

Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

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

	1955, n° 2 (avril-juin)
	1955, n° 3 (juil.-sept.)
	1955, n° 4 (oct.-déc.)
	1956, n° 1 (janv.-mars)
	1956, n° 2 (avril-juin)
	1956, n° 3 (juil.-sept.)
	1956, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° 2 (avril-juin)
	1957, n° 3 (juil.-sept.)
	1957, n° 4 (oct.-déc.)
	1957, n° spécial (1956-1957)
	1958, n° 1 (janv.-mars)
	1958, n° 2 (avril-juin)
	1958 n° 3 (juil.-sept.)
	1958, n° 4 (oct.-déc.)
	1959, n° 1 (janv.-mars)
	1959, n° 2 (avril-juin)
	1959 n° 3 (juil.-sept.)
	1959, n° 4 (oct.-déc.)
	1960, n° 1 (janv.-mars)
	1960, n° 2 (avril-juin)
	1960, n° 3 (juil.-sept.)
	1960, n° 4 (oct.-déc.)
	1961, n° 1 (janv.-mars)
	1961, n° 2 (avril-juin)
	1961, n° 3 (juil.-sept.)
	1961, n° 4 (oct.-déc.)
	1962, n° 1 (janv.-mars)
	1962, n° 2 (avril-juin)
	1962, n° 3 (juil.-sept.)
	1962, n° 4 (oct.-déc.)
	1963, n° 1 (janv.-mars)
	1963, n° 2 (avril-juin)
	1963, n° 3 (juil.-sept.)
	1963, n° 4 (oct.-déc.)
	1964, n° 1 (janv.-mars)
	1964, n° 2 (avril-juin)
	1964, n° 3 (juil.-sept.)
	1964, n° 4 (oct.-déc.)
	1965, n° 1 (janv.-mars)
	1965, n° 2 (avril-juin)
	1965, n° 3 (juil.-sept.)
	1965, n° 4 (oct.-déc.)
	1966, n° 1 (janv.-mars)
	1966, n° 2 (avril-juin)
	1966, n° 3 (juil.-sept.)
	1966, n° 4 (oct.-déc.)
	1967, n° 1 (janv.-mars)
	1967, n° 2 (avril-juin)
	1967, n° 3 (juil.-sept)

	1967, n° 4 (oct.-déc.)
	1968, n° 1
	1968, n° 2
	1968, n° 3
	1968, n° 4
	1969, n° 1 (janv.-mars)
	1969, n° 2
	1969, n° 3
	1969, n° 4
	1970, n° 1
	1970, n° 2
	1970, n° 3
	1970, n° 4
	1971, n° 1
	1971, n° 2
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	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	1971, n°4
Adresse	Paris : Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 1971

Collation	1 vol. (18 p.) : ill. ; 27 cm
Nombre de vues	28
Cote	INDNAT (97)
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.97

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
1971 - N° 4



N° 4 - 1971

SOMMAIRE

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES.

- Un nouveau procédé français pour la fabrication d'eau lourde,

par R. BEDHOME

p. 3

- L'environnement microbien des animaux et son contrôle,

par R. DUCLUZEAU

p. 11

Publication sous la direction de M. Jacques TREFOUËL

Membre de l'Institut, Président

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

Abonnement annuel : 40 F

le n° : 15,00 F

C.C.P. Paris, n° 618-48

Un nouveau procédé français pour la fabrication d'eau lourde

par M. J. BERNARD
Ingénieur Directeur Technique et Directeur des Industries Chimiques
des Industries du Groupe de Saint-Gobain
à Paris

TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Le but de ce travail est de décrire un nouveau procédé pour la fabrication d'eau lourde, qui permet d'obtenir une eau lourde de pureté élevée, avec un rendement élevé et un coût de fabrication faible. Le procédé est basé sur l'utilisation d'un mélange d'eau et d'acide sulfurique, qui est traité avec un courant d'air. Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le procédé est basé sur l'utilisation d'un mélange d'eau et d'acide sulfurique, qui est traité avec un courant d'air. Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le procédé est basé sur l'utilisation d'un mélange d'eau et d'acide sulfurique, qui est traité avec un courant d'air. Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le but de ce travail est de décrire un nouveau procédé pour la fabrication d'eau lourde, qui permet d'obtenir une eau lourde de pureté élevée, avec un rendement élevé et un coût de fabrication faible. Le procédé est basé sur l'utilisation d'un mélange d'eau et d'acide sulfurique, qui est traité avec un courant d'air.

Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le procédé est basé sur l'utilisation d'un mélange d'eau et d'acide sulfurique, qui est traité avec un courant d'air. Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Le produit obtenu est une eau lourde de pureté élevée, qui peut être utilisée pour la fabrication d'hydrogène, de méthane, de gaz de synthèse, etc.

Un nouveau procédé français pour la fabrication d'eau lourde

par René BEDHOME

Ancien Directeur Délégué du Groupe des Industries Chimiques
aux Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais
Président d'Adrinord

Permettez-moi, tout d'abord, Monsieur le Président, de vous remercier très vivement d'avoir bien voulu respecter la tradition en demandant à un lauréat de votre Société de venir entretenir les nombreuses personnalités du monde universitaire et industriel qui sont ici ce soir, d'une technique qui lui tient particulièrement à cœur, car elle a exigé de tous ceux qui ont participé à sa mise en œuvre, un effort exceptionnel et tenace, tout au long de dix années d'études et d'essais, avant d'aborder la phase de réalisation, suivie par une exploitation industrielle sans aucun aléa.

Je vous sais gré des paroles aimables que vous venez de prononcer et je voudrais vous assurer de la gratitude de ce lauréat qui désire reporter sur toute une équipe associant des hommes venus de divers horizons scientifiques et techniques, le mérite d'une réussite qui était attendue avec une certaine impatience et beaucoup d'anxiété.

Mais, avant d'aborder la description de ce nouveau procédé de fabrication d'eau lourde, exploité industriellement et pour la première fois dans le Monde à l'Usine de Mazingarbe de la Société

Chimique des Charbonnages, depuis le 1^{er} janvier 1968, je ne crois pas inutile de rappeler brièvement ce qu'est l'eau lourde.

L'eau lourde est analogue à l'eau ordinaire à ceci près qu'on y remplace l'hydrogène par le deutérium, l'une a comme formule H_2O , l'autre D_2O .

