° 5-6-7-8 (1963).
- A. ROBERT et E. GUILLEMET. — New scattered light method in three dimensional Photoelasticity. *British Journal of Applied Physics*, vol. 15 (May 1964).
- A. ROBERT. — New methods in three dimensional photoelasticity. *Conférence au deuxième Congrès international de l'analyse expérimentale des contraintes*, Washington, 2-10, 1965.
- A. ROBERT et J.-L. VERNET. — Application à la photoélasticimétrie de nouveaux procédés automatiques de détermination des axes et du déphasage d'un milieu biréfringent. *Conférence au troisième Congrès international d'analyse des contraintes*, Berlin, 1966.
- A. ROBERT. — Nouvelles méthodes en photoélasticimétrie à deux dimensions et à trois dimensions. *Mesucora*, Paris, 21-4, 1967.
- A. ROBERT. — New methods in three dimensional and bidimensional photoelasticity. *Conférence au cinquième Congrès de photoélasticimétrie*, Pilsen, 16-5, 1967.



SOCIÉTÉ DES ÉCRIVAINS CATHOLIQUES

ANDRÉ POULENC

« PROLOGUE » — « LES ÉCRIVAINS CATHOLIQUES »

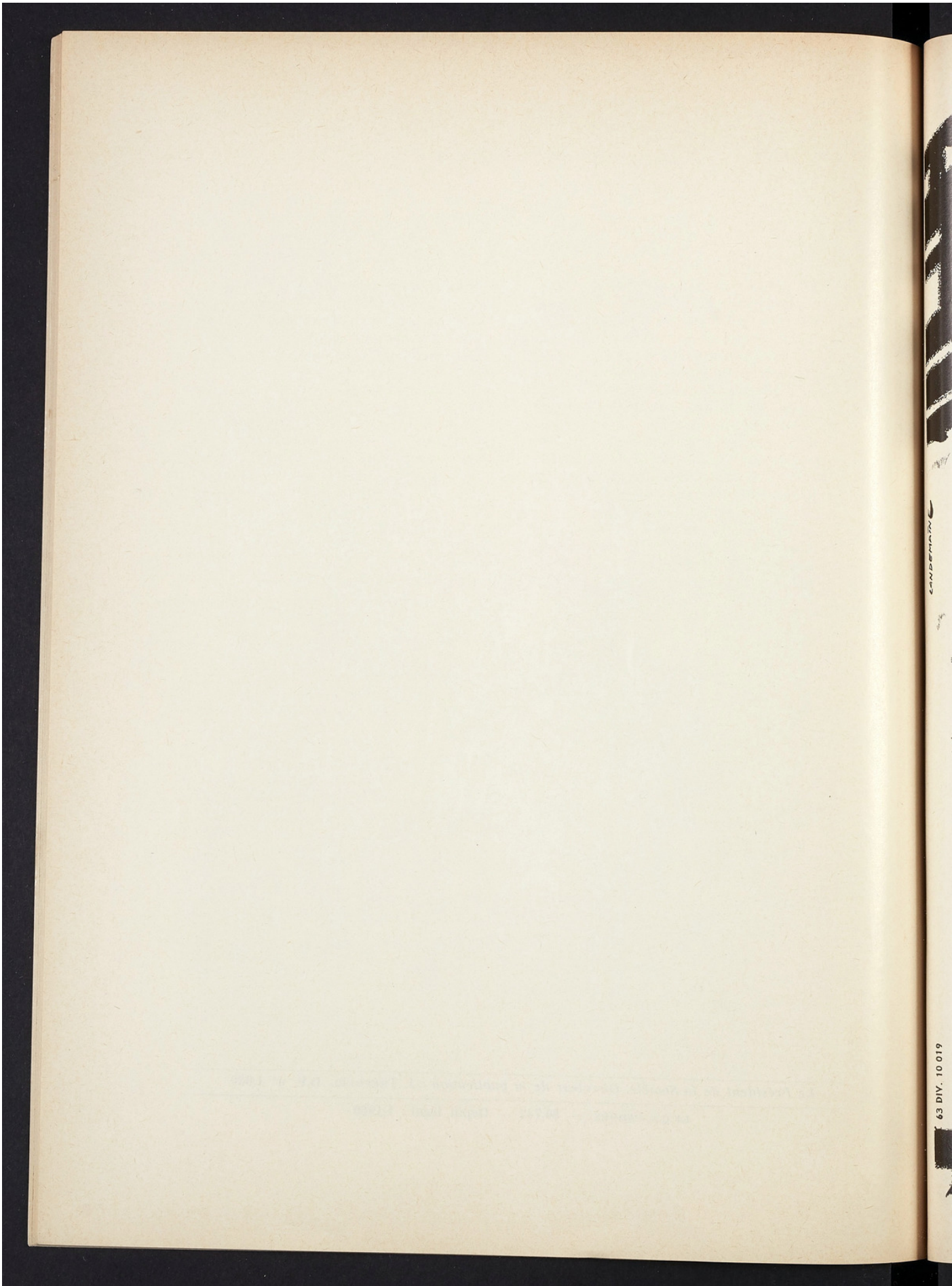
« PROLOGUE » — « LES ÉCRIVAINS CATHOLIQUES »

« PROLOGUE » — « LES ÉCRIVAINS CATHOLIQUES »

Le livre de M. André Poulenç est un livre de la collection « Les Écrivains Catholiques » qui a pour but de présenter à nos lecteurs les œuvres de nos écrivains catholiques. Ce livre est le premier d'une série qui sera complétée par d'autres volumes. Le livre de M. André Poulenç est un livre de la collection « Les Écrivains Catholiques » qui a pour but de présenter à nos lecteurs les œuvres de nos écrivains catholiques. Ce livre est le premier d'une série qui sera complétée par d'autres volumes.