Hydrogène et deutérium, sont ce qu'on appelle des isotopes ayant la même disposition d'électrons satellites, mais, s'ils ont en première approximation les mêmes propriétés chimiques, ils ont, ainsi que les composés dans lesquels ils entrent, des propriétés physiques différentes et par exemple :

	H_2	D_2
point d'ébullition	— 252° 8	— 249° 7
point de solidification	— 259° 1	— 254° 4
poids spécifique	0,09 g/l.	0,18 g/l.
	H_2O	D_2O
point d'ébullition	100°	101,4°
point de congélation	0°	+ 3,8°
poids spécifique	1.	1,105
	NH_3	ND_3
point d'ébullition	— 33° 3	— 30° 3

Le deutérium se trouve mélangé à l'hydrogène dans la nature dans une proportion qui varie quelque peu suivant l'origine de cet hydrogène ; il s'y trouve à raison de 120 à 170 parties par million soit :

0,12 à 0,17/1 000

et la difficulté du problème consiste à séparer le deutérium de l'hydrogène ou l'eau lourde de l'eau ordinaire.

Historiquement, c'est à la Société Norvégienne de l'Azote à Rjukan que la première séparation industrielle de l'eau lourde a été réalisée, fortuitement d'ailleurs, dans les bacs d'électrolyse de l'usine d'ammoniac dont l'hydrogène était obtenu par électrolyse de l'eau.

Les fonds de bac étant plus riches en eau lourde que l'eau introduite, on est arrivé, en procédant par concentrations successives, à une production d'eau lourde, âprement convoitée durant la dernière guerre et qui a été à la base d'exploits héroïques racontés dans un film célèbre sur la bataille de l'eau lourde.

Ce procédé, initialement utilisé, tant en Norvège que dans certains autres pays, n'est plus actuellement valable économiquement car il requiert une trop grande quantité de courant électrique.

L'eau lourde, dont la production annuelle sur le plan mondial se limitait, avant 1939, aux quelques centaines de kilos extraits par la Société Norvégienne de l'Azote, a été mêlée en France aux toutes premières études de réactions nucléaires en chaîne, effectuées par F. Joliot et ses collaborateurs.

Elle a brutalement pris un intérêt considérable sur le plan militaire, dès 1940, pour l'étude fondamentale et la maîtrise des réactions nucléaires en chaîne, qui devaient aboutir en fission à la bombe A dès 1945.

Comme source de deutérium, elle est également devenue la base de la bombe H dans laquelle l'amorçage de la fusion « thermonucléaire » des atomes légers Deutérium — Deutérium ou Deutérium — Tritium, est obtenu par la fis-

sion préalable d'une charge d'uranium ou de plutonium.

Mais, fort heureusement, cette utilisation redoutable de l'énergie a trouvé des prolongements essentiels dans la solution d'un problème fondamental et qui est à la base du développement de notre civilisation industrielle, je veux parler de la production d'énergie électrique.

La progression technique d'une première génération des réacteurs de puissance basés sur la filière uranium naturel-graphite a certes été intéressante, mais, le taux d'utilisation de l'uranium étant assez faible, une deuxième génération comportant une filière uranium naturel - eau lourde a été envisagée avec un taux d'utilisation multiplié par trois.

Cette filière, qui est exploitée actuellement dans certains pays, tel le Canada, a été également expérimentée en France à Brennilis et, dans l'attente de la génération suivante, qui peut être celle des surgénérateurs, elle peut encore avoir sa chance dans la compétition actuelle étant donné les améliorations obtenues dans le coût des investissements et les frais d'exploitation.

Et nous voici revenus à la production d'eau lourde dont les besoins s'accroissent considérablement dans cette hypothèse puisque la charge d'eau lourde est de l'ordre de 0,600 t par M We installé.

Dans les procédés de séparation du deutérium, la première voie utilisée a été celle de l'électrolyse mais le procédé entraîne à des emplois d'énergie de l'ordre de 150 kWh par gramme de D₂O s'il est orienté uniquement sur la production d'eau lourde.

La diffusion gazeuse de l'hydrogène a été étudiée au laboratoire, mais l'utilisation des parois en palladium pose de tels problèmes technologiques que cette voie a également été abandonnée.

Il en est de même pour la cristallisation fractionnée de l'eau.

La distillation d'hydrogène à basse température s'appuie sur un écart de distillation de 3° 3 au niveau de 20° K

et peut être associée à la production d'hydrogène pour une usine d' NH_3 . Elle a donné lieu à quelques petites unités industrielles, Nangal aux Indes, Ems en Suisse, après un enrichissement primaire par électrolyse, ainsi qu'à l'Office National Industriel de l'Azote à Toulouse, en liaison avec la Société l'Air Liquide.

Dans ce procédé, la consommation d'énergie ne peut descendre en dessous de 4 kWh 5 au gramme d'eau lourde et les frais d'exploitation sont plus particulièrement élevés si l'on part d'une matière première à concentration naturelle.

Tous les procédés basés sur la faible différence de propriétés physiques, que ce soit la distillation de l'eau ou celle de l'ammoniac, ne peuvent être envisagés que sur des matières préalablement enrichies à quelques pour cent en deutérium et c'est ainsi que l'on est arrivé à l'étude des procédés utilisant les échanges isotopiques, cas particuliers des réactions d'échanges chimiques qui ont lieu au sein d'un mélange.

Ces procédés sont basés sur l'existence de répartitions du deutérium entre deux composés hydrogénés en équilibre thermodynamique, répartitions différentes d'une répartition purement statistique.

Parmi ces procédés, deux d'entre eux ont été retenus comme économiquement exploitables, il s'agit du procédé basé sur l'échange $\text{H}_2\text{S} - \text{H}_2\text{O}$ et celui basé sur l'échange $\text{NH}_3 - \text{H}_2$.

Lorsque l'on met en présence, avec un contact suffisant, H_2S et H_2O , tous deux avec la concentration normale P_0 de deutérium dans l' H_2 , soit 150 parties par million, on constate que le deutérium a tendance à quitter l'eau pour se rassembler sur H_2S . Celui-ci, qui comportait initialement une proportion $\frac{D_2}{H_2 + D_2}$ normale : P_0 , se trouve, après un certain temps de contact avec l'eau, avoir une proportion $\frac{D_2}{H_2 + D_2} = n P_0$, n étant plus grand que 1.

Ce phénomène est fonction de la température et se trouve favorisé par les basses températures vers lesquelles on est évidemment limité par le point de congélation de l'eau ordinaire.

n est égal à 2,24 à $+ 25^\circ$

n est égal à 2,50 à $+ 1^\circ$

Cette propriété est à la base du procédé américain de pré-enrichissement de Savannah River, la finition étant une distillation de l'eau.

Il convient bien aux grosses capacités de production — plusieurs centaines de tonnes d'eau lourde par an — et ceci tient au fait que le contact $\text{H}_2\text{S} - \text{H}_2\text{O}$ amenant rapidement des corrosions, impose l'utilisation d'aciers spéciaux dans les appareils.

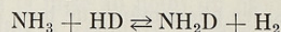
Les capacités de production étant fonction du cube des dimensions des appareils alors que la dépense en acier inoxydable n'est fonction que du carré de ces dimensions, il est bien évident qu'on amortit d'autant mieux les investissements que la capacité est plus grande.

Ce procédé exige une consommation d'énergie très importante — vapeur et kWh — en raison même des volumes de matières traitées. L'eau naturelle doit en outre être très soigneusement épurée de ses chlorures et ceci conduit à des frais non négligeables.

Les américains disposent depuis la dernière guerre, et les canadiens plus récemment, de plusieurs unités de 400 tonnes/an fonctionnant sur ce procédé grâce à une énergie primaire bon marché dans ces régions.

LE PROCÉDE $\text{NH}_3 - \text{H}_2$.

Dans le cas de l'échange $\text{NH}_3 - \text{H}_2$, la réaction d'équilibre s'écrit :



La vitesse de l'échange peut être augmentée par l'emploi de catalyseurs appropriés et les meilleurs connus actuellement sont les amidures alcalins NH_2M où M peut être le sodium, le potassium, le césium ou le rubidium.

Le facteur de séparation α qui représente le rapport des concentrations de chacune des phases en présence, croît généralement lorsque la température s'abaisse si bien que l'échange hydrogène-ammoniac a un gros avantage car il permet, à basse température, (-25° par exemple) d'utiliser un facteur de séparation qui peut atteindre trois fois celui de l'échange de l'eau avec H_2S .

La cinétique de la réaction dépend évidemment du catalyseur dont l'utilisation pose certains problèmes technologiques et nous en reparlerons tout à l'heure.

Les études ont été menées au départ, en 1956, par les Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais et le Commissariat à l'Energie Atomique.

Elles ont été poursuivies, à partir de 1960, dans le cadre d'une association groupant :

- les Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais,
- le Commissariat de l'Energie Atomique,
- la Compagnie de Construction Mécanique — Procédés Sulzer, et la Société l'Air Liquide.

Dès 1957, un premier pilote avait été construit à la station d'essais des Usines Chimiques de Mazingarbe et dès le début, les expériences furent faites dans des conditions favorables, sous haute pression — 500 bars — et basse température (jusqu'à $-50^\circ C$).

De nombreux essais d'échange en grande nature, réalisés en 1963, dans une nouvelle installation, ont fourni les données définitives de fonctionnement et de géométrie des appareils de la future usine dont la production, fixée par le C.E.A., devait atteindre 25 t/an de D_2O .

Certes, les phénomènes de base étaient connus depuis quelques années, car les chercheurs américains avaient à un moment donné envisagé l'utilisation de ce procédé particulièrement prometteur qu'ils délaissèrent au profit du procédé H_2S-H_2O , pour obtenir plus rapidement, pendant la guerre, une production d'eau

lourde à une époque où le prix de revient ne comptait guère.

Les études restant à faire concernaient :

- la pureté des gaz traités,
- l'amélioration des contacts,
- la fabrication et la manipulation de l'amidure de potassium,
- la dissociation thermique de $l'NH_3$ et les plus redoutables problèmes technologiques restaient à résoudre ; ils ont été réglés avec le concours des constructeurs et tout particulièrement grâce à l'apport de la C.C.M. Sulzer dont l'effort technique a été déterminant.

Très schématiquement, on peut dire que la fabrication d'eau lourde par le procédé monotherme NH_3-H_2 comprend quatre opérations :

1. — *Epuration.*

Le mélange gazeux de synthèse — $N_2 + 3 H_2$ — débarrassé de l'oxygène, de l'huile et de l'eau qu'il contient traverse sous haute pression — 200 à 400 bars — une tour de lavage où les impuretés oxygénées résiduelles sont détruites.

Dans cette tour circule une solution d'amidure de potassium dans $l'NH_3$, elle est isolée du circuit d'échange proprement dit.

Cette boucle permet de localiser les impuretés formées, notamment la potasse qui est insoluble dans $l'NH_3$ liquide.

Après cette tour, le degré de pureté des gaz est devenu tel qu'il est pratiquement indosable, mais cette épuration avant l'échange isotopique est exigée par l'utilisation du catalyseur à l'amidure de potassium qui est particulièrement sensible aux impuretés oxygénées.

2. — *Echange isotopique.*

Le mélange — $N_2 + 3 H_2$ — épuré, traverse la tour d'extraction qu'il remonte à contre courant de l'ammoniac liquide.

Cet NH_3 venu de la synthèse a été chargé du catalyseur à l'amidure. Le gaz

cède ses atomes de deutérium à l' NH_3 puis est dirigé vers le tube de synthèse.

Au bas de la tour, l' NH_3 liquide contient 0,05 % de deutérium alors que sa teneur naturelle est de 0,0136 %.

L' NH_3 continue à se charger en deutérium en descendant dans la tour de concentration car il y est mis en contact avec un mélange de gaz déjà enrichi en deutérium et qui remonte vers la tour d'extraction.

L'enrichissement de l' NH_3 en deutérium atteint 2 % environ au bas de la tour de concentration.

Dans les deux tours, l'échange isotopique se fait à la pression de synthèse et à -25°C par contact intime gaz- NH_3 liquide, sur des plateaux équipés d'éjecteurs disposés en couronne.

Chaque éjecteur fournit un jet de gaz capable d'entraîner l' NH_3 liquide pour former une émulsion qui remplit une chambre de réaction prolongeant ainsi le temps de contact et améliorant le rendement de l'échange isotopique.

Un séparateur centrifuge détruit ensuite l'émulsion.

Tandis que le gaz appauvri en deutérium passe dans les éjecteurs des étages supérieurs, le liquide enrichi est refoulé par une pompe dans les étages inférieurs car la perte de charge de l'éjecteur est trop grande pour être compensée par une hauteur de liquide.

3. — *Cracking.*

A la sortie de la tour de concentration l' NH_3 deutéré est traité dans un évaporateur où l'on récupère l'amidure de potassium.

Ce dernier est tout d'abord débarrassé du deutérium qu'il contient, il est ensuite réintroduit dans l'ammoniac pauvre qui vient de la synthèse et pénètre dans le haut de la tour d'extraction.

La plus grande partie de cet NH_3 sera dissociée dans un four de cracking après traitement dans l'atelier de finition et, à la sortie du cracking, le gaz enrichi sera réinjecté en bas de la tour de concentration après recompression.

La cinétique du cracking de l' NH_3 a été étudiée en laboratoire, puis vérifiée

sur un pilote capable de dissocier une tonne d' NH_3 par jour.

La pression de dissociation utilisée initialement à Mazingarbe est de l'ordre de 60 bars et la température de l'ordre de 700°C .

Outre la cinétique, il nous a fallu étudier la résistance d'un nouveau catalyseur mis au point spécialement pour cette opération, puis la tenue des matériaux utilisés pour la construction du four ainsi que la perméation de l'hydrogène à travers les parois des tubes en acier spécial qui ont posé de redoutables problèmes métallurgiques.