Le Président de la Société, Directeur de la publication : J. TRÉFOUËL, D.P. n° 1.080

I.F.Q.A.-CAHORS. — 80.742 — Dépôt légal : I-1969



SOCIÉTÉ DES USINES CHIMIQUES

RHÔNE POULENC



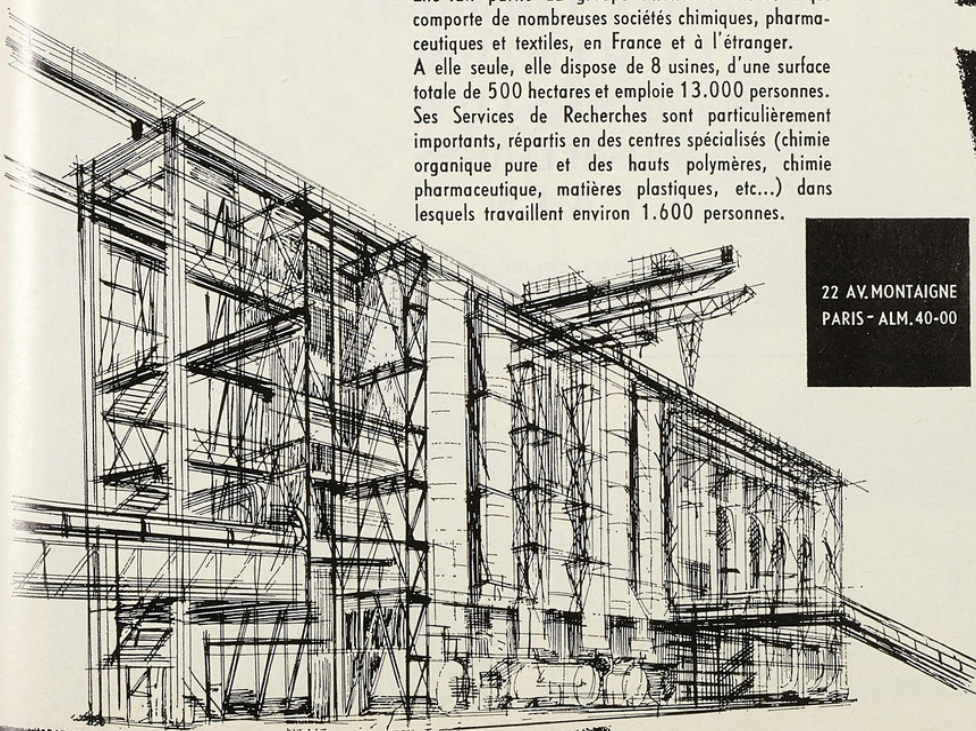
- PRODUITS CHIMIQUES ORGANIQUES DE SYNTHÈSE
- PRODUITS MINÉRAUX PURS
- MATIÈRES PLASTIQUES

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

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

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

22 AV. MONTAIGNE
PARIS - ALM. 40-00



SOCIÉTÉ D'ÉLECTRO-CHIMIE
D'ÉLECTRO - MÉTALLURGIE
et des
ACIÉRIES ÉLECTRIQUES D'UGINE

ACIERS
PRODUITS CHIMIQUES
ALUMINIUM
MAGNÉSIUM
FERRO-ALLIAGES
ÉTAIN

SIEGE SOCIAL : 10, RUE DU GENERAL-FOY - PARIS (8°)
TELEPHONE : EUROPE 31-00
ADRESSE TELEGRAPHIQUE : TROCHIM PARIS

MAISON FONDÉE EN 1895

“ LES ÉLECTRICIENS DE FRANCE ”

Ets JULES VERGER & DELPORTE

Société Anonyme, au Capital de 10.000.000 de F

ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES, ÉLECTRONIQUES ET TÉLÉPHONIQUES

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

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

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

Agence de VERSAILLES : 2, place Gambetta - Tél. 950-53-50 950-17-75 - Mag. 21, rue d'Anjou - Tél. 950-01-10

Agence de CANNES : 3, pas. Ste-Catherine - LE CANNET Tél. 39-58-71 Cannes (A.-M.)

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

92, Avenue des Ternes, PARIS-17* - Tél. 380 42-70

53, Rue Maurice Bokanowski, ASNIERES - Tél. 473- 39-90, 62-28.