C'est ainsi que tout l'ensemble du four de cracking a fait l'objet de soins très particuliers pour éviter les fuites d'un gaz précieux en raison de sa teneur élevée en deutérium.

4. — *Finition.*

L' NH_3 deutéré à 2 % est un mélange NH_3 - NH_2D - NHD_2 - ND_3 .

Pour terminer l'enrichissement et atteindre la concentration finale désirée de 99,8 %, on a recours à la distillation de l' NH_3 . Elle s'effectue à une pression voisine de la pression atmosphérique dans une colonne à plateaux puis dans une colonne à garnissage. Le produit enrichi en deutérium est constitué de ND_3 presque pur qui est soutiré en phase gazeuse, les formes NH_3 - NH_2D et NHD_2 sont retournées au four de cracking pour être réinjectées dans la tour de concentration. ND_3 est dissocié par craquage en $\text{N}_2 + 3\text{D}_2$ et le deutérium est alors brûlé avec de l'oxygène pur pour donner D_2O .

Une ultime purification sur deux échangeurs d'ions assure la pureté exigée pour l'eau lourde, soit 99,8 % de D_2O .

Dans la mise au point du procédé, les difficultés à résoudre comportaient :

— l'utilisation de compresseurs particuliers pour recomprimer le gaz craqué riche en deutérium, sortant du four de dissociation de l'ammoniac et constituant le reflux gazeux vers la tour de concentration ;

— la nécessité (l'aspiration s'effectuant à 55 bars et le refoulement pouvant atteindre dans certains cas 400 bars) de supprimer toute fuite de gaz et d'utiliser pour la première fois des pistons secs pour une telle pression, afin de ne pas polluer le gaz ;

— la mise au point de pompes spéciales non lubrifiées pour véhiculer l'ammoniac provenant de l'usine de synthèse et le diriger vers la tour d'échange en le comprimant de 25 à 400 bars ;

— la mise au point de pompes à membranes pour comprimer de 15 à 400 bars les solutions concentrées d'amidure de potassium particulièrement corrosives et ne tolérant aucune fuite extérieure car l'amidure s'enflamme à l'air ;

— la mise au point de pompes centrifuges pour faire circuler l'ammoniac enrichi en deutérium de la finition vers le craquage, enfin la mise au point des pompes de circulation placées sur les plateaux d'échange et dont le fonctionnement est particulièrement délicat.

L'usine de fabrication d'eau lourde de Mazingarbe a été construite sur le schéma monotherme que nous venons de décrire.

Sa capacité nominale est de l'ordre de 25 t/an d'eau lourde.

Elle est liée à une nouvelle unité de synthèse d' HN_3 d'une capacité de 650 à 700 t/jour, dont la production réelle d' HN_3 n'est que de 535 à 575 t/jour car 115 à 125 t/jour supplémentaires servent au reflux liquide des tours d'échange.

Le nouveau procédé $\text{NH}_3\text{-H}_2$ a été spécifiquement mis au point pour traiter d'hydrogène destiné à la synthèse de l'ammoniac et permet d'atteindre couramment des taux d'extraction de 80 % du deutérium présent dans cet hydrogène et ceci est à comparer au taux d'extraction de 20 % du procédé d'échange $\text{H}_2\text{S-H}_2\text{O}$ dont nous vous avons déjà entretenus.

Il permet d'obtenir 1 t d'eau lourde à partir de 5 000 t de gaz de synthèse — $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2$ — et la production d'eau

lourde associée à une usine d'engrais peut atteindre 7 t/an pour 100 d' NH_3 par jour ; elle varie bien entendu en fonction de la teneur isotopique en D_2 de l' H_2 utilisé (de 135 à 155 p.p.m. selon le procédé choisi pour la production de cet H_2).

La concentration des usines d' NH_3 en unités de 1 500 t/jour de production journalière permettrait ainsi d'atteindre des usines d'eau lourde d'une capacité unitaire approchant 100 t/an.

Certes, dans le procédé que nous venons d'exposer, le gaz traité a besoin, tout comme l'eau du procédé $\text{H}_2\text{S-H}_2\text{O}$, d'être parfaitement épuré avant l'échange isotopique, pour protéger le catalyseur à l'amidure de K, mais cette épuration n'est pas ici une vaine dépense.

Elle représente, en effet, un atout très important pour la synthèse de l'ammoniac qui lui doit une amélioration sensible de la durée de vie du catalyseur au fer et, la possibilité d'une diminution des dépenses d'énergie et du volume de catalyseur pour une même production d' NH_3 . Ces avantages justifient à eux seuls une partie de la dépense supplémentaire, supportée pourtant par la seule production d'eau lourde.

C'est ainsi que dans les nouvelles unités de synthèse d' NH_3 , utilisant les compresseurs centrifuges et couplées avec une usine d'eau lourde, la pression de synthèse pourra être diminuée très avantageusement, ce qui permettra en outre d'effectuer le cracking d' NH_3 à cette même pression en réduisant la compression et par là même les frais d'exploitation de la production d'eau lourde.

Dans les conditions actuelles, le procédé $\text{NH}_3\text{-H}_2$ est dépendant d'une production d'ammoniac et par conséquent de la production des engrais de synthèse qui en sont les plus gros consommateurs ; mais ceux-ci ne sont-ils pas de plus en plus nécessaires pour assurer la survie d'une humanité dont le développement s'accélère alors que près des deux tiers des hommes sont encore en état de sous-alimentation permanente ?

On peut être résolument optimiste

sur l'avenir de ce procédé d'échange qui autorise la réalisation d'unités de plus en plus grandes, permettant, tant sur le plan des investissements que sur celui des dépenses d'exploitation, des économies substantielles.

Déjà, plusieurs usines de 60 t/an d'eau lourde ont été commandées à l'industrie française pour l'exportation et ce n'est là, espérons-nous, que le début d'un sérieux développement industriel.

Notons encore que le procédé $\text{NH}_3\text{-H}_2$ peut éventuellement être appliqué dans une variante bitherme que nous avons envisagée, mais délaissée, car les investissements paraissent plus élevés du fait des importants volumes à traiter et du plus grand nombre de contacts nécessaires ; par contre, les dépenses d'énergie doivent être réduites, en particulier si l'on peut admettre un échange à des températures de l'ordre de -70°C , ce qui n'a pas été réalisé industriellement jusqu'alors.

Il reste aussi possible, théoriquement, d'envisager pour l'avenir un nouvel enrichissement en deutérium, soit de l' NH_3 appauvri, soit de l'hydrogène appauvri, par une source d'eau à teneur naturelle où le D_2 existe sous la forme de la molécule mixte HDO , et c'est ainsi que les usines seraient rendues indépendantes de la fabrication des engrais et pourraient alors comporter des productions de plusieurs centaines de tonnes par an de D_2O , mais une telle hypothèse ne pourra être étudiée que si les besoins en eau lourde s'accroissent considérablement.

Je voudrais enfin rappeler que c'est une décision du 4 janvier 1964 de M. G. Pompidou, alors Premier Ministre, qui a permis aux H.B.N.P.C. la construction de l'usine d'eau lourde de Mazingarbe, pour le compte du C.E.A., et, je ne puis manquer d'évoquer à ce propos, le souvenir d'une réunion, organisée en novembre 1963, à l'hôtel Matignon, où nous avions à discuter des mérites respectifs des procédés alors en compétition et des garanties que nous acceptions d'assumer avec le procédé français.

La fabrication d'eau lourde était mise en route le 4 décembre 1967, et la production, de qualité nucléaire, était obtenue un mois après, le 3 janvier 1968, ceci constituait une véritable performance technique si l'on veut bien tenir compte des difficultés et des exigences du procédé.

Depuis cette époque, l'exploitation par la Société Chimique des Charbonnages de la nouvelle usine s'est effectuée sans aucun incident et il faut se féliciter que l'expérience acquise à Mazingarbe, par une équipe enthousiaste et réaliste, permette à notre pays d'aborder dès maintenant et sans aucun complexe, la concurrence internationale sur le marché de l'eau lourde, ce qui constitue un atout majeur dans la bataille économique axée sur les réacteurs de puissance.

C'est là, me semble-t-il, un très bel exemple de mise au point d'un procédé industriel nouveau à partir de recherches fondamentales et appliquées, suivies d'un développement technologique où les Houillères, le C.E.A., l'Industrie et l'Université ont apporté une contribution essentielle, la conjonction des efforts et la coordination de l'ensemble des travaux ayant permis la connaissance de techniques nouvelles, solidement protégées, et susceptibles d'applications dans divers domaines de l'industrie, en particulier dans l'industrie chimique.

Il nous est parfois reproché de vendre des idées à l'étranger et de racheter les procédés souvent issus de ces mêmes idées, ce qui est extrêmement désavantageux du point de vue financier et du point de vue de notre indépendance économique. En mettant au point un nouveau procédé de fabrication d'eau lourde, nous avons montré qu'il nous était possible de développer les mécanismes de pensée qui conduisent à la création et ceci me paraît rassurant pour l'avenir, à un moment où il nous faut bien constater qu'il y a dans le monde économique, des puissances industrielles qui s'affrontent et qui nous menacent ; cela nécessite que nous soyons forts et

préparés à ces batailles économiques de demain.

Toute tentative nouvelle, tant dans le domaine des sciences que dans celui de la technique est tout d'abord un acte d'audace et Beaumarchais nous rappelle très opportunément « que la difficulté de réussir ne fait qu'ajouter à la nécessité d'entreprendre ».

N'est-ce pas là, Messieurs, l'encouragement donné par la grande Société qui nous accueille aujourd'hui et dont la

longue expérience nous apprend que cette réussite ne s'acquiert ni par la faiblesse, ni par l'égoïsme mais bien par le souci constant des destinées permanentes !

En finissant cet exposé, je voudrais formuler le souhait que l'exemple de Mazingarbe, qui appartient à notre présent, soit une inoubliable leçon pour les responsables de notre développement industriel et scientifique et je terminerai sur ce vœu en vous remerciant pour votre indulgente attention.

L'environnement microbien des animaux et son contrôle

par Robert DUCLUZEAU

*Ingénieur Agronome, Docteur ès Sciences,
chargé de Recherches à l'I.N.R.A.
Jouy-en-Josas*

Le terme « environnement » de l'homme et des animaux, qui connaît un tel succès aujourd'hui, recouvre de nombreux concepts tout à fait différents. Le zootechnicien qui élève des animaux dans une étable dont la température, l'hygrométrie et la durée d'éclairement sont soigneusement contrôlées, qui nourrit ces animaux avec des régimes de composition connue au gramme près, cherche à maîtriser aussi exactement que possible l'environnement. Il sait bien en effet que c'est seulement dans un tel univers parfaitement adapté à ses besoins qu'un animal hautement sélectionné pourra exprimer au mieux ses potentialités génétiques. Mais l'environnement d'un animal ne compte pas que des composantes physiques ou chimiques. Les animaux et l'homme vivent perpétuellement au sein d'un environnement microbien dont le rôle reste encore mal connu. Certes, déjà, c'est au contrôle de l'environnement microbien que vise essentiellement l'hygiène sous toutes ses formes traditionnelles : hygiène corporelle, alimentaire, hygiène du milieu. Mais ce contrôle est encore quasi nul sur la partie la plus importante de notre environnement microbien, constitué par les bactéries qui vivent perpétuellement en contact intime avec l'organisme. Il s'agit des populations

bactériennes qui recouvrent nos téguments, nos muqueuses et se multiplient dans toutes nos cavités naturelles. Le tube digestif tout particulièrement représente une enclave du milieu extérieur extrêmement favorable à la multiplication des bactéries.

La nature de la microflore du tube digestif.

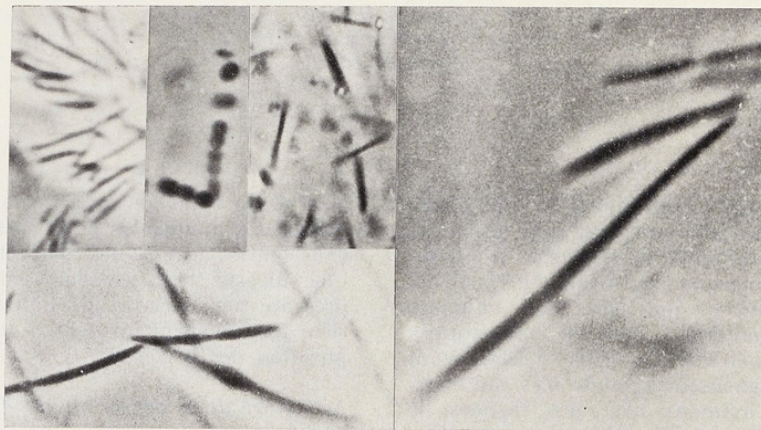
Dans le tube digestif d'un mammifère, tout au moins dans sa partie terminale, cohabitent 10 à 50 milliards de bactéries par ml, soit près de dix fois plus qu'il n'y a de globules rouges dans un ml de sang, ce qui fait du contenu intestinal le milieu naturel le plus riche en organismes vivants qui soit connu.