EN AFRIQUE : SENEGAL - DAKAR

- SAINT-LOUIS

Côte-d'Ivoire

Dahomey

Mauritanie

Haute-Volta

Togo

- ABIDJAN

- COTONOU

- PORT-ETIENNE

- OUAGADOUGOU

- LOME

Bureaux-Magasins : 164, rue Blanchot - B. P. 968 - Tél. 227-26, 227-29.

Ateliers : Km 6,5, route de Rufisque, Hann - 451-39.

B. P. 101 - Tél. 51.

B. P. 4140 - Tél. 553-95.

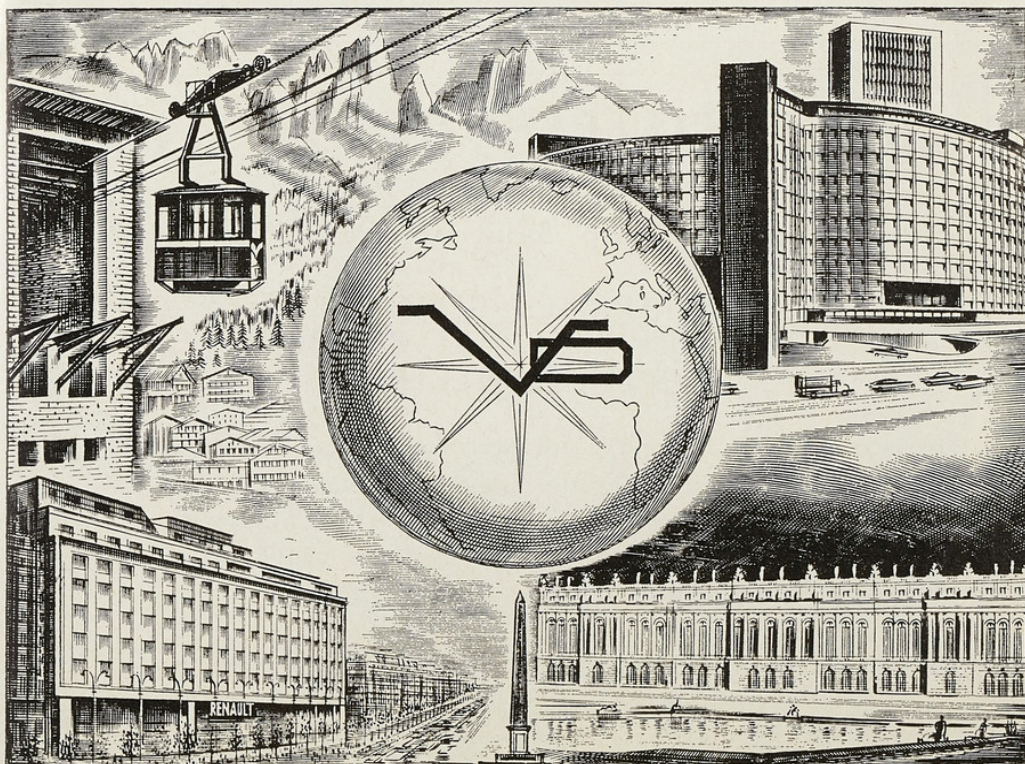
B. P. 184 - Tél. 27-76.

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

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

B. P. 1147.

VAL D'ISERE — Téléphérique. *quelques réalisations récentes* MAISON DE LA RADIO



RENAULT (Champs-Élysées)

PALAIS DE VERSAILLES

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

SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE LA GRANDE PAROISSE

AZOTE ET PRODUITS CHIMIQUES

Société Anonyme au capital de 19.595.800 F.

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

AMMONIAQUE - ALCALI - ENGRAIS AZOTÉS

**ENGINEERING - CONSTRUCTIONS D'USINES
HYDROGÈNE**

GAZ DE VILLE - GAZ DE SYNTHÈSE

AMMONIAQUE

ACIDE NITRIQUE

ENGRAIS AZOTÉS

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ENTREPRISES

Société Anonyme au Capital de 36.160.000 F

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

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

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

Grands postes de transformation
Centrales électriques
Lignes de transport de force

Électrification de voies ferrées
Électrifications rurales
Équipements électriques industriels

RÉSUMÉ

MÉTHODES CLASSIQUES ET MÉTHODES NOUVELLES EN PHOTOÉLASTICIMÉTRIE

par M. André Robert, p. 37

Après un bref exposé des méthodes classiques en photoélasticimétrie, l'auteur montre comment les difficultés soulevées par la photoélasticimétrie tridimensionnelle l'ont conduit à revenir sur la représentation des formes de lumière des biréfringents et des pouvoirs rotatoires selon la représentation de Poincaré.

Puis, il montre comment il a pu résoudre, tant sur le plan théorique qu'expérimental, l'analyse des contraintes dans un corps tridimensionnel transparent servant de modèle.

La méthode pratique de mesure des formes de lumière qu'il a été amené à mettre au point lui a permis aussi de créer un photoélasticimètre bidimensionnel entièrement automatique, dont une brève description est donnée.

Enfin, l'auteur expose les voies des recherches à suivre pour la photoélasticimétrie dynamique.