Cette énorme population bactérienne constitue avec l'hôte qui l'héberge ce qu'en écologie on a l'habitude d'appeler un écosystème, c'est-à-dire un ensemble de populations vivantes et de composants inertes qui interfèrent dans une région définie de l'espace. Mais ici on voit que les relations entre le contenant et le contenu sont incomparablement plus étroites que dans la plupart des écosystèmes classiques. Ceci pour deux raisons : d'abord l'animal-hôte (le contenant) contrôle très étroitement par les substances qu'il ingère et par son méta-

bolisme digestif le substrat au sein duquel se développe la microflore. C'est d'autre part le nombre énorme et la variété très grande des micro-organismes prenant part à cet écosystème qui expliquent l'influence que, dans l'autre sens, la microflore exerce sur l'animal-hôte. On imagine en effet que 10 à 50 millions de bactéries vivantes par ml de contenu digestif représentent un potentiel enzymatique qui ne peut rester sans action sur le milieu qui l'entoure.

Enorme nombre de bactéries, mais aussi énorme variété de cette population bactérienne : chez le rat nous avons jusqu'ici dénombré 27 ou 28 genres différents, chacun pouvant sans doute être représenté par quelques dizaines d'espèces et de types.

Et nous touchons là à la difficulté principale du problème de l'environnement microbien, difficulté qui explique pourquoi il est si méconnu. Chez les animaux et même chez l'homme nous



Espèces bactériennes anaérobies strictes non encore identifiées, vivant dans le tube digestif de la souris.

connaissons très mal la nature de la microflore. La plupart des études menées dans cet écosystème portent sur quelques groupes bactériens particulièrement faciles à isoler. Je pense tout particulièrement à ce groupe baptisé Entérobactéries, c'est-à-dire bactéries du tube digestif par excellence, auquel appartient le célèbre *Escherichia coli*. Il ne représente pourtant, nous le savons maintenant, qu'une toute petite minorité de la microflore, 1/1 000 ou 1/10 000 de la population bactérienne totale chez le rat ou chez l'homme. Par contre toute une fraction de la microflore, en règle générale la plus abondante, est anaérobie stricte c'est-à-dire incapable de se multiplier en présence d'air. Les techniques d'étude de ces espèces sont longues et complexes et on com-

prend pourquoi c'est là que se situe la plus grande part de notre ignorance.

Malgré ces carences dans nos connaissances, nous savons quand même apprécier l'effet global de la microflore sur l'animal-hôte. Nous possédons en effet des animaux complètement dépourvus de bactéries, appelés axéniques. La comparaison de ces animaux avec des animaux élevés dans des conditions normales (animaux « holoxéniques ») permet de comprendre le rôle de la microflore.

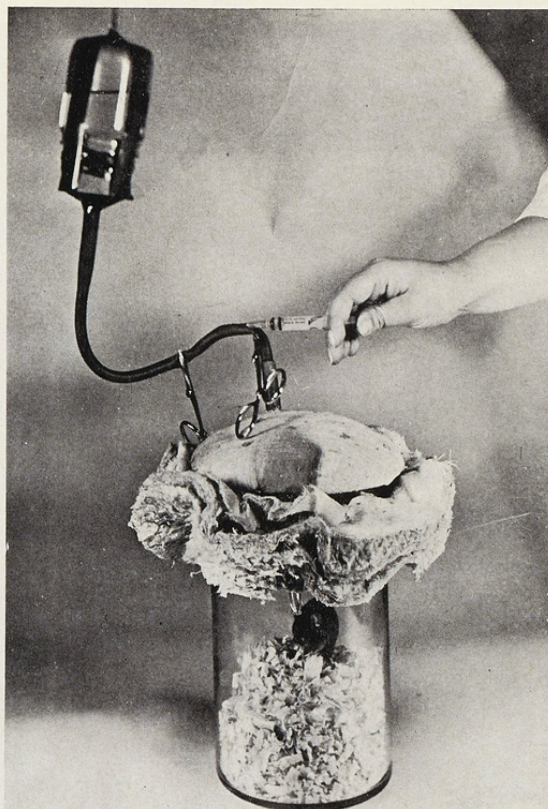
Le rôle de la microflore.

Prise dans son ensemble, la microflore du tube digestif exerce vis-à-vis de l'hôte deux catégories d'effets opposés que l'on peut qualifier de « favorables » et « défavorables ».

Les effets favorables sont d'abord d'ordre nutritionnel : 1) fabrication par la microflore de métabolites ou de facteurs de croissance utiles à l'hôte (exemple : vitamine K, vitamine B₁₂), transformation de substrats peu assimilables par les enzymes bactériens ; 2) rôle de

barrière microbiologique protégeant l'hôte contre l'envahissement par des bactéries pathogènes étrangères à l'hôte ; 3) effet sur la morphologie du tube digestif, accélération du transit, développement des systèmes immunologiques.

Quant aux effets défavorables, ils peu-



*Souris axénique dans un bocal stérile.
Sur la figure l'opérateur injecte stérilement dans le
tuyau de caoutchouc une culture bactérienne pure
destinée à ensemer la souris axénique.*

vent être liés à l'utilisation d'éléments nutritifs et de facteurs de croissance nécessaires à l'hôte, à des modifications de la paroi digestive qui nuisent à l'absorption des éléments nutritifs, enfin à la production de métabolites plus ou moins toxiques qui nuisent à la santé de l'hôte sans déclencher de maladie véritable.

La spécialisation des bactéries dans ces différents rôles semble très étroite : certaines bactéries réduisent un radical chimique précis du cholestérol, d'autres oxydent un radical voisin de la même molécule.

On voit donc d'abord tout l'intérêt qu'il y aurait à séparer les effets favorables des effets défavorables, ce qui

14 L'ENVIRONNEMENT MICROBIEN DES ANIMAUX ET SON CONTROLE

s'avère possible puisque les bactéries sont spécialisées dans leurs effets.

La technique d'élevage des animaux axéniques.

Comment pratiquement peut se réaliser ce contrôle ?

Nous possédons actuellement en laboratoire une technique qui nous permet un contrôle rigoureux de l'environnement microbien des animaux : il s'agit de la production d'animaux axéniques.

Il est maintenant bien connu que les



Vue d'un isolateur de Trexler.

fœtus de mammifères sont habituellement stériles. La méthode la plus utilisée pour commencer l'élevage d'une colonie de mammifères sans germes est donc de prélever par césarienne les jeunes prêts à naître, et de les introduire stérilement dans une enceinte stérile. Les jeunes sont alors allaités avec un régime artificiel stérile. Mais il s'agit là d'un travail long et délicat entraînant

une grande mortalité dans les portées ; aussi, chaque fois que cela est possible, on préfère maintenant donner les jeunes à des nourrices déjà axéniques.

Les enceintes stériles dans lesquelles on maintient les animaux sont appelées isolateurs. Ils appartiennent à deux types principaux. Les isolateurs en acier, comme ceux de Reyniers, ressemblent à de grands autoclaves mobiles. L'opéra-

teur voit à l'intérieur de l'isolateur à travers des hublots de verre et peut manipuler à l'aide de gants de caoutchouc fixés à des orifices latéraux. L'intérieur de l'isolateur est entièrement stérilisable à la vapeur. Une circulation d'air stérilisé par passage sur un filtre de verre est assurée par une pompe, et une légère surpression est maintenue à l'intérieur pour éviter toute rentrée d'air non stérile par des microfuites. Les transferts de nourriture, matériel ou animaux se font par l'intermédiaire d'un petit autoclave fixé sur l'extrémité.

Les isolateurs mis au point par Trexler sont des sacs de matière plastique transparents. Une surpression d'air filtré sur fibre de verre suffit à les maintenir gonflés. Là encore l'opérateur a accès à l'intérieur à l'aide de gants de caoutchouc. Les isolateurs sont stérilisés par voie chimique à l'aide d'un oxydant puissant, l'acide peracétique. Cet acide, à l'état de vapeur saturante, inactive en 15 mn les spores les plus résistantes, et il ne laisse pas de résidus toxiques, car il se dégrade très rapidement en oxygène, acide acétique et eau. Les entrées et les sorties se font à travers un sas stérilisable par l'acide peracétique. Ces isolateurs légers, peu coûteux, commodes, adaptables par l'expérimentateur lui-même à tous les besoins particuliers, ont été en grande partie responsables de l'accroissement rapide du nombre de travaux utilisant les animaux axéniques.

Les isolateurs d'acier sont surtout utilisés actuellement pour l'élevage et le maintien des souches d'animaux en vie sans germes, car ils présentent moins de risques de contamination accidentelle. Mais la plupart des expériences utilisant des animaux axéniques sont aujourd'hui réalisées dans des isolateurs de plastique.

Enfin on utilise également pour des expériences de courte durée des bocaliers stériles dans lesquels on renferme seulement quelques animaux.

Dans tous les cas la nourriture et la boisson des animaux sont stérilisés par la chaleur. Pendant longtemps les alté-

rations inévitables entraînées dans les régimes par cette stérilisation ont constitué un handicap pour l'élevage des animaux axéniques. Mais aujourd'hui, on trouve dans le commerce des régimes stérilisables qui restent complets et équilibrés après chauffage.

Des contrôles de stérilité sont effectués à intervalles réguliers dans chaque isolateur sur les fèces des animaux axéniques. On effectue des examens microscopiques et des ensemencements dans des milieux de culture divers incubés en aérobie et anaérobie.

Naturellement ce genre de technique, rigoureusement appliquée, n'est pas transposable dans la pratique de l'élevage. Mais ces animaux représentent d'abord l'outil indispensable à tout progrès dans le domaine du contrôle de la microflore du tube digestif : ils constituent un véritable tube de culture vivant.

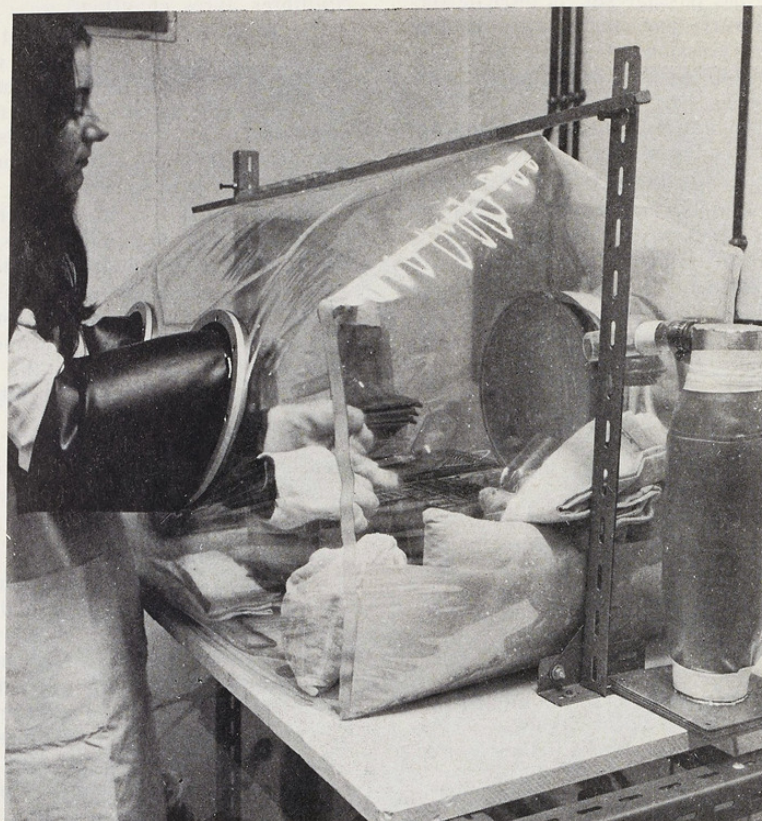
Le contrôle empirique de la microflore : animaux « SPF » et utilisation des antibiotiques dans l'alimentation.

Les applications pratiques de techniques d'obtention d'animaux axéniques commencent déjà à exister : il s'agit surtout de l'élevage d'animaux dits encore « hétéroxéniques ». Le but, limité dans ce cas, est de supprimer dans les « S.P.F. » (Specific Pathogen Free) ou troupeaux d'animaux les maladies contagieuses plus ou moins latentes transmises des mères aux jeunes. Pour cela, des animaux nouveau-nés sont prélevés stérilement par hystérectomie ou hystérotomie et placés pour quelques jours en isolateur. Après quoi ces animaux sont sortis dans un local aussi propre et dépourvu de bactéries que possible où on les élève rigoureusement à l'écart de leurs congénères conventionnels. Dans ces conditions une microflore apparaît dans leur tube digestif, en général apporté par le soigneur, mais les bactéries pathogènes redoutées n'apparaissent plus et les animaux ont une meilleure croissance.

Mais on voit les limites actuelles d'une telle méthode : seul le hasard pré-

side au réensemencement du tube digestif. Il n'y a donc a priori aucune raison de penser que les bactéries utiles vont s'installer avant les bactéries nuisibles. Pour en donner un exemple, les souches

bactériennes responsables de l'effet de barrière microbiologique vis-à-vis des souches pathogènes peuvent fort bien ne pas apparaître. Les animaux S.P.F. sont alors à la merci de n'importe quelle



Isolateurs de matière plastique, type Trexler. Les isolateurs, stérilisés par voie chimique, sont gonflés par l'air stérilisé à l'entrée et à la sortie par passage sur des filtres en fibre de verre (cylindre vertical visible au premier plan). Les entrées et les sorties se font par l'intermédiaire du sas cylindrique dont on aperçoit la porte intérieure en face de l'opératrice.

contamination fortuite par une bactérie pathogène à laquelle les conventionnels résisteront fort bien.

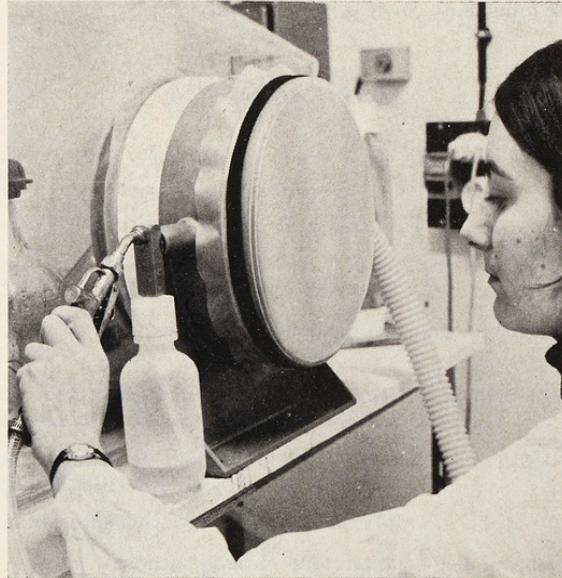
Il existe d'autres tentatives empiriques de contrôler l'environnement bactérien immédiat des animaux, voire de l'homme. La plus connue et la plus répandue est la pratique de l'adjonction de

petites quantités d'antibiotiques au régime de nombreux animaux : porcs, volailles, veaux.

On voit, que plus encore que dans le cas précédent, le hasard seul est responsable des résultats obtenus. Les antibiotiques agissent bien par l'intermédiaire de la microflore, comme on l'a prouvé

à l'aide d'animaux axéniques sur lesquels la croissance des antibiotiques est sans effet. Mais leur spectre d'action « in vivo » est difficile à prévoir, même si on le connaît « in vitro », et là encore cette action s'exerce de façon imprévisible sur une microflore inconnue. Les ré-

sultats peuvent être favorables parfois, défavorables dans d'autres cas. C'est ainsi que l'adjonction de pénicilline au régime peut dans certains cas améliorer la croissance du porc ou du rat mais tue à tous coups le cobaye. Il reste enfin à l'encontre d'une telle pratique qu'elle



L'opératrice stérilise par pulvérisation d'acide paracétique le sas d'entrée d'un isolateur de Trexler.

n'est pas sans danger pour le consommateur qui risquera d'absorber des résidus d'antibiotiques dans les aliments et courra le risque de se contaminer avec des bactéries pathogènes résistantes aux antibiotiques employés.

Perspectives d'avenir.

La méthode d'élevage des animaux S.P.F. reste donc à l'heure actuelle la méthode de contrôle de la microflore la meilleure et la plus sûre pour le consommateur. Mais, pour qu'une telle méthode donne vraiment tous les résultats que l'on peut en attendre, il est nécessaire de ne plus laisser le hasard diriger l'ensemencement des animaux axéni-

ques, mais bien d'ensemencer d'emblée ces animaux avec une microflore :

1) qui soit utile au métabolisme de l'hôte, en lui permettant une croissance plus rapide à partir d'une même quantité d'un aliment donné ;

2) qui donne aux produits alimentaires que l'on en tirera toute leur qualité organoleptique. On a constaté par exemple que les poulets axéniques étaient à peu près insipides. Par contre, mono-contaminés avec certaines souches de *Clostridium* ils reprennent leur saveur ;

3) qui constitue une barrière microbiologique efficace et assure la stabilité de l'équilibre microbien ainsi établi

dans un environnement propre mais non stérile.

Nous sommes loin encore de posséder la somme des connaissances nécessaires à la réalisation totale d'un tel programme, qui réclame la collaboration de spécialistes très divers.

Mais chaque résultat, aussi minime soit-il, a son utilité immédiate car il per-

met de réduire progressivement la grande part d'empirisme qui règne dans les méthodes actuelles de contrôle de l'environnement microbien. C'est donc très progressivement que nous espérons obtenir des animaux vivant en parfaite harmonie avec leur microflore. Nous avons déjà créé un mot pour désigner cet animal idéal : c'est l'animal « *euxénique* ».

TABLES DES MATIÈRES

Année 1971

1°) Conférences

- Aspects modernes de la navigation fluviale par M. Henri BRUGEROLLE n° 1, p. 3
- Actualité du choléra asiatique, par M. Jean GALLUT n° 1, p. 13
- De l'ultrafiltration à l'osmose, par MM. G. MARIE, M. BOURDALE, B. LE RAT, Y. HENDERYCKX, M. MARCELLIN n° 1, p. 25
- Contribution d'Ugine Kuhlmann au développement nucléaire français, par M. Jean-Etienne LEGER n° 2, p. 7
- Préparation du fer de très haute pureté et propriétés particulières de ce métal, par M^{me} Simone TALBOT-BESNARD n° 2, p. 17
- Les techniques françaises de méthaniers à citernes intégrées, par M. Jacques ENGERRAND n° 3, p. 3
- Pesticides et environnement, par M. Jean LHOSTE n° 3, p. 21
- Un nouveau procédé français pour la fabrication d'eau lourde, par M. René BEDHOME n° 4, p. 3
- L'environnement microbien des animaux et son contrôle, par M. Robert DUCLUZEAU n° 4, p. 11

2°) Divers

- Rapports sur les Prix et Médailles décernés au cours de la séance du 12 septembre 1970 n° 1, p. 49
- Liste des Prix et Médailles décernés pour 1970 n° 2, p. 37
- Rapports sur les Prix et Médailles décernés au cours de la séance du 25 septembre 1971 n° 3, p. 43
- Remise à la Société Ugine Kuhlmann du Grand Prix Lamy n° 2, p. 3

INDEX DES AUTEURS

DES CONFÉRENCES PUBLIÉES

Année 1971

- BEDHOME (René). — Un nouveau procédé français pour la fabrication
d'eau lourde n° 4, p. 3
- BRUGEROLLE (Henri). — Aspects modernes de la navigation fluviale .. n° 1, p. 3
- DUCLUZEAU (Robert). — L'environnement microbien des animaux et
son contrôle n° 4, p. 11
- ENGERRAND (Jacques). — Les techniques françaises de méthaniers à
citernes intégrées n° 3, p. 3
- GALLUT (Jean). — Actualité du choléra asiatique n° 1, p. 13
- LEGER (Jean-Etienne). — Contribution d'Ugine Kuhlmann au développe-
ment nucléaire français n° 2, p. 7
- LHOSTE (Jean). — Pesticides et environnement n° 3, p. 21
- MARIE (Guy). — De l'ultrafiltration à l'osmose n° 1, p. 25
- TALBOT-BESNARD M^{me} (Simone). — Préparation du fer de très haute
pureté et propriétés particulières de ce métal n° 2, p. 17
-

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

I.T.Q.A.-CAHORS. — 20452. — Dépôt légal : IV-1972

